

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

- **ESTRUCTURA.**

I.1. INTRODUCCIÓN.

I.2. TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.

I.3. CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA.

II. MODELO DE PROPAGACIÓN.

II.1. INTRODUCCIÓN.

II.2. CONCEPTOS MODERNOS DE LUZ Y DE PRODUCCIÓN DE LUZ.

II.3. REFLEXIONES Y REFRACCIONES DE LA LUZ.

II.4. LAS LEYES DE LA REFLEXIÓN Y LA REFRACCIÓN.

II.5. LEY DE SNELL.

II.6. EL PROBLEMA DE LA DISPERSIÓN EN LAS FIBRAS ÓPTICAS.

II.7. ANCHO DE BANDA.

II.8. IDEAS ASOCIADAS CON LA FIBRA ÓPTICA.

II.9. FIBRAS ÓPTICAS DE PRUEBA DE LA CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN.

III. EMISORES Y RECEPTORES.

III.1. ELEMENTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA DE FIBRA ÓPTICA.

III.2. SISTEMAS DE CONEXIÓN.

III.3. EL EMPLEO DE LEDS PREENFOCADOS.

IV. CONECTORIZACIÓN.

IV.1. RESISTENCIA DE UNA FIBRA ÓPTICA.

IV.2. TRATAMIENTO DE LARGAS RUTAS CON FIBRA ÓPTICA.

IV.3. EMPALME DE FIBRAS ÓPTICAS.

IV.3.1. MÉTODOS PARA EMPALMAR FIBRAS ÓPTICAS.

IV.3.2. OBSERVACIONES REFERENTES A LOS EMPALMES ENTRE FIBRAS ÓPTICAS.

IV.4. PROBLEMAS DE LA CONECTORIZACIÓN.

V. ATENUACIÓN.

V.1. PÉRDIDAS EN SISTEMAS DE FIBRA ÓPTICA.

VI. NORMATIVA.

VI.1. LA NORMA ISO 88002.3 (IEEE 802.3).

VI.1.1. NORMA ISO 8802.3 10 BASE F.

VI.2. NORMA IEEE 802.6 (DQDB).

VI.3. NORMA IEEE 802.6 (DQDB).

VI.3.1. FDDI.

VI.3.2. FDDI-II.

VI.3.3. TPDDI O CDDI.

VII. FABRICACIÓN Y USO DE FIBRA ÓPTICA.

VII.1. INTRODUCCIÓN.

VII.2. RESISTENCIA DE LA FIBRA ÓPTICA EN SU FABRICACIÓN.

VII.3. PROBLEMAS DEL USO DE FIBRA ÓPTICA CON COMPUTADORES.

VII.4. DISPOSITIVOS DE MEDIDA DE FIBRA ÓPTICA.

VII.5. UTILIZACIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS EN COMPUTACIÓN.

VIII. APLICACIONES EXPERIMENTALES.

VIII.1. UTILIZACIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS EN EXPERIMENTOS.

VIII.2. TERMINACIONES.

VIII.3. LOS DISPOSITIVOS DE LUZ PARA COMPUTADORES NO SE LIMITAN A LAS FIBRAS ÓPTICAS.

VIII.4. COMPUTADOR CONTROLADO POR LUZ.

VIII.5. MODULACIÓN DE UN HAZ DE LUZ.

VIII.6. ALMACENAMIENTO.

VIII.7. DISPOSITIVOS DE ACOPLAMIENTO DE FIBRA ÓPTICA.

VIII.8. VIABILIDAD DE LAS FIBRAS ÓPTICAS.

IX. REDES QUE UTILIZAN LAS FIBRAS ÓPTICAS.

IX.1. FDDI.

I.X.1.1. INTRODUCCIÓN

I.X.1.2. FUNCIONES DE FDDI.

I.X.1.3. NIVEL FÍSICO:PMD.

I.X.1.4. NIVEL FÍSICO:PHY.

I.X.1.5. NIVEL DE ENLACE:MAC.

I.X.1.6. OTRAS SOLUCIONES ALTERNATIVAS.

I.X.1.6.1. CDDI.

I.X.1.6.2. FDDI-II.

I.X.1.6.3. LCF-PMD.

I.X.1.7. RENDIMIENTO.

I.X.1.8. CONCLUSIONES.

I.X.2. FIBERNET II.

I.X.3. S/NET.

I.X.4. FASNET Y EXPRESSNET.

I.X.5. DATAKIT.

I.X.6. HFC.

X. BIBLIOGRAFÍA.

INTRODUCCIÓN

La Historia de la comunicación por la fibra óptica es relativamente corta. En 1977, se instaló un sistema de prueba en Inglaterra; dos años después, se producían ya cantidades importantes de pedidos de este material.

Antes, en 1959, como derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin de que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura.

Sin embargo esta utilización del láser era muy limitada debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente denominada láser.

Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica. En 1966 surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación.

Esta forma de usar la luz como portadora de información se puede explicar de la siguiente manera: Se trata en realidad de una onda electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, con la única diferencia que la longitud de las ondas es del orden de micrómetros en lugar de metros o centímetros.

COMO PORTADORA DE INFORMACION En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos: El grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Fabricadas a alta temperatura con base en silicio, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones, entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductor y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal; De esta forma es considerable el ahorro en volumen en relación con los cables de cobre.

Con un cable de seis fibras se puede transportar la señal de más de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10,000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, con la desventaja que este último medio ocupa un gran espacio en los ductos y requiere de grandes volúmenes de material, lo que también eleva los costos.

Comparado con el sistema convencional de cables de cobre donde la atenuación de sus señas, (decremento o reducción de la onda o frecuencia) es de tal magnitud que requieren de repetidores cada dos kilómetros para regenerar la transmisión, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 km. Sin que halla necesidad de recurrir a repetidores lo que también hace más económico y de fácil mantenimiento este material.

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otros.

CONCEPTO DE TRANSMISION En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original. El sistema básico de transmisión se compone en este orden, de señal de entrada, amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo), empalme, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida.

En resumen, se puede decir que este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transportación de la señal luminosa, generado por el transmisor de LED'S (diodos emisores de luz) y lasers.

Los diodos emisores de luz y los diodos lasers son fuentes adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica, debido a que su salida se puede controlar rápidamente por medio de una corriente de polarización. Además su pequeño tamaño, su luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje necesario para manejarlos son características atractivas.

I. ESTRUCTURA.

I.1. INTRODUCCIÓN.

La fibra óptica es una hebra muy fina, de un vidrio muy especial, que puede ser de solamente 125 micras de diámetro. Esta hebra de vidrio tiene aproximadamente el mismo grosor que un cabello humano.

Se ha demostrado que las ondas electromagnéticas que conforman la luz tienden a viajar a través de una región que posea un índice de refracción alto. Por tanto, hacemos el centro de la hebra de vidrio el núcleo (cristal de silicio) de esa clase de materiales. Algunas fibras de vidrio tienen un diámetro de núcleo de únicamente 50 micras, y tiene un índice de refracción de tipo gradual. La importancia de contar con un núcleo de este tipo es conseguir un núcleo que posea un ancho de banda algo mayor que el que tendría otro cuyo índice de refracción fuera idéntico en todas partes.

Ahora que ya tenemos el núcleo y con el fin de retener la luz dentro de él, necesitamos recubrirlo con alguna clase de material, de un índice de refracción diferente. Si no lo hacemos, no se obtendrían las reflexiones necesarias en la unión de ambos materiales. De este modo, se ha formado otro revestimiento en el núcleo que se denomina cubierta (silicona) y que tiene un índice de refracción menor que el del propio núcleo. Finalmente, para hacerlo más robusto y prevenir daños a la cubierta, se suele formar una "protección" o "envoltura" (poliuretano) sobre la cubierta que generalmente es de algún tipo de material plástico.

Hemos de tener en consideración la transmisión digital de impulsos de luz a velocidades muy altas, a través de esta fibra, y nos gustaría conocer de qué manera, por su conducto y simultáneamente, pueden enviarse a través de ella múltiples conversaciones, imágenes, etc.

I.2. TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.

La fibra óptica está considerada aún como una tecnología relativamente nueva con respecto a los otros soportes. Su ya extendida utilización, se encuentra en plena evolución. Se utiliza un haz de luz modulado. Una guía cilíndrica de diámetro muy pequeño (de 10 a 300 μ m), recubierta por un aislante, transporta la señal luminosa. El haz de luz se propaga, por el núcleo de la fibra. El diámetro exterior varía entre 100 y 500 μ m

Hubo que esperar hasta los años 60 y a la invención del láser para que este tipo de transmisión se desarrollase. Existen tres tipos de fibras, diferenciándose por el índice de refracción de los materiales que la constituyen y el diámetro de su núcleo:

- . fibra multimodo de índice escalonado;
 - . fibra multimodo de índice de gradiente gradual;
 - . fibra monomodo.
- a) Fibras multimodo de índice escalonado.

Las fibras multimodo de índice escalonado están fabricadas a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km. Tienen una banda de paso que llega hasta los 40 MHz por kilómetro. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

Si se considera un rayo luminoso que se propaga siguiendo el eje de la fibra y un rayo luminoso que debe avanzar por sucesivas reflexiones, ni que decir tiene que a la llegada, esta segunda señal acusará un retardo, que será tanto más apreciable cuanto más larga sea la fibra óptica. Esta dispersión es la principal limitación de las fibras multimodo de índice escalonado. Su utilización a menudo se limita a la transmisión de información a cortas distancias, algunas decenas de metros y flujos poco elevados. Su principal ventaja reside en el precio más económico.

b) Fibras multimodo de índice de gradiente gradual.

Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta. Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra, como se puede ver en el dibujo. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

La fibra multimodo de índice de gradiente gradual de tamaño 62,5/125 μ m (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizado, pero se pueden encontrar otros tipos de fibras:

- . multimodo de índice escalonado 100/140 μ m;
- . multimodo de índice de gradiente gradual 50/125 μ m;
- . multimodo de índice de gradiente gradual 85/125 μ m.

c) Fibras monomodo

Potencialmente, este último tipo de fibra ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar. El dibujo muestra que sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 μ m. Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo, ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y entrañan dificultades de conexión que aún se dominan mal.

I.3. CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA ÓPTICA.

Generalmente, las fibras ópticas se agrupan para formar cables ópticos de 2, 4, 6, 144 o 900 fibras. Se trata de un soporte particularmente eficaz para enlaces digitales punto a punto. Los enlaces multipunto realizados mediante acopladores o estrellas ópticas se puede transmitir en banda base (la información es transmitida por presencia o ausencia de intensidad luminosa) o en analógica (por modulación de la amplitud de la intensidad luminosa). A continuación vemos una tabla que resume las características de los diferentes tipos de fibras.

La fibra óptica tiene muchas ventajas:

- . una banda de paso muy ancha, lo que permite flujos muy elevados (del orden del Ghz);
- . pequeño tamaño, por tanto ocupa poco espacio;
- . gran flexibilidad, el radio de curvatura puede ser inferior a 1 cm, lo que facilita la instalación enormemente;

TABLA DE COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES FIBRAS ÓPTICAS

- . gran ligereza, el peso es del orden de algunos gramos por kilómetro, lo que resulta unas nueve veces menos que el de un cable convencional;
- . una inmunidad total a las perturbaciones de origen electromagnético, lo que implica una calidad de transmisión muy buena, ya que la señal es inmune a las tormentas, chisporroteo...;
- . gran seguridad: la intrusión en una fibra óptica es fácilmente detectable por el debilitamiento de la energía luminosa en recepción, además, no radia nada, lo que es particularmente interesante para aplicaciones que requieren alto nivel de confidencialidad;
- . no produce interferencias;
- . insensibilidad a los parásitos, lo que es una propiedad principalmente utilizada en los medios industriales fuertemente perturbados (por ejemplo, en los túneles del metropolitano). Esta propiedad también permite la coexistencia por los mismos conductos de cables ópticos no metálicos con los cables de energía eléctrica.;
- . un aislamiento galvánico natural del cable;
- . una atenuación lineal no muy pequeña, lo que permite salvar distancias importantes sin elementos activos intermedios;
- . una pequeña atenuación e independiente de la frecuencia;
- . gran resistencia mecánica (resistencia a la tracción, lo que facilita la instalación);
- . resistencia al calor, frío, corrosión;
- . facilidad para localizar los cortes gracias a un proceso basado en la telemetría, lo que permite detectar rápidamente el lugar y posterior reparación de la avería, simplificando la labor de mantenimiento.

Sin embargo presenta algunos inconvenientes:

- . no presenta difusión natural (se trata de un soporte unidireccional);
- . equipos terminales aún demasiado costosos;
- . la especialización del personal encargado de realizar las soldaduras y empalmes.

II. MODELO DE PROPAGACIÓN.

II.1 INTRODUCCIÓN.

El canal de fibra óptica no permite que los rayos de luz deseados escapen de su interior. Es capaz de manejar transmisión de esos rayos de luz en dos sentidos de tal forma que uno puede (pero no necesariamente) mirar

por un extremo y ver lo que está pasando en el otro extremo. Con estos rayos de luz existe la posibilidad de transmitir sonido, quizás también imágenes, estos sistemas de transmisión de fibra óptica abren un concepto completamente nuevo en sistemas de comunicaciones. Además, poseen ventajas únicas en cuanto a eliminación de ruidos e interferencias.

Esta es la esencia de la fibra óptica. La canalización de rayos de luz a través de "camino de fibra óptica" y la generación de frecuencias de luz apropiadas y de una forma también apropiada para permitir fácilmente el paso, cualquiera que sea el tipo de sustancia que se emplee para el canal. Esto implica que distintos tipos de sustancias (los cuales caen dentro de la categoría "óptica" o "de vidrio") poseen diferentes características que hacen la conductividad de ciertas frecuencias de luz más sencillas que de otras. En un concepto elemental, significa simplemente que algunos tipos de fibras ópticas conducen determinadas frecuencias de luz mejor que otras frecuencias. Se debe generar la frecuencia de luz apropiada que pase a través de un tipo de fibra dada.

II.2. CONCEPTOS MODERNOS DE LUZ Y DE PRODUCCIÓN DE LUZ.

Se asocia la creación de luz con el paso de electricidad a través de un cable en una ampolla de vidrio. Se sabe también, que la luz es un componente del espectro electromagnético por James Clerk Maxwell. Demostró que los rayos de luz eran ondas de naturaleza electromagnética y demostró también que tales rayos u ondas tienen todos la misma velocidad en el espacio libre. Esa velocidad es 3×10^8 m/sg. El margen de las radiaciones electromagnéticas va desde una frecuencia cero (Hertzios/sg) hasta frecuencia infinita, y la luz varía en un margen de frecuencias cuyas longitudes de onda van desde 102 m a través de la región ultravioleta de 108 m subiendo en frecuencia a través de la región de los rayos gamma de longitud de onda 1014 m.

No debería sorprendernos considerar que si la velocidad de la luz es una constante en el espacio libre y que si la velocidad consiste en un valor promedio sobre una distancia infinita, que pudieran y debieran existir algunas "fluctuaciones" en esa velocidad en distancias finitas más pequeñas y a través de varios tipos de medios de conducción. Se piensa en la reducción de la velocidad de propagación de los rayos de luz al atravesar varias lentes. Mientras que la componente de velocidad total sobre una distancia infinita en el espacio libre permanezca constante, no se violará la ley de la cual partió Maxwell en sus teorías.

Los experimentos han demostrado que esas variaciones finitas de la velocidad son ciertas.

II.3. REFLEXIONES Y REFRACCIONES DE LA LUZ.

Si un rayo de luz viaja de un medio a otro, se curvará en el caso en que los dos materiales posean diferentes propiedades de conductividad de rayos luminosos. Un ejemplo típico es como un humano observando a un pez en el agua, le ve en un punto donde realmente no está situado. El motivo por el que se curvan los rayos de luz es debido a que nuestra visión se basa en los rayos que penetran en nuestros ojos, y los rayos que forman el pez son rayos de luz reflejados, que salen del pez (y del agua) y entran en otro medio con distinta conductividad.

Es importante considerar ahora la trayectoria que describe el rayo a medida que se aproxima a la superficie de un medio diferente. El ángulo, medido desde una perpendicular a esa superficie, se denomina ángulo de incidencia del rayo sobre esa superficie.

También podría existir un ángulo crítico de incidencia de forma que excederlo puede dar lugar a una situación de no reflexión (propagación). En la transmisión de ondas de radio cuando las ondas que no son reflejadas "golpean" la capa de Heaviside unas son reflejadas y otras no. Las que no son reflejadas "golpean" la capa con un ángulo mayor que el crítico para la reflexión y de esta forma atraviesan la capa de Heaviside a lo largo de una línea refractada.

II.4. LAS LEYES DE LA REFLEXION Y LA REFRACCION.

A. Los rayos reflejados y refractados están situados en un plano que contiene el rayo incidente y la perpendicular (normal) a la superficie del material de reflexión o refracción, siendo el ángulo de incidencia igual al ángulo de reflexión.

B. La ecuación :

seno del ángulo de incidencia

$$\frac{\text{seno del ángulo de incidencia}}{\text{seno del ángulo de refracción}} = n_2 / n_1$$

seno del ángulo de refracción

donde n_2/n_1 es un número llamado índice de refracción (valor constante) del segundo medio con respecto al primero a través de los que pasa el rayo.

II.5. LEY DE SNELL.

Willebrod Snell fue la persona que descubrió la ley relacionada con estos fenómenos en el año 1621. Lo que él propuso es una ecuación que ha permanecido vigente durante varios cientos de años, que es importante para nuestro concepto de cómo viajan los rayos de luz a lo largo de nuestro "tubo luminoso". La expresión comúnmente utilizada de esta ley es:

$$\text{Ley de Snell} = n_1 \sin(\theta) = n_2 \sin(\delta)$$

lo cual dice simplemente que la relación de los índices de refracción es igual a la relación de los senos del ángulo de incidencia y el ángulo de refracción.

Observemos la siguiente figura :

Un rayo de luz que viaja a través de la cubierta y que penetra en el material del núcleo de la fibra, se curva un ángulo menor que el de incidencia. O por decirlo de otra manera, el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo de refracción.

II.6. EL PROBLEMA DE LA DISPERSION EN LAS FIBRAS OPTICAS.

La propagación monomodo se produce cuando el núcleo es muy pequeño (solamente una fracción del tamaño de un cabello humano). Esto hace que la unión de un número de fibras extremo con extremo (para formar un gran tramo de dichas fibras) resulte tarea complicada. El problema de la dispersión, dicho de forma sencilla, significa que varias frecuencias, y por tanto, varias longitudes de onda, se propagan por la fibra en unas condiciones que no son perfectas.

Los problemas de dispersión modal pueden afectar a la transmisión de cualquier información emitida por medio de impulsos de luz. Esto se denomina algunas veces como capacidad a la respuesta impulsiva de la fibra óptica. La dispersión modal y la del material tienden a ensanchar los impulsos de luz respecto del tiempo y aunque la transmisión de información pudiera haber comenzado con impulsos cortos y perfectamente espaciados, este tipo de dispersión puede ocasionar que los impulsos ocupen un gran intervalo de tiempo y de este modo reducir el espaciamiento temporal entre ellos llegando, en el peor de los casos, a solaparse los impulsos no existiendo así ni impulsos ni espacios. Habría únicamente un rayo de luz continuo en la salida. La dispersión relaciona, pues, la velocidad de propagación de las distintas frecuencias dentro de la banda de frecuencias transmitidas por la guía de luz óptica.

Tenemos que tener en cuenta que el modo y dispersión son términos importantes en fibra óptica de forma que

vamos a intentar profundizar en su interpretación. "Modo" está relacionado con el número y clase (longitud) de las longitudes de onda que podrían propagarse a través del núcleo de una fibra óptica y además el modo está relacionado con la propagación de estas longitudes de onda normalizadas o referidas a un kilómetro de longitud del material de la fibra óptica.

Si sabemos que un LED utilizado para excitar un haz de luz en una fibra óptica envía una banda de frecuencias luminosas por la fibra, entonces no tendremos ninguna dificultad en comprender la idea de que existen varias longitudes de onda o fuentes de onda que se mueven en el interior de ese material transparente. Tampoco deberíamos tener problemas al considerar el hecho de que algunas de estas ondas pueden viajar en una línea recta a través de la fibra y que algunas rebotan al ser reflejadas por la unión del núcleo y la cubierta. Todo ello necesitará de un largo período de tiempo para viajar desde el extremo de entrada de la fibra hasta el extremo de salida. Un LED puede tener una banda entre $+25\text{nm}$ y -25nm alrededor de una frecuencia central. El LED genera esta banda precisamente por la forma en que trabaja y por tanto tenemos un número de longitudes de onda intentando viajar a través de la fibra óptica cuando se la excita con una fuente. Algunas de ellas no consiguen llegar al final porque entran formando tal ángulo, que exceden el ángulo crítico de propagación de modo que se escapan hacia el interior de la cubierta y se pierden para siempre. Pero muchas de ellas penetran en la fibra con el ángulo cónico de aceptación necesario, y así se propagan en una dirección u otra a lo largo de la longitud de fibra. En términos técnicos, los modos son ángulos de incidencia discretos para los rayos de luz.

Recordando la tecnología y la historia del radar, vemos que cuando se desean impulsos de forma bastante abrupta es preciso poner muchas frecuencias juntas. Partiendo de esta premisa, si decimos que algunas frecuencias emitidas por una fuente de luz pulsante no alcanzan la salida de la fibra al mismo tiempo que otras frecuencias, significa que tenemos algunos retardos en la transmisión. Ello afecta probablemente a la forma del impulso en la salida (redondeándolo, haciéndolo menos definido, y así sucesivamente). Si estamos realizando una transmisión lenta de impulsos no existe ningún problema; ahora bien, seguramente los tendremos si nos encontramos en el margen de 50 megabits o superior. Retardos de este estilo provocan errores, pérdidas de impulsos y de su forma, y todo tipo de circunstancias negativas. Esta clase de retardos tiene un nombre, dispersión cromática, lo cual quiere decir que son retardos variables debidos a que varias longitudes de onda están intentando propagarse a través de la fibra óptica.

Hay otro efecto llamado dispersión multimodal. Es un concepto que se comprende si se recuerda que en el espectro electromagnético existen interferencias entre una onda y otra, tanto en el margen de luz visible como en el invisible.

Entre los efectos positivos en la transmisión de rayos de luz a través de la fibra óptica existe un efecto llamado mezcla de modos que puede tener lugar en los empalmes y en el interior de las propias fibras. Cuando los caminos de las diferentes frecuencias luminosas son distintos los rayos tardan tiempos diferentes en viajar desde la entrada hasta la salida. En la "mezcla de modos" existe una cierta interacción entre los diversos modos (caminos), de tal manera que el tiempo que tardan todos los rayos en llegar a la salida tiende a ser un valor medio. Ello significa que los retardos tienden a equilibrarse y que todos los rayos tienden a llegar a la salida al mismo tiempo. En realidad no es posible reducir el retardo a cero, por lo que todavía existirán algunos retardos, aunque no serán tan perjudiciales como si no existiera este fenómeno de mezcla.

Con una fibra óptica, incluso si está hecha de un plástico transparente, se puede "canalizar" la luz desde un punto a otro, introduciéndola en un extremo de la fibra, de tal forma que se produzca una reflexión total en la frontera de la salida de la varilla (donde la cubierta o el material que sirve de refuerzo se une a su superficie) si y sólo si la luz se introduce con un ángulo menor que el crítico. El ángulo crítico, bajo el cual la luz "golpea" la frontera de los dos materiales (sean plástico y aire u otros cualesquiera), es menor que aquél que permite a la luz pasar a través de esa frontera.

Dado que el ángulo crítico es aquel cuyo seno es $1,00/1,50 = 0,667$, el ángulo es de $41,7$ grados. Esto significa

que si los rayos de luz inciden sobre la frontera de la varilla de vidrio bajo un ángulo menor que aquél, medido desde la perpendicular al eje de la varilla, la luz escapará hacia el segundo medio a través de los límites de la varilla.

A menos que el ángulo de incidencia sea de 90 grados (ángulo bajo el cual todos los rayos de luz se escapan hacia el segundo medio y no viajan a lo largo de la varilla) algunos rayos se verán reflejados a lo largo de la varilla aún en el caso de que el ángulo sea menor que el ángulo crítico. Pero cuanto más próximo a 90 grados sea el ángulo incidente, menor será el número de rayos reflejados, hasta que al llegar a los 90 grados ninguno viajará por la varilla.

Hagamos una observación: como las imágenes son variaciones de la intensidad luminosa que incide sobre nuestros ojos, si pudiéramos hacer que estas variaciones de luz se dirigieran hacia nosotros a través de una fibra o de un haz de fibras ópticas, entonces podríamos "ver" cosas que estuvieran siendo enfocadas en el otro extremo de la fibra haciendo que dichos objetos estén adecuadamente iluminados. Un haz de fibras puede encauzar los rayos de luz y otro haz, utilizado con lentes amplificadoras, puede usarse para observar lo que ocurre en el interior.

Cuando estamos considerando la transmisión de imágenes empleando haces de fibras ópticas, debemos recordar que cada fibra transmite normalmente sólo un pequeño segmento de la imagen. Por esta razón, es corriente utilizar tales "haces" de fibras (en los cuales cada una lleva sólo una pequeña parte de imagen) para transmitir una escena desde un extremo al otro de la fibra. Los extremos de las fibras en el lado receptor son todos ellos visionados simultáneamente con el fin de poder ver la imagen.

Conocida la flexibilidad de las fibras, y puesto que tienen un diámetro muy pequeño, es posible recubrir las con algún material de refuerzo, de forma que los esfuerzos y tensiones mecánicas no les afecten.

Se ha descubierto que si algunas fibras son "afiladas" de forma que sean grandes en un extremo y más pequeñas en el otro extremo disminuyendo su sección en forma cónica, la extremidad mayor puede colocarse de manera que vea la imagen; luego, los propios rayos de luz la transportarán intacta a lo largo de la fibra para que se pueda ver con relativa facilidad, utilizando lentes de aumento que pueden o no estar físicamente aplicadas en el otro extremo de la fibra. Hay otros fenómenos que se originan en la reflexión y la refracción de la transmisión de rayos de luz. Es la llamada "refracción doble", de importancia porque puede facultar la división de un rayo y tener dos secciones o haces que estén polarizados perpendicularmente entre ellos. Un sistema de fibra óptica no debe ocasionar la cancelación de los rayos en su interior pues de lo contrario las pérdidas serían demasiado grandes para que dicho sistema de transmisión fuera práctico.

II.7. ANCHO DE BANDA.

Una de las consideraciones más importantes en la utilización de fibras ópticas y rayos de luz para transmisión de datos y comunicaciones es el hecho de que los rayos luminosos son prácticamente inmunes a las interferencias eléctricas cuando se envían sobre un camino de transmisión de fibra óptica. Las radiaciones electromagnéticas, como descargas eléctricas, rayos y efectos de diafonía que actúan como fuentes de interferencias, son prácticamente eliminados en un sistema de transmisión por fibra óptica.

Debemos tener presente el significado del uso de la luz y de las frecuencias luminosas en las comunicaciones. Si consideramos el hecho de que para la transmisión de información es necesaria una pequeña banda de frecuencias (quizás del orden de los kilohertzios), pensemos entonces en la cantidad de bandas que puede contener la región luminosa del espectro de frecuencias sin que se interfieran unas con otras. Además, como las bandas pueden hacerse más anchas, es posible transmitir información a velocidades mucho mayores. Podrían llegar a usarse velocidades del orden de los gigahertzios e incluso superiores y aún así nos quedaría una anchura de banda suficiente para poder manejar un gran número de canales simultáneamente. En los sistemas de fibra óptica pueden enviarse datos digitales y analógicos de manera conjunta sin ningún tipo de

problemas. Esto significa que los costes son menores que con los cables de cobre, hay también menor diafonía e interferencias, una menor cantidad de cables significa que casi inevitablemente, más tarde o más temprano todos los canales de comunicaciones telefónicas utilizarán este medio para la transmisión de datos, teléfono, telégrafo y señales de video.

II.8. IDEAS ASOCIADAS CON LA FIBRA OPTICA.

Si queremos enviar información a través de fibras ópticas que sean de un tipo determinado y construidas de forma que los rayos de luz viajen por su interior, en primer lugar debemos tener fibras de una pureza y composición necesarias para que esta luz pase fácilmente y sin mucha atenuación. En segundo lugar, precisamos alguna clase de fuente de luz que emita un haz brillante y muy direccional, de manera que podamos introducirlo en la fibra óptica con la mayor eficiencia posible. Las fibras tienen un diámetro muy pequeño (una fracción de milímetro) y que deben poseer una composición tal que las pérdidas de luz sean menores de 20dB/km.

Con el canal disponible dentro de la resistencia y del estado de pureza requeridos y con los LEDs y los laseres de estado sólido como fuentes luminosas. Los diodos tipo PIN y APD poseen la eficiencia de conversión de luz a electricidad necesaria, son de pequeño tamaño y además tienen un tiempo de recuperación lo bastante rápido.

II.9. FIBRAS OPTICAS DE PRUEBA DE LA CAPACIDAD DE TRANSMISION.

Se ha descubierto por medio del análisis matemático y también a través de experimentos que en varios materiales existen las llamadas "ventanas ópticas". Esto significa que a unas determinadas frecuencias, las ondas pasaran a través de esos materiales más fácilmente que a otras frecuencias (luminosas). Parece ser que en el caso de las fibras ópticas, si tenemos frecuencias por encima de unas 1,28 micras (o en la región infrarroja), los efectos de dispersión y de las pérdidas de material debidas a la propagación de las ondas tienden a cancelarse unas con otras y crear "ventanas" (significando una transmisión a esas frecuencias realmente buena pues se han reducido las pérdidas en la fibra). Algunos experimentos tienden a demostrar que trabajando en frecuencias aún mayores que las infrarrojas, se puede llegar a conseguir unas características de transmisión, incluso sobre distancias superiores que las que hasta ahora se habían alcanzado.

Lo que nosotros deseamos es la "ventana" apropiada para que los rayos de luz puedan ser enviados a nuestros dispositivos entrada/salida y obtener las mejores características de computación, control y comunicación. Esto quiere decir que los dispositivos de salida deben ajustarse a la fibra óptica para la transmisión de las frecuencias de la luz apropiadas con la intensidad correcta, así como con el ángulo de entrada y la polarización adecuadas. El dispositivo de entrada debe ser diseñado de forma que acepte eficientemente esa polarización para asegurar un sistema lo más fiable, eficiente y de coste eficaz.

III. EMISORES Y RECEPTORES.

III.1. ELEMENTOS BASICOS DE UN SISTEMA DE FIBRA OPTICA.

Hay tres elementos primarios en un sistema de fibra óptica para comunicaciones:

El primer elemento es el transmisor, es decir, la unidad que debe generar los rayos de luz, que puede ser conectada y desconectada muy rápidamente y/o modulada por algún tipo de señales que representen información.

El segundo elemento es la fibra óptica, el cual debe tener una cubierta y un "encapsulamiento", así como una pureza que le hagan fuerte y transparente a las frecuencias de luz que se van a utilizar. Debe poder ser empalmada y reparada cuando sea necesario y tener capacidad para llevar los rayos de luz a una distancia

razonable antes de que una estación repetidora tenga que reamplificar la luz para hacer posible que ésta atraviese la distancia casi total en la cual debe viajar. En algunos casos hay que usar muchas estaciones repetidoras.

El tercero es el elemento receptor. Debe reconvertir esos rayos de luz en voltajes y corrientes analógicas o digitales de forma que la estación del usuario pueda separar y utilizar las señales de información que se habían transmitido.

III.2. SISTEMAS DE CONEXIÓN.

Una conexión óptica necesita un emisor y un receptor óptico. Pueden considerarse diferentes tipos de componentes. El dibujo muestra la estructura de un enlace por fibra óptica.

La información digital es modulada por un emisor de luz que puede ser:

- . un diodo electroluminiscente: LED (Light Emitting Diode), que no incluye cavidad láser;
- . un diodo láser;
- . un láser modulado.

El fenómeno de dispersión es menos acentuado si se utiliza un láser, por tanto, éste permite obtener una potencia óptica superior a la de los LED, pero con un coste mayor. Además, la vida útil de un láser es inferior a la de un diodo electroluminiscente. Sin embargo, su utilización es necesaria en el caso de la fibra monomodo.

Se distinguen dos tipos de receptores:

- . los diodos PIN (Positive Intrinsic Negative);
- . los diodos de avalancha.

Son los componentes extremos (emisores y receptores) los que limitan la velocidad que se puede alcanzar con las fibras. Las conexiones permanentes son realizadas uniendo los extremos finales (por soldadura, pegado...), las provisionales se realizan por medio de conectores o bornes que permiten múltiples conexiones y desconexiones. Existen numerosas redes que utilizan la fibra óptica, como, por ejemplo, la Matracom 6500 (antigua Carhage).

III.3. EL EMPLEO DE LEDS PREENFOCADOS.

Algunas compañías están fabricando LEDs preenfocados para utilizarlos con las fibras ópticas. Una de ellas es Honeywell Optoelectronics Division. Las lentes forman una parte integral del vidrio o plástico que envuelven al LED, tal y como se muestra en la figura. Parece ser que estos LEDs, de plástico, son de bajo coste y pueden ser utilizados con cables de fibra óptica que enlazarán computadores caseros, aparatos de TV y sistemas de distribución de TV por cable, así como los periféricos del computador (impresoras, ficheros, etc.).

En la fabricación de LEDs, utilizando una cubierta de plástico, la lente está sujeta de manera rígida en el extremo de la unidad, y puede tener forma esférica.

IV. CONECTORIZACION.

IV.1. RESISTENCIA DE UNA FIBRA OPTICA.

Se dice que la resistencia teórica del cristal de sílice es de un millón de psi. En los laboratorios de la Northern Telecom se han medido resistencias con esfuerzos de tracción de alrededor de 5kg de fuerza. Pero en la Northern Telecom es normal probar las fibras con niveles de resistencia entre 300 y 500g para desechar las que sean más débiles. A veces, aparecen este tipo de fibras, que tienen fracturas u otras imperfecciones, pudiendo causar problemas si se llegaran a utilizar. Así pues, las fibras deben ser cuidadosamente seleccionadas después de las medidas para asegurar que sus propiedades son correctas (bajas pérdidas en la transmisión de luz y una resistencia a la tracción suficiente para soportar su instalación y posterior uso). Las pruebas que se realizan con las fibras son muy exigentes: altas temperaturas, humedad, inmersión en agua y exposición a ácidos y otros tipos de soluciones que pudieran llegar a encontrarse. Con el fin de minimizar las tensiones mecánicas que podrían provocar fallos prematuros, se suele tener cuidado durante la instalación para evitar curvaturas muy pronunciadas y para no tener que hacer empalmes en las curvaturas.

IV.2. TRATAMIENTO DE LARGAS RUTAS CON FIBRA OPTICA.

La consideración de las pérdidas y de las roturas en los hilos, fibras o cables es algo importante, siempre que la distancia esté por medio. Las pérdidas debidas al sistema de transmisión son compensadas por repetidores y/o amplificadores. Las roturas implican empalmes y uniones en los extremos del cable, fibra, etc. Cuando se reamplifica la señal, los repetidores deben estar situados a la distancia adecuada, de forma que las pérdidas no lleguen a ser tan grandes como para que la información no pueda ser reamplificada. Hay que ser capaz de detectar claramente las señales para amplificarlas y enviarlas de nuevo.

El empalme de los cables puede presentar un problema algo diferente. El empalme de los hilos de cobre es sencillo. Simplemente, se localiza la rotura, se trenzan o se aseguran mecánicamente los extremos de la línea partida, se les suelda a continuación para obtener una robustez y una conductividad eléctrica aceptables y tras aislar la unión ya están listos para entrar de nuevo en funcionamiento.

La reparación de una fibra óptica lleva consigo la obtención de extremos perpendiculares en ambas secciones, aproximarlos uno al otro para lograr un ajuste a presión perfecto y mantener así ambos segmentos mientras que se esté utilizando el sistema. Estamos pues, ante un problema considerando que manejamos fibras de 300 micras de diametro y que la unión de ambos extremos, perfectamente paralelos entre sí, debe estar muy bien hecha. Un cable de fibra óptica puede tener únicamente fibras ópticas o incluso puede incorporar algún hilo conductor de cobre para pruebas, medidas, etc; además, los propios cables pueden estar sujetos a diversos tratamientos químicos susceptibles de actuar sobre el material del cable tal y como no se desea. También cabe pensar en la existencia de algunos efectos provocados por radiaciones nucleares, lo que no es muy probable. Pero lo que sí pudiera suceder es que el cable esté sujeto a tensiones, retorcimientos, vibraciones y compresiones.

El cable debe diseñarse para que tenga un mínimo de pérdidas. La Bell Northern ha conseguido una atenuación menor que 3dB/km a una longitud de onda de 840 nm. Este cable tiene un núcleo flexible de hebras de acero cubierto con un plástico acanalado para poder acomodar en su interior las fibras ópticas y los pares de hilo de cobre. Hay conductos separados con fines de control, medidas y pruebas. Es normal utilizar una corriente DC para propósitos de control, pero los rayos luminosos tienen que ser modulados y demodulados para conseguir el mismo control colectivo. El cable debe estar envuelto por un material que pueda resistir el entorno cualquiera que sea éste.

IV.3. EMPALME DE FIBRAS OPTICAS.

IV.3.1. MÉTODOS PARA EMPALMAR FIBRAS ÓPTICAS.

A . El método del arco. Una máquina especial prepara los extremos de la fibra, suministra el arco y a continuación une ambos extremos por fusión molecular. Un manguito cubrirá el empalme, reforzándolo.

B. Unión por presión de dos fibras cuyos extremos han sido cuidadosamente cortados y son perfectamente planos y paralelos. Un revestimiento metálico cubre la cubierta y el plástico protector de la fibra y mantiene ambos extremos unidos. Este método no es tan bueno como otros, pues pueden existir tirones que separen las fibras.

C. Se utiliza el pegamento óptico para unir los extremos y después el revestimiento metálico cubre el empalme para dar robustez a la unión.

IV.3.2. OBSERVACIONES REFERENTES A LOS EMPALMES ENTRE FIBRAS ÓPTICAS.

Cuando se empalman los extremos de dos fibras ópticas, la primera consideración es hacer esto de tal manera que no se produzcan excesivas pérdidas de energía luminosa en el empalme. Esto significa, en primer lugar, que los extremos de las fibras tienen que ser prácticamente "planos", es decir, que deben ser cortados perpendicularmente al eje de la fibra, de la manera más perfecta posible. Recuerde que la fibra es un tipo de vidrio.

Un empalme exige que las fibras sean correctamente preparadas antes de la operación. Deben estar perfectamente alineadas y de alguna manera conectadas entre sí lo más próximas como sea posible, bien utilizando un líquido adhesivo igualador de índice, bien físicamente, o de alguna manera en que se mantenga la integridad de la fibra, incluso cuando el vidrio sea calentado hasta el punto de reblandecimiento, como en el caso del empalme por fusión.

IV.4. PROBLEMAS DE LA CONECTORIZACION.

El problema que aparece al utilizar fibras ópticas si éstas están conectadas rígidamente a los dispositivos terminales. Si la fibra no se encuentra bien sujeta por medio de un conector terminal, podría deslizarse, produciéndose pérdidas y reduciendo la transmisión de luz. Si por el contrario, la conexión es muy rígida, cualquier retorcimiento o curvatura que se produzca en la fibra provocaría una fractura y dejaría la guía de luz fuera de servicio.

Un invento que parece ofrecer una solución, consiste en la sujeción del cable de fibra óptica a un terminal por medio de un anillo elástico o de resorte para obtener una conexión giratoria donde una de las partes del dispositivo va sujeta al terminal y la otra a la contera, mientras que una tercera sujeción comprime el anillo elástico. Con este último montado en el terminal, se engarza el anillo, presionando de forma que el terminal pueda ser completamente insertado en la contera hasta que dicho anillo quede atrapado en su interior.

V. ATENUACION.

V.1. PERDIDAS EN SISTEMAS DE FIBRA OPTICA.

Cuando situamos energía luminosa dentro de una fibra óptica nos damos cuenta de que, inevitablemente, la energía luminosa se debilita a medida que va viajando. Esto se debe a la atenuación de la señal por el material de la fibra que absorbe parte de la energía al paso de los rayos de luz. Es muy importante considerar qué cantidad de pérdidas pueden ser toleradas en los diferentes tipos de sistemas que podrían utilizar fibras para la transmisión de información.

En aplicaciones como sistemas telefónicos donde se utilizan "camino" muy largos de fibras ópticas (distancias mayores incluso que 20 km) la eficiencia de las fibras para la transmisión de rayos de luz debe ser superior, con pérdidas iguales o menores de 5 decibelios por kilómetro. Algunos tipos de fibras utilizadas actualmente tienen pérdidas de sólo 2 ó 3 decibelios por kilómetro si la frecuencia de luz está entre 800 y 900 nm. Esto es lo que se llama la región de "longitud de onda corta".

Hay que tener en cuenta que en sistemas de largo recorrido, la luz puede ser reforzada en diversas estaciones situadas a lo largo del camino. No es deseable que esta amplificación (por medio de estaciones reperidoras) sea tan elevada que origine un coste prohibitivo.

VI. NORMATIVA.

Algunas normas propuestas para las redes locales, así como los trabajos de la ANSI para el FDDI:

VI.1. LA NORMA ISO 8802.3 (IEEE 802.3).

La norma ISO 8802.3, que deriva de la proposición IEEE 802.3, describe una red local en banda base a 1 mbit/s o 10 Mbit/s, utilizando un método de acceso de tipo CSMA/CD. En ella se definen:

- . las características mecánicas y eléctricas de la conexión de un equipo al soporte de comunicación;
- . la gestión lógica de las tramas;
- . el control de acceso al soporte de comunicación.

En realidad, no hay una norma única, sino seis normas ISO 8802.3. Estas seis normas definen las condiciones de uso de la técnica misma de acceso, el CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection), del que vamos a recordar su principio.

Las diferencias entre las seis normas provienen del cableado utilizado y, por tanto, de las velocidades que se pueden alcanzar y las longitudes máximas sin repetidor. Estas seis normas son:

- . ISO 8802.3 10 base 5
- . ISO 8802.3 10 base 2
- . ISO 8802.3 10 broad 36
- . ISO 8802.3 1 base 5
- . ISO 8802.3 10 base T
- . ISO 8802.3 10 base F

Hay otras dos normas en curso:

- . ISO 8802.3 100 base VG
- . ISO 8802.3 100 base T

Vamos a ver algunas normas que afectan a la fibra óptica:

VI.1.1. NORMA ISO 8802.3 10 BASE F.

Esta técnica está en trámite de normalización. Afecta a una red de 10 Mbits/s de fibra óptica, con una topología idéntica a la de Starlan (cuya arquitectura es en estrella alrededor de un nodo llamado hub, los hubs están conectados entre si, formando los niveles de una arquitectura en árbol, y ya no se utiliza el cable coaxial). El cable de doble fibra puede tener varios diámetros: 50/125, 62,5/125, 100/140. Los nodos son

reemplazados por estrellas pasivas o activas que difunden las señales. La distancia entre repetidores es de 2,5 km. El transceptor está adaptado a la fibra óptica y permite detectar numerosas averías hacia la parte terminal. Su utilización está recomendada en entornos perturbados y/o para obtener un nivel de seguridad mayor que en las redes Ethernet.

VI.2. NORMA IEEE 802.6 (DQDB).

La red DQDB (Distributed Queue Dual Bus) ha sido elegida por la IEEE en el grupo de trabajo IEEE 802.6 como red básica para las comunicaciones llamadas metropolitanas, es decir, sobre un gran campus o en una ciudad. Por tanto, el comité IEEE 802.6 ha adoptado esta proposición como una red de tipo MAN. En realidad, la proposición es mucho más amplia y puede llevarse a cabo para cualquier distancia. Se ha elegido la capacidad útil de 144 Mbits/s para que se pueda adaptar a las redes digitales de servicios integrados de banda ancha. La norma DQDB utiliza dos soportes unidireccionables siguiendo una topología en bus.

Los dos extremos tienen sentidos de transmisión opuestos. Los nodos están conectados sobre los dos buses para, por un lado, tomar la información procedente de las estaciones que están por detrás y, por otro lado, para emitir hacia las estaciones que están por delante. La comunicación utiliza un único bus, al que el destinatario puede estar unido, salvo en el caso de difusión de mensajes. Una información difundida será, por tanto, emitida sobre los dos buses.

El soporte utilizado puede ser fibra óptica o cable coaxial; de cualquier forma, esta técnica necesita un soporte activo (el medio debe tener la posibilidad de ser interrumpido para introducir en él un registro de desplazamiento). La técnica de acceso asociada no es una disciplina Ethernet, sino un método que evita las colisiones sobre un soporte en bus.

En cada extremo de los dos cables se sitúa un generador de tramas cuya finalidad es emitir muy regularmente una estructura de trama, que sincroniza las diferentes estaciones conectadas. En los elementos o "slots" de esta trama, los nodos pueden depositar bytes síncronos.

El número y tamaño de los elementos de trama dependen de la capacidad del soporte. Para obtener un canal síncrono, el usuario debe reservar un "slot" sabiendo que el flujo obtenido por la reserva de un byte es de 64 kbits/s.

La técnica propuesta para el acceso al canal asíncrono se llama QP (Queued Packet); se realiza gracias a un contador que, cuando está a 0, indica que el nodo puede transmitir en el próximo "slot" libre. Los "slots" que han sido reservados para comunicaciones síncronas en modo circuito no son contabilizadas y son transparentes para el método de acceso.

La red DQDB es una buena solución para unir paneles de distribución. Permite, del mismo modo que el bucle sincronizado o la estructura FDDI, conectar a la vez vías informáticas y circuitos telefónicos hacia el autoconmutador (PABX) y los ordenadores centrales (mainframes) de la empresa.

VI.3. NORMA FDDI.

Las redes FDDI también forman parte de las redes de tipo MAN.

VI.3.1. FDDI.

La técnica FDDI (Fiber Distributed Data Interface) propuesta por el Comité X3 T9.5 del ANSI ha sido normalizada por el ISO. Esta propuesta, que especifica los niveles físicos y MAC de un bucle basado en el concepto de testigo sobre fibra óptica, consiste a nivel MAC en un protocolo de acceso que permite que fuentes síncronas y asíncronas compartan el soporte. El flujo máximo de una red FDDI es 100 Mbits/s, su

topología es un doble anillo (ver dibujo) que puede alcanzar 200 km de circunferencia, sobre el cual se pueden conectar en torno a 500 estaciones (estando cada estación conectada a cada uno de los anillos).

La norma FDDI se descompone en:

- . un nivel físico, PL (Physical Layer), dividido en dos subniveles: el PMD (Physical Medium Dependent) y el PHY (PHYsical Layer Protocol);
- . un nivel de enlace de datos, DLL (Data Link Layer), dividido en dos subniveles: el MAC (Medium Access Control) y el LLC(Logical Link Control);
- . un estándar de gestión de estación, SMT (Station Management), que suministra el control necesario, a nivel de la estación, para gestionar los procesos situados en los diversos niveles de FDDI.

a) Nivel Físico

El nivel físico PL (Physical Layer) está constituido por dos subniveles:

. La subnivel PMD (Physical Medium Dependent), que ofrece todos los servicios necesarios para las comunicaciones digitales punto a punto entre las estaciones de una red FDDI, es decir, para la transmisión de oleadas de bits codificadas de una estación a otra. El PMD define y caracteriza los emisores y receptores ópticos, los inconvenientes de código impuestos por el soporte, los cables, los conectores, el balance energético, los repetidores ópticos y otras características físicas. El subnivel PMD es objeto de una norma: la ISO 9314.3. En esta norma están definidos:

- el soporte, para el cual hay dos posibilidades: la fibra óptica multimodo de 62,5/125 μ m de diámetro y el balance óptico de 11 dB, o bien la fibra óptica monomodo. La utilización de la fibra óptica monomodo. La utilización de la fibra óptica monomodo permite establecer enlaces de una treintena de kilómetros entre las estaciones, enlaces limitados a 2 kilómetros con las fibras multimodo.
- la longitud de onda: 1.300 nm;
- el emisor: LED;
- el conector: doble conector ST.

. El subnivel PHY (PHYsical Layer Protocol), que es objeto de la norma ISO 9313.1. Permite la conexión entre el PMD y el DDL. El nivel PHY es responsable de la sincronización y de la codificación y decodificación. Se utilizan dos niveles de codificación: el PHY convierte los símbolos procedentes del MAC en bits codificados en NRZ, el código utilizado es un código de grupo de tipo 4B/5B, un grupo de 4 bits de datos está codificado en un grupo de 5 bits codificados en NRZ, que a su vez están codificados en una secuencia de 5 bits codificados en NRZI.

b) El subnivel MAC (ISO 9314.2)

Este subnivel está destinado a ser utilizado sobre una red de altas prestaciones. Este protocolo está pensado para ser operativo a 100 Mbits/s sobre un bucle en anillo basado en testigo y un soporte de fibra óptica, pudiendo cubrir distancias de varias decenas de kilómetros. El acceso al soporte está controlado por un testigo; una estación que haya capturado el testigo lo retransmite inmediatamente por el soporte una vez que haya terminado su transmisión. Se han diferenciado dos clases de servicios sobre una red FDDI.

- . servicio síncrono:

. servicio asíncrono.

La clase de servicio síncrono responde a aplicaciones que necesitan una banda de paso de alta capacidad y/o un tiempo de propagación en el encaminamiento determinado, con problemas si varían estos tiempos.

La clase de servicio asíncrono satisface los inconvenientes de tráfico de tipo asíncrono, presentando cierta cantidad de banda de paso compartida por todas las estaciones que utilicen este método.

Con el fin de ofrecer un servicio satisfactorio al tráfico síncrono, el tiempo de rotación del testigo está controlado. Es decir, que el tiempo total utilizado por el testigo para recorrer toda la red debe resultar inferior a un umbral determinado por las aplicaciones que utilicen la red. Un valor determina el tiempo de rotación del testigo: el TTRT (Target Token Rotation Time), que se establece durante la inicialización de la red. El valor TTRT se carga en un temporizador, llamado TRT (Token Rotation Timer) que controla la adquisición del testigo para la transmisión de las tramas en espera. El testigo puede ser capturado para transmitir una trama síncrona independientemente del valor del TRT, mientras que sólo será código para transmitir una trama asíncrona si el tiempo del TRT no ha expirado. Opcionalmente, pueden distinguirse varios niveles de prioridad dentro del tráfico asíncrono de una estación, lo que permite controlar la banda de paso ofrecida a estas diferentes fuentes asíncronas. Cuanto más elevada sea la prioridad de una estación, mayor es la banda de paso disponible para las fuentes asíncronas de esa prioridad.

c) El subnivel SMT

Este subnivel todavía no está normalizado. Proporciona servicios tales como el control de inicialización del sistema, la gestión de la configuración, la desconexión del nuevo elemento asociado, así como los procedimientos de planificación.

VI.3.2. FDDI-II.

En 1985 surgió la necesidad de una red local capaz de soportar simultáneamente voz y datos. El protocolo FDDI-I se reveló inadecuado para este tipo de aplicación, principalmente en redes con gran número de nodos. Así, pues, se propuso una nueva versión del bucle FDDI, principalmente a iniciativa de especialistas en telecomunicaciones, como la British Telecom y AT&T, también basada sobre bucles de fibra óptica. A fin de ofrecer una calidad de servicio adecuada para la voz, el protocolo FDDI-II utiliza una técnica de conmutación híbrida. De esta forma, la norma FDDI-II ofrece procedimientos de conmutación de circuitos para tráficos de voz y vídeo y, de conmutación de paquetes, para los datos.

FDDI-II es una propuesta de norma americana de la ANSI (Comité X3T9.5) para una red local de 100 Mbits/s de capacidad con una longitud de más de 50 km. Se trata de un doble bucle, con control de acceso por testigo. FDDI-II es una extensión de la norma FDDI-I, que añade una trama síncrona. La banda de paso está constituida por la trama asíncrona y 16 canales síncronos que contienen 96 "cyclic groups" de 16 bytes cada uno. El flujo síncrono alcanza, por consiguiente, $16 \times 96 \times 8 / 125 = 98.304$ Mbits.

VI.3.3. TPDDI o CDDI.

La norma FDDI ha sido ideada hace más de diez años para ser utilizada exclusivamente con fibra óptica; sin embargo, sus principios pueden aplicarse a pares trenzados.

La utilización de la FDDI sobre pares trenzados: TPDDI (Twisted PAir Distributed Data Interface), llamada incluso CDDI (Copper Distributed Data Interface), permite reducir considerablemente el coste de las conexiones. Las distancias son claramente más cortas: de una treintena a un centenar de metros, dependiendo de la calidad de los pares metálicos.

TPDDI puede descomponerse en dos subclases:

. TPDDI sobre STP (Shielded Twisted Pair), para la utilización de FDDI sobre pares trenzados blindados. Algunas sociedades, como Cabletron, chipcom y Synoptics especialmente, ya se han inclinado hacia la realización de tarjetas de este tipo. Estas tarjetas permiten la comunicación a 100 Mbits/s sobre un cable de par trenzado blindado;

. TPDDI sobre UTP (Unshielded Twisted Pair), para la utilización de FDDI sobre pares trenzados sin blindar. Se han hecho algunos pronunciamientos referentes a la realización de una red FDDI sobre este tipo de pares. AT&T, Apple Computer, Cabletron, Fibronics y Ungermann-Bass –que incluso se han asociado en un grupo llamado UTPF (Unshielded Twisted Pair Foundation)–, con el fin de potenciar los productos FDDI sobre UTP.

De esta forma, cabría esperar al menos dos normas ANSI relativas a la FDDI sobre pares trenzados: la primera para la utilización del par trenzado blindado (tipo 1 y 2 de IBM); la segunda para el par trenzado sin blindar, previsto para distancias inferiores a 100m.

VII. FABRICACION Y USO DE FIBRA OPTICA.

VII.1. INTRODUCCION.

Para la fabricación de fibra óptica, se calienta arena, sílice y quizás algunos otros productos químicos hasta que se fundan. Se les remueve hasta que formen una mezcla uniforme. A continuación, se comienza a formar la varilla de vidrio de manera muy similar a como se hizo en cobre. En el proceso de estiramiento del vidrio, es posible que deba añadirse calor para mantener la correcta plasticidad del material, de tal manera que se consiga ese minúsculo tamaño de las fibras ópticas.

El estirado de diversos tipos de fibras ópticas se realiza en máquina. En esta máquina de fabricar fibra óptica se añade calor en los "lugares de estiramiento", de forma que la fibra de vidrio se convierta en plástico y alcance su diminuto diámetro. Algunas máquinas controlan el tamaño de la fibra para asegurar que se mantiene el diámetro correcto.

El problema de la dispersión, significa esencialmente, que para ciertas clases de fibras y para ciertos métodos de propagación a través de estas fibras, no es posible distinguir los impulsos de salida en el peor de los casos, y en los otros quedan muy distorsionados, debido a que no todas las frecuencias de luz involucradas en los impulsos se transmiten de igual manera, con la misma eficiencia y con igual fase o tiempo. Por tanto cuando se recombinan a la salida de la fibra, la señal puede ser realmente confusa, en lugar de obtener abruptos y claros. Sabemos que las fibras ópticas cuyo índice de refracción varía gradualmente ofrecen una dispersión menor del impulso que una fibra de índice de refracción de acuerdo con las especificaciones científicas para conseguir así la mejor transmisión de luz posible. Existen máquinas que son capaces de lograr ese índice de refracción gradual utilizando un método de posición y muchas capas de diversos materiales químicos.

En el proceso de fabricación se atiende al tamaño de las fibras.

VII.2. RESISTENCIA DE LA FIBRA OPTICA EN SU FABRICACION.

El problema en la fabricación que afecta a la resistencia de la fibra es la existencia de defectos en la fabricación del vidrio, lo cual limitará dicha resistencia ante tensiones y esfuerzos.

Podríamos imaginar que la resistencia de una fibra óptica pudiera estar relacionada con su longitud. Es natural que cuanto más larga sea la fibra fabricada, más probable será la existencia de defectos generados o aparecidos debidos a "circunstancias fuera del control de la producción" que más tarde provocarán problemas

de fractura.

En fabricación se llevan a cabo todo tipo de esfuerzos para hacer que una fibra sea resistente.

VII.3. PROBLEMAS DEL USO DE FIBRA OPTICA CON COMPUTADORES.

La utilización de fibras ópticas en aplicaciones de computadores presenta algunos problemas relacionados con informes y estudios que hasta la fecha han circulado. Uno de los mayores de estos problemas, es la rotura de las fibras cuando se utiliza en cables y en conectores. Esto será superado con el tiempo cuando se fabrique un producto de superior calidad y se mejoren las técnicas de fabricación.

Pero la investigación superará estos problemas, siendo sólo cuestión de tiempo y de inversiones monetarias en el estudio.

Por supuesto, todos los equipos asociados (fuentes de luz, receptores, equipos de interconexión, etc.) que deben utilizarse con los computadores, tendrán que ser igualmente desarrollados a gran velocidad. Pero, una cosa es cierta: con las ventajas en cuanto a operación, coste, eficiencia y tiempo, no existe ninguna duda de que estas pequeñísimas fibras ópticas y todos sus elementos asociados (conectores, empalmes, equipos de interconexión y de control, etc.) van a ser en un futuro próximo una consideración de primer orden en el mundo de los computadores.

VII.4. DISPOSITIVOS DE MEDIDA DE FIBRA ÓPTICA.

Es necesario un sistema de medidas que determine la eficiencia del canal de luz que utiliza fibra óptica. Un invento que describe cómo puede medirse una guía de luz utilizando una combinación de propiedades ópticas consiste en la inyección, en uno de los extremos de la fibra, de un impulso de luz polarizada. Las reflexiones que se producen en las discontinuidades, que no están polarizadas, se hacen incidir sobre un detector de luz, de forma que los impulsos de luz polarizada no puedan alcanzar dicho detector.

VII.5. UTILIZACIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS EN COMPUTACIÓN.

Sperry Research ha desarrollado un sistema de bus de datos de doble seguridad incorporado a varios terminales. El bus de datos está en un sistema de funcionamiento en serie, consiste en un terminal principal que contiene una unidad principal de procesos (CPU), fuentes LEDs, un fotodiodo detector y diversos terminales remotos transmisorreceptor. El sistema de transmisión está formado por fibras multimodo y los datos pueden ser impresos o grabados en cada terminal del sistema. El propósito de la investigación era que el sistema continuara operativo incluso en el caso de fallo en la alimentación en uno o más de los terminales remotos.

Después de pensar en muchos tipos de terminales, se construyó uno colimado angular y un terminal espejo, compatibles ambos con fibras ópticas multimodo de bajas pérdidas, con apertura numérica de aproximadamente 0,15. Ambos dispositivos utilizan cristales de LiTaO₃ de 85 micras de espesor para controlar el flujo de luz, sirviéndose del efecto electroóptico para estos cristales. Se demostró finalmente que el sistema formado por tres espejos en los terminales cumplía los objetivos y proporcionaba una doble seguridad, cuando se ensamblaba en un sistema completo.

VIII. APLICACIONES EXPERIMENTALES.

VIII.1. UTILIZACIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS EN EXPERIMENTOS.

Cuando tengamos un cable de fibra óptica lo primero es cortarlo a la longitud necesaria, utilizando un cuchillo afilado o un cortador a presión. En segundo lugar, hace falta pulir los extremos de forma que se obtenga una

transmisión de luz óptima. Esto podría hacerse con una laca especial o a través de algún método de pulido por abrasión. Tome un poco de abrasivo, y sujetando cuidadosamente el extremo del cable cortado perpendicularmente a su eje, púlalo moviéndolo de manera adecuada contra una rueda de esmerilar muy fina. Podría utilizarse una arena húmeda con 40% de limadura y 60% de papel abrasivo, finalizando con la limpieza del pulido con una gamuza.

VIII.2. TERMINACIONES.

Estas terminaciones o terminales se colocan en el cable por medio de una conexión a presión que puede realizarse empleando un plástico termoretráctil, por medio de conectores de presión metálicos o pegándolos con un 'epoxy' especial, transparente a la luz, una vez seco. A partir de aquí podrían añadirse lentes a los extremos del cable, así como fieltros de diversas clases para limitar el tipo de luz (frecuencia o longitud de onda) que se propaga por las fibras.

un esquema del ángulo de aceptación de la luz para un cable Cofron de fibra óptica es interesante por su ángulo de aceptación. Observe la figura, hay que decir que en ella aparece únicamente el ángulo de aceptación de la luz, pero el ángulo de iluminación que emerge de la fibra y el ángulo de visión son exactamente iguales a aquél. Esta fibra hace que la entrada de luz sea relativamente sencilla.

VIII.3. LOS DISPOSITIVOS DE LUZ PARA COMPUTADORES NO SE LIMITAN A LAS FIBRAS ÓPTICAS.

Existe un informe de Hughes Aircraft Corp. que habla del desarrollo, por parte de su departamento de investigación, de un nuevo dispositivo lógico totalmente óptico y bipolar. Consiste en cuatro superficies reflectantes y una placa de arseniuro de galio no lineal. Proporciona conmutación de alta velocidad insensible a cualquier interferencia eléctrica aleatoria o constante. Se especifica que el dispositivo es capaz de bascular de manera fiable, con un tiempo de conmutación de hasta tres nanosegundos, y con un consumo de energía por debajo de los 100 microjulios. Con esta unidad, se pretendía un acercamiento al límite de conmutación teórico de 10 Ghz para aplicarla eficientemente en computadores, sistemas de control de vuelos, y procesadores de señal. Actualmente, se está intentando reducir aún más su tamaño para poderlo incluir en un chip de circuito integrado óptico.

VIII.4. COMPUTADOR CONTROLADO POR LUZ.

En 1981 se construyó en la Universidad de Ohio un computador digital completamente óptico. Este computador empleaba una válvula de luz de cristal líquido; tal dispositivo aceptaba imágenes ópticas (rayos de luz) y las devolvía con una haz luminoso completamente independiente, a partir de una lámpara de arco o de un láser. Lo importante es que los equivalentes ópticos de las puertas, y biestables lógicos electrónicos, fueron contruidos con estos dispositivos luminosos. Estos conforman de manera muy parecida el funcionamiento de los circuitos de puertas y de lógica transistorizada de los computadores electrónicos. Las operaciones en un computador óptico son mucho más rápidas, el computador es más inmune a interferencias y, por tanto, más fiable. Este 'computador de luz' utiliza fotones de la misma manera que emplea electrones. Las posibles conexiones entre las diversas gestiones del computador se realizan por medio de conectores y cables de fibra óptica. Los sistemas ópticos tienen las ventajas principales de seguridad (sin radiación) y de amplio ancho de banda, lo que significaría una velocidad mucho mayor en la transferencia de datos que la que sería posible con cables y electrónica convencional.

VIII.5. MODULACIÓN DE UN HAZ DE LUZ.

En Monterrey, California, se ha construido un sistema de comunicaciones ópticas utilizando en el transmisor un láser de inyección de pulsos de arseniuro de galio. El sistema trabaja a una frecuencia de repetición entre 8 y 15 kHz empleando el concepto de modulación por posición de impulsos (PPM) para transmitir información.

En el receptor se utilizó un diodo PIN. La modulación por posición de impulsos se empleaba tanto para transmitir información como para disparar el láser, de manera que los haces de luz generados tuvieran la misma configuración de impulsos.

VIII.6. ALMACENAMIENTO ÓPTICO.

En el campo de almacenamiento de información, puede parecer sorprendente que los sistemas de almacenamiento óptico ofrezcan una capacidad casi increíble de retener datos digitales. Un solo disco óptico, el cual se graba con un rayo láser especial siendo del tamaño de un disco musical de larga duración, puede llegar a almacenar miles de millones de bits de información. La cantidad de

datos que almacena depende del tamaño y espaciamiento de las perforaciones producidas por el láser en el disco y también por el tipo de codificación empleada. Se ha demostrado que en una sola cara de este disco pueden guardarse entre 500 y 50000 millones de bits.

Algunas de las ventajas de almacenamiento óptico giran en torno a la larga vida del disco, en comparación con el almacenamiento en un disco electromagnético. Pero también existen desventajas como la imposibilidad de borrar y cambiar datos de un disco. El porcentaje de fallos no debería ser mayor que 1 bit en 100000, lo cual es un factor realmente alto. Los usuarios de computadores se quejan de que esta tasa de errores no es lo suficientemente buena y que desearían llegar a tener un solo error entre diez billones de bits transmitidos o almacenados.

El mecanismo por el cual son almacenados los datos consiste en pequeñas perforaciones producidas por el láser; éstas, a su vez, producen una reflectividad diferente a una luz incidente que el material que las rodea. Si hay una buena reflexión, podría significar un 'uno', mientras que una perforación que originara mucha menor reflexión significaría un 'cero'.

También es necesario leer los datos. En primer lugar, debe existir una fuente de luz adecuada, consistente en otro láser de haz finísimo, y cables de fibra óptica para transportar la salida del rayo láser a un conjunto de lentes divisoras de haz, las cuales lo dividirían en dos caminos, de forma que uno de ellos se dirigiera al disco donde sería reflejado. La segunda mitad del haz se emplea para generar una señal de referencia con el fin de que la parte electrónica sepa si el haz reflejado es de total intensidad o es absorbido parcialmente por la perforación y tiene menor intensidad. Ambas condiciones extremas pueden ser así interpretadas como 'unos y ceros'.

VIII.7. DISPOSITIVOS DE ACOPLAMIENTO DE FIBRA ÓPTICA.

Existe una patente de una unidad portátil para acoplar fibras ópticas, consistente en un bloque aislante al cual se sujetan las fibras. Otro bloque piezoeléctrico se une a las fibras y se conecta a una fuente de energía. Cuando se aplica electricidad al elemento piezoeléctrico, se forma un arco a través de los electrodos que calienta las fibras hasta fundirlas, quedando unidas en caso de que estuvieran a la distancia adecuada. La unión es sólida y robusta y mejor que cualquier otro método de empalme como el de unión por presión de dos extremos planos y pulidos.

VIII.8. VIABILIDAD DE LAS FIBRAS ÓPTICAS.

Una de las áreas de desarrollo más importantes para incrementar el uso de las fibras ópticas se centra en el desarrollo de fuentes de luz y de detectores conversores de luz en pequeños encapsulados, de forma que puedan ser integrados en los extremos de las fibras ópticas. Ya se han construido fuentes de luz empleando pequeñas lentes, y los láseres y LEDs están siendo complementados por receptores que producen salidas lineales en amplios anchos de banda. Lo mejor, sería tener las fibras ópticas operando en monomodo para reducir las pérdidas por dispersión.

IX. REDES QUE UTILIZAN LAS FIBRAS ÓPTICAS.

IX.1. FDDI.

IX.1.1. INTRODUCCIÓN.

FDDI (Fiber Distributed Data Interface) es una evolución de Ethernet, token bus, ... a protocolos de mayores prestaciones. Propuesto por ANSI (standard X3T9.5).

Hacia 1980, comienzan a necesitarse redes que transmitan datos a alta velocidad. También se necesitaba transmitir datos en tiempos cortos y acotados. En respuesta a estas necesidades, se desarrolla FDDI. FDDI ofrece 100 Mbps, con hasta 500 estaciones conectadas y un máximo de 100 km entre ellas. Las estaciones se conectan en un doble anillo de fibra óptica por seguridad. Por su alta velocidad de transmisión, también puede usarse como una red de conexión entre redes más pequeñas. Esta es la función que cumple la red FDDI de la Universidad.

IX.1.2. FUNCIONES DE FDDI.

Las funciones de FDDI se define en el SMT (Station Management). Abarcan la capa física (PMD y PHY) y parte de la capa de enlace (MAC). Por ello, FDDI se instala en los niveles más bajos de la torre OSI. No habría problemas en usar otros protocolos para las capas superiores, en principio. Por contra, las implementaciones sólo han conseguido encapsular correctamente ARP e IP sobre FDDI.

IX.1.3. NIVEL FÍSICO:PMD.

En el nivel dependiente del medio (PMD), FDDI no impone restricciones al tipo de fibra que debe usarse. Puede utilizarse fibra multimodo (MMF), o fibra monomodo (SMF). Las fibras serán de dimensiones 62,5/125 o 85/125 (diámetro del núcleo/diámetro de la fibra). MMF necesitar mejores emisores y receptores que SMF para mantener las mismas longitudes de enlace. En cualquier caso, la potencia de transmisión mínima es de -16 dBm y la potencia recibida mínima es de -26 dBm, lo que deja un margen de 11 dBs para pérdidas. Los transmisores pueden ser LED o láseres. Los receptores pueden ser diodos PIN o de avalancha. Se trabaja en la ventana de 1300 nanómetros. En una misma red puede haber enlaces con fibras MMF y SMF, aunque deben examinarse con cuidado. Se recomienda emplear conectores SC preferentemente. También pueden emplearse conectores ST. La probabilidad de error requerida es $4 \cdot 10^{-11}$.

IX.1.4. NIVEL FÍSICO:PHY.

El otro subnivel físico, PHY, define el protocolo de introducción de datos en la fibra. FDDI introduce redundancia en los datos en transmisión. Usa un código 4B/5B, transmite 5 bits por cada 4 bits que le envía el nivel superior. La elección de los códigos se hizo para equilibrar la potencia en continua del código, y evitar secuencias de 0's o 1's demasiado largas. El régimen binario efectivo que soporta la fibra son 125 Mbps.

MAC define la longitud máxima de trama en 4500 bytes para evitar problemas de desincronización. No hay longitud de trama mínima. El formato de trama es:

PA = Preámbulo: 30 caracteres IDLE, para sincronismo.

SD = delimitador de inicio. No se repite en el campo de datos.

FC = control de trama. Tipo de trama (síncrona, ...).

DA = Dirección de destino.

SA = Dirección de destino.

INFORMACION: Datos transmitidos.

FCS= Redundancia de la trama con CRC-32.

ED = Delimitador de fin de trama. No se puede repetir en el campo de datos.

FS = Frame Status. Receptor informa a origen del resultado de la trama (trama errónea, bien recibida, ...)

Una estación que está transmitiendo trama debe retirarla del anillo. Mientras lo hace, puede introducir nuevas tramas, o transmitir caracteres IDLE, hasta retirarla completamente. Dado que protocolos superiores (UDP, por ejemplo) definen longitudes de trama diferentes, las estaciones deben estar preparadas para fragmentar/ensamblar paquetes cuando sea necesario.

IX.1.5. NIVEL DE ENLACE:MAC.

MAC aporta las mayores novedades de FDDI. FDDI soporta dos tipos de tráfico:

* Tráfico síncrono: voz, imágenes, ..., información que debe ser transmitida antes de un determinado tiempo. Podría decirse que es tráfico de datos en tiempo real.

* Tráfico asíncrono: e-mail, ftp, ..., información para la cual el tiempo que tarde en llegar al destino no es el factor decisivo.

La filosofía que persigue FDDI es atender primero el tráfico síncrono y después el tráfico asíncrono. Para ello, cada estación tiene varios temporizadores:

* Token Rotation Time (TRT): tiempo transcurrido desde que llegó el último testigo.

* Token Hold Time (THT): tiempo máximo que una estación puede poseer el testigo.

Todas las estaciones tienen un parámetro fijo, el Target Token Rotation Time (TTRT), que fija el tiempo que tarda el testigo en dar una vuelta al anillo, y cada una tiene un parámetro propio, Synchronous Time (ST o Ci, dependiendo de autores). Este parámetro fija el tiempo máximo que una estación está transmitiendo tráfico síncrono.

El mecanismo que se sigue es el que se muestra en el siguiente diagrama de flujo

1) Cuando llega el testigo, comprobamos que ha llegado a tiempo. Para ello, vemos si $TRT > 0$. Si es cierto, la estación captura el testigo. Si es falso, la estación lo deja pasar a la siguiente estación. En cualquier caso, TRT se reinicializa a TTRT.

2) Una vez la estación posee el testigo, el valor de TRT se carga en THT. Se comienzan a transmitir tramas síncronas.

3) THT llega a cero. En ese caso, se termina el turno de la estación, y se pasa el testigo a la siguiente.

4) Antes de que THT llegue a 0 se acaban las tramas síncronas que tenía la estación preparada para transmitir. Se transmiten ahora todas aquellas tramas asíncronas de que se dispongan, hasta que THT llegue a cero.

5) Si acabamos también las tramas asíncronas, pasamos el testigo.

Se plantea un problema cuando se acaba el THT mientras se está transmitiendo una trama. Este fenómeno se llama overrun.

El intervalo máximo entre dos testigos en una estación ronda $2 \cdot T_{THT}$.

Las estaciones se conectan mediante un doble anillo de fibra óptica. En cada anillo, la información circula en una dirección. En caso de que caiga un enlace entre dos estaciones, las fibras se puentean internamente en las estaciones, de modo que el anillo no se para. Esta configuración clasifica las estaciones en dos clases:

* DAS : Dual Attachment Station. Estación conectada al doble anillo. Capaces de reconfigurarse. Más caras.

- SAS : Single Attachment Station. Estación conectada a uno de los dos anillos solamente. Más baratas.

IX.1.6. OTRAS SOLUCIONES ALTERNATIVAS.

Se han planteado otras soluciones al estándar original expuesto anteriormente. Todas las soluciones se basan en el estándar FDDI, aunque varían algunos niveles, para adaptarlo a determinadas situaciones. Las soluciones más atractivas son CDDI, FDDI-II, y LCF-FDDI

IX.1.6.1. CDDI

CDDI (Copper Distributed Data Interface) no es otra cosa que FDDI utilizando cables de cobre en lugar de fibra óptica como medio de transmisión. Sólo afecta al PMD. Para seguir cumpliendo los requerimientos de ruido y velocidad de transmisión se reduce la distancia máxima de enlace a 100 m. Para evitar también la radiación que produce el par trenzado sin blindaje (Unshielded Twisted Pair, UTP) cuando se utilice este medio de transmisión se utiliza un código diferente, NRZ- III. Básicamente, es NRZ con tres niveles, subiendo y bajando niveles hasta llegar a los extremos. De este modo, baja la frecuencia máxima que soporta el par trenzado, reduciéndose las radiaciones.

La principal ventaja que aporta CDDI es la reducción en los costes de implantación de FDDI, sobre todo cuando se quiere hacer llegar FDDI hasta los terminales de usuario (FDDI- on-desk). Los terminales suelen estar ya cableados, por lo que sustituir el cobre por la fibra óptica aparece como un coste innecesario en muchos casos. Además, los receptores y transmisores ópticos que emplea FDDI resultan demasiado caros frente a los dispositivos electrónicos que utiliza CDDI. Por lo demás, los cambios en el código no son relevantes y la reducción en la distancia máxima no es importante, puesto que CDDI se utilizaría dentro de los edificios, en los que las distancias suelen ser inferiores a esos 100 metros críticos.

IX.1.6.2. FDDI-II

FDDI-II cambia el servicio que ofrece. Amplía SMT hasta completar el nivel de enlace. Ahora el nivel de red no ve un único canal de 100 Mbps sino que este canal se divide en 16 canales isocronos de 6,144 Mbps (WBC), y un canal de transmisión de paquetes, de 768 Kbps (PDG). Las tramas son de 0.125 ms y contienen intercalados los distintos canales. Inicialmente, se envían 2,5 bytes de preámbulo que sincronizan el reloj de 8 Khz que inicia las tramas y 12 bytes de cabecera de la trama. Se envía el byte correspondiente al PDG. Luego se envía un byte de cada canal. Cuando se llega a un byte múltiplo de 8 en los WBC se vuelve a enviar 1 byte de PDG.

Usualmente, los testigos se pasan a través del PDG.

Los WBC pueden subdividirse en canales menores, en función de las necesidades de las estaciones.

Aparece ahora un nuevo tipo de tráfico, de prioridad mayor que el síncrono de FDDI, que es el tráfico

conmutado. Hay dos testigos, testigo restringido y testigo sin restricciones. Dependiendo de las restricciones en tiempo de llegada de las tramas se utiliza una combinación de tráfico y testigos.

IX.1.6.3. LCF-PMD

LCF-PMD (Low-Cost Fiber Physical Medium Dependent) surge también como ante necesidad económica. Se busca reducir el coste de implantación de una red FDDI. Para ello, se cambia de nuevo el PMD. Se introduce un nuevos tipos de fibra (200/230), más baratos y de peores prestaciones. Igual que en CDDI, se amplían los márgenes de ruido, y se reducen las longitudes de los enlaces, ahora hasta los 500 metros. Se reduce la potencia mínima de transmisión en 2 dBm. Se relaja en 2 dBm la potencia mínima de recepción, quedando sólo 7 dBs para pérdidas.

El resto del protocolo no se altera.

IX.1.7. Rendimiento

El rendimiento de FDDI se mide en dos aspectos: Retardo de las tramas en llegar a la estación destino y cantidad de datos que llegan a destino por segundo. Un primer parámetro de importancia es el TTRT. Si es pequeño, el testigo circula muy rápidamente, de modo que el retardo es pequeño. Si es grande, el throughput es mayor, pero estaciones con mucha carga retrasan a las demás. Los valores típicos de TTRT rondan los 4 ms, según [2] o los 165 ms, según [6]. Otro factor a tener en cuenta es el tamaño de los paquetes. Si es grande, aumenta el throughput. Si es pequeño, disminuye el retardo.

IX.1.8. Conclusiones

En conclusión, FDDI ofrece transmisión de datos a alta velocidad, en tiempo real o no, entre un número de estaciones alto y separadas una distancia elevada. También puede servir como red de conexión entre LANs que están funcionando previamente. Se ha sabido adaptar a las características de entornos en los que resulta muy deseable disponer de ella, pero su elevado coste inicial parecía prohibir. Esto hace de FDDI y LCF alternativas muy interesantes para LANs. Sin embargo, la irrupción de ATM ha hecho que FDDI se considere "la hermana pequeña" de las redes de comunicación óptica. ATM ha hecho que FDDI ya no sea un campo de investigación tan activo como fue a finales de los 80, ni siquiera en FDDI-II, que aprovecha parte de las ideas que utiliza las ideas de ATM. Por ejemplo, la inclusión de canales virtuales conmutados.

IX.2. FIBERNET II.

Un grupo de investigadores de Xerox (Schmidt y cols., 1983), han llegado a construir una fibra LAN compatible con Ethernet en la interfase del transmisor-receptor, de tal forma que las estaciones pudieran conectarse a ella, utilizando lo existente. La parte más difícil en la construcción de cualquier red tipo CSMA/CD, con fibras ópticas, es hacer que la detección de colisión funcione apropiadamente. Existen varios métodos posibles utilizando la configuración de estrella pasiva, (Reedy y Jones, 1985):

- Detección de energía. Si una estación llega a detectar más energía de la que está liberando, se deduce que su transmisión estará sufriendo colisiones con alguna otra estación transmisora.
- Ancho del pulso. Si dos estaciones llegan a sufrir una colisión, el pulso que

llega será más ancho que el pulso que sale. Esta diferencia se puede detectar.

- Tiempo de retardo. Cuando existe la colisión entre dos estaciones, la última

en transmitir recibirá energía de la primera, en un tiempo mucho más corto que

el que le llevaría a su propia señal para regresar. La estación puede detectar esta diferencia.

- **Acoplamiento direccional.** Es posible diseñar el equipo de transmisión y recepción de tal forma que un receptor no capte las transmisiones emitidas por su propia estación. Cualquier transmisión que reciba, mientras está transmitiendo, será definitivamente una colisión.

Todas estas configuraciones son difíciles de desarrollar. Además, las estrellas pasivas debilitan la señal en forma substancial, porque la energía de entrada tiene que dividirse en todas las líneas de salida. En consecuencia, Schmidt y sus colaboradores utilizaron una estrella activa, en lugar de una pasiva. En el sistema que desarrollaron, cada uno de los transeceptores tiene dos fibras punto a punto, dirigiéndose a la estrella central, una de ellas dedicada a la entrada y la otra a la salida.

Cada una de las señales ópticas de entrada, en la estrella se convierte en una señal eléctrica, mediante un procesamiento electrónico, para después reconvertirse en una señal óptica de salida hacia la otra fibra. Cada una de las fibras de entrada está conectada a un acoplador optoelectrónico, que convierte el flujo de pulsos de entrada a la fibra en una señal eléctrica. Esta señal, a su vez, alimenta a un diminuto excitador CSMA/CD localizado en el interior de la estrella activa. Todas las señales procedentes de los excitadores van a dar un conducto eléctrico común.

Si dos señales llegan a tener una colisión, este evento se detectará eléctricamente de la misma manera que se lleva a cabo en el caso ordinario de una CSMA/CD.

Si, por otra parte, no hubiera ninguna colisión, la señal de entrada se transferirá a un segundo conducto interno, que se encargará de excitar al módulo transmisor. La señal de entrada se difunde a todos los transmisores receptores, mediante la modulación de cada uno de los LED (Diodo emisor de luz). Este esquema no necesita que se tenga que dividir la energía de entrada en N partes para repartirse entre los N transmisores-receptores. Cada uno de los transmisores receptores obtiene el máximo de energía.

IX.3. S/NET.

La S/NET (Ahuja, 1983) es otra red de fibras ópticas, que emplea una estrella activa para su conmutación, la cual se diseñó y desarrolló en los laboratorios de la compañía Bell. A diferencia de la Fibernet II, cuyo objetivo era tener compatibilidad con Ethernet, esta se planteó como objetivo el presentar una conmutación rápida.

Cada ordenador en la red tiene dos fibras de 20 Mbps dirigidas al conmutador, una de ellas de entrada y la otra de salida. Las fibras terminan en una BIB (Tarjeta de interconexión al bus, TIB). Cada uno de las CPU (Unidad central de proceso) tiene un registro I/O (E/S, de entrada/salida), que actúa como una ventana de una palabra en la memoria de la BIB. Cuando se escribe una palabra en ese registro, la tarjeta de la interfase en la CPU transmite los bits, en serie, sobre la fibra hasta la BIB, lugar en donde vuelven a ser reacomodados como una palabra en la memoria de la BIB. Cuando la trama completa por transmitir se haya copiado en la memoria de la BIB, la CPU se encarga de escribir una orden a otro registro I/O, para hacer que el conmutador copie la trama en la memoria de la BIB destinataria, e interrumpa a la CPU destinataria.

El acceso al bus se lleva a cabo mediante un algoritmo de prioridad. Cada una de las BIB tiene una sola prioridad. Cuando una BIB quiere acceder al bus, ésta mantiene una señal en la línea del bus correspondiente

a su prioridad. Las solicitudes se registran y se otorgan según el orden de prioridad, con la transferencia de una palabra (16 bits en paralelo) a la vez. Cuando se han otorgado todas las solicitudes, se inicia otra orden de paso en las solicitudes y, las BIB pueden nuevamente solicitar el bus. No hay pérdida de ciclos de bus en la contienda, de tal manera que la velocidad de conmutación será de 16 bits cada 200 ns, o sea de 80 Mbps.

IX.4. FASNET Y EXPRESSNET.

FASNET es una red de alto rendimiento, adecuada para utilizarse con una red tipo LAN o MAN. Su diseño se llevó a cabo en los laboratorios de la compañía BELL y su descripción se hace en Limb, 1984; y Limb y Flores; 1987. Algunos trabajos relacionados con esta red se encuentran en Fratta y Gerla, 1985; Tobagi y Fine, 1983; Ulug, 1985.

FASNET utiliza dos buses lineales unidireccionales. Cada una de las estaciones tiene conexiones en ambos buses y puede transmitir y recibir sobre cualquiera de ellos. Cuando una estación desea transmitir una trama hacia una estación con un número mayor, transmite sobre el bus *A*; y cuando quiere hacerlo para una estación con un número menor, lo hace por medio del bus *B*. Las estaciones número 1 y *N*, como se podrá ver posteriormente, realizan un papel muy importante en esta red.

El ciclo de transmisión se inicia cuando la estación 1 comienza a transmitir una secuencia de ranuras de tamaño fijo sobre el bus *A*, y la estación *N* comienza, también, a transmitir una secuencia idéntica, pero en dirección opuesta, sobre el bus *B*. Estas ranuras son las encargadas de proporcionar la temporización para el bus. Las otras estaciones sincronizan sus transmisiones a dichas ranuras, a medida que se lleva a cabo su propagación. Se puede imaginar que las ranuras son como un tren constituido por vagones de plataformas vacías sobre las cuales se pueden transportar los datos.

Cuando una estación quiere hacer una transmisión a una estación con un número mayor, detecta el inicio del tren correspondiente al bus *A*, y espera hasta que pase la primera ranura desocupada. La estación, entonces, fija el valor de un bit en el primer octeto de la ranura, marcándola ocupada y, al mismo tiempo, coloca las direcciones correspondientes al origen y destino, así como los datos en la ranura vacía. Si los datos no se logran acomodar en una sola ranura, se pueden llegar a asignar varias consecutivas para tal efecto. Cuando la estación localizada flujo-abajo, a la que se envían los datos, ve la trama, la copia en la memoria, dejando la ranura en el bus todavía marcada como ocupada. Un mecanismo análogo se utiliza sobre el bus *B*.

Cuando la última estación, en cualquiera de los bus, detecta el final del tren, transmite una trama de anuncio sobre el otro bus. Cuando ésta llega, comienza un nuevo tren. El intervalo de salida entre los trenes, en cualquiera de los buses es igual al tiempo de propagación del viaje completo, más aquel necesario para llegar a transmitir todas las tramas en dicho ciclo.

Desde varios puntos de vista, EXPRESSNET (Tobagi y cols., 1987) es similar a FASNET; sin embargo, en lugar de utilizar dos buses, EXPRESSNET emplea solamente un bus plegado. Cada estación está ligada al bus en dos lugares, una de estas uniones en la parte de salida, para transmisión, en tanto que la otra se efectúa en la parte de entrada para la recepción.

A diferencia de la red FASNET, que es síncrona (la primera estación de cada bus genera el tren completo, y las demás estaciones tienen que alinear sus relojes con ella), EXPRESSNET es asíncrona. Cuando una estación tiene una trama para transmitir, primero escucha el canal de entrada, para ver si el cable está usándose. Si fuera el caso, la estación espera hasta que el cable esté libre. Entonces la estación engancha su trama al final, para formar un tren. Cuando éste alcanza la parte de entrada es aceptado por la estación a la que va dirigida la trama.

Debido a que el tiempo de propagación no es cero, puede llegar a ocurrir un problema cuando dos estaciones, por ejemplo la 2 y la 3, tratan de llevar a cabo una transmisión en forma simultánea. Unos cuantos

microsegundos después de que la estación 3 haya comenzado su transmisión, la parte frontal de la trama correspondiente a la estación 2 alcanzará el canal de salida y sufrirá una colisión con la trama de la estación 3. Para resolver este problema, todas las estaciones tienen que vigilar el canal de salida y terminar la transmisión, en forma instantánea, si llegan a detectar una trama, procedente de una estación de número inferior, aproximándose desde la izquierda. Este algoritmo, aparentemente, resuelve el problema de colisión a favor de la estación que tenga el número inferior, pero también llega a mutilar algunos bits de la parte frontal de su trama.

La solución obvia en este caso sería que cada estación transmitiera un preámbulo antes de la trama. No sería parte de la información y estaría diseñado para absorber las posibles colisiones. Si mantenemos el modelo del tren, el preámbulo representaría su guardaguanado delantero.

EXPRESSNET y FASNET difieren en algunos aspectos. El primero es el punto relacionado con la transmisión síncrona y asíncrona (análoga a la diferencia que existe entre el anillo ranurado y el de testigo). El segundo es que, FASNET necesita N conectores en cada uno de los dos cables, en tanto que EXPRESSNET necesita $2N$ conectores en un cable, una diferencia muy significativa en las fibras ópticas, debido a la pérdida de los conectores. Por último, el tiempo de propagación para una trama que se dirige de la estación 1 a la estación N , es tres veces mayor en EXPRESSNET que en FASNET, Tobagi y Fine (1983) modelaron el rendimiento de los dos sistemas.

IX.5. DATAKIT.

DATAKIT (Fraser, 1987), es una red que se diseñó en los laboratorios de la compañía Bell, y actualmente lo vende la compañía AT&T. La diferencia de esta red con respecto a la mayoría de las demás es que es una red integrada única que se utiliza en redes tipo LAN (Red de área local), MAN (red de área metropolitana) y WAN (Red de área extendida). Además, este tipo de red permite mezclar, en forma arbitraria, el uso de cables de cobre y fibras.

Desde el punto de vista de su arquitectura, DATAKIT está constituida por conmutadores de donde salen diferentes tipos de líneas, las cuales pueden dirigirse a terminales, ordenadores, o bien, a otros conmutadores de DATAKIT. Las líneas que van hacia las terminales son, típicamente, pares trenzados; en tanto que las líneas que conectan dos conmutadores de DATAKIT pueden ser troncales de fibras ópticas operando a velocidades T1 (1.544 Mbps) o mayores. Así, una red DATAKIT está constituida por múltiples estrellas interconectadas, en lugar de un bus o anillo.

El plano subyacente del conmutador tiene dos buses, uno de contienda y otros de difusión. Se pueden insertar varias tarjetas en el conmutador, cada una de ellas conectada a los dos buses. Algunas de estas tarjetas contienen interfases RS-232-C para terminales, otras contienen interfases para ordenadores y, otras más contienen interfases para líneas troncales, constituidas por cables de cobre o fibra, hacia otros conmutadores. Cuando un terminal, ordenador o algún otro interruptor DATAKIT tiene un octeto que transmitir a algún dispositivo que se encuentre ligado a otra tarjeta, éste compite por el bus de contienda, y cuando adquiere el bus, pone dicho octeto en él. La tarjeta del conmutador saca al octeto del bus de contienda y lo pone en el de difusión, de donde la tarjeta destinataria lo saca.

A diferencia de los otros tipos de redes que se han estudiado hasta ahora, DATAKIT utiliza circuitos virtuales. Cuando una terminal u ordenador quiere comunicarse con otro terminal u ordenador, envía una solicitud al ordenador de control en su conmutador local, para determinar una trayectoria hacia el destino. El ordenador de control registra la trayectoria en sus tablas y utiliza ésta cuando posteriormente llegan los datos.

Considérese, por ejemplo, lo que pasa cuando un terminal 3, que está conectado a un módulo 1, desea comunicarse con el ordenador que está conectado al mismo conmutador, a través de la línea de un módulo 2. Primero, el ordenador de control deberá establecer un circuito virtual, que resulta una entrada en la tabla

hecha en el conmutador. Por ejemplo, (1,3) – (2,1) podría indicar: el módulo 1, canal 3 (es decir, la línea) sobre el módulo 2, canal 1.

Posteriormente, cuando llegue un carácter procedente del terminal, la tarjeta del terminal forma una trama DATAKIT, y trata de obtener el bus de contienda. El protocolo del bus de contienda es el algoritmo de cuenta atrás binaria descrito con anterioridad. Una vez que haya tomado posesión del bus, transmite la trama con su propio número de módulo (1), en el campo del módulo, y el número del canal del terminal (3) en el campo del canal.

Cuando el módulo del conmutador ve la trama, busca la combinación (1,3) en la tabla y efectúa la transformación sobre (2,1). Entonces, el conmutador copia la trama del bus de contienda al bus de difusión, sustituyendo el módulo y canal de origen por el módulo y canal de destino. Todas las tarjetas reciben la trama procedente del bus de difusión, pero solamente la tarjeta 2 la acepta, transmitiéndola a través de su línea 1.

Este esquema de conmutación no sólo trabaja en forma local, sino también en redes de área extendida metropolitana. Una trama destinada a un conmutador DATAKIT diferente se hará corresponder sobre uno de los canales de la apropiada línea troncal de salida. Cuando llegue una trama de datos, se conmutará a la tarjeta troncal, la cual la transmitirá sobre una de las troncales. En el otro extremo, la trama llega a otra tarjeta troncal, donde se almacena en una memoria temporal hasta que pueda tomar posesión del bus de contienda de ese sistema y llegue a conmutarse nuevamente.

En cierta forma, la conmutación de una DATAKIT se parece a una PBX (central privada). Tiene líneas de entrada y salida, y utiliza la conmutación de circuito. Por otra parte, los datos conmutados por DATAKIT representan precisamente flujos de óctetos, en cualquier formato (no sólo en PCM), y a cualquier velocidad (no sólo a 64 kbps). Además, DATAKIT no es síncrona como la conmutación por división en el tiempo, de tal forma que un módulo inactivo no llega a consumir ancho de banda. En este aspecto, desde el punto de vista interno, la conmutación de DATAKIT es más parecida a la conmutación de paquete que a la de circuitos, aún cuando externamente parezca realizar una conmutación de circuito.

IX.6. HFC.

Redes de Telecomunicaciones por Cable

Híbridas Fibra Óptica-Coaxial (HFC).

Una red HFC es una red de cable que combina en su estructura el uso de la fibra óptica y el cable coaxial. Este tipo de redes representa la evolución natural de las redes clásicas de televisión por cable (CATV). Una red de CATV está compuesta básicamente por una cabecera de red, la red troncal, la red de distribución, y el último tramo de acometida al hogar del abonado.

La cabecera es el órgano central desde donde se gobierna todo el sistema. Suele disponer de una serie de antenas que reciben los canales de TV y radio de diferentes sistemas de distribución (satélite, microondas,...), así como de enlaces con otras cabeceras o estudios de televisión y con redes de otro tipo que aporten información susceptible de ser distribuida a los abonados a través del sistema de cable. Las redes de CATV originalmente fueron diseñadas para la distribución unidireccional de señales de TV, por lo que la cabecera era simplemente un centro que recogía las señales de TV y las adaptaba a su transmisión por el medio cable. Actualmente, las cabeceras han aumentado considerablemente en complejidad para satisfacer las nuevas demandas de servicios interactivos y de datos a alta velocidad.

La red troncal es la encargada de repartir la señal compuesta generada por la cabecera a todas las zonas de distribución que abarca la red de cable. El primer paso en la evolución de las redes clásicas todo-coaxial de CATV hacia las redes de telecomunicaciones por cable HFC consistió en sustituir las largas cascadas de

amplificadores y el cable coaxial de la red troncal por enlaces punto a punto de fibra óptica. Posteriormente, la penetración de la fibra en la red de cable ha ido en aumento, y la red troncal se ha convertido, por ejemplo, en una estructura con anillos redundantes que unen nodos ópticos entre sí. En estos nodos ópticos es donde las señales descendentes (de la cabecera a usuario) pasan de óptico a eléctrico para continuar su camino hacia el hogar del abonado a través de la red de distribución de coaxial. En los sistemas bidireccionales, los nodos ópticos también se encargan de recibir las señales del canal de retorno o ascendentes (del abonado a la cabecera) para convertirlas en señales ópticas y transmitir las a la cabecera.

La red de distribución está compuesta por una estructura tipo bus de coaxial que lleva las señales descendentes hasta la última derivación antes del hogar del abonado. En el caso de la red HFC que está construyendo Cable i Televisió de Catalunya en la ciudad de Barcelona, la red de distribución contiene un máximo de 2 ó 3 amplificadores de banda ancha y abarca grupos de unas 500 viviendas. La fibra óptica de la red troncal llega hasta el pie de un edificio, de allí sube por la fachada del mismo para alimentar un nodo óptico que se instala en la azotea, y de éste parte el coaxial hacia el grupo de edificios a los que alimenta (para servicios de datos y telefonía suelen utilizarse cables de pares trenzados para llegar directamente hasta el abonado, desde el nodo óptico).

La acometida a los hogares de los abonados es, sencillamente, la instalación interna del edificio, el último tramo antes de la base de conexión.

Una red moderna HFC con capacidad para comunicaciones bidireccionales puede ofrecer una gran variedad de servicios de telecomunicación. El diseño de un sistema de cable requiere un conocimiento detallado de las aplicaciones y servicios que deberá soportar, ya que si no sabemos esto no podremos determinar las prestaciones de la red. Una idea que ha de tenerse siempre presente es la de que las aplicaciones evolucionan con el tiempo, y posiblemente lo harán de maneras que hoy todavía no podemos prever. Debemos tener en cuenta esta evolución tanto si la producen factores externos a las redes de cable (el progreso de la tecnología de computación, los usos cambiantes de la comunicación electrónica, etc.), como si es la propia tecnología del cable la responsable. Pero tanto en un caso como en el otro, predecir su dirección se reduce a menudo a mera especulación.

Normalmente se hace una distinción entre aplicación y servicio. Se puede ver claramente la diferencia con un par de ejemplos: las comunicaciones de voz y fax son dos aplicaciones soportadas por el servicio telefónico convencional; el servicio de Internet (basado en el protocolo de transporte IP) soporta una multitud de aplicaciones tales como correo electrónico, acceso remoto, WWW, Gopher, etc. En cualquier caso, el servicio limita a las aplicaciones; el servicio telefónico no puede, por ejemplo, soportar aplicaciones que requieran un gran ancho de banda. En el caso del servicio de televisión por cable, gracias al gran ancho de banda disponible (86 a 862 MHz. para el canal descendente; y 5 a 55 MHz. para el canal de retorno), pueden soportarse aplicaciones de reproducción de vídeo (canales digitales comprimidos mediante MPEG, por ejemplo) que son muy poco sensibles a retardos fijos de transmisión (hasta un par de segundos).

Últimamente se habla mucho del acceso a Internet mediante módems de alta velocidad a través de las redes de cable. Un módem de cable típico emplea modulación QPSK en el enlace ascendente y recibe los datos de la cabecera con modulación 64-QAM. Generalmente disponen de sistemas de gestión dinámica del espectro de retorno para transmitir en aquellos canales que menos problemas de ruido e interferencias presentan en cada momento. Las velocidades de transmisión son de unos 10Mbps y 1-2Mbps para los canales descendente y ascendente, respectivamente.

X. BIBLIOGRAFÍA.

LIBROS:

EDWARD L. SAFFORD: *Introducción a la Fibra Óptica y el Láser*, Ed. Paraninfo, 1988.

M.SCHWARTZ: *Cableado de Redes*, Ed.Paraninfo, 1996.

ANDREW S. TANEMBAUM: *Redes de Ordenadores, segunda edición*, Prentice–Hall
HispanoAmericana, S.A., 1991.

JOSE FELIX RABAGO: *Redes Locales*, PcMagazine, 1991.

JOSE MARTÍN SANZ: *Comunicaciones Ópticas*, Ed.Paraninfo, 1996.

DIRECCIONES DE INTERNET:

FDDI:Una RED DE FIBRA ÓPTICA – Título: FDDI UNA RED DE FIBRA ÓPTICA. Autor: Mariano José Benito Gómez. Lugar: E.T.S.I.T. de Valladolid.

<http://www.cicese.mx/~aarmenta/frames/redes/fddi/spanish.html>

FIBRA ÓPTICA – Fibra Óptica. Por José Isabel Parra Alvarado Secretario General de la Sociedad Astronómica de Aragón Ilhuícat.

<http://informatica.aragon.unam.mx/ilhuicat/fibra.html>