



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

“TRANSMISION POR FIBRA OPTICA Y SUS
APLICACIONES”

TRABAJO DE SEMINARIO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:
JAVIER GARCIA ORTEGA

ASESOR: ING. JORGE RAMIREZ RODRIGUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN. Q. Ma. del Carmen Garcia Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario Comunicaciones. Transmisión por fibra óptica y sus aplicaciones.

que presenta el pasante Javier García Ortega
con número de cuenta: 09226929-3 para obtener el título de
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de noviembre de 2003.

MODULO	PROFESOR	FIRMA
I	Ing. Rodolfo López González	
II	Ing. Jorge Ramírez Rodríguez	
IV	Ing. Juan González Vega	

Agradezco a:

Dios que me ha ayudado y cuidado en todo momento.

Mi familia quienes siempre me han apoyado.

Mis amigos que han estado en las buenas y las malas.

A mis profesores, por compartir su conocimiento.

Índice

Capítulo I CONCEPTOS BÁSICOS

Introducción	1
Estructura	3
Tipos de fibra óptica	3
Características de la fibra óptica	5
Comparación de las diferentes fibras ópticas	5
Conceptos modernos de luz y de producción de luz	6
Reflexiones y refracciones de la luz	6
Apertura numérica	12
Modelo de propagación	13
El problema de la dispersión en las fibras ópticas	14
Propagación de la luz en el conductor de fibras ópticas	16
Perfiles de los conductores de fibra óptica	17
Capítulo II CARACTERÍSTICAS DEL CABLE	28
Tipos de cable	28
Otros cables	32
Composición del cable	35
Especificación de un cable fibra óptica	37
Tensión de tendido	39
Cuidado general	39
Capítulo III CONVERSIÓN ELECTRO-ÓPTICA DE SEÑALES	41
Elementos emisores	43
Diodo luminiscente	43
Diodo láser	44
Conformación y valores característicos	46
Componentes de los conductores de fibras ópticas	46
Capítulo IV APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA	52
Videoconferencia	52
Imágenes y Fotografías	52
Imágenes con hologramas	52
CAD/CAM (diseño / elaboración asistido por computadora)	53
Sensores	53
Sistemas de seguridad	53
Anuncios	54
CCTV-Televisión de circuito cerrado	54
Medicina	55
Realidad Virtual	55
Edificios Inteligentes	56

GLOSARIO.....	57
CONCLUSION	59
BIBLIOGRAFIA	60

Capitulo I CONCEPTOS BASICOS

Introducción

La fibra óptica y las telecomunicaciones han tenido un auge quizá no imaginado y están tomando mas fuerza en el siglo XXI, la fibra óptica solo se usaba en las compañías telefónicas o en la televisión por cable lo cual cambio la cara de las telecomunicaciones, pero ahora no solo es usada para estos propósitos, es usada para muchos mas y vienen todavía mas aplicaciones que están siendo estudiadas hoy en día.

Pero lo que mueve a la tecnología y en este caso que estamos tratando a la fibra óptica y las telecomunicaciones es la necesidad de comunicarnos. Durante los últimos 150 años distintos avances y sucesos se han efectuado en el mundo de las comunicaciones electrónicas los cuales todos los hemos aprovechado.

Con lo cual podríamos pensar que la habilidad de comunicarnos es la base del futuro, nos estamos moviendo del análogo al digital o viceversa a través de ciudades, estados, países y océanos, pulsos a la velocidad de la luz transportan grandes cantidades de información y la fibra óptica es la base con la cual todo ha revolucionado y se ha cambiado la forma de comunicarnos.

Servicios que nunca imaginamos están ahora a nuestro alcance, las llamadas telefónicas transportan imágenes de los abonados, las televisoras pueden transmitir con una gran calidad de imagen que la televisión convencional parecería de blanco y negro, la transmisión de datos tiene grandes anchos de banda lo cual mejora la Internet y todo esto gracias a la fibra óptica.

Es entonces el objetivo de las próximas líneas el ver como se transmite por este medio que es la fibra óptica así como ejemplificar solo algunos de los diversos usos de la fibra óptica en varios campos aunque nuestro principal campo son las telecomunicaciones.

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 producian ya cantidades importantes de pedidos de este material.

Antes, en 1959, como derivación de los estudios en fisica 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 existian 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.

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 señales, 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 haya 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.

Estructura

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 daremos a conocer de qué manera, por su conducto y simultáneamente, pueden enviarse a través de ella múltiples conversaciones, imágenes, etc.

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 μm), 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 μm .

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:

- a) fibra multimodo de índice escalonado
- b) fibra multimodo de índice de gradiente gradual
- c) 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 500 MHz 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 μm (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizado, pero se pueden encontrar otros tipos de fibras:

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

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. En ella 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 μm . 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.

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 lista 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;

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, etc;

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 metro). 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.

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 todas las mismas velocidades en el espacio libre. Esa velocidad es 3×10^8 m/seg. El margen de las radiaciones electromagnéticas va desde una frecuencia cero Hertz hasta frecuencia infinita, y la luz varía en un margen de frecuencias cuyas longitudes de onda van desde 10^{-2} m a través de la región ultravioleta de 10^{-8} m subiendo en frecuencia a través de la región de los rayos gamma de longitud de onda 10^{-14} 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.

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.

Reflexión

Cuando una onda luminosa incide sobre la superficie de separación entre dos sustancias, una fracción de la misma se refleja. La proporción de la luz reflejada es función del ángulo α_1 que forma el rayo de luz incidente con la perpendicular a la superficie de separación. Por rayo de luz se entiende aquí la trayectoria dentro de la cual se extiende la energía luminosa. Para el rayo luminoso reflejado y el ángulo α_2 que éste forma con la perpendicular a la superficie de separación de las sustancias vale (ver Fig.1.1):

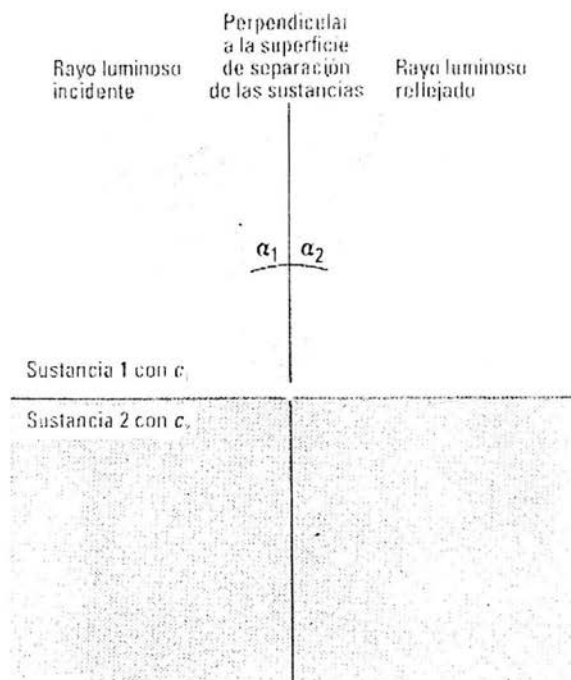


FIG. 1.1 REFLEXIÓN DE LA LUZ

El rayo reflejado se mantiene en el plano formado por el rayo luminoso incidente y la perpendicular a la superficie de separación de las sustancias;

El rayo reflejado se encuentra en el semiplano opuesto al rayo luminoso incidente (con relación a la perpendicular a la superficie de separación de las sustancias);

Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales.

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

Refracción

Si un rayo luminoso incide con un ángulo α de modo oblicuo desde una sustancia ópticamente menos densa (por ejemplo aire) a otra más densa (por ejemplo vidrio o agua), su dirección de propagación se quiebra y su trayectoria continúa en la segunda sustancia con un ángulo de refracción β .

Para una sustancia isotrópica, o sea un medio o material que presenta idénticas propiedades en todas sus direcciones, vale la Ley de Refracción de Snell:

El cociente entre el seno del ángulo de incidencia α y el seno del ángulo de refracción β es constante e igual a la relación de las velocidades de la luz c_1/c_2 en ambas sustancias (fig. 1.2).

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

α ángulo de incidencia

β ángulo de refracción

c_1 velocidad de la luz 1

c_2 velocidad de la luz 2

De dos sustancias transparentes, se considera más densa aquella que posee la menor velocidad de propagación de la luz.

Considerando la transición desde el vacío (\approx aire) en el cual la velocidad de la luz es c_0 , a una sustancia con velocidad de la luz c , se obtiene:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{c_0}{c} = n$$

La relación entre la velocidad de la luz en el vacío c_0 y la de la sustancia c , se denomina índice de refracción n (o más exactamente índice de refracción entre dos fases n) de esa sustancia y es una constante material de la misma. El índice de refracción del vacío (\approx aire) n_0 es igual a 1

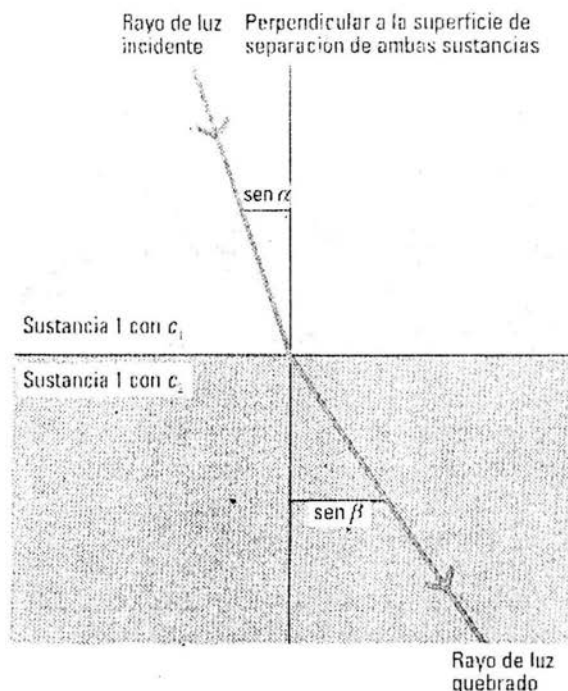


FIG. 1.2 REFRACCIÓN DE LA LUZ

Para dos sustancias diferentes con los índices de refracción n_1 y n_2 y las correspondientes velocidades de la luz c_1 y c_2 vale:

$$c_1 = \frac{c_0}{n_1} \quad \text{y} \quad c_2 = \frac{c_0}{n_2}$$

de donde se obtiene otra expresión de la ley de la Refracción de Snell:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

La relación del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción es inversamente proporcional a la respectiva relación de los índices de refracción.

El índice de refracción n de una sustancia depende fundamentalmente de la correspondiente longitud de onda de la luz; en el caso del vidrio de cuarzo y las longitudes de onda del infrarrojo, de gran importancia para las comunicaciones ópticas, este índice disminuye continuamente cuando se incrementa la longitud de onda.

La magnitud n vale para ondas luminosas que se propagan solamente con una única longitud de onda y con amplitud constante. En estas condiciones, las ondas no pueden transmitir informaciones, lo cual se logra sólo cuando se aplica modulación a las mismas. En las comunicaciones ópticas (digitales) la modulación se efectúa por medio de pulsos luminosos. Se trata de grupos de ondas de corta duración que contienen ondas luminosas de diferentes longitudes.

Las diferentes ondas integrantes de estos grupos no se propagan con la misma velocidad ya que sus longitudes de onda difieren entre sí. La velocidad de propagación de un grupo de ondas se denomina velocidad de grupo, para la cual se define el índice de refracción del grupo n_g por medio de la relación:

$$n_g = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

Las variaciones de n y n_g en función de la longitud de onda luminosa λ para vidrio de cuarzo puro se observa en la fig. 1.3.

La expresión $\frac{dn}{d\lambda}$ indica la pendiente de la curva de los índices de refracción $n(\lambda)$, la cual es decreciente (negativa) en la gama de las longitudes de onda considerada. En virtud de ello el índice de refracción de grupo n_g es, para cada longitud de onda, mayor que el índice de refracción n . Para calcular los tiempos de propagación de señales ópticas se debe utilizar únicamente el índice de refracción de grupo n_g .

Cabe destacar que el índice de refracción del grupo presenta un mínimo en las cercanías de los 1300 nm de longitud de onda. Como se ha descrito anteriormente, esta longitud de onda tiene un interés muy especial para la transmisión por medio de conductores de fibras ópticas.

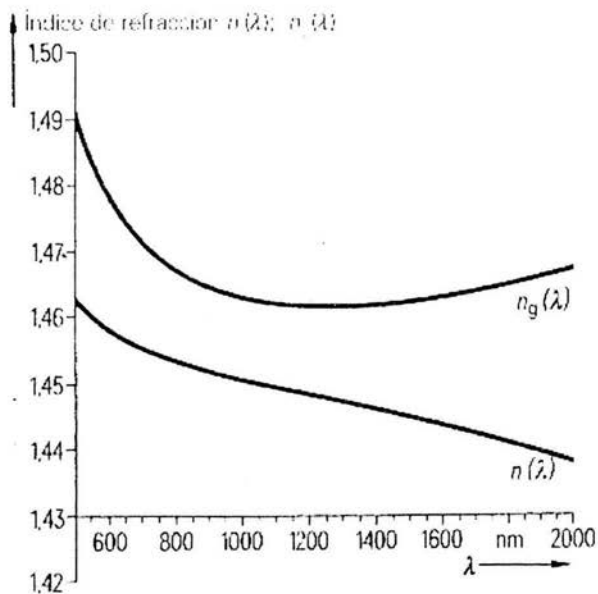


FIG. 1.3 ÍNDICE DE REFRACCIÓN $n(\lambda)$ E ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE GRUPO $n_g(\lambda)$ (100 % SiO₂)

Reflexión total

Cuando el rayo luminoso incide con ángulo α cada vez mayor desde una sustancia ópticamente más densa con un índice de refracción n_1 sobre la superficie de separación con una sustancia ópticamente menos densa con índice de refracción n_2 , el ángulo de refracción β , al llegar a determinado ángulo de incidencia α_0 , puede llegar a ser igual a 90° (fig. 1.4).

En este caso el rayo luminoso (2) se propaga paralelamente a la superficie de separación de ambas sustancias y el ángulo de incidencia α_0 , se denomina ángulo límite de las dos sustancias.

Para el ángulo límite α_0 vale la relación:

$$\text{sen } \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

o sea, el ángulo límite es función de la relación de los índices de refracción n_1 y n_2 de ambas sustancias.

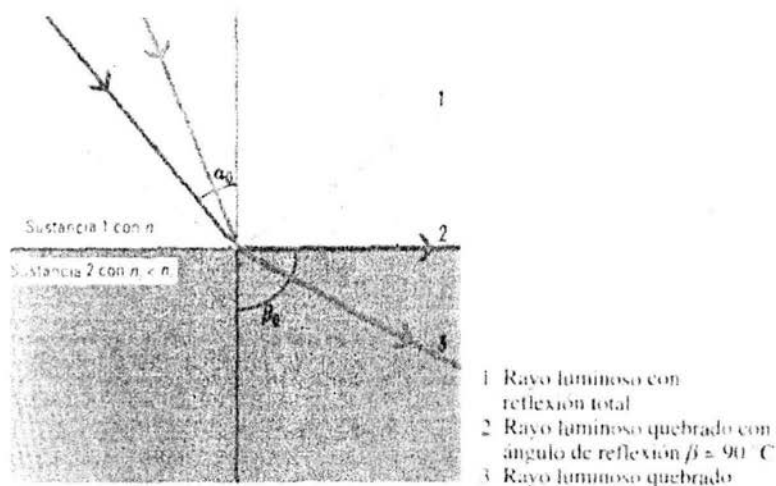


FIG. 1.4 REFLEXIÓN DE LA LUZ

Todos los rayos que inciden con un ángulo α mayor que el ángulo límite α , son reflejados en la superficie que separa ambas sustancias, o sea no se propagan en la sustancia menos densa sino en la más densa.

Este fenómeno se denomina reflexión total (Rayo luminoso 1).

Apertura numérica

En los conductores de fibras ópticas se utiliza el efecto de la reflexión total para conducir el rayo luminoso en virtud de tener estos conductores en su centro un "núcleo" formado por un vidrio con un índice de refracción n_1 y, envolviéndolo, un "recubrimiento" formado por un vidrio con un índice de refracción n_2 . El valor de n_1 es algo mayor que el de n_2 (fig. 1.5).

Analizando la expresión $\text{sen } \alpha_0 = n_0 = \frac{n_2}{n_1}$ se concluye que todos los rayos luminosos

que incidan con un ángulo menor que $(90^\circ - \alpha_0)$ con respecto al eje de las fibras ópticas son conducidos en el núcleo.

Para acoplar al núcleo un rayo luminoso desde el exterior de la fibra (aire con índice de refracción $n_0 = 1$), el ángulo (entre el rayo luminoso y el eje de la fibra) se rige de acuerdo a la ley de refracción:

$$\frac{\text{sen} \Theta}{\text{sen}(90^\circ - \alpha_0)} = \frac{n_1}{n_0} \quad \text{y con ello}$$

$$\text{sen} \Theta = n_1 - \cos \alpha_0 = n_1 - \sqrt{1 - \text{sen}^2 \alpha_0}$$

Considerando la condición del ángulo límite $\alpha_0 = n_1/n_2$ se obtiene la expresión:

$$\text{sen}\Theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

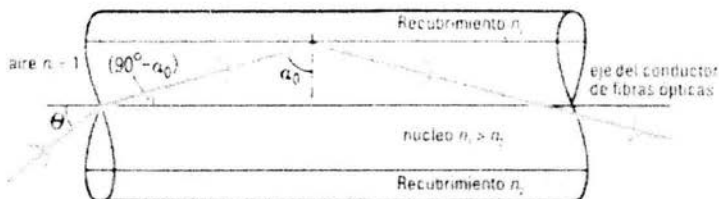


FIG. 1.5 CONDUCCIÓN DE LA LUZ EN UN CONDUCTOR DE FIBRAS ÓPTICAS

El máximo ángulo de acoplamiento Θ_{\max} se denomina ángulo de aceptación del conductor de fibras ópticas y es únicamente función de los índices de refracción n_1 y n_2 del conductor de fibras ópticas. El seno del ángulo de aceptación se denomina apertura numérica (AN) del conductor de fibras ópticas:

$$AN = \text{sen } \Theta_{\max}$$

Este valor es de gran importancia para el acoplamiento de la luz a los conductores de fibras ópticas.

Modelo de propagación

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 "caminos de fibra ópticas" 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 (las 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.

El problema de la dispersión en las fibras ópticas

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 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 -25nm 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 mega.bits 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 $1/1.5 = 0.667$, 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 recubrirlas 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.

Propagación de la luz en el conductor de fibras ópticas

Las leyes de la óptica permiten describir la reflexión total de la luz en la superficie que limita al núcleo del recubrimiento del vidrio en un cable de fibras ópticas. Para ello se considera básicamente que la luz se propaga en forma de rayos radiantes y rectilíneos. Para efectuar un análisis más detallado de las diferentes posibilidades de propagación de la luz dentro del núcleo, es necesario considerar los fenómenos de la óptica ondulatoria dado que el diámetro del núcleo de un conductor de fibras ópticas es de aproximadamente 10 μm , o sea que es solamente un poco mayor que la longitud de onda de la luz transmitida por ese núcleo (aprox. 1 μm). Debido a esta relación de dimensiones ocurren fenómenos de interferencia que sólo se pueden describir con ayuda de la óptica ondulatoria.

En general se denomina interferencia a la superposición de dos o más ondas y, su combinación para formar una onda única. Una manifestación típica de la interferencia de dos ondas se obtiene solamente cuando ambas tienen la misma longitud de onda y existe una diferencia de fase constante entre ambas en el tiempo. Este tipo de ondas se denomina ondas coherentes. Si en determinado punto del espacio ambas ondas presentan una diferencia de fase igual a un múltiplo entero de λ (longitud de onda), se produce una suma de sus amplitudes: en cambio, si esta diferencia es igual a un múltiplo entero de $\lambda/2$ (media longitud de onda), una resta, y si ambas amplitudes son iguales, incluso una anulación local de las ondas.

Si se utilizan dos fuentes luminosas, por ejemplo dos lámparas incandescentes, y se superponen sus luces no se observará ningún tipo de interferencia ya que su luz es incoherente. La causa se halla en el proceso de emisión de luz del cuerpo luminoso, en el caso precedente el filamento incandescente de las lámparas. En virtud de fenómenos espontáneos aleatorios, cada uno de los átomos del filamento incandescente emite destellos luminosos o sea cortos trenes de ondas con una duración de aprox. 10^{-8} s. Considerando que en el aire la velocidad de la luz es de 3×10^8 m/s, estos trenes de ondas tienen una longitud de unos 3 metros. Esta longitud se denomina longitud de coherencia. La superposición de los trenes de ondas de esta longitud es totalmente irregular y únicamente ocasiona la iluminación general del ambiente.

Para la transmisión de luz con conductores de fibras ópticas fue necesario encontrar fuentes luminosas coherentes, o sea las que emiten una luz lo más coherente posible. Por ello, el ángulo espectral de un emisor debería ser lo más pequeño posible. A diferencia de diodos luminosos con un ancho espectral de líneas ≥ 40 nm. se brindan especialmente los láser que en virtud de una emisión de luz forzada dan la posibilidad de contar con una diferencia de fases constante a igual longitud de onda. Con ello aparecen también interferencias en el conductor de fibras ópticas, las cuales se reconocen porque la luz se propaga en el núcleo únicamente en determinados ángulos que corresponden a direcciones en las cuales las ondas asociadas al superponerse se refuerzan (interferencia constructiva). Las ondas luminosas permitidas susceptibles de propagarse en un conductor de fibras ópticas se denominan modos (ondas naturales o fundamentales).

Perfiles de los conductores de fibra óptica

Si en un conductor de fibra óptica se considera al índice de refracción n en función del radio r , se tiene el perfil del índice de refracción de este conductor. Con el mismo se describe la variación radial del índice de refracción del conductor de fibra óptica desde del núcleo hacia la periferia del recubrimiento.

$$n = n(r).$$

La propagación de los modos en el conductor de fibra óptica depende de la forma de este perfil de índices de refracción que presentan una variación que es función exponencial del radio:

$$n^2(r) = n_1^2 \cdot \left[1 - 2 \cdot \Delta \cdot \left[\frac{r}{a} \right]^g \right]$$

para $r < a$ en el núcleo

$$\text{y } n^2(r) = n_2^2 = \text{cte}$$

para $r \geq a$ en el recubrimiento

n_1 Índice de refracción en el eje del conductor de fibra óptica ($r = 0$)

Δ Diferencia normalizada de índices de refracción

r Distancia del eje del conductor de fibra óptica, en μm

a Radio del núcleo, en μm

g Exponente, llamado también exponente del perfil

n_2 Índice de refracción del recubrimiento

La diferencia normalizada de índices de refracción se relaciona con la apertura numérica AN o los índices de refracción n_1 y n_2 por la ecuación:

$$\Delta = \frac{AN^2}{2 \cdot n_1^2} = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2 \cdot n_1^2}$$

Merecen ser mencionados los siguientes casos especiales (fig. 1.6):

$g = 1$: perfil triangular

$g = 2$: perfil parabólico

$g \rightarrow \infty$: perfil escalonado (caso límite).

Únicamente en el último caso (el perfil escalonado) el índice de refracción es constante en el núcleo: $n(r) = n_1 = \text{cte}$. En todos los demás perfiles, el índice de refracción $n(r)$ en el núcleo se incrementa en forma gradual desde el valor n_2 en el recubrimiento hasta el n_1 en el eje del conductor de fibra óptica.

En virtud de este tipo de variación se denomina a estos perfiles también perfiles graduales. Esta denominación se ha adoptado especialmente para el perfil parabólico (con $g = 2$) ya que los conductores de fibra óptica con esta clase de perfil presentan muy buenas características técnicas para la conducción de la luz.

Otro valor importante en la descripción del conductor de fibra óptica son los así llamados parámetros V o parámetros estructurales V . Son función del radio a , de la apertura numérica AN del núcleo y de la longitud de onda λ o del índice de longitud de onda k de la luz. El parámetro V es adimensional:

$$V = 2\pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot AN = k \cdot a \cdot AN$$

a Radio del núcleo

λ Longitud de onda

AN Apertura numérica
 k Índice de longitud de onda

El número N de los modos conducidos en el núcleo depende de este parámetro con aproximadamente la siguiente relación para un perfil exponencial de exponente g :

$$N \approx \frac{V^2}{2} \cdot \frac{g}{g+2}$$

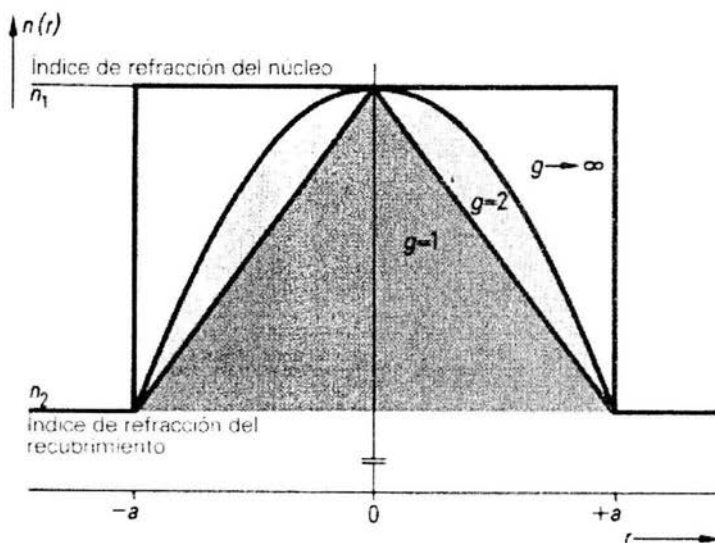


FIG. 1.6 PERFIL DE ÍNDICES DE REFRACCIÓN DE UN CONDUCTOR DE FIBRA ÓPTICA

El número de modos del perfil escalonado ($g \rightarrow \infty$) es aproximadamente

$$N \approx V^2 / 2$$

El número de modos del perfil gradual ($g = 2$) es aproximadamente:

$$N \approx V^2 / 4$$

Un conductor óptico con varios modos se denomina conductor de fibra óptica multimodo.

Si se desea reducir el número de modos, o sea disminuir los parámetros V , se debe, o bien reducir el diámetro del núcleo ($2a$), o bien la apertura numérica (AN), o bien aumentar la longitud de onda. De la apertura numérica depende esencialmente cuánta luz se puede acoplar al núcleo del conductor, por lo cual su valor debería ser lo más elevado posible. La reducción del radio del núcleo a es posible sólo en forma limitada en razón de tornarse cada vez más difícil el manipuleo es más difícil de realizar y la técnica requerida para el conexionado.

Por otra parte, la fabricación de emisores y receptores para frecuencias más elevadas es más difícil de realizar y en consecuencia su valor no se puede incrementar a discreción.

Perfil escalonado

Para que la luz sea conducida en el núcleo de un conductor de fibra óptica con perfil escalonado, el índice de refracción del núcleo n_1 , debe ser algo mayor que el del recubrimiento n_2 , teniendo en cuenta la reflexión total en la superficie de ambos vidrios. Si el valor del índice de refracción n_1 se mantiene constante en toda la sección del núcleo, se habla de perfil escalonado del índice de refracción, pues el índice se incrementa en forma de escalón a partir del valor que tiene en el recubrimiento hasta el que posee en el núcleo y que allí permanece constante. En la fig. 1.7 se representa un conductor de fibra óptica con su perfil escalonado de índices de refracción y, además, el recorrido de un rayo luminoso con sus correspondientes ángulos.

Un conductor con estas características se denomina conductor de fibra óptica con perfil escalonado o fibra escalonada. Para describir mejor la propagación de la luz en un conductor de fibra óptica se ha elegido el siguiente ejemplo (fig. 1.7):

Dimensiones típicas de un conductor de fibra óptica multimodo con perfil escalonado

Diámetro de núcleo	$2a$	100 μm
Diámetro del recubrimiento	D	140 μm
Índice de refracción del núcleo	n_1	1.48
Índice de refracción del recubrimiento	n_2	1.46

Para este ejemplo, el ángulo límite de reflexión total α_0 , o sea el menor ángulo con respecto a la normal al eje, bajo el cual el rayo luminoso incidente es guiado por el núcleo sin refractarse al recubrimiento, es:

$$\text{sen}\alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.46}{1.48} \approx 0.9865; \quad \alpha_0 \approx 80.6^\circ$$

Se propagarán por el núcleo todos los rayos luminosos que forman con el eje del conductor de fibra óptica un ángulo menor o igual a $(90^\circ - \alpha_0) = 9.4^\circ$.

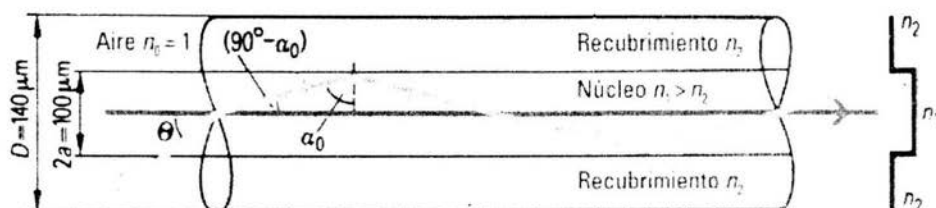


FIG. 1.7 CONDUCTOR DE FIBRA ÓPTICA CON PERFIL ESCALONADO.

Se debe tener en cuenta la Ley de Refracción cuando se acople al núcleo un rayo luminoso desde el exterior (aire con $n_0 = 1$) pues únicamente penetran a este núcleo los rayos luminosos que se encuentren dentro de un determinado ángulo de aceptación Θ . Para este ejemplo se tienen:

$$\text{sen}\Theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1.48^2 - 1.46^2} \approx 0.242; \quad \Theta = 14^\circ$$

El seno del ángulo de aceptación se define como apertura numérica AN :

$$AN = \text{sen } \Theta \approx 0.242.$$

La diferencia normalizada de índices de refracción Δ para este conductor de fibra óptica con perfil escalonado es:

$$\Delta = \frac{AN^2}{2 \cdot n_1^2} \approx \frac{0.242^2}{2 \cdot 1.48^2} \approx 0.0134 = 1.34\%$$

El parámetro V calculado para este conductor de fibra óptica con perfil escalonado y con un diámetro del núcleo $2a = 100 \mu\text{m}$ para una longitud de onda $\lambda = 850 \text{ nm}$, es:

$$V = \pi \cdot \frac{2a}{\lambda} \cdot AN = \pi \cdot \frac{100\mu\text{m}}{0.85\mu\text{m}} \cdot 0.242 \approx 89.4$$

El número N de modos para este conductor es aproximadamente:

$$N \approx \frac{V^2}{2} = \frac{89.4^2}{2} \approx 4000$$

Un conductor con estas características es un conductor de fibras ópticas multimodo. Un impulso luminoso que se propaga en este conductor está formado por múltiples impulsos luminosos parciales que son conducidos en cada uno de los modos del conductor.

En el extremo inicial del conductor de fibra óptica, cada uno de estos modos es excitado con un ángulo de acoplamiento diferente y conducido dentro del núcleo con otra trayectoria óptica. En consecuencia, cada modo recorre un camino diferente y llega al otro extremo del conductor en distintos tiempos. La relación entre los tiempos de recorrido máximo y mínimo es directamente proporcional a la relación entre los índices de refracción del recubrimiento y del núcleo, o sea que está en el orden de magnitud de la diferencia de índices de refracción Δ (más del 1 %).

La distorsión producida en los distintos modos por estas diferencias de tiempos se denomina dispersión modal y da lugar a que se ensanche el pulso luminoso de corta duración que atraviesa el conductor de fibra óptica con perfil escalonado. Constituye una desventaja para las telecomunicaciones ópticas pues reduce la velocidad de transmisión (cantidad de bits por unidad de tiempo) o el ancho de banda de transmisión. Este efecto se

ve atenuado por la influencia recíproca y el intercambio de energía entre los diferentes modos a lo largo de la trayectoria en el conductor de fibra óptica. Esta mezcla o acoplamiento de modos se produce con mayor intensidad en irregularidades del núcleo como, por ejemplo empalmes o curvaturas de la fibra.

Observando el recorrido de los modos a lo largo del eje del conductor de fibra óptica, se comprueba que, a causa del intercambio de energía, modos de menor orden y con un pequeño ángulo respecto al eje del conductor pasan a tener un orden con mayores ángulos y viceversa, en virtud de lo cual se produce una compensación de las velocidades entre los modos. Así, el ensanche temporal Δt de los pulsos luminosos acoplados no es función lineal de la longitud L del conductor de fibra óptica (o sea $\Delta t \sim L$), sino que en el caso ideal solamente llega a la raíz cuadrada de la longitud $\Delta t \sim \sqrt{L}$.

La dispersión modal se puede eliminar totalmente dimensionando al conductor de fibra óptica con perfil escalonado de manera que conduzca a un único modo: el fundamental LP_{01}

Pero sucede que también el modo fundamental se ensancha en el tiempo al atravesar un conductor con estas características. Este efecto se denomina dispersión cromática. Por tratarse de una propiedad del material, esta dispersión en general se produce en todos los conductores de fibra óptica. Sin embargo, la dispersión cromática resulta relativamente pequeña o nula frente a la dispersión modal en longitudes de onda que van desde los 1200 a los 1600 nm.

Dimensiones típicas de un conductor de fibra óptica monomodo

Diámetro del campo	$2w_0$	9 μm
Diámetro del recubrimiento	D	125 μm
Índice de refracción del núcleo	n_1	1.46
Diferencia de índices de refracción	Δ	0.003 = 3%

En la figura 1.8 se presenta la trayectoria de un rayo luminoso y el perfil de índices de refracción de un conductor de fibra óptica monomodo.

Para un conductor de fibra óptica monomodo típico se obtiene la apertura numérica AN con:

$$AN = n_1 \cdot \sqrt{2\Delta} \approx 1.46 \cdot \sqrt{2 \cdot 0.003} \approx 0.113$$

con un ángulo de aceptación de:

$$\text{sen}\Theta = AN \approx 0.113$$

$$\Theta = 65^\circ$$

Se debe tener en cuenta que en el conductor de fibra óptica monomodo son, comparando con el multimodo y de perfil escalonado, considerablemente menos no sólo el diámetro del núcleo sino también la apertura numérica y, por lo tanto, el ángulo de aceptación, por lo cual el acoplamiento de la luz en aquel resulta relativamente difícil.

Para un conductor de fibra óptica monomodo típico se obtiene una longitud de onda límite λ_c (por arriba de la cual sólo se propaga el modo fundamental) y para la cual el parámetro V es $V_c = 2.405$.

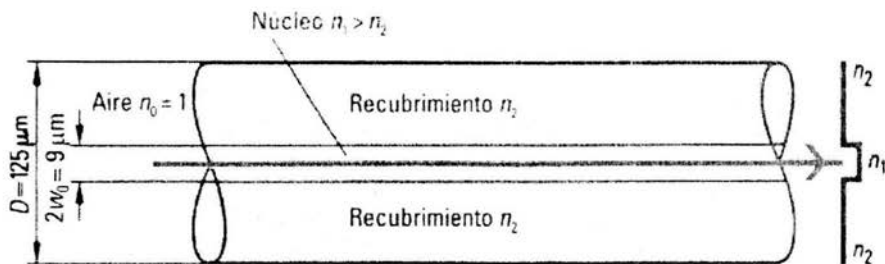


FIG. 1.8 CONDUCTOR DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO.

Perfil gradual

En un conductor de fibra óptica con perfil escalonado y múltiples modos, estos se propagan a lo largo de diferentes trayectorias por lo cual llegan al otro extremo del conductor en diferentes momentos. Esta dispersión modal es un efecto no deseado y puede ser reducida considerablemente si el índice de refracción en el núcleo varía en forma parabólica desde un valor máximo n_1 en el eje del conductor y decae hasta otro valor n_2 en el límite con el recubrimiento.

Un perfil gradual o perfil exponencial con exponente $g = 2$ se define por:

$$n^2(r) = n_1^2 - AN^2 \cdot \left[\frac{r}{a} \right]^2$$

para $r < a$ en el núcleo y

$$n^2(r) = n_2^2$$

para $r \geq a$ en el recubrimiento.

Un conductor de fibra óptica con este perfil gradual se denomina fibra gradual

Dimensiones típicas de un conductor de fibra óptica con perfil gradual

Diámetro del núcleo	$2a$	50 μm
Diámetro del recubrimiento	D	125 μm
Índice de refracción máximo en el núcleo	n_1	1.46
Diferencia de índices de refracción	Δ	0.010

En la fig. 1.9 se ilustra el recorrido de ondas luminosas de diferente orden y el perfil en un conductor de fibra óptica con perfil gradual.

Los rayos luminosos recorren el conductor de fibra óptica describiendo trayectorias onduladas o helicoidales; contrariamente al conductor de perfil escalonado, en cuyo caso los rayos se propagan en forma zigzagueante.

Como consecuencia de la variación continua del índice de refracción $n(r)$ en el núcleo, los rayos luminosos también se refractan continuamente variando su dirección de propagación al recorrer estas trayectorias helicoidales. Si bien los rayos que oscilan en torno del eje deben recorrer aún un camino más largo que el que se propaga a lo largo de este eje, pueden desarrollar una mayor velocidad proporcional al menor índice de refracción que tiene el material en los puntos más alejados del eje, y así se compensa en el tiempo la mayor extensión del recorrido. Como resultado de esta compensación desaparece casi totalmente la diferencia de tiempos de recorrido. Cuando se conforma con exactitud el perfil parabólico de índices de refracción, se han medido en un conductor de fibra óptica con perfil gradual, con un tiempo total de recorrido de la luz de $5 \mu\text{s}$ a lo largo de 1 km , dispersiones de tiempo sólo algo mayores de 0.1 ns .

Esta insignificante diferencia de tiempo de recorrido en el conductor de fibra óptica con perfil gradual se produce no sólo por la dispersión en el material, sino también por la dispersión del perfil. Se origina en virtud de que los índices de refracción varían en el núcleo y en el recubrimiento de diferente manera con la longitud de onda λ y en consecuencia tanto la diferencia de índices de refracción Δ como el exponente del perfil g son función de la longitud de onda. Para un perfil gradual de forma parabólica se obtiene teóricamente el exponente óptimo del perfil g , por la expresión:

$$g = 2 - 2P - \Delta \cdot (2 - P),$$

en la cual tanto el parámetro $P \ll 1$ como la diferencia de índices de refracción Δ dependen de la longitud de onda λ y por ende también el exponente del perfil gradual g .

El perfil de índices de refracción de un conductor de fibras ópticas con perfil gradual y con $g \approx 2$ permite obtener únicamente en un rango de longitudes de onda muy reducido tiempos de recorrido similares para todos los modos conducidos.

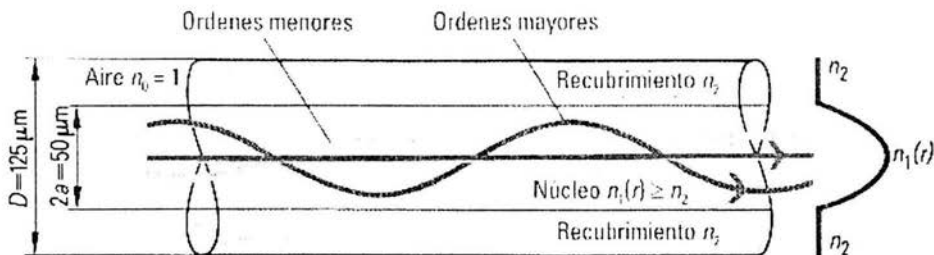


FIG 1.9 CONDUCTOR DE FIBRA ÓPTICA CON PERFIL GRADUAL.

Perfil múltiple

En un conductor de fibra óptica monomodo la dispersión total se compone, como se sabe, de dos clases de dispersión. Se trata, por un lado, de la dispersión en el material: se origina en el hecho de que el índice de refracción n , y por ende, la velocidad de la luz son funciones de la longitud de onda, o sea $n = n(\lambda)$ (fig. 1.3) y $c = c(\lambda)$, y, por el otro lado, de la dispersión en el conductor de ondas resultante de la distribución de la luz del modo fundamental LP_{01} , entre el núcleo y el recubrimiento y, por lo tanto, la diferencia de índices de refracción $\Delta = \Delta(\lambda)$ es función de la longitud de onda. Ambas clases de dispersión combinadas se denominan dispersión cromática.

Para longitudes de onda mayores de 1300 nm. ambas clases de dispersión tienen signos opuestos en el vidrio de cuarzo. Variando la concentración de impurezas en el vidrio de cuarzo, se puede modificar la dispersión en el material en forma insignificante. En cambio, la dispersión por conductor de ondas se puede modificar considerablemente variando la estructura del perfil de índices de refracción.

El perfil de índices de refracción de un conductor de fibra óptica monomodo común es un perfil escalonado con una diferencia de índices de refracción Δ . Para esta simple estructura de perfiles la suma de la dispersión de material y de la dispersión del conductor de ondas es, en las cercanías de la longitud de onda $\lambda = 1300$ nm.

Para desplazar esta anulación de las dispersiones a otras longitudes de onda es necesario modificar la dispersión del conductor de ondas y, por lo tanto, actuar sobre la estructura del perfil del conductor de fibra óptica. Se llega así a los perfiles de índices de refracción múltiples o segmentados. Con la ayuda de estos perfiles se pueden fabricar conductores de fibra óptica cuyo cero de dispersión se encuentra desplazado más allá de los 1550 nm. (los así llamados conductores de fibra óptica con dispersión desplazada) u otros con valores muy bajos de dispersión en toda la gama de las longitudes de onda que van desde los 1300 a los 1550 nm. (los conductores de fibra óptica de dispersión plana o dispersión compensada).

Clase 1 sin desplazamiento de la dispersión

Perfil escalonado normal (simple step-index o matched cladding), fig 1.10 a

Perfil escalonado con índice de refracción rebajado en el recubrimiento (depressed cladding), fig. 1.10 b

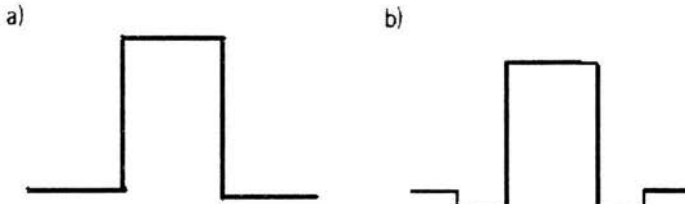


FIG. 1.10 ESTRUCTURAS DE PERFILES DE CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICAS SIN DESPLAZAMIENTO DE LA DISPERSIÓN.

Clase 2 con desplazamiento de la dispersión

Perfil segmentado con núcleo triangular (segmented core), fig. 1.11 a

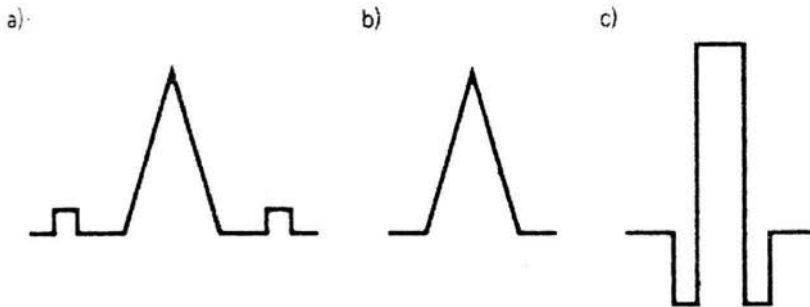


FIG. 1.11 ESTRUCTURAS DE PERFILES DE CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICAS CON DESPLAZAMIENTO DE LA DISPERSIÓN

Perfil triangular (triangular profile), fig. 1.11 b

Perfil segmentado con doble escalón del índice de refracción en el recubrimiento (double clad), fig. 1.11 c

Clase 3 con dispersión plana

Perfil segmentado con cuatro escalones del índice de refracción en el recubrimiento (quadruple clad), fig. 1.12 a

Perfil W (double clad), fig. 1.12 b

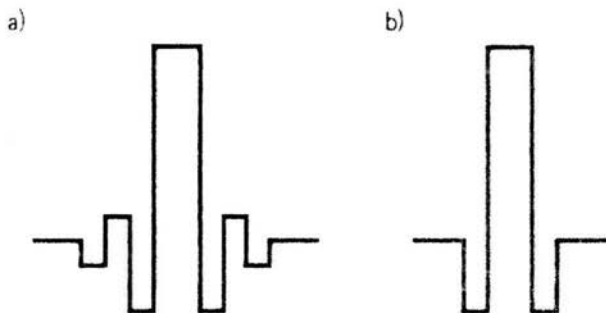


FIG. 1.12 ESTRUCTURAS DE PERFILES DE CONDUCTORES DE FIBRAS ÓPTICAS CON DISPERSIÓN PLANA.

Capítulo II CARACTERÍSTICAS DEL CABLE

Tipos de cable

Un cable de fibra óptica se encuentra disponible en dos construcciones básicas: cable de estructura holgada y cable de estructura ajustada.

Cable de estructura holgada

Un cable de fibra óptica de estructura holgada consta de varios tubos de fibra rodeando un miembro central de refuerzo, y rodeado de una cubierta protectora (ver Fig. 2.1). El rasgo distintivo de este tipo de cable son los tubos de fibra. Cada tubo, de dos a tres milímetros de diámetro, lleva varias fibras ópticas que descansan holgadas en él. Los tubos pueden ser huecos o, más comúnmente, estar llenos de un gel resistente al agua que impide que ésta entre en la fibra. El tubo holgado aísla la fibra de las fuerzas mecánicas exteriores que se ejerzan sobre el cable (ver Fig. 2.2). Las fibras dentro del tubo son ligeramente más largas que el propio cable, por lo que el cable se puede elongar bajo cargas de tensión, sin aplicar tensión a la fibra. Para determinar de una forma más precisa la longitud del cable debería tenerse en cuenta, en una prueba OTDR, este exceso en la longitud de la fibra (la longitud en exceso de la fibra viene dada por el fabricante). Cada tubo está coloreado, o numerado, y cada fibra individual en el tubo, además, está coloreada para hacer más fácil la identificación. El número de fibras que lleva cada cable varía desde unas pocas a 200.

El centro del cable contiene un elemento de refuerzo, que puede ser acero, Kevlar o un material similar. Este miembro proporciona al cable refuerzo y soporte durante las operaciones de tendido, así como en las posiciones de instalación permanente. Debería amarrarse siempre con seguridad a la polea de tendido durante las operaciones de tendido del cable, y a los anclajes apropiados que hay en cajas de empalmes o paneles de conexión.

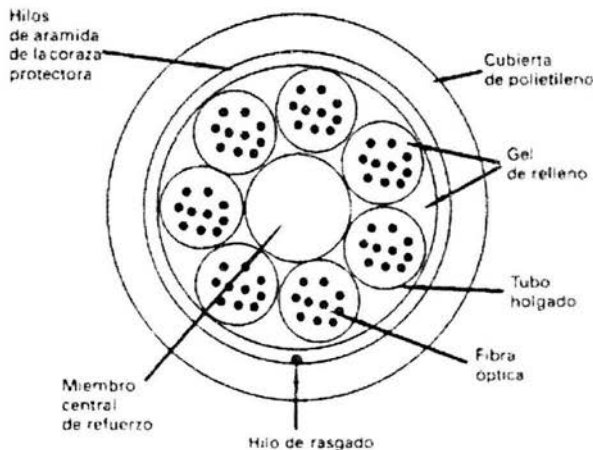


FIG. 2.1 CABLE DE TUBO HOLGADO.

La cubierta o protección exterior del cable se puede hacer, entre otros materiales, de polietileno, de armadura o coraza de acero, goma o hilo de aramida, y para aplicaciones tanto exteriores como interiores. Con objeto de localizar los fallos con el OTDR de una manera más fácil y precisa, la cubierta está secuencialmente numerada cada metro (o cada pie) por el fabricante. La tensión de tendido y el radio de curvatura de los cables de fibra óptica varían, por lo que deberían consultarse las especificaciones del fabricante para conocer, en particular, los detalles de cada cable.

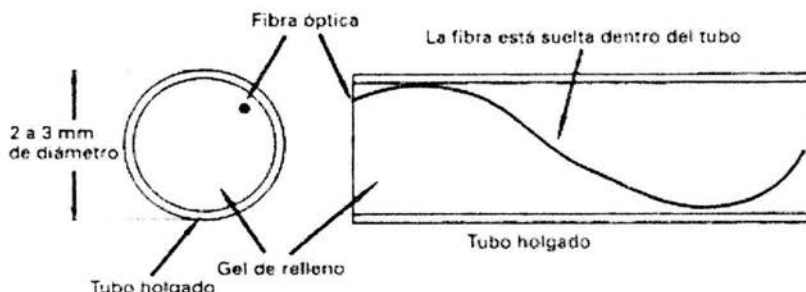


FIG. 2.2. TUBO HOLGADO DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Los cables de estructura holgada se usan en la mayoría de las instalaciones exteriores, incluyendo aplicaciones aéreas, en tubos o conductos y en instalaciones directamente enterradas. El cable de estructura holgada no es muy adecuado para instalaciones en recorridos muy verticales, porque existe la posibilidad de que el gel interno fluya o que las fibras se muevan. Deberían consultarse las especificaciones del fabricante para determinar, en cualquier instalación, el recorrido vertical máximo del cable. Estos cables están normalmente terminados en un panel de conexión apropiado o en una caja de empalmes.

Cable de estructura ajustada

Un cable de fibras ópticas de estructura ajustada contiene varias fibras con protección secundaria que rodean un miembro central de tracción, y todo ello cubierto de una protección exterior (ver Fig.2.3). La protección secundaria de la fibra consiste en una cubierta plástica de 900 μm de diámetro que rodea al recubrimiento de 250 μm de la fibra óptica (ver Fig.2.4). La protección secundaria proporciona a cada fibra individual una protección adicional frente al entorno así como un soporte físico. Esto permite a la fibra ser conectada directamente (conector instalado directamente en el cable de la fibra), sin la protección que ofrece una bandeja de empalmes. Para algunas instalaciones esto puede reducir el coste de la instalación y disminuir el número de empalmes en un tendido de fibra. Debido al diseño ajustado del cable, es más sensible a las cargas de estiramiento o tracción y puede ver incrementadas las pérdidas por micro curvaturas.

Por una parte, un cable de estructura ajustada es más flexible y tiene un radio de entre otros materiales, curvatura más pequeño que el que tienen los cables de estructura holgada. En primer lugar, es un cable que se ha diseñado para instalaciones en el interior de los edificios. También se puede instalar en tendidos verticales más elevados que los cables de

estructura holgada, debido al soporte individual de que dispone cada fibra. Hay disponibles cables con varias graduaciones de piroresistencia para cumplir los requerimientos estándar de inflamabilidad o combustibilidad. Es de diámetro mayor y generalmente más caro que un cable similar de estructura holgada con el mismo número de fibras.

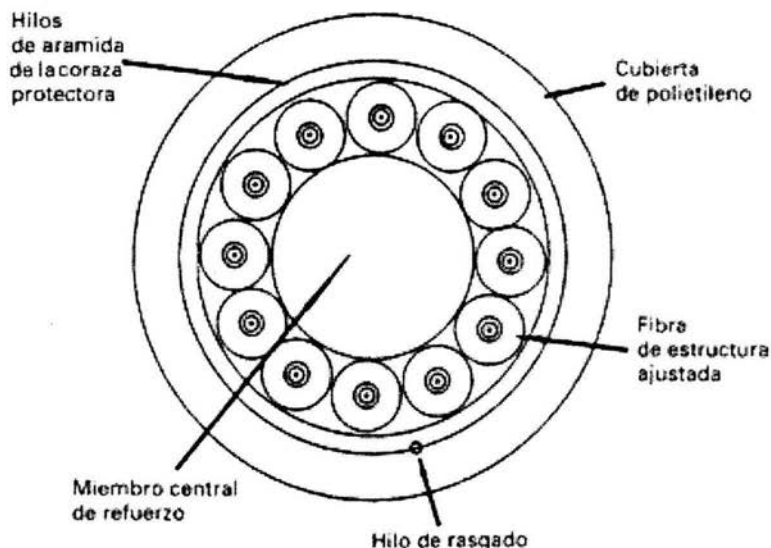


FIG. 2.3. CABLE DE ESTRUCTURA AJUSTADA.

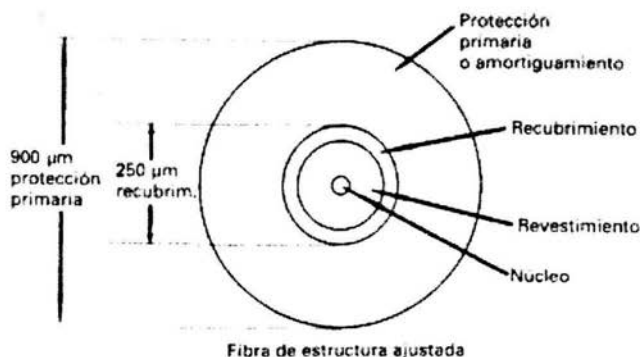


FIG. 2.4. CABLE DE FIBRA ÓPTICA DE ESTRUCTURA AJUSTADA.

Cable de figura en 8

El cable de figura en 8 es un cable de estructura holgada con un cable fiador adosado. El cable fiador es el miembro soporte que se utiliza en las instalaciones aéreas. Es generalmente un cable de acero para alta tracción con un diámetro comprendido entre 1/4 y

5/8 de pulgada. El cable de figura en 8 se denomina así porque su sección transversal se asemeja al número 8 (ver Fig. 2.5). Se usa en instalaciones aéreas y elimina la necesidad de atar el cable a un fiador preinstalado. Con un cable de figura en 8 la instalación aérea de un cable de fibra óptica es mucho más rápida y fácil.

El fiador se encuentra disponible en acero para alta tracción, o en un material completamente dieléctrico. Deberá considerarse la utilización del fiador dieléctrico cuando el cable se instale cerca de las líneas de alta tensión.

Cable blindado

Los cables blindados tienen una coraza protectora o armadura de acero debajo de la cubierta de polietileno (ver Fig. 2.6). Esto proporciona al cable una resistencia excelente al aplastamiento y propiedades de protección frente a roedores. Se usa frecuentemente en aplicaciones de enterramiento directo o para instalaciones en entornos de industrias pesadas. El cable se encuentra disponible generalmente en estructura holgada aunque también hay cables de estructura ajustada.

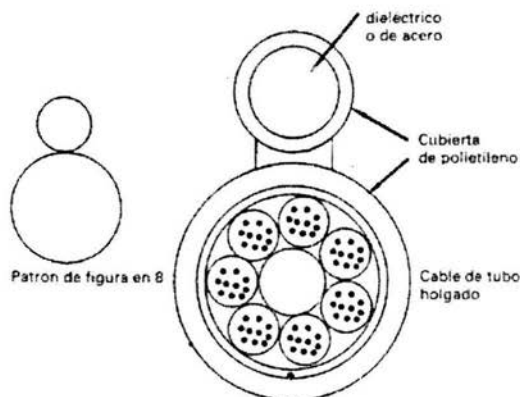


FIG. 2.5. CABLE DE FIBRA ÓPTICA DE FIGURA EN 8.

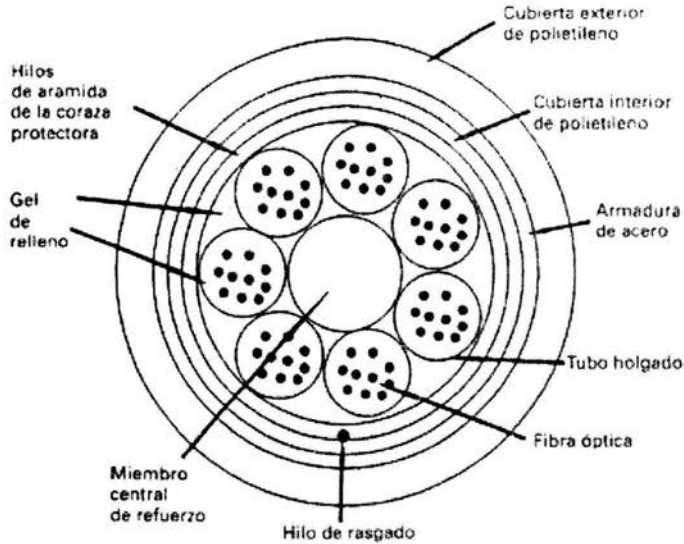


FIG. 2.6. CABLE DE FIBRA ÓPTICA CON ARMADURA.

El cable blindado también se puede encontrar disponible con un recubrimiento protector de doble coraza para añadir protección en entornos agresivos. La coraza de acero del cable debería llevarse a tierra en todos los puntos terminales y en todas las entradas a los edificios.

Otros cables

Existen otros cables de fibra óptica para las siguientes aplicaciones especiales:

Cable aéreo autoportante

El cable aéreo autoportante o auto-soportado es un cable de estructura holgada diseñado para ser utilizado en estructuras aéreas. No requiere un fiador como soporte. Para asegurar el cable directamente a la estructura del poste se utilizan abrazaderas especiales. El cable se sitúa bajo tensión mecánica a lo largo del tendido.

Cable submarino

El cable submarino es un cable de estructura holgada diseñado para permanecer sumergido en el agua. Actualmente muchos continentes están conectados por cables submarinos de fibra óptica transoceánicos.

Cable compuesto tierra óptico (OPGW)

El cable compuesto tierra-óptico es un cable de tierra que tiene fibras ópticas insertadas dentro de un tubo en el núcleo central del cable. Las fibras ópticas están completamente protegidas y rodeadas por pesados cables a tierra. Es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión.

Cables híbridos

El cable híbrido es un cable que contiene tanto fibras ópticas como pares de cobre.

Cable en abanico

Un cable en abanico es un cable de estructura ajustada con un número pequeño de fibras y diseñado para una conectorización directa y fácil (no se requiere un panel de conexiones). Se usa fundamentalmente para aplicaciones interiores tales como redes RAL.

La tabla de la página siguiente proporciona una guía general de las aplicaciones de los cables de fibra óptica.

Tipos de cable									
Aplicación	Cordones de conexión	Cable en abanico	Estructura ajustada dieléctrico	Estructura holgada dieléctrico	Estructura holgada con armadura	Estructura ajustada con armadura	Figura en 8	Auto portante	Submarino
Conexión directa al equipamiento en la misma habitación o cabina ^{1,2}	X	X	X						
Terminada en panel de conexiones			X	X	X	X	X	X	X
Entre oficinas de un mismo edificio ²		X	X	X					
Dentro de una planta industrial ²		X ³	X ³	X ³	X	X			
Alzadas elevadas	X	X			X				
Área entre edificios				X			X	X	
Subterránea en conductos				X					
Directamente enterrado					X				
Submarina				X ⁴	X ⁴				X
Cerca de alta tensión			X	X					

¹ Cuando los cordones de conexión van por fuera del armario o cabina del equipamiento, deben situarse en bandejas.

² Siempre se debería utilizar cable ignífugo.

³ Cable situado en un conducto metálico.

⁴ Algunos fabricantes de cable de estructura holgada permiten situar el cable en aguas poco profundas. En caso contrario, será necesario emplear un cable especial submarino.

Para conocer detalles de estos productos deberá contactarse con los fabricantes de cada uno de estos cables de fibra óptica.

Composición del cable

Los cables de fibra óptica se fabrican con varios materiales para adecuarse al entorno de la instalación. Para prolongar la vida del cable es esencial una consideración cuidadosa de su composición.

Los cables de exteriores deben ser fuertes, a prueba de intemperie y resistentes al ultravioleta (UV). El cable debe resistir las variaciones máximas de temperatura que se pueden dar durante el proceso de instalación y a lo largo de su vida. A menudo un cable se especifica con dos rangos de temperatura. Un rango especifica las temperaturas de instalación y manejo del cable y el otro rango indica el máximo rango de temperaturas del cable después de que éste esté instalado y se halle en su posición estática final.

Los cables de exteriores se tratan para inhibir la penetración de la luz UV en la cubierta exterior e impedir la descomposición del material interno. Las cubiertas se pueden especificar con una protección UV adicional si se requiere.

Los cables de interiores deberán ser fuertes y flexibles y con el grado requerido de resistencia al fuego o de emisión de humos. Los colores de las cubiertas pueden ser naranjas o amarillos brillantes para su fácil identificación. En las siguientes secciones se enumeran algunos de los materiales más populares de los cables.

Polietileno (PE)

El polietileno es una cubierta de protección del cable bastante común para instalaciones exteriores. La cubierta de tipo negro tiene unas buenas propiedades de resistencia frente a la intemperie y la humedad. Es un aislante muy bueno y tiene unas propiedades dieléctricas estables. Dependiendo de su densidad molecular puede ser muy duro y rígido, especialmente a bajas temperaturas. Solo no es un buen material ignífugo, pero podría serlo si se tratara con los compuestos adecuados.

Cloruro de polivinilo (PVC)

Las cubiertas de PVC ofrecen una buena resistencia a los efectos medioambientales, con algunas composiciones que operan a temperaturas comprendidas entre -55 y +55 grados centígrados. Es un buen retardador del fuego y se puede encontrar tanto en instalaciones exteriores como en interiores. El PVC es menos flexible que el PE y generalmente más caro.

Poliuretano

El poliuretano es un material bastante común como cubierta de cables. Muchas composiciones tienen buenas propiedades de resistencia al fuego y es más duro y ligero que otros muchos materiales. Tiene también propiedades de «efecto memoria», haciéndolo una elección ideal para latiguillos retráctiles.

Hidrocarburos polifluorados (fluoropolímeros)

Algunas composiciones de cubiertas a base de hidrocarburos polifluorados tienen buenas propiedades de resistencia al fuego, poca emisión de humos y tienen buena flexibilidad. Se usan para instalaciones interiores.

Cabos de aramida / Kevlar

Los cabos de aramida son un material ligero que se encuentra justo por dentro de la cubierta del cable, rodeando a las fibras, y que se puede usar como un miembro central de refuerzo. El material es fuerte y se utiliza para atar y proteger los tubos o fibras individuales en el cable. El Kevlar es una marca particular de cabos de aramida que es capaz de soportar un esfuerzo mecánico muy grande y que se utiliza frecuentemente en los chalecos antibalas. Los cables de fibra óptica que deben resistir tensiones de estiramiento o tracción elevadas utilizan a menudo el Kevlar como miembro central de refuerzo. Cuando se sitúa justo por dentro de la cubierta, rodeando todo el interior del cable, proporciona a las fibras una protección adicional frente al entorno. Puede también proporcionar propiedades de resistencia a las balas, que pudieran requerirse en instalaciones aéreas del cable en áreas de caza.

Coraza de acero

La cubierta de coraza o armadura de acero se utiliza frecuentemente en instalaciones interiores y exteriores. Cuando se utiliza en un cable enterrado, proporciona una resistencia excelente a la compresión y es el único material verdaderamente a prueba de roedores. En ambientes industriales se utiliza dentro de la planta cuando el cable se instala sin conductos o bandejas de protección. Sin embargo, el acero que se añade al cable lo hace conductor, con lo que se sacrifica la ventaja como dieléctrico que posee el cable. Los cables con coraza de acero se deben llevar a tierra convenientemente.

Hilo de rasgado

El hilo de rasgado del cable es un hilo muy fino y fuerte que se encuentra justo por debajo de la cubierta del cable. Se usa para rasgar fácilmente la cubierta del cable sin dañar su interior.

Miembro central

El miembro central se utiliza para proporcionar fuerza y soporte al cable. Durante las operaciones de tendido del cable se debe asegurar al orificio de tracción. Para instalaciones permanentes, se debe atar al anclaje que hay para tal cometido en la caja de empalmes o en el panel de conexión.

Relleno intersticial

Es ésta una sustancia gelatinosa que se encuentra en los cables de estructura holgada. Llena la protección secundaria y los intersticios del cable haciendo que éste sea impermeable al

agua. Cuando se pele para empalmar el extremo del cable, se debe eliminar completamente con un compuesto especial que exista para tal efecto.

Especificación de un cable fibra óptica:

Lo que sigue es un ejemplo de una hoja de especificaciones típica de un cable de fibra óptica suministrada por un fabricante de fibras.

Especificaciones		Explicación
Tipo de cable:	Estructura holgada	3 tubos activos, 6 fibras por tubo
Número de fibras:	18	166 kg/Km. de cable
Peso nominal:	166 kg/Km.	Generalmente varía un 5 por 100
Diámetro:	14,4 mm	
Rango de temperaturas:		
Almacenamiento	-40 a 70°C	Almacenamiento del cable en una bobina
Operación	-40 a 70°C	Temperatura de trabajo durante la instalación
Instalación	-30 a 50°C	Durante la instalación y manejo
Máxima tensión aplicada:		
Instalación	2.700 N	Máxima durante la instalación
Permanente	600	Operacional, ningún cambio observado en la atenuación.
Mínimo radio de curvatura:		
Instalación	22,5 cm.	Mientras se está instalando el cable.
Permanente	15,0 cm.	Operacional, ningún cambio observado en la atenuación.
Resistencia a la comprensión	220 N/cm.	Operacional, ningún cambio observado en la atenuación.
Máxima elevación	247 m	No requiere sujeciones ni anillas
Pares de cobre	Ninguno	Usados para las comunicaciones durante la instalación o reparación
Cubierta:	Polietileno	Material disponible a menudo
Miembro central	Dieléctrico	Miembro central de refuerzo

Debido a las propiedades vítreas de un cable de fibra óptica siempre se debe manejar el cable con cuidado. Las fibras de vidrio se rompen fácilmente si se ignoran las técnicas propias de manejo. En algunas ocasiones, la cubierta del cable en el punto dañado de una fibra puede parecer perfectamente normal, haciendo difícil o imposible su localización sin utilizar instrumentos caros (se requiere, por ejemplo, un OTDR). Dos de los factores más

importantes que hay que tener en mente durante una instalación son el radio de curvatura mínimo del cable y la tensión de tendido, arrastre o tracción.

Radio de curvatura mínimo

Un cable de fibra óptica tiene un radio de curvatura mínimo especificado por el fabricante, para condiciones de carga como las que se presentan durante el arrastre del cable, y para condiciones sin carga, después de que el cable ya ha sido instalado y se encuentra en su posición final de reposo. El cable no se debe curvar más pronunciadamente, en ningún momento del proceso de fabricación, que el radio de curvatura mínimo en condiciones de carga. El radio de curvatura sin carga es más pequeño y se puede usar sólo cuando no hay tracción alguna sobre el cable. El radio de curvatura varía con el diámetro del cable y a menudo se especifica como un múltiplo del diámetro del cable.

Las fibras individuales y los cables de conexión de fibra tienen un radio de curvatura mínimo más pequeño, usualmente entre 3 y 7 centímetros (ver Fig.2.7). Este radio de curvatura mínimo varía con la longitud de onda de trabajo y es ligeramente mayor a longitudes de onda mayores (por ejemplo, para instalaciones a 1.550 nm).

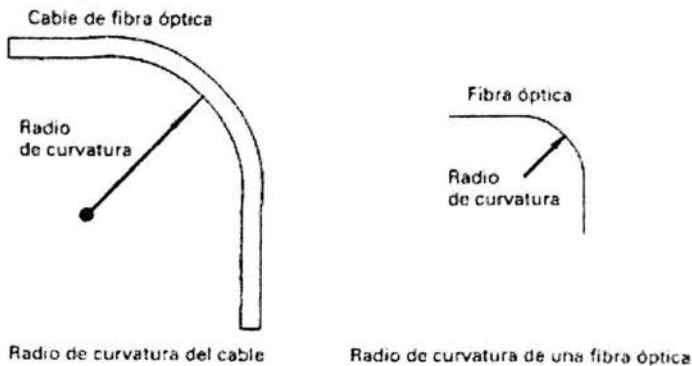


FIG.2.7. RADIO DE CURVATURA.

Si la curvatura de un cable de fibra óptica es más cerrada que el radio de curvatura mínimo permitido o si se abusa del cable, las fibras ópticas del cable pueden romperse o haber alterado sus características físicas, aunque no sea evidente el daño físico del cable. En ese caso, puede que sea necesario reemplazar la sección maltratada o la longitud entera del cable. El cable debería examinarse inmediatamente.

Curvar el cable más que su radio de curvatura mínimo puede dañar el cable y/o aumentar la atenuación de la fibra por encima de las especificaciones del fabricante.

Tensión de tendido

Un cable de fibra óptica tiene una tensión de tendido más baja que la que tienen la mayoría de los cables convencionales. Las máximas tensiones de tendido durante la instalación están especificadas por el fabricante y no se deberían exceder en ningún momento. El cable debería tenderse a mano siempre y cuando sea posible. Cuando se utilicen técnicas de tracción mecánica, se deberán monitorizar siempre las tensiones de tracción. Para este propósito se utiliza, a menudo, un registrador de cinta. El cable se debe tender con movimiento continuo y estacionario, nunca con sacudidas o tirones. No hay que empujar el cable en ningún momento. El cable se deberá instalar utilizando la mínima tensión posible. Para condiciones de instalación permanente del cable, la carga de tensión en el cable deberá mantenerse mínima, bastante por debajo de las especificaciones del fabricante para la carga de tensión en una instalación permanente. La mayor carga de tensión en un cable ocurrirá en una instalación vertical y estará causada por el peso del cable. Esta carga debería determinarse y mantenerse por debajo de las especificaciones del fabricante.

Cuidado general

El cable deberá manejarse con cuidado en todo momento. Un manejo tosco del cable, retorciéndolo, abollándolo, desgastándolo o maltratándolo, es probable que rompa o dañe las fibras de vidrio o que altere sus características de transmisión.

No se debe nunca torsionar el cable. Si se almacena, debe usarse un carrete para el cable o, para pequeños tramos, dejarle formando una figura de 8 en un sitio plano.

Debemos asegurarnos de que los radios de las curvas de las figuras en 8 son mayores que el radio de curvatura mínimo de la fibra. Para evitar el aplastamiento del cable cuando se almacenan grandes longitudes, deben sujetarse los puntos de cruce situados en la mitad de la figura en S.

Hay que evitar deformar el cable con abrazaderas, soportes, cinturones, guías y cosas parecidas. Todos los soportes y abrazaderas deberán tener una superficie de contacto uniforme y homogéneo. No atar demasiado fuerte. Ajustar sólo hasta que el cable esté prieto. La cubierta del cable no deberá deformarse por las ataduras.

Los cables deberán situarse en bandejas planas o en conductos portacables. Evitar causar puntos de presión sobre el cable. También evitar dejar objetos pesados o apilar cables sobre la parte de arriba del cable de fibra óptica. Todos los dobleces deben ser suaves, con radios mayores que el radio de curvatura mínimo. El cable no debe estar en contacto con objetos afilados que puedan dañarlo. Cuando se instalen cables adicionales donde ya existen cables de fibra óptica hay que poner un cuidado especial. Los orificios de tracción que tienen bordes afilados pueden cortar fácilmente el cable atravesando la cubierta de éste. Siempre que sea posible, deberán situarse los cables en tubos portacables o en conductos exclusivos para los cables de fibra.

Para instalaciones subterráneas, el cable debe tenderse en una zanja, libre de grandes piedras o cantos que pudieran deformarlo.

Evitar situar los carretes de cables sobre sus costados o someterlos a sacudidas por caídas. No permitir que circulen vehículos sobre el cable. Durante el pelado del cable, se prestará un cuidado especial a asegurar que los tubos o protecciones del cable no se dañen o corten. El cable de fibra óptica no se debe cortar bajo ninguna circunstancia, salvo que se tenga el consentimiento de los responsables correspondientes. La reparación de un cable es un proceso costoso y largo, que introduce atenuación en el enlace. Un cable de fibra óptica deberá instalarse con el mínimo número de empalmes, para minimizar su atenuación.

CAPITULO III CONVERSIÓN ELECTRO-ÓPTICA DE SEÑALES

Conversión electro-óptica de señales

Para la transmisión de señales luminosas a través de un conductor de fibras ópticas se requieren en su comienzo y su final elementos de emisión y recepción adecuados para convertir las señales eléctricas en ópticas y viceversa (fig. 3.1). En el extremo emisor, una señal eléctrica modula la intensidad de una fuente luminosa. La señal óptica se acopla al conductor de fibra óptica y llega al extremo receptor, donde un receptor de luz la convierte en una señal eléctrica.

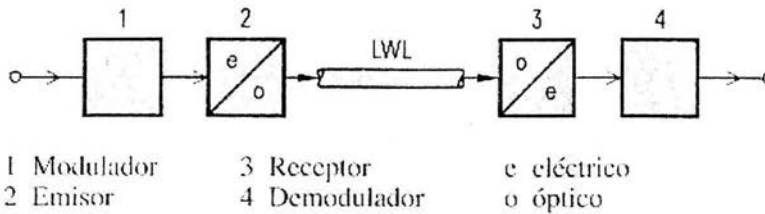


FIG. 3.1 PRINCIPIO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN CON CONDUCTOR DE FIBRA ÓPTICA

En la técnica de los semiconductores los conversores electro ópticos en base a elementos químicos del tercer (Al, Ga, In), cuarto (Si, Ge) y quinto (P, As) grupo de la tabla periódica han demostrado ser particularmente aptos. Las combinaciones de estos semiconductores III-IV-V son de gran importancia. Entre ellas cabe distinguir los compuestos cuaternarios (cuadruplos) InGaAsP y GaAlAsP así como los compuestos ternarios (triples) InGaAs y GaAlAs, los cuales pueden ser aplicados adaptándolos a la rejilla, es decir, con el mismo constante de retícula de ambos cristales, a los substratos InP o GaAs, respectivamente.

Los semiconductores poseen dos bandas de energía para los electrones externos: la banda de valencia y la banda de conducción separadas por una distancia E_g (energy gap) (fig. 3.2).

La configuración de estos compuestos es elegida de tal manera que son alcanzados intervalos de banda y números de refracción ideales para la función de los elementos de construcción. Desde el punto de vista técnico de fabricación, el ajuste exacto de los espesores de capas y su configuración con buena homogeneidad es realizado a través del procedimiento de la epitaxia (crecimiento expitaxial orientado a las leyes de la física).

Fundamentalmente se distinguen tres métodos: la epitaxia por fase líquida (LPE), la epitaxia por fase gaseosa (MOVPE) y la epitaxia por haz molecular (MBE/MOMBE), siendo los dos últimos procedimientos los realmente aplicados.

Un fotón (cuanto de luz) que incide sobre el semiconductor cede su energía $h \cdot \nu$ ($h = 6.62608 \times 10^{-34}$ Js es el constante Planck y ν la frecuencia de la luz) a un electrón en la banda de valencia: éste incrementa su energía y pasa a la banda de conducción, de mayor

Elementos emisores

Para irradiar fotones por medio de la emisión espontánea o estimulada es necesario llevar portadores de carga en exceso al semiconductor, lo cual se logra inyectando portadores a través de una juntura pn.

Si se opera una juntura pn en la dirección de conducción (dirección de flujo), se inyectan electrones adicionales en la capa p y lagunas adicionales en la n, que se pueden "utilizar" para emitir fotones.

El proceso de inyección de portadores y la posterior emisión se denomina luminiscencia por inyección; en la práctica se emplea en elementos emisores como por ejemplo diodos luminiscentes y diodos láser.

Diodo luminiscente

El diodo semiconductor que emite luz por emisión espontánea se denomina diodo luminiscente.

El rendimiento de la conversión de corriente eléctrica en luz se describe por medio del rendimiento cuántico exterior, denominación dada a la relación entre los fotones emitidos por unidad de tiempo y el número de portadores que atraviesa la juntura pn del diodo semiconductor (para el GaAs, típicamente de 0.5 al 1.0%).

Dado que a medida que aumenta la temperatura decrece el rendimiento cuántico, se debe evitar el calentamiento de la zona de recombinación, asegurando la evacuación del calor por medio de una conformación adecuada del diodo.

Para el funcionamiento del diodo luminiscente es, además, muy importante la longitud de onda de la luz emitida, determinada principalmente por la separación entre bandas de energía E_g , valiéndose la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_g}$$

λ	Longitud de onda en μm	$h \cdot c = 1.2398$
E_g	Separación entre bandas de energía en eV	$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$

Para diodos de arseniuro de galio (GaAs), E_g , vale 1.43 eV; entonces para λ vale 0.87 μm (a temperatura ambiente).

Para fosfuro de indio (InP) con $E_g = 1.35 \text{ eV}$, de manera análoga $\lambda = 0.92 \mu\text{m}$.

El ancho espectral medio $\Delta\lambda$ de un diodo luminiscente es aproximadamente proporcional al de la longitud de onda, o sea aumenta fuertemente a elevadas longitudes de onda.

Otro importante valor característico es el tiempo de conmutación del diodo luminiscente. Su valor determina el tiempo de reacción del diodo. Sucede que el tiempo medio de vida de los portadores de carga en exceso determina la emisión de luz después de interrumpirse la corriente. Por debajo de este límite, el diodo ya no puede reaccionar ante las variaciones de la corriente inyectada. Tiempos mínimos típicos están en el orden de algunos nanosegundos que corresponde a un ancho de banda de modulación en la gama de 100-MHz.

Dado que tiempo de reacción y rendimiento cuántico son función de la concentración de lagunas, no es posible optimizarlos simultáneamente. Diodos emisores de luz muy "rápidos" irradian, con referencia a la corriente de inyección, menos fotones.

Diodo láser

Otra fuente emisora que utiliza la emisión estimulada es el diodo láser (fig. 3.2(3))

Láser es la abreviatura de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplificación de luz por emisión estimulada de radiación).

En el diodo láser se provoca, por medio de una corriente de alta densidad, un gran exceso de portadores de carga en la banda de conducción que posibilita una fuerte emisión estimulada. Este efecto amplificador producido por una avalancha de fotones es apoyado por un resonador óptico que, en general, está conformado por dos espejos planos paralelos semitransparentes. En el diodo láser, ambas superficies espejadas son superficies naturales de cristal que se forman al dividirse el cristal semiconductor y se recubren con una capa protectora adicional.

Para demostrar la diferencia entre un diodo emisor de luz y un diodo láser, se ilustran en la fig. 3.3 las curvas características típicas de potencia luminosa / corriente eléctrica. A medida que aumenta la corriente en el diodo se llega a un umbral donde la amplificación luminosa en el cristal compensa las pérdidas provocadas por atenuación y radiación. Pasando este umbral se produce una fuerte emisión láser. Al trabajar el diodo láser, se produce una emisión en una o pocas líneas espectrales, en contraposición a la amplia distribución espectral del diodo emisor de luz (fig.3.4).

El ancho del espectro de emisión se indica en general como ancho medio $\Delta\lambda$ o ancho efectivo $\Delta\lambda_{ef}$ donde para un espectro gaussiano vale:

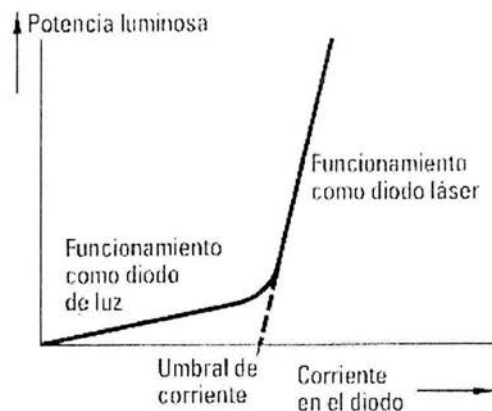
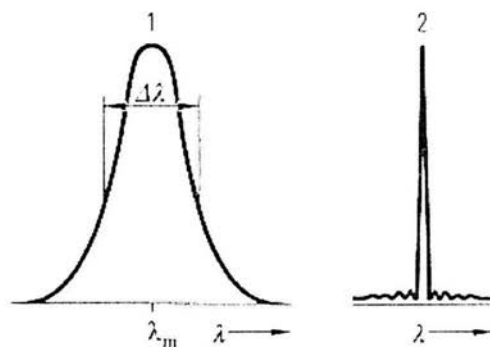


FIG.3.3 CURVA CARACTERÍSTICA POTENCIA LUMINOSA/CORRIENTE DE UN DIODO LÁSER



1 diodo emisor de luz

2 diodo laser

FIG.3.4 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA IRRADIACIÓN DE UN DIODO EMISOR DE LUZ (1) Y DE UN DIODO LÁSER (2)

La diferencia entre la radiación de un diodo emisor de luz y un diodo láser consiste en que este último, por emisión estimulada, emite luz coherente. El diagrama polar de radiación del diodo láser es mucho más estrecho que el del diodo LED, lo cual facilita un acoplamiento particularmente efectivo con el conductor de fibra óptica (fig. 3.5).

Conformación y valores característicos

Los diodos láser se pueden clasificar, según su estructura, en dos familias que se caracterizan por la clase de limitación lateral de la conducción de ondas.

De cada una de las familias se mencionará (a modo de ejemplo de una gran variedad de tipos) un tipo de diodo láser.

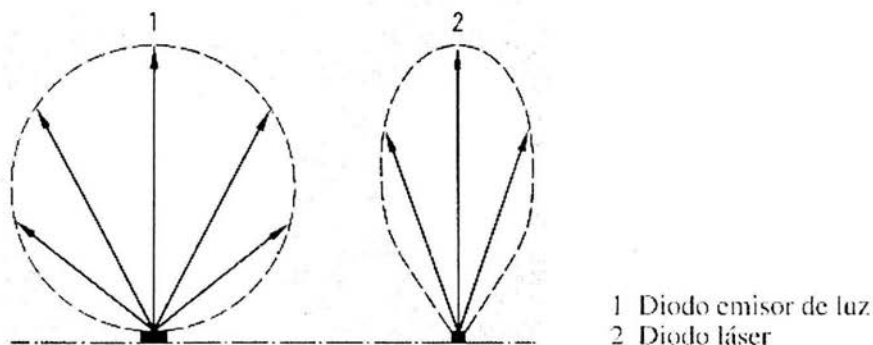


FIG.3.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RADIACIÓN DE UN DIODO EMISOR DE LUZ (1) Y DE UN DIODO LÁSER (2)

Componentes de los conductores de fibras ópticas

Para un enlace de vía con fibras ópticas, además de los cables de fibras ópticas como elementos pasivos, también tienen importancia los denominados componentes de conductores de fibras ópticas que sirven para la conexión y el cierre de uno o varios conductores de fibras ópticas, respectivamente. Entre éstos se cuentan los distribuidores ópticos y conectores.

Para transmitir informaciones a través de un conductor de fibras ópticas en dos direcciones o reunir varios emisores y receptores en una estructura óptica, entonces, se requieren de distribuidores de fibras ópticas. Distribuidores son "puertas múltiples", es decir, poseen por lo menos tres "puertas ópticas", por las cuales se puede acoplar o desacoplar luz.

Según la aplicación prevista en función de la longitud de onda se subdivide a los distribuidores en independientes y selectivos.

Distribuidores independientes de la longitud de onda

Para la conexión de M conductores de fibras ópticas con N conductores de fibras ópticas en un punto de una red de transmisión de fibras ópticas, son usados acopladores $M \times N$

(fig.3.6), que dentro de un campo específico de longitudes de ondas brindan una conexión casi independiente de longitudes de ondas de las fibras ópticas mencionadas.

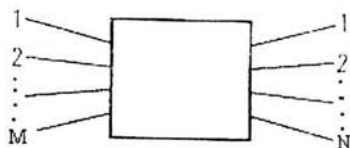


FIG. 3.6 ACOPLADOR $M \times N$

Además de este acoplador general $M \times N$, son aplicados en la práctica los siguientes casos especiales:

$$M=N$$

En esta configuración con el igual número de entradas y salidas se habla de un *acoplador estrella* o *mezclador*, como por ejemplo el acoplador estrella 4×4 (fig. 3.7).

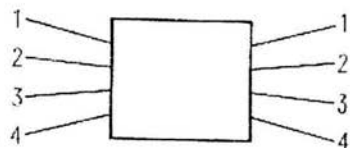


FIG. 3.7 ACOPIADOR ESTRELLA 4×4

$M=1$, N cualquiera

Esta configuración con una sola entrada y varias salidas es llamada *fragmento* o *acoplador árbol* o *distribuidor* como por ejemplo el fragmento 1×4 (fig. 3.8).

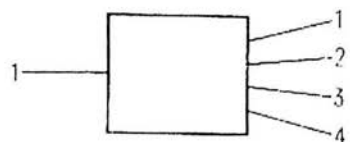


FIG. 3.8 FRAGMENTO 1×4

M cualquiera, $N=1$

Esta configuración es la imagen espejo de la configuración precedente uniendo así varias entradas con una salida. El nombre inglés para esto es Combiner (combinador), por ejemplo Combiner 4 : 1 (fig. 3.9).

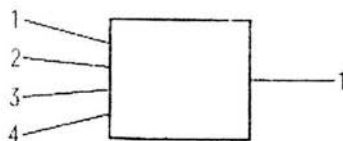


FIG. 3.9 COMBINER 4 : 1

En caso de las técnicas aplicadas para la producción de distribuidores de fibras ópticas se diferencian principalmente entre la tecnología de acoplador por fusión (fused-tapered fiber) y la tecnología planar de conductores de ondas (planar waveguide).

Los más usados en la práctica son los acopladores por fusión. Para realizar su producción se toman dos conductores de fibras ópticas los cuales se funden parcialmente y se expanden unos milímetros. De esta manera, un campo de modo de un conductor de fibras ópticas se superpone con el otro, lo cual conduce a un acoplamiento de luz.

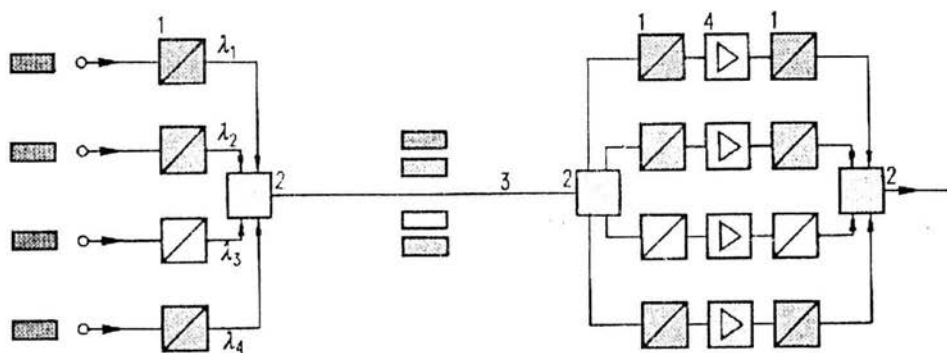
La técnica planar ofrece otra posibilidad de acoplamiento y es lograda con ayuda del intercambio de iones en probeta creando así una estructura de número de refracción apta para la conducción lumínica de un conductor de ondas. Las ventajas de estos conductores planares de ondas consisten en una reproducibilidad exacta y en una independencia de las longitudes de ondas.

Distribuidores con selectividad de longitudes de onda

El distribuidor con selectividad de longitudes de onda (fig. 3.10) es un dispositivo interesante sobre todo para distancias cortas y tramos sin regeneradores intermedios. Para ello se utilizan conversores electroópticos con longitudes de ondas diferentes, concentrando a través de acopladores ópticos selectivos la potencia lumínica emitida. Para la transmisión es suficiente un conductor de fibras ópticas. Este sistema se denomina multiplex por división de longitudes de onda WDM (Wavelength Division Multiplexing).

Se diferencia entre multiplexores por división en longitudes de onda uní o bidireccionales. En WDM unidireccional, la transmisión de señales se efectúa en una misma dirección con varios portadores ópticos de diferentes longitudes de onda; en los bidireccionales se produce la transmisión en direcciones opuestas

Multiplexores/demultiplexores, por división de longitudes de onda tienen, cada uno de ellos, un conductor de fibras ópticas continuo, en cuyo recorrido de rayos lumínicos existe una capa dieléctrica transmisora (filtro de interferencia). Varios conductores de fibras ópticas se pueden acoplar a través de la rama reflector del filtro de interferencia con las fibras ópticas continuas.



- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| 1 Conversor electroóptico | 3 Conductor de fibras ópticas |
| 2 Distribuidor WDM | 4 Regenerador |

FIG. 3.10 MULTIPLEX POR DIVISIÓN EN LONGITUDES DE ONDA WDM

En los equipos las fibras ópticas o están accesibles por medio de conectores o por medio de los extremos cortos de los conductores de fibras ópticas (pigtails).

La separación de canales es, para sistemas con diodos láser, de 40 a 50 nm. Se debe tener en cuenta que la atenuación de paso en los distribuidores WDM es de por ejemplo 0.8 a 1 dB para los de 3 vías (2 canales). Con respecto a las comunicaciones simples punto a punto, estos distribuidores acortan las longitudes de los trayectos.

Cuando se planifican las atenuaciones se debe tener en cuenta que para las diferentes longitudes de onda se producen distintas atenuaciones, es decir, la planificación se debe orientar de acuerdo al caso más desfavorable. Los distribuidores WDM son producidos para los conductores de fibras ópticas monomodos y multimodos (perfil gradual).

En la fig. 3.11 se muestra un ejemplo para la aplicación de distribuidores WDM.

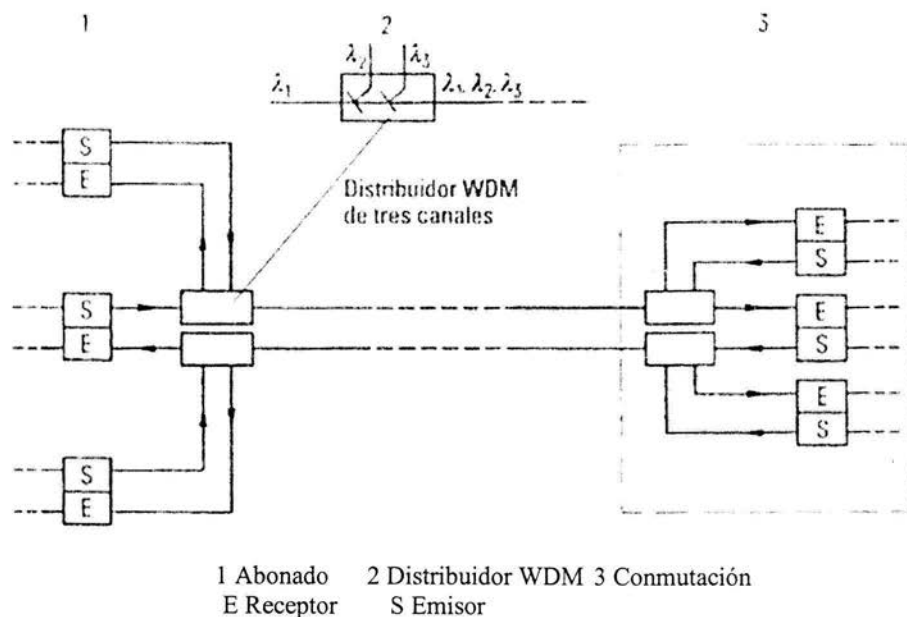


FIG. 3.11 CONEXIÓN DE ABONADO EN UNA RED DE TELECOMUNICACIONES DE BANDA ANCHA UTILIZANDO DISTRIBUIDORES WDM DE TRES CANALES

Además de los WDM existen otras posibilidades para transmitir, simultáneamente, señales eléctricas de una estación a otra.

Multiplex de conductores de fibras ópticas (fig. 3.12),

En este sistema se asigna a cada señal un conductor de fibras ópticas y una longitud de onda.

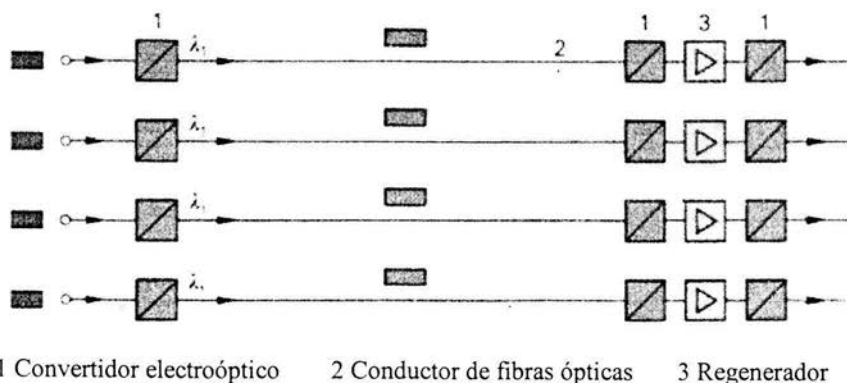
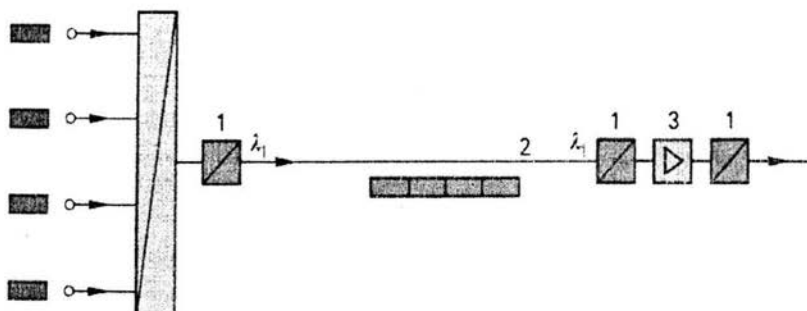


FIG. 3.12 CONDUCTOR DE FIBRAS ÓPTICAS MULTIPLEX

Multiplex por división de tiempo (Fig. 3.13).

En este caso se une eléctricamente un gran número de señales que, después de la conversión electro óptica, son transmitidas a través de un conductor de fibras ópticas utilizando una longitud de onda. Para ello se requiere un conductor de fibras ópticas con mayor ancho de banda,



1 Convertidor electroóptico 2 Conductor de fibras ópticas 3 Regenerador

FIG. 3.13 MULTIPLEX POR DIVISIÓN DE TIEMPO

CAPITULO IV APLICACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA

Videoconferencia.

Los negocios deben mantener los costos bajos y simultáneamente la producción alta por lo que muchas compañías usan las videoconferencias para disminuir enormemente sus costos de los viajes y el tiempo gastado en los traslados usarlo para actividades productivas. Los sistemas de videoconferencia conectan múltiples lugares; estos combinan la telefonía y el fax con la comunicación visual.

El proceso de instalar una videoconferencia es relativamente fácil, una sala de videoconferencia en cada lugar cuenta con audio, video, fax y un equipo de computo interconectados a la red de fibra óptica. Las personas de cada lugar pueden ver y escuchar a los demás. Pueden ser enviados documentos por fax o por medio de la computadora, por medio de una unidad de control en cada lugar es posible la utilización de múltiples cámaras y micrófonos así como señales de información para ser transmitidas, cada una de estas señales requiere de un diferente ancho de banda, la fibra óptica tiene la flexibilidad de transmitir varios anchos de banda dependiendo de los requerimientos o de la situación específica.

Imágenes y Fotografías.

“Una imagen vale mas que mil palabras” es un viejo dicho que todos conocemos, el cual es cierto hoy en día, satélites equipados con sofisticadas cámaras recorren la tierra analizando las condiciones climatológicas, depósitos de minerales, contaminación o nuestra paz y seguridad.

Imágenes de alta resolución son entonces transmitidas a la tierra, increíbles cúmulos de información deben ser almacenados para después ser distribuidos. El almacenaje de información en discos ópticos antes de ser distribuida por medio de la fibra óptica proporciona un rápido y confiable medio de mandar imágenes a aquellos que las necesitan.

Ejemplos de esto son los servicios de las revistas y periódicos, así como en la ingeniería, la medicina y la ciencia en general. Esta clase de usos de las imágenes comparten la necesidad de economizar y de tener conexiones con un ancho de banda amplio por largos periodos de tiempo.

Imágenes con hologramas.

A mas de 50 años de que la holografía fuera inventada, podemos encontrar hologramas dentro de las billeteras por todo el mundo, tan simples como los que están en las tarjetas de crédito los cuales son creados apuntando un láser luminoso hacia un objeto y grabando la reflexión en una cinta especial. Lo avances en holografía prometen traer imágenes de 3D a todo color a nuestros hogares.

Algunos ejemplos del uso de la holografía incluyen los siguientes:

Holofon Un teléfono capaz de desplegar una imagen de 3D tan real como si la persona a la cual uno llamara estuviera sentada en frente de uno, una de las más grandes barreras para que esto ocurra es el tremendo ancho de banda necesario, para transmitir en tiempo real imágenes en 3D. La solución es la fibra óptica, una vez que la emisora de fibra óptica esta en su lugar, materiales ópticos inteligentes operaran en ambos lados de las imágenes holográficas, por lo cual se eliminara el uso de poderosas computadoras.

Holoimpresora Una impresora capaz de producir hologramas instantáneos de imágenes en la pantalla, la impresora necesitara de pantallas de cristal líquido para la exposición de la cinta holográfica a la luz.

CAD/CAM (diseño / elaboración asistido por computadora).

La fibra óptica es ahora indispensable en innumerables aplicaciones industriales, con la innovación del CAD/CAM, los dibujos son convertidos en archivos que permiten a las maquinas controladas por computadoras crear diseños sin la intervención del hombre.

Maquinaria pesada como motores, soldadoras y demás aparatos crean demasiada interferencia electromagnética. La fibra óptica es conectada entre las computadoras y la maquinaria sin esta dañina interferencia.

Sensores.

La fibra óptica no solo esta diseñada para las comunicaciones; es usada de muchas formas, sensores producidos con fibra son usados para medir temperatura, presión, humedad, corrientes eléctricas, entre otros. En algunos casos como en ambientes flamables o explosivos, sensores eléctricos pueden ser un riesgo, la fibra óptica elimina estos problemas.

Estos sensores pueden medir los niveles de petróleo en o fuera de la costa, así como monitorear equipo de seguridad en plantas atómicas, así como detectar sobrecargas de corriente que pueden dañar equipo de oficina o costosos sistemas de entretenimiento caseros. Estos sensores son utilizados en los supermercados para escánear los precios, abrir puertas, garajes y mover escaleras o pasillos corredizos.

Sistemas de seguridad.

Es un hecho que no se puede negar, el que en estos días nos tengamos que enfrentar al crimen, pues es un serio problema alrededor del mundo, video cámaras observan si hay disturbios en edificios hoteles o centros comerciales. Un circuito cerrado de seguridad de fibra óptica puede transmitir imágenes de alta resolución a una estación de seguridad remota. Muchas imágenes, señales de alerta y voces viajan por la misma fibra hacia la estación de seguridad que esta monitoreando el edificio, la cual puede estar en una puerta contigua o al otro lado de la ciudad.



FIG 4.1 SISTEMA DE VIGILANCIA

Anuncios.

La industria de los anuncios se ha desarrollado rápidamente usando fibra óptica. Los anuncios con fibra óptica han tenido un impacto que los anuncios convencionales jamás hubieran imaginado. Brillo, colores vivos o animaciones caracterizan a los anuncios con fibra óptica, estos anuncios han sido usados para objetivos educativos, promocionales, exhibiciones de los museos y hasta señales de las autopistas.

CCTV-Televisión de circuito cerrado

Más y más compañías se han visto en la necesidad de requerir de cámaras de vigilancia. La vigilancia remota o la habilidad de poner una cámara casi en cualquier lado ha facilitado el desarrollo de de muchas industrias y servicios que usan una cámara de TV para vigilancia sin la necesidad de observación o supervisión humana. Las aplicaciones para la CCTV incluyen:

- Educación
- Bancos
- Seguridad
- Procesos industriales
- Video conferencias

Vigilancia en edificios
Control de tráfico
Exploración bajo el agua

Estas aplicaciones generalmente usan la banda base del video sin una portadora modulada. La imagen puede ser en blanco y negro o color, dándoles a los usuarios una buena calidad de imagen a un bajo costo. En los sistemas de vigilancia con múltiples cámaras, cada cámara tiene su propio monitor y todos los monitores se agrupan en un solo lugar para poder ser observados por solo un operador.

Medicina

Durante los primeros días de la medicina, estaba más que claro para los médicos que el hecho de poder tratar y diagnosticar el interior del cuerpo usando instrumentos médicos no quirúrgicos sería benéfico. Uno de los primeros intentos fue un simple instrumento óptico para mirar dentro del cuerpo. Un tubo insertado por el oído o la boca permitía tener una limitada visión dentro del cuerpo y fue llamado endoscopio. Durante los últimos cientos de años, estos instrumentos han sido mejorados tanto mecánica como ópticamente.

Con la disposición de las fibras ópticas y del láser, el endoscopio se volvió mas complicado pero mucho mas poderoso y ahora es una herramienta terapéutica. Un medico puede colocar a su antojo una fibra óptica en cualquier punto del cuerpo humano, el sistema cubre virtualmente todos los procedimientos como son el diagnostico, la cirugía y la terapia, y reduce enormemente el trauma del paciente.

Realidad Virtual

Posiblemente la más emocionante aplicación de las fibras ópticas es la realidad virtual. Esta es una nueva forma en multimedia que integra gráficos en tercera dimensión, dispositivos interactivos y representaciones en alta resolución para dar al usuario la capacidad de estar frente a un nuevo ambiente por medio de la pantalla. Los gráficos de alta resolución acoplados a las interfaces sensoriales son usados para convencer a los sentidos del usuario de que el o ella son realmente parte del ambiente generado por la computadora.

Los programas van desde simples programas caprichos a programas de entrenamiento práctico, Usted puede jugar raquetbol con un contrincante que se encuentra al otro lado del país y ambos sentir como si estuvieran en la misma cancha. Con la magia de la realidad virtual, los pilotos pueden simular vuelos desde una cabina de avión y enfrentarse a enemigos en seguras batallas.

En un futuro cercano, la fibra óptica será el único medio de transmisión que pueda manejar la enorme cantidad de datos requeridos para crear mundos virtuales. Esto incluirá los guantes y los trajes usados por el usuario, la fibra servirá como el conducto por el que se transporta la imagen y reducirá el peso y tamaño del casco usado.

Edificios Inteligentes

Un edificio inteligente no tiene que ser como se ve en las películas de ciencia ficción o como uno se imagina las oficinas de la NASA, un edificio inteligente ya puede ser el hogar de uno mismo, una casa inteligente tiene un nuevo método que controla la casa automáticamente, este método permite controlar funciones de la casa desde algún punto remoto. Todos los sistemas de la casa como son las luces, la calefacción, los sistemas de seguridad, además los electrodomésticos como son la cafetera, el refrigerador o el microondas pueden ser apagados o encendidos desde un teléfono de marcado por tonos. Estas funciones pueden operarse con una línea convencional de cobre, pero la fibra óptica incrementa la eficiencia y todavía tiene la capacidad de encargarse de otras funciones.

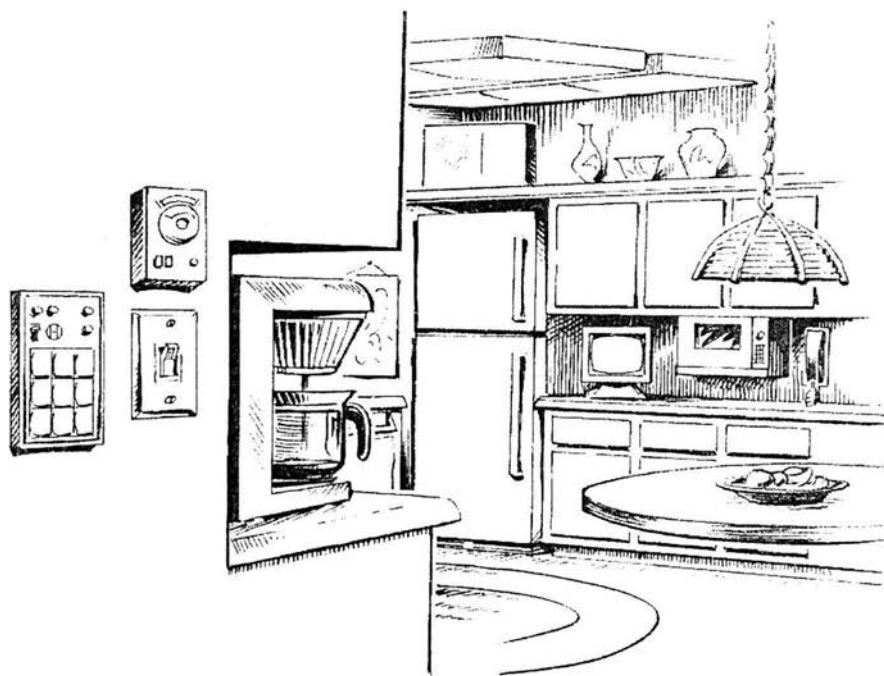


FIG. 4.2 INTERIOR DE UNA CASA INTELIGENTE

GLOSARIO

Angulo de aceptación. Máximo ángulo de acoplamiento posible Θ_{\max} también llamado ángulo de apertura, dentro del cual se puede acoplar la luz al núcleo y conducirla por el mismo.

Angulo limite. Angulo de incidencia de un rayo de luz que pasa de un material con índice de refracción mayor n_1 a otro material con índice de refracción menor n_2 para el cual el índice de refracción es de 90° es decir para el cual la luz deja de transmitirse. El seno del ángulo limite α es igual a la relación de ambos índices de refracción.

$$\text{sen } \alpha = \frac{n_2}{n_1}$$

Apertura numérica. El seno del ángulo de aceptación Θ_{\max} de un conductor de fibras ópticas

$$AN = \text{sen} \Theta_{\max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Dispersión de modos. La dispersión en un conductor de fibras ópticas provocada por la superposición de modos con diferentes tiempos de recorrido e igual longitud de onda.

Índice de refracción. Factor que expresa la reducción n del valor de la velocidad de la luz en un material ópticamente denso con respecto al vacío. Se distingue entre el índice de refracción de fase e índice de refracción de grupo. El índice de refracción es, en los materiales ópticos una función de la longitud de onda.

Índice de refracción de fase. Factor de reducción n de la velocidad de propagación de una fuente de luz infinita y no modulada, o sea la velocidad de fases en un material ópticamente denso con respecto al vacío.

Índice de refracción del grupo. Factor n_g por el cual la velocidad de propagación de un grupo de ondas de luz finito, es decir la velocidad en grupos, en un medio ópticamente mas denso es menor que en el vacío.

$$n_g = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

Interferencia. Superposición de dos o más ondas al pasar por el mismo lugar al mismo tiempo. La amplitud resultante es en todos los casos igual a la suma de amplitudes de las ondas originales.

Ley de Snell. Al refractarse un rayo de luz, el rayo incidente y el rayo refractado están en un plano perpendicular a la superficie de separación entre ambos materiales siendo la relación de los índices de refracción de ambos materiales igual a la relación de los senos del ángulo de incidencia α y el de refracción β :

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta} = \frac{n_1}{n_2}$$

Longitud de coherencia. Longitud de propagación, a lo largo de la cual una onda de luz se denomina coherente, es decir en la que permanece invariable la fase y la longitud de onda.

Longitud de onda. Periodo en el espacio de una onda plana, o sea la distancia o espacio recorrido por una oscilación completa. En las comunicaciones ópticas se emplean longitudes de onda en las gamas de 0.8 a 1.6 μm

Mezcla de modos. Los numerosos modos de un conductor de fibras ópticas multimodo se diferencia entre otros aspectos, por su velocidad de propagación, sus variaciones en la geometría del conductor y el perfil del índice de refracción.

Modulación. Proceso de cambiar una forma de onda variando la amplitud, frecuencia o fase para transmitir información. Exponente de perfil Parámetro con que en perfiles de potencia se define la forma del perfil.

Multiplexión. Función que permite que dos o más fuentes de información compartan un medio de transmisión común de tal forma que cada fuente de datos tiene su propio canal.

Ondas coherentes. Ondas con la misma longitud de onda y diferencia de fases constante en el tiempo

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). Un reflectómetro óptico con base de dominio en el tiempo es un instrumento de ensayos que envía cortos impulsos de luz a través de una fibra óptica a fin de determinar sus características, atenuación y longitud.

Perfil gradual. Perfil de índice de refracción de un conductor de fibras ópticas, que en la sección del núcleo del conductor de fibras ópticas disminuye de manera constante.

Tensión de tracción. Tensión de arrastre mecánico a la que se somete a un cable durante las operaciones de instalación.

Velocidad del grupo. Velocidad de propagación de un grupo de ondas compuesto por ondas individuales con diferente longitud de onda

CONCLUSION

La fibra es un medio de transmisión de información analógica o digital. Las ondas electromagnéticas viajan en el espacio a la velocidad de la luz. El concepto de las comunicaciones por ondas luminosas ha sido conocido por muchos años. Sin embargo, no fue hasta mediados de los años setenta que se publicaron los resultados del trabajo teórico. Estos indicaban que era posible confiar un haz luminoso en una fibra transparente flexible y proveer así un análogo óptico de la señalización por alambres electrónicamente.

La capacidad de transmisión de información que tiene una fibra óptica depende de tres características fundamentales: del diseño geométrico de la fibra, de las propiedades de los materiales empleados en su elaboración, de la anchura espectral de la fuente de luz utilizada. Cuanto mayor sea esta anchura, menor será la capacidad de transmisión de información de esa fibra.

La fibra de índice escalonado tiene dispersión, reducido ancho de banda y es de bajo costo, resultan tecnológicamente sencillas de producir, es la más simple, pero también la de menor eficiencia.

La fibra de índice gradual es mas costosa pero de gran ancho de banda. Se puede disminuir la dispersión haciendo variar lentamente el índice de refracción entre el núcleo y el recubrimiento. La fibra de índice gradual es más difícil de fabricar y se utiliza en los enlaces de alta capacidad de información.

En la fibra monomodo las dimensiones del núcleo son comparables a la longitud de onda de la luz, por lo cual hay un sólo modo de propagación y no existe dispersión. Este tipo de fibra es la más usada en las telecomunicaciones a gran distancia con elevada eficiencia.

Los tres bloques principales del enlace son: el transmisor, receptor y la guía de fibra. El transmisor consiste de una interfase analógica o digital, un convertidor de voltaje a corriente, una fuente de luz y un adaptador de luz de fuente a fibra. La guía de fibra es un vidrio ultra puro o un cable de plástico. El receptor incluye un dispositivo conector detector de fibra a luz, un fotodetector, un convertidor de corriente a voltaje, un amplificador y una interfase analógica o digital.

La fibra óptica inicialmente fue usada como medio de transmisión por su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se han descubierto un sinnúmero de aplicaciones además de la telefonía, la computación, los sistemas de televisión por cable, la transmisión de información o imágenes, así como la automatización industrial, entre otros.

BIBLIOGRAFIA

Fiber optics and the telecommunications explosion
Norma Thorsen
Prentice Hall

Comunicaciones opticas
Jose Martin Sanz
Ed. Paraninfo

Sistemas de comunicaciones por fibra optica
Hidelberto Jardon Aguilar
Roberto Linares y Miranda
Alfaomega

Conductores de fibra optica
Günther Mahlke
Peter Gössing
Marcombo Boixareu

<http://www.geocities.com/SiliconValley/Node/9625/tiposddiodos.html>