



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

---

# **Fibra Óptica: Evolución, Estándares y Aplicaciones**

---

**Trabajo monográfico  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**INGENIERO EN REDES**

**PRESENTA**

**Adrián Emmanuel Chan García**

**Supervisores**

**Dr. Homero Toral Cruz**  
**Dr. Francisco Méndez Martínez**  
**Dr. Freddy Ignacio Chan Puc**

**Supervisores suplentes**

**Dr. José Antonio León Borges**  
**M.M. José Raúl García Segura**





**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

TRABAJO MONOGRÁFICO TITULADO  
"Fibra Óptica: Evolución, Estándares y Aplicaciones"


ELABORADO POR  
Adrián Emmanuel Chan García

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADO COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**INGENIERO EN REDES**

**COMITÉ SUPERVISOR**


SUPERVISOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Homero Toral Cruz

SUPERVISOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Francisco Méndez Martínez

SUPERVISOR:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Freddy Ignacio Chan Puc

SUPLENTE:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio León Borges

SUPLENTE:

  
\_\_\_\_\_  
M.M. José Raúl García Segura



## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado para mis padres, que me han brindado el apoyo desde que era pequeño, muchísimas gracias por hacer ese gran esfuerzo para que yo pueda llegar a este punto de mi vida, darme la educación, enseñanza y los valores que me hacen hoy en día la persona que soy. Por hacer lo posible y darme los medios necesarios para que yo pueda concluir con mis estudios.

Para mi familia que me ha apoyado en todo momento, darme la fuerza para seguir adelante en mis estudios.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que nada, agradecer a Dios por permitirme llegar hasta aquí.

Agradecer al Dr. Homero Toral Cruz por ser gran profesor y un amigo, por el interés y dedicación que me brindo a lo largo del desarrollo de este trabajo, gracias por el apoyo y los consejos y sobre todo por creer en mí.

Al profesor Javier Vázquez Castillo por un ser un gran tutor en el transcurso de la carrera, por brindarme su amistad además de apoyarme en diversas ocasiones.

A mi gran amigo Jhoan Andrés Vázquez Chim, muchas gracias por tu apoyo, la confianza y la lealtad que has demostrado dentro y fuera de la escuela.

## INDICE

Tabla de ilustraciones.....	8
Lista de tablas.....	8
INTRODUCCIÓN.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
JUSTIFICACION .....	12
CAPITULO I.....	13
INTRODUCCION A LA FIBRA OPTICA .....	13
1.1 Historia de la fibra óptica .....	13
1.2 Fibra Óptica .....	14
1.3 Forma de propagación de la información en la fibra óptica.....	15
1.4 Tipos de Fibra óptica .....	16
1.4.1 Fibra monomodo:.....	16
1.4.2 Fibra multimodo.....	17
1.5 Ventajas y desventajas de la fibra óptica.....	18
CAPITULO II .....	20
CONCEPTOS BASICOS DE LA TECNOLOGIA OPTICA.....	20
2.1 Ley de Snell.....	20
2.1 Reflexión.....	20
2.2 Refracción.....	22
2.2.1 Índice de refracción.....	23
2.3 Perfiles de la fibra óptica.....	23
2.3.1 Perfil escalonado .....	24
2.3.2 Perfil gradual .....	26
2.4 Dispersión.....	27
2.5 Dispersión Rayleigh .....	28
CAPITULO III.....	29

EVOLUCION DE LA FIBRA OPTICA.....	29
3.1 La importancia del “pico de agua” en fibras G.655.....	29
3.1.1 Impacto de la supresión de pico de agua.....	29
3.2 Nuevas tecnologías de fibra óptica .....	30
3.3 Amplificadores Raman .....	33
3.3.1 Efecto Raman .....	33
3.4 Fibras de nueva generación .....	34
3.4.1 Fibras ZPWF (Zero Water Peak Fibers) con atenuación plana en el pico de agua .....	34
3.4.2 Multiplex ion por división de longitud de onda aproximada (CDWM) .....	35
3.4.2.1 Fibras de nueva generación hasta 16 longitudes de onda.....	36
3.4.2.2 Normas de marcha .....	36
Capitulo IV .....	37
Estándares de Fibra Óptica .....	37
4.1 Terminología y Clasificación.....	39
4.2 Estándares y recomendaciones seleccionadas .....	40
4.3 ITU-T recomendaciones .....	41
4.4 Normas de la fibra monomodo .....	42
4.4.1 G.652 .....	42
4.4.2 G.655 .....	42
4.4.3 G.656 .....	42
4.4.4 G.657 .....	43
CAPITULO V .....	44
Aplicaciones de la Fibra Óptica .....	44
5.1 Internet.....	44
5.2 Redes .....	44
5.3 Telefonía.....	46
5.4 Otras aplicaciones .....	46
5.5 Áreas de Aplicación .....	47
5.5.1 Instrumentación Óptica .....	47
5.5.2 Comunicaciones ópticas.....	48
5.5.3 Metrología óptica.....	48
5.5.4 Óptica de frontera.....	49

5.6 Aplicaciones de la fotónica.....	49
Bibliografía .....	52
CONCLUSIONES .....	53

## Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Elementos de la Fibra Óptica .....	14
Ilustración 2. Forma de propagación de la fibra óptica .....	15
Ilustración 3. Fibra Monomodo .....	17
Ilustración 4. Fibra Multimodo .....	18
Ilustración 5. Reflexión de la Luz.....	21
Ilustración 6. Reflexión de rayo en una superficie plana y lisa .....	21
Ilustración 7. Reflexión en una superficie rugosa .....	22
Ilustración 8. Rayo reflejado y refractado entre dos medios distintos.....	22
Ilustración 9. Atenuación de la fibra óptica .....	28
Ilustración 10. WDM .....	35
Ilustración 11. Ejemplo de la conexión de las redes en larga distancias .....	45

## Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros de Fibra Multimodo-Índice Escalonado .....	25
Tabla 2. Nueva definición de bandas de operación para sistemas ópticos .....	32
Tabla 3. Características más importantes de las fibras ZWPF segun la norma G.652 de la ITU-T.....	34
Tabla 4. Resumen Simplificado de los tipos de fibra multimodo definidos por las normas IEC .....	40



## INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo los medios de transmisión han evolucionado de una manera increíble, en poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en la tecnología más popular utilizada como canal de comunicación. Esto a su vez ocasiono una gran revolución y avances significativos en la tecnología de las comunicaciones, logrando así una mayor velocidad en la transmisión de información e incrementando las capacidades de las redes y la calidad de servicio de múltiples aplicaciones multimedia.

La fibra óptica constituye el eje central de un sistema de comunicación de manera global, es un hilo muy delgado flexible de vidrio, con un índice de refracción alto, diseñado para transportar grandes cantidades de información en forma de luz.

La fibra óptica se clasifica fundamentalmente en dos grupos según el modo de propagación: multimodo y monomodo.

La fibra óptica multimodo está diseñada para distancias de transmisión cortas, comúnmente utilizada en sistemas LAN y videovigilancia. En la fibra óptica multimodo pueden ser guiados muchos modos o rayos luminosos, donde, cada uno sigue un camino diferente dentro de la fibra óptica.

La fibra monomodo está diseñada para distancias de transmisión largas, haciéndola muy apropiada para telefonía y sistemas de radio difusión; monomodo indica que solo permite la propagación de un único modo o rayo, el cual se propaga directamente sin reflexión. A algunas fibras se les han agregado imperfecciones, como es el caso de las fibras dopadas con iones de tierras raras, componente clave utilizado en los sistemas avanzados de comunicación, donde tienen diversas aplicaciones, tales como: láseres basados en fibra óptica, interruptores ópticos, amplificadores ópticos y una gran variedad de componentes no lineales.

En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica referente a la tecnología de fibra óptica, la evolución que ha experimentado desde sus inicios hasta

nuestros días, los principales estándares desarrollados y las múltiples aplicaciones de esta tecnología.

## OBJETIVO GENERAL

Describir la tecnología de la fibra óptica, su evolución a lo largo de los últimos años, estándares y aplicaciones.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analizar la evolución de la fibra óptica.
- ✓ Presentar las tecnologías de transmisión óptica actuales.
- ✓ Mostrar los principales estándares asociados a las fibras ópticas.
- ✓ Presentar las principales aplicaciones de la fibra óptica.

## JUSTIFICACION

La fibra óptica es muy importante ya que cuenta con diversas características que la hacen atractiva para quienes la usan, esto les permite mejorar la productividad, simplificar la activación y mantenimiento de red a la vez que reducen sus costos y esto causa que el usuario que disponga de ello tenga una satisfacción.

Se le da un mayor uso a la fibra óptica en las redes de larga distancia, pero gracias a los avances tecnológicos que han presentado los componentes ópticos nos llevan a una mejora en las redes ya establecidas, permitiendo así la disminución de costo de la operación y al mismo tiempo ofrece a las comunicaciones nuevos usos o aplicaciones.

En este trabajo de monografía se presenta la posibilidad de desarrollar un trabajo que permita dar a conocer los conceptos, así como la historia de las fibras ópticas siendo esto un material de ayuda para la educación de las telecomunicaciones.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION A LA FIBRA OPTICA

#### 1.1 Historia de la fibra óptica

En 1880 Alexander Graham Bell utilizo un haz de luz para llevar información, pero se evidencio que la transmisión de las ondas de luz por la atmosfera de la tierra no es practica debido a que el vapor del agua, oxígeno y partículas en el aire absorben y atenúan las señales en las frecuencias de la luz. (1)

En el año de 1950 Van Heel un holandés junto con H.H Hopkins y N.S Kapany de Inglaterra experimentaron con transmisión de luz a travez de haces de fibra. Sus estudios lo llevaron al desarrollo del fibroscopio flexible que se suele utilizar mucho en el campo de la medicina. Y en el año de 1956 Kapany. Fue quien acuño el término "Fibra óptica".

En 1960 se creó el primer laser y se pudo dar una demostración de su funcionamiento como un dispositivo óptico. La invención del láser acelero mucho los esfuerzos de investigación en comunicaciones con fibra óptica, aunque no fue así hasta 1967 cuando K.C Kao y G.A. Bockham propusieron un medio nuevo de comunicaciones usando cables de fibra revestida. Los cables de fibra que estaban disponibles en la década de los 60 tenían perdidas extremadamente grandes lo cual limitaba las transmisiones ópticas a distancias cortas. A partir del año 1970 la tecnología de las fibras ópticas ha crecido de una manera increíble. A finales de la década de 1970 y principios de la década de 1980 el refinamiento de los cables ópticos y el desarrollo de fuentes luminosas y detectores de alta calidad y económicos abrió la puerta al desarrollo de sistemas de comunicaciones de alta calidad. (2)

A mediados del año de 1990 las redes ópticas para voz y datos eran lugar común en los Estados unidos y en gran parte del mundo.

## 1.2 Fibra Óptica

La fibra Óptica ( FO) es un medio de físico que transporta señales sobre la base de la transmisión de la luz, para que esto pueda ocurrir se necesita que los extremos de dicha transmisión de luz existan dispositivos electrónicos que de un lado envíen la información en forma de rayos de luz y del lado contrario haya un receptor de información y decodifique la señal; la FO se compone frecuentemente de filamentos de vidrio de alta pureza, muy delgados y flexibles, cuyo grosor es similar a la de un cabello humano.

Este medio de transmisión óptico se comporta como una guía de onda lo cual permite la propagación de ondas electromagnéticas longitudinalmente; esto quería decir que una vez la luz es insertada por uno de los extremos de la fibra circula de una manera en la que el interior se refleja contra las paredes hasta alcanzar el extremo opuesto. Un cable de fibra óptica está compuesto por tres estructuras concéntricas: núcleo (core), revestimiento (cladding) y recubrimiento (buffer).

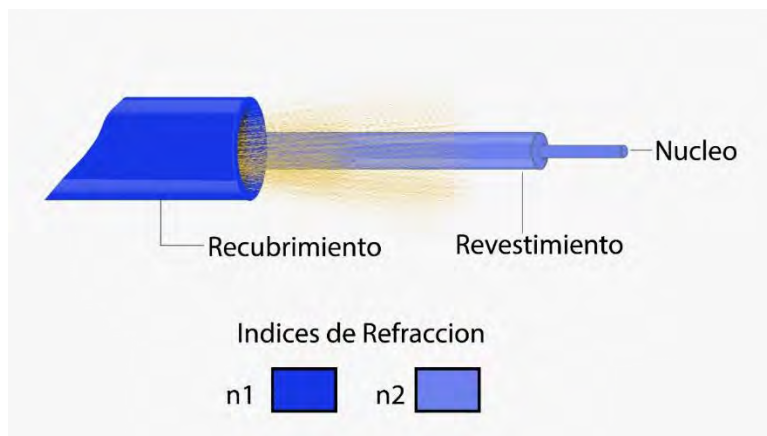


Ilustración 1. Elementos de la Fibra Óptica

El núcleo y el revestimiento de la fibra están hechos de dióxido de silicio; la luz se propaga a través de estos. Dicho recubrimiento sirve para dar resistencia mecánica, permitiendo su identificación a través de un código de colores. Aunque el núcleo y el revestimiento están constituidos del mismo material, tienen índices de refracción diferentes, lo que hace que la luz quede confinada y se propague sin escapar de la fibra.

“Las fibras ópticas pueden ahora usarse como los alambres de cobre convencionales tanto en pequeños ambientes autónomos (tales como sistemas de procesamiento de datos de aviones) como en grandes áreas geográficas.” (3)

### 1.3 Forma de propagación de la información en la fibra óptica

Como se ha mencionado la fibra óptica está compuesta por dos capas de vidrio, cada una con un distinto índice de refracción. El índice de refracción del núcleo es mayor que al del revestimiento por la cual la diferencia de los índices de refracción, la luz introducida al interior de la fibra se mantiene y se propaga a través del núcleo. La luz que es inyectada en el núcleo choca con las interfaces núcleo, revestimiento con un ángulo mayor que el ángulo crítico reflejándose hacia el núcleo. Cuando los ángulos de incidencia y reflexión son iguales, el rayo de luz continúa haciendo un zigzag sobre toda la longitud de la fibra. Se dice que este proceso la luz es atrapada en el núcleo. La luz que golpea las interfaces núcleo- revestimiento con un grado menor al ángulo crítico se pierde en el cladding.

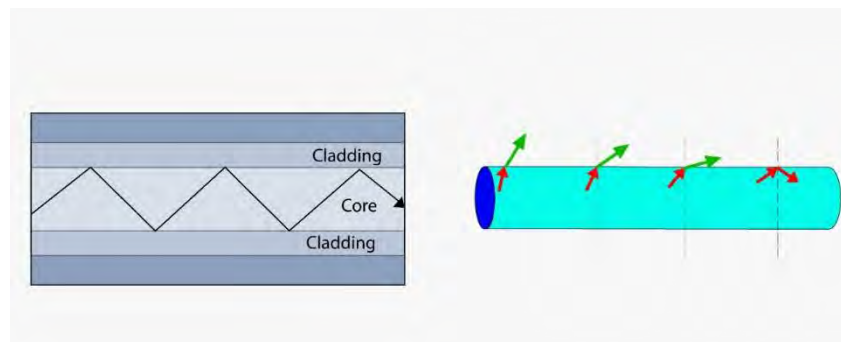


Ilustración 2. Forma de propagación de la fibra óptica

## 1.4 Tipos de Fibra óptica

Existen dos tipos de fibra optica los cuales son:

- Fibra monomodo
- Fibra multimodo

### 1.4.1 Fibra monomodo:

Estas fibras están caracterizadas por contener un núcleo de muy pequeño diámetro, pequeña NA, baja atenuación y un gran ancho de banda.

Este tipo de fibra óptica potencialmente es la ofrece mayor capacidad de transporte de información teniendo una banda de paso de 100 GHz/km, los mayores flujos se consiguen con este tipo de fibra de igual manera es la más compleja al momento de instalar. Tiene una peculiaridad, dentro de su núcleo los datos viajas sin rebotar en sus paredes esto permite mantener las velocidades de transferencia más altas. Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden que la longitud de las señales ópticas transmiten esto quiere decir de unos 5 a 8 mm.

Un requerimiento básico para poder tener una fibra monomodo es que el núcleo sea pequeño para así poder restringir la comunicación de un solo modo.

El tipo de fibra más simple se le denomina como fibra monomodo estándar y tiene un perfil del tipo step- index con una frontera de separación entre el índice superior del núcleo y el índice inferior del cladding.

Esta fibra es usada para cubrir grandes distancias y está construida con núcleos que pueden medir 9 micrómetros con un revestimiento de 125 micrómetros. Debido a que la fibra monomodo es bastante útil para transmitir datos a larga distancia es perfecta para universidades y redes de cable por televisión. (4)



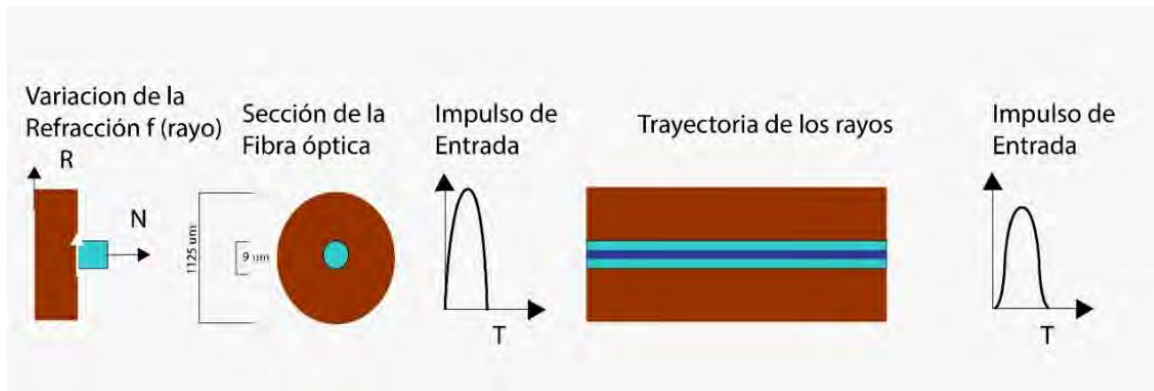


Ilustración 3. Fibra Monomodo

Existen dos tipos de cables monomodo:

OS1 monomodo este tipo de fibras cumplen con los estándares ITU-T G.652A/B/C/D. Son usadas mayormente para los interiores y la distancia es la que puede ser desplegada es de máximo 2,000 metros, el beneficio de esta de esta fibra es que permite tener desde 1 hasta 10 gigabits de Ethernet.

OS2 monomodo esta fibra cuenta solo con el estándar ITU-T G. G652C o ITU-T G.652D está diseñada para todos los usos haciéndolo más adecuado para exteriores. La distancia en la que puede ser desplegado varía entre 5,000 a 10,000 metros. Esto permite desde 1 a 10 gigabits de Ethernet. Los OS1 y OS2 son cables de larga distancia debido a su poca capacidad para doblarse.

#### 1.4.2 Fibra multimodo

“Las fibras multimodo son una buena opción para la transmisión de señales de voz y datos para distancias cortas, habitualmente se utilizan en redes de área local, dentro de edificios. El color habitual es naranja” (3)

Estas fibras cuentan con 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 este decrece cuando se dirige del núcleo hacia la cubierta.

Las fibras multimodo nos permite reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

“Las fibras ópticas multimodo son 10 veces mayores que las monomodo lo que permite a los haces de luz viajar siguiendo una variedad de caminos (o modos múltiples). Son suficientes para la transmisión de datos en distancias cortas (2 km como máximo) y se utilizan mayormente en redes de informática. (5)

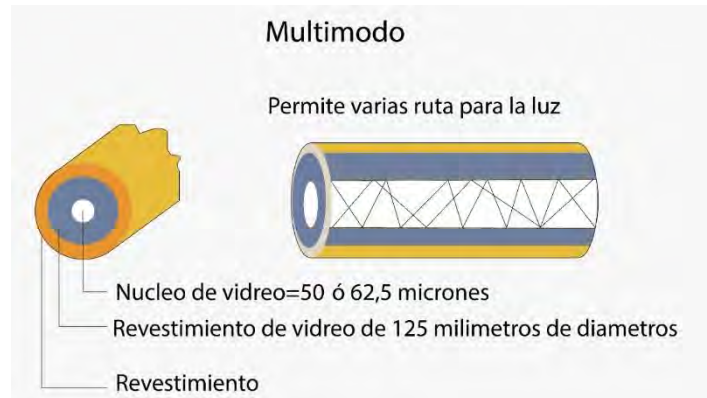


Ilustración 4. Fibra Multimodo

### 1.5 Ventajas y desventajas de la fibra óptica

La principal ventaja que nos proporciona una fibra óptica es su ancho de banda que es muy grande, existen sistemas de multiplicación que permiten enviar 32 haces de luz a una velocidad de 10 GB/s cada uno por una misma fibra dando lugar a una velocidad total de 320 GB/s.

Ventajas:

- ✓ La fibra óptica hace posible navegar por internet a una velocidad de dos millones bps.
- ✓ Video y sonido en tiempo real
- ✓ Es inmune al ruido e interferencias
- ✓ El peso del cable de fibras ópticas es muy inferior al de cable metálicos
- ✓ La materia prima para la fabricación es abundante en la naturaleza
- ✓ Compatibilidad con la tecnología digital
- ✓ No inflamable

A pesar de que cuentas con diversas ventajas también la fibra óptica tiene sus propias desventajas frente a distintos medios de transmisión

Desventajas:

- ✓ El costo de instalación es elevado
- ✓ Son muy frágiles
- ✓ Disponibilidad limitada de conectores
- ✓ Solo se pueden suscribir las personas que viven en las zonas de la ciudad por las cuales ya está instalada la red de fibra Óptica.
- ✓ No existen memorias ópticas
- ✓ No puede transmitir electricidad para alimentar repetidores intermedios

## CAPITULO II

### CONCEPTOS BASICOS DE LA TECNOLOGIA OPTICA

#### 2.1 Ley de Snell

La ley de Snell es una forma utilizada para calcular el ángulo de la reflexión de la luz este cuando atraviesa una superficie de separación entre dos medios con un índice de refracción distinto. Su nombre proviene de su descubridor Willebrord van Roijen Snell (1580-1626) un matemático holandés que además introdujo varios conocimientos importantes sobre el tamaño de la tierra, así como también realizo mejoras al método aplicado del cálculo.

Esta ley nos menciona que el producto de índice de refracción por el seno del ángulo de incidencia es de manera constante para cualquier rayo de luz que incide sobre la superficie separatriz de dos medios. La ley de Snell fue formulada para explicar los fenómenos de refracción de la luz y se puede aplicar a todo tipo de onda pasando por una superficie de separación entre dos medios en los cuales la velocidad de propagación de la onda vaya variando. (6)

#### 2.1 Reflexión

La reflexión es el cambio de dirección de onda que cuando entra en contacto con la superficie de separación entre dos medios cambiantes este regresa al medio donde se originó. Esto quiere decir que cuando un rayo de luz viaja en un medio encuentra una frontera que esta a su vez conduce a un segundo medio y parte de la luz incidente se refleja. En la ilustración 6. Esta nos representa diversos rayos de un haz de luz que inciden sobre una superficie que se encuentra de manera simple y hace una reflexión similar a un espejo. Dichos rayos son paralelos entre sí como podemos ver en la ilustración. 5. La dirección del rayo se encuentra de manera perpendicular a la superficie reflectora que contiene el rayo incidente. La reflexión de esta luz a partir de la superficie lisa recibe como nombre reflexión especular. En otro caso si la superficie se encuentra rugosa como se muestra en la ilustración 7,

esta superficie refleja los rayos en varias direcciones. Por lo tanto, cualquier reflexión que se encuentra en una superficie rugosa se le conocerá como reflexión difusa.

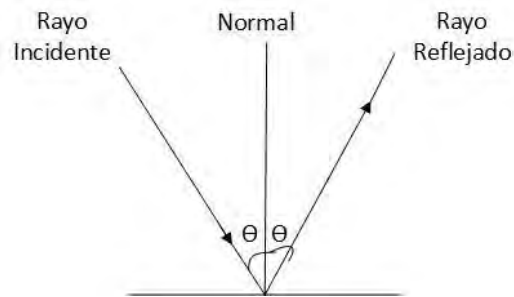


Ilustración 5. Reflexión de la Luz

Un rayo de luz que va viajando por el aire y que incide a un cierto ángulo sobre una superficie plana y lisa como en la Ilustración (7), los rayos incidentes y reflejados forman un ángulo de  $\theta_1$  y  $\theta_1$  en donde los ángulos estén medidos desde la normal a los rayos. La normal es una línea dibujada de manera perpendicular a la superficie en el punto en donde los rayos incidentes golpean a la superficie. Esto quiere decir según experimentos y estudios que el ángulo de reflexión es igual que el ángulo de incidente.

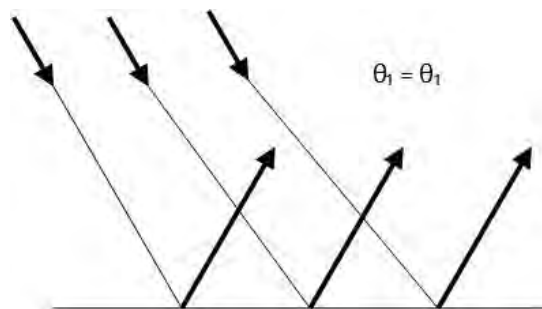


Ilustración 6. Reflexión de rayo en una superficie plana y lisa

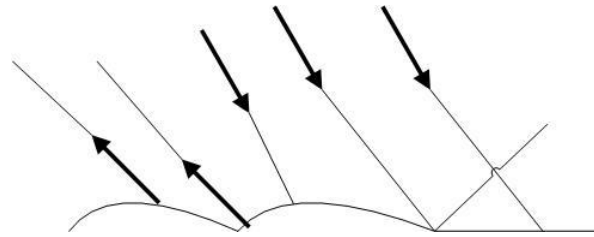


Ilustración 7. Reflexión en una superficie rugosa

## 2.2 Refracción

La refracción es un fenómeno el cual está relacionado con la transmisión de las ondas. Los rayos luminosos siguen una trayectoria rectilínea, pero al momento de pasar por un medio transparente a otro los rayos se refractan (se rompen), esto es debido a que la luz tiene una distinta velocidad según su densidad del material que pasa por ello. Entonces cuando un rayo viaja a través de un medio transparente estos encuentran una frontera que lleva a otro medio transparente, como podemos observar en la ilustración 5, una parte del rayo es reflejado y la otra parte pasa por el segundo medio. Como ya se había comentado cuando pasa por el segundo medio se refracta y el rayo incidente, reflejado y refractado se encuentran en un mismo plano que en ángulo de refracción  $\theta_2$ , como podemos observar en la ilustración 5 todo esto va a depender de las propiedades de los dos medios y del ángulo de incidencia a través de la relación.

En la imagen podemos observar que  $n_1$  viene siendo la velocidad de la luz en el medio 1 y  $n_2$  es la velocidad del medio 2.

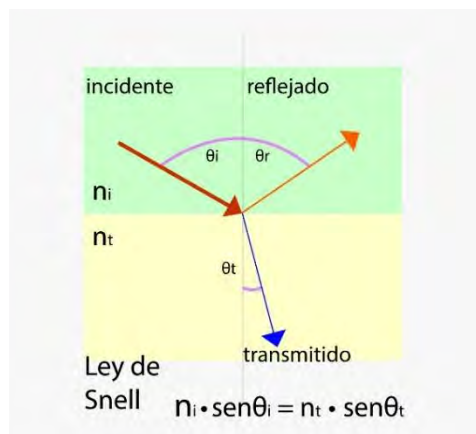


Ilustración 8. Rayo reflejado y refractado entre dos medios distintos

### 2.2.1 Índice de refracción

El índice de refracción se define como la velocidad de la luz en el vacío dividido por la velocidad de la luz en el medio, es conveniente definir al índice de refracción  $n$  de un medio como la relación.

$$n = \frac{\text{rapidez de la luz en el vacío}}{\text{rapidez de la luz en el medio}} = \frac{c}{v}$$

A partir de esta definición, podemos observar que el índice de refracción es un número adimensional mayor que la unidad, esto derivado a que  $v$  siempre es menor que  $c$  y  $n$  es igual a la unidad para el vacío. A medida que la luz viaja de un medio a otro, su frecuencia no cambia, pero la longitud de onda sí.

La medida de una densidad óptica de un material es el índice de refracción de dicho material, en cambio un material con un alto índice de refracción es perfectamente más denso y tiene una desacelera más la luz que un material con un menor índice de refracción. Cuando el rayo de luz parte de una sustancia ingresando a una sustancia cuyo índice de refracción es mayor este rayo que ingreso se refracta y se desvía hacia la normal, si sucede lo contrario que el rayo ingresa a una sustancia cuyo el índice de refracción es menor, el rayo refractado se desvía en sentido contrario de lo normal.

### 2.3 Perfiles de la fibra óptica

Para los perfiles de la fibra óptica se tiene que tener en cuenta que un conductor de fibra óptica se considera al índice de refracción  $n$  en función del radio  $r$ , se obtiene el perfil de índice de refracción de este conductor, de igual manera se describe la variación radial del índice del conductor de fibra óptica, desde el eje del núcleo hacia la periferia del núcleo.

$$n = n(r)$$

La propagación de los modos en el conductor de fibra óptica va a depender de la forma del perfil de los índices de refracción. Cuando se elabora la practica interesan los perfiles exponenciales, bajo esta denominación se entiende que aquellos perfiles de índice de refracción representan una variación que es una función exponencial del radio.

$$n^2(r) = n_1^2 \cdot \left[ 1 - 2 \cdot \Delta \cdot \left( \frac{r}{a} \right) \right] \text{ para el } r < a \text{ en el núcleo}$$

$n_1$ : Índice de refracción en el conductor de fibra óptica

$\Delta$ : Diferencia normalizada de índices de refracción.

$r$ : Distancia del eje del conductor de fibra óptica

$a$ : Radio del núcleo

$g$ : Exponente, llamado también exponente perfil

La apertura numérica (AN) de un sistema óptica es un numero dimensional que caracteriza el rango de los ángulos por los cuales el sistema acepta luz, también está relacionado con el ángulo de la salida del sistema.

### 2.3.1 Perfil escalonado

Este tipo de fibras con aquellas en las cuales el valor del índice de refracción en el núcleo permanece de manera constante y mayor que el valor del revestimiento. Como se conoce en la fabricación de una fibra un núcleo cilíndrico de vidrio o plástico con el índice de refracción  $n_1$  es cubierta por un recubrimiento igualmente de vidrio o plástica con un índice de refracción menos  $n_2$ . Cabe mencionar que cada posible trayectoria a través del núcleo es llamada modo de propagación. Entonces una fibra en que la luz se propaga a través de múltiples trayectorias es llamada fibra multimodo. Las fibras de este tipo son típicamente conectadas a transmisores ópticos como los diodos emisores de luz (Light Emitting Diode/ LED), y transportan información digital en forma de pulsos de luz.



<i>Diametro del nucleo mm</i>	<i>Recubrimiento <math>\mu\text{m}</math></i>	<i>NA</i>	<i>Atenuación db/Km 850 nm</i>	<i>Ancho de banda MHz-Km</i>
1000	1250	0.2	10	20
800	1000	0.2	10	20
600	750	0.2	10	20
600	620	0.37	6	9
400	500	0.2	10	20
200	240	0.26	10	20
200	230	0.37	6	17
125	200	0.29	5	20
100	150	0.2	5	25
100	150	0.2	5	25
100	140	0.29	5	20

Tabla 1. Parámetros de Fibra Multimodo-Índice Escalonado

El número máximo de modos de luz (camino para los rayos de luz) que pueden existir en el núcleo de una fibra va a depender de su apertura numérica, su diámetro y de la longitud de onda de la luz. La luz de un emisor se suele distribuir de una manera uniforme en el cono de aceptación de la fibra y la potencia Óptica del puso de estrada es distribuida uniformemente en todos los modos, debido a que cada modo tiene un tiempo diferente de propagación se produce un efecto que es llamada distorsión de pulso y con este se tendrá un ancho de banda limitado. A este fenómeno se le llama distorsión multimodo.

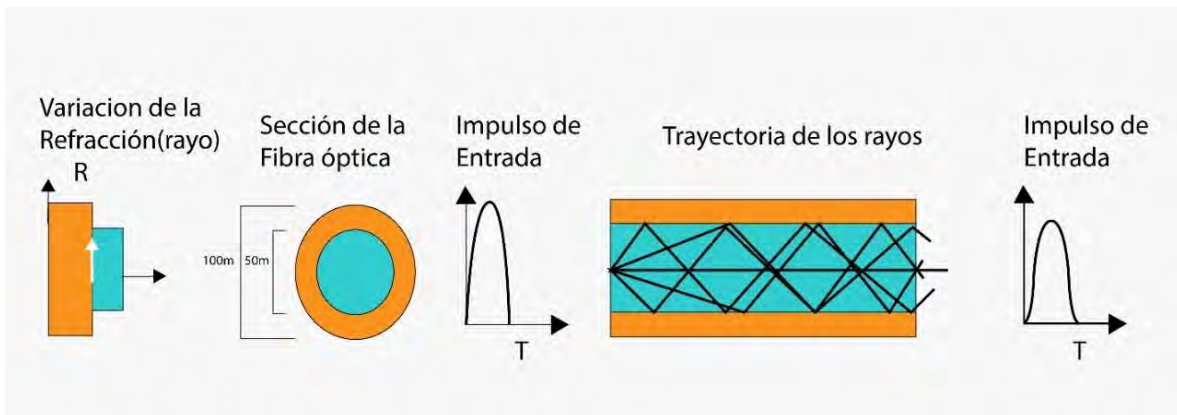


Ilustración 9. Perfil Escalonado

### 2.3.2 Perfil gradual

Las fibras de índice gradual consisten en un núcleo cuyo índice de refracción varía con la distancia a lo largo del eje con el objetivo de disminuir los efectos de la dispersión nodal. De la misma manera que la fibra de índice escalonado su núcleo está rodeado por el vidrio de revestimiento de menor índice de refracción. El ancho de banda mejorado se debe a la estructura especial de la fibra que permite un índice de refracción distribuido. Al igual que la fibra de índice escalonado su núcleo está rodeado por el vidrio del cladding o revestimiento de menor índice refractivo. Este tipo de fibras ofrecen una buena aceptación de luz y ancho de banda mucho mejor que las fibras de índice escalonado, otras características que ofrecen son:

- Atenuación moderada
- Bajo NA
- Diámetro del núcleo moderado

El ancho de banda que tiene mejorado se debe a la estructura especial con la que cuenta la fibra que permite un índice de refracción distribuido como lo podemos observar en la ilustración.

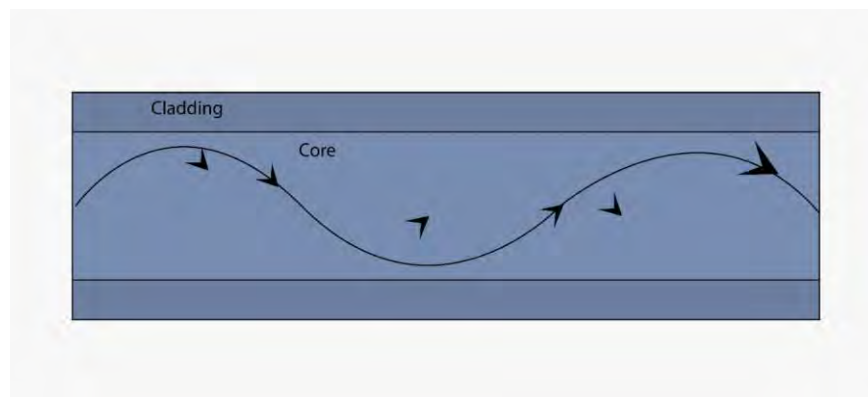


Ilustración 10. Perfil Gradual

Las fibras de índice gradual fueron diseñadas de tal manera que son especiales para el área de las telecomunicaciones, fue usada para algunas aplicaciones de telecomunicaciones hasta mediados de los años 80's, este tipo de fibras aún permanecen en uso principalmente en las redes de datos para transportar información a distancias moderadas.

## 2.4 Dispersión

Dispersión es la propiedad física inherente de las fibras ópticas que define el ancho de banda y la interferencia simbólica.

Las dispersiones temporales de los pulsos tienen dos orígenes fundamentales que es modal e intramodales. La dispersión modal o también conocido como esparcimiento del pulso este es causado por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes caminos por una fibra, la dispersión modal solo puede ocurrir en las fibras multimodo.

La dispersión modal puede ocasionar que un pulso de energía de luz se disperse conforme se propaga por una fibra esto quiere decir que, si el pulso que se está esparciendo es lo suficientemente severo, un pulso puede lograr caer arriba del próximo pulso. En una fibra de índice escalón multimodo un rayo de luz que se propaga por el eje de la fibra requiere de una menor cantidad de tiempo para que pueda viajar a lo largo de la fibra.

Las fibras monomodo por tanto solo presentan dispersión intramodal que a su vez proviene de dos causas diferentes que reciben los nombres de dispersión guía onda y la dispersión del material. (7)

## 2.5 Dispersión Rayleigh

La dispersión Rayleigh se utiliza para estudiar las propiedades elásticas cercanas a la superficie de una arcilla gruesa aproximadamente 10 metros de profundidad. Se utilizaron varias metodologías para extraer las curvas de dispersión, pero un método de parámetro de rayos de frecuencia modificado produciendo curvas de dispersión. Durante su proceso de fabricación el vidrio es producido en fibras largas de un diámetro relativamente pequeño. En este proceso el vidrio se encuentra en un estado plástico (no líquido ni sólido). La tensión que se aplica al vidrio durante este proceso causa que el vidrio se enfríe y se desarrolle irregularidades submicroscópicas que se forman de una manera permanente en la fibra.

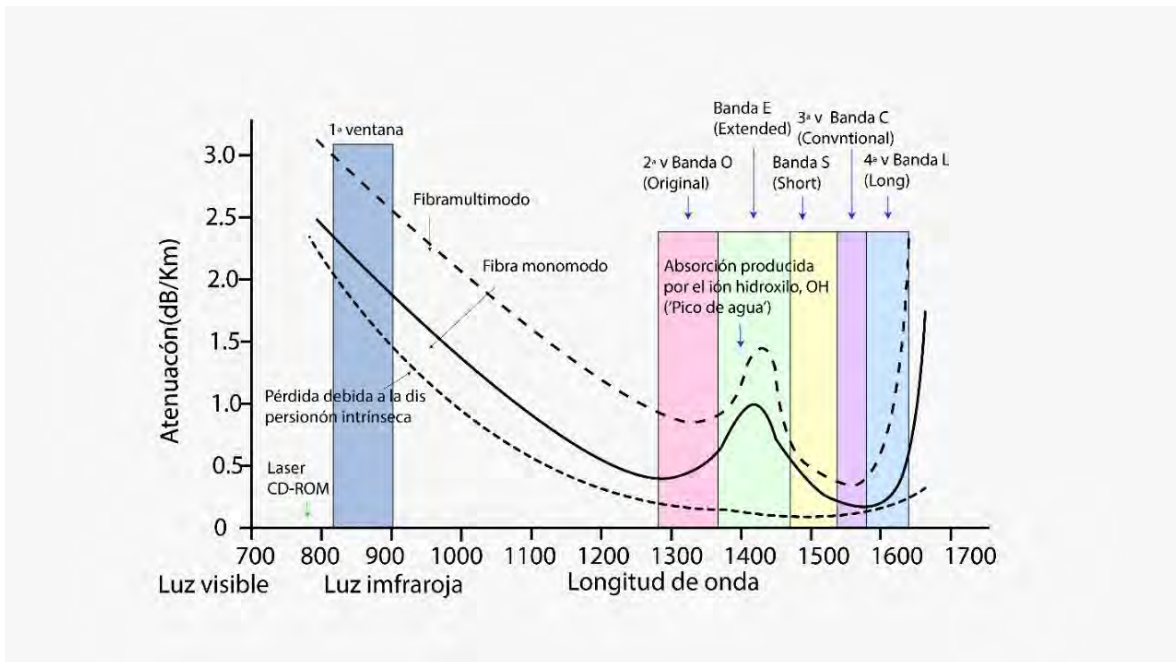


Ilustración 9. Atenuación de la fibra óptica

## CAPITULO III

### EVOLUCION DE LA FIBRA OPTICA

Con la aparición de la fibra tipo monomodo, el espectro básico de la atenuación de la Fibra Óptica ha ofrecido una región de una muy alta atenuación en la longitud de onda 1383 nm, conocido también como el pico de agua. Recientemente los productores de fibra óptica han estado introduciendo un nuevo estándar de la ITU-TG.652 de fibra mono modo, G.652.C y G.652.D que básicamente elimina el pico de agua.

#### 3.1 La importancia del “pico de agua” en fibras G.655

En 1383 nm existe un pico anómalo en la atenuación de fibra óptica que es causado debido a la absorción de agua (en forma de hidroxilo o iones de OH) que esta se disuelve en vidrio. Evidentemente las longitudes de onda en el modelo de las bandas de longitud centrada centrada entre 1310 nm y 1550, estas no suelen verse afectadas por el pico de agua por lo que la importancia de la reducción del volumen máximo de agua de fibra G.655 no es evidente.

##### 3.1.1 Impacto de la supresión de pico de agua

En la atenuación de la distribución de la fabricación de 1383 nm para las fibras de pico de agua no reprimido es amplia debido a la variabilidad de la atenuación, distribución y la inestabilidad del pico de agua esto debido al envejecimiento del hidrogeno, es por eso por lo que los diseñadores de sistemas necesitan ser conservadores en sus diseños. La nueva generación de fibras que cuenta con permanentes bajos picos de agua y una reducida atenuación de distribución ofreciendo significantes ventajas sobre la anterior generación de fibras con altos picos de agua. Esta nueva generación de fibras G.655 permite a los diseñadores el

sistema, mejorar de una manera muy drástica el rendimiento de su sistema y a si mismo ahorrar un gran costo en un rendimiento equivalente del sistema.

### 3.2 Nuevas tecnologías de fibra óptica

Las fibras monomodo en la recomendación G.652 de la ITU-T es hoy en día la más común en las instalaciones. La ITU-T a través del suplemento de la serie de recomendaciones "G" (Diseño de sistemas ópticos y consideraciones de ingeniería) de octubre de 2003 ha establecido una nueva definición de bandas de operación para los sistemas ópticos como lo son:

- Banda "O"
- Banda "C"
- Banda "L"
- Banda "U"
- Banda "E"
- Banda "S"

Banda "O" (Original): Definida a partir de los 1260 nm por encontrarse en este punto su longitud de onda de corte para las fibras G.652. Para este punto la dispersión en el peor caso es de -6.42 ps/km.nm por lo tanto su equivalente positivo debido a la pendiente de dispersión ocurre en 1375 nm pero este punto cae sobre la ascendente del pico de absorción de agua cuyo máximo está en 1383.

Banda "C" (Convencional): En la recomendación G.957 (Interfaces ópticas para equipos y sistemas relaciones con la jerarquía digital síncrona) se designó la zona desde 1430 nm a 1580 nm para las aplicaciones que son de corta distancia con la fibra G.652 en cambio con la zona 1480 nm y 1580 nm para aplicaciones que son usadas en largas distancias se usan con fibra G.652, G.653 Y G.654. Estos límites fueron impuestos debido a las consideraciones de la atenuación y en algunos casos particulares a la dispersión.

Banda “L” (Larga): Para longitudes superiores a la banda C, el rendimiento del cable de fibra óptica el rango de temperaturas específico es adecuado para 1625 nm para los tipos de fibras que hoy en día se usan. Es recomendable el uso de rangos lo más anchos posibles para la transmisión de señales, esto es lo que define la banda L que va desde 1565 a 1625 nm.

Banda “U” (Ultralarga): Cuando se presentan casos de mantenimiento y pruebas en las redes con fibra óptica en operación (generalmente con OTDR’S), este proceso se debe llevar a cabo introduciendo el láser del instrumento a la fibra fuera de tráfico o cuando está en tráfico y así poder ubicar la longitud de onda de prueba por medio de la multiplicación óptica dentro de la banda de transmisión. La banda U se basa en sistemas futuros se pueda realizar un monitoreo de la fibra en tráfico por medio de la ubicación de la longitud de onda en zonas donde no son utilizadas por las longitudes de onda de transmisión. Esta banda se define desde 1625 a 16675 nm ya que estas zonas son regiones atractivas para futuras longitudes de onda de mantención debido a su elevada atenuación.

Banda “E” (Extendida): Esta es la última actualización de la recomendación G.652 de marzo de 2003, esta incluye sub-categorías G.652.C y G.652.D, la estandarización de fibras que disminuyen la atenuación que es producida por el pico de absorción de agua. El efecto de absorción debido a los iones OH<sup>-</sup> es imperceptible más allá de los 1460 nm razón por la cual esta banda está definida entre 1360 y 1460 nm.

Banda	Descripción	Rango (nm)
Banda-O	Original (Original)	1260 a 1360
Banda -E	Extended (Extendida)	1360 a 1460
Banda-S	Short(Corta)	1460 a 1530
Banda-C	Conventional (Convencional)	1530 a 1565
Banda-L	Long (Larga)	1565 a 1625
Banda-U	Ultralong (Ultralarga)	1625 a 1675

*Tabla 2. Nueva definición de bandas de operación para sistemas ópticos*

Banda “S” (Corta): La zona que está comprendida entre los límites de las bandas E y C se denomina banda S. En aplicaciones particulares no se dispone de la banda completa por canales de información de manera propia. Algunas longitudes de onda pueden ser utilizadas para láseres de bombeo que necesitan los amplificadores ópticos, ya sean los del tipo ion-activo como los de raman.

Multiplexar las bandas C y L se han convertido en una manera convencional de aumentar el número de canales o la capacidad de transmisión en los sistemas de transmisión WDM (Wavelength Division Multiplexing) una manera que promete de aumentar la región del ancho de banda portadora más lejos es usando la banda-S (1450-1520 nm) debido a que la pérdida en la fibra está por debajo de los 0.25 db y la región es menos vulnerable a la pérdida de flexión de las bandas C y L.



### 3.3 Amplificadores Raman

La amplificación raman es una tecnología todo óptica que nos permite cubrir grandes distancias. Básicamente este fenómeno consiste en utilizar láseres de bombeo disponibles comercialmente para convertir a la fibra óptica en un medio de transmisión de banda ancha y ganancia distribuida.

Podemos decir que la fibra actúa como un amplificador óptico que cuenta con una gran longitud, proporcionando ganancia sobre las señales que se propagan por su interior. Los amplificadores raman suelen emplearse en una configuración de contra-propagación, es decir, las longitudes de onda de bombeo raman se introducen desde el extremo final del tramo de la fibra, de este modo se asegura que la mayor parte de la amplificación ocurra al final del trayecto de la fibra, en donde los niveles de señal son los más bajos evitando a la vez que los niveles de potencia a la salida de cada tramo de amplificación superen al umbral de los efectos no lineales.

#### 3.3.1 Efecto Raman

Cuando en una señal óptica de bombeo se encuentra con una fibra óptica esta experimenta un cierto grado de dispersión espacial causada por vibraciones moleculares (fonones). La luz dispersa se encuentra de una manera desplazada dicha señal desplazada se conoce con el nombre de Stokes, mientras que el efecto no lineal se denomina dispersión o scattering raman. (4)

### 3.4 Fibras de nueva generación

#### 3.4.1 Fibras ZPWF (Zero Water Peak Fibers) con atenuación plana en el pico de agua

Esta clase de fibra es elaborada con nuevos procesos de manufactura que son capaces de remover los iones OH que están presentes en la fibra y, por lo tanto, de manera virtual logran eliminar el pico de agua concentrado en 1383 nm y que causa una elevada tasa de error en la recepción de los canales ubicados entre 1370 nm y 1430 nm haciendo que no sean útiles. La fibra ZPWF se ubica dentro de la categoría de fibras ópticas monomodo estándar G.652, pero bajo las sub-categorías “C” y “D”.

	G..652 A	G.652 B	G.652 C	G.652 D
Atenuación (dB/KM)	$\leq 0.5$ a 1310 nm $\leq 0.4$ a 1560 nm	$\leq 0.4$ a 1310 nm $\leq 0.35$ a 1550 nm $\leq 0.4$ a 1625 nm	$\leq 0.4$ de 1310 a 1525 $\leq 0.47$ de 1250 a 1625	$\leq 0.4$ de 1310 a 1625 $\leq 0.47$ de 1250 a 1625
PMD del enlace (ps/km)	$\leq 0.5$	$\leq 0.2$	$\leq 0.5$	$\leq 0.2$

Tabla 3. Características más importantes de las fibras ZPWF según la norma G.652 de la ITU-T

Estas nuevas fibras son particularmente para la tecnología Multiplexión por división de longitud de onda aproximada (Coarse Wavelength Division Multiplexing, CDWM) principalmente en sistemas metropolitanos sin repetición.

### 3.4.2 Multiplex ion por división de longitud de onda aproximada (CDWM)

Esta tecnología fue utilizada comercialmente por primera vez a principios de 1980 para el transportar señales de video digital sobre la fibra multimodo. Hubo una corporación Quante que fue la que comercializo un sistema en la ventana de 800 nm con cuatro canales de funcionamiento cada uno de 140 Mbps.

Estos sistemas se utilizaron principalmente en los enlaces de televisión por cable. Cabe mencionar que los sistemas CWDM no generan un gran interés entre los proveedores de servicios hasta ahora. (8)Se buscan soluciones rentables a las necesidades de transporte, por una parte, la de CWDM es cada vez más aceptada ampliamente como una importante arquitectura de transporte. A diferencia de las DWDM que son sistemas basados en la tecnología CWDM que despliegan láseres con un enfriamiento distribuido en la retroalimentación de banda ancha y filtros ópticos.

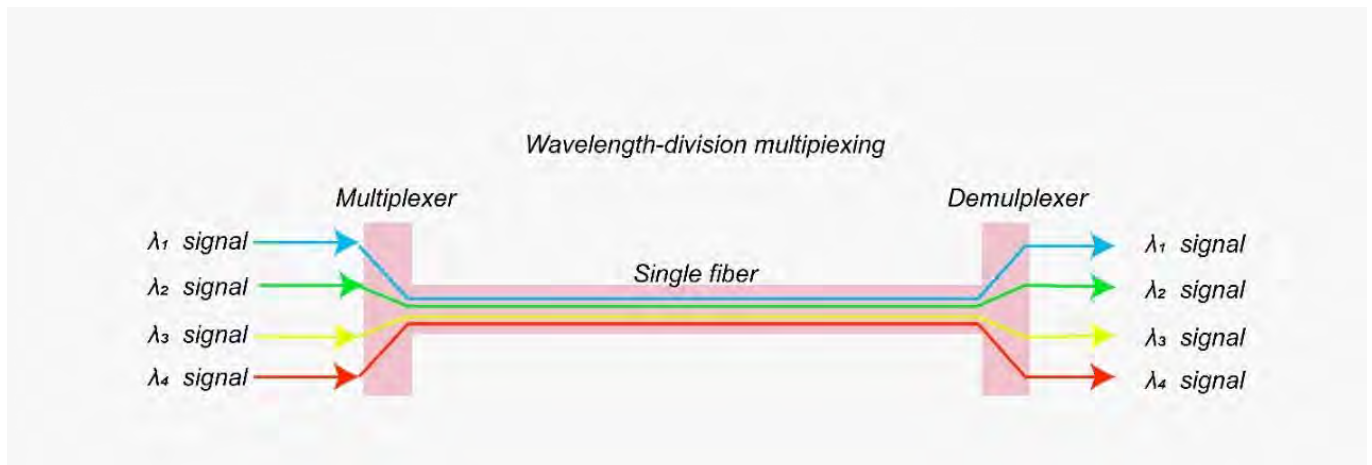


Ilustración 10. WDM

#### 3.4.2.1 Fibras de nueva generación hasta 16 longitudes de onda

Los sistemas de apoyo CWDM están comercialmente disponibles hoy en día y van desde dos hasta ocho longitudes de onda. Estos sistemas predicen una escala de 16 longitudes de onda en la región de 1290 a 1610 nm de longitud de onda en el futuro. Hoy en día algunos sistemas CWDM están basados en 20 nm con un canal de espaciamiento de 1470 nm a 1610 nm con el desarrollo que ocurren en la ventana de 1300 nm.

#### 3.4.2.2 Normas de marcha

Una organización de trabajo para definir las normas en los sistemas CWDM es el Grupo de Interés comercial 1400 nm, cuyos participantes incluyen proveedores de componentes, vendedores de sistemas y proveedores de servicios.

En la actualidad dicho grupo centra su atención principalmente en la definición de la longitud de onda de la red CWDM y la investigación de la relación con costo y rendimiento de las arquitecturas DWDM y CWDM.

## Capítulo IV

### Estándares de Fibra Óptica

Los estándares han existido tanto como lo es el comercio. Sin estándares sería imposible decir que tan grande es algo (estándares de longitud en pies o metros) o cuánto pesa (peso en libras o en kilogramos). El tiempo necesita un segundo estándar para definir la duración de un evento. A lo largo de la historia la humanidad ha creado estándares que permiten al comprador y al vendedor tener un idioma para el comercio. Eso continúa hoy en nuestro mundo de alta tecnología. (9)

Ninguna aplicación en la industria de las comunicaciones podría funcionar sin normas industriales. El objetivo principal de cualquier norma es crear especificaciones uniformes para los productos que garanticen la interoperabilidad entre los diversos productos del fabricante. (10)

Las normas comienzan en el nivel de componentes que cubren las especificaciones para conectores y cables, por ejemplo, haciéndolos intermateables y procedimientos sobre cómo probarlos. Los estándares a nivel del sistema cubren tasas de bits de señal, frecuencias y amplitudes, protocolos, codificación de datos, longitud de paquetes, tiempo, corrección de errores y muchos otros factores que son necesarios para garantizar que los sistemas pueden hablar entre sí. Sistemas como teléfonos celulares, Ethernet y WiFi se basan en los estándares de la industria, al igual que el cableado que los conecta.

La Asociación de la Industria de Telecomunicaciones (TIA) y los estándares de cableado ISO/IEC para fibra óptica y cableado estructurado, por ejemplo, son escritos por fabricantes para fabricantes, y como tales son mucho más útiles para fabricantes de cables, conectar hardware, electrónica de red y equipos de prueba que a los usuarios finales que instalan cableado en sus redes. Estas normas elaboradas por los fabricantes se actualizan continuamente para reflejar las nuevas

tecnologías que actualmente venden a los usuarios. Como resultado, las aplicaciones heredadas se dejan de lado para la nueva tecnología, creando un problema para algunos usuarios de estos sistemas que necesitan reparar o actualizar su cableado. Se ha sugerido en los comités de estándares que los usuarios todavía pueden referirse a los estándares más antiguos cuando sea apropiado.

Para el cableado estandarizado de fibra óptica y locales, las normas están ahora bajo los auspicios del Comité Técnico TIA TR-42 para los Estados Unidos y la ISO JTC 1 internacionalmente, que también maneja locales o cableado estructurado, incluyendo cobre trenzado sin protección y fibra óptica. El objetivo de este comité es producir un nivel de rendimiento mínimo predecible para el cableado que los fabricantes puedan utilizar para desarrollar productos de comunicaciones. Estos productos han sido tradicionalmente productos de comunicación como los sistemas telefónicos. Los estándares de cableado son mínimos, por lo que muchas empresas pueden ofrecer productos mejorados que exceden los estándares y ofrecen beneficios a ciertos usuarios, así como proporcionar una ventaja competitiva.

La popularidad que han tenido los enlaces ópticos en los últimos años, la parte principal de ellos se basa actualmente en fibras monomodos. Sin embargo, las fibras monomodo y multimodo se dividen en muchos tipos y categorías que cumplen con las normas establecidas y las especificaciones de fábrica. Las especificaciones de varios tipos y categorías de las fibras están contenidas en las normas establecidas por organizaciones internacionales.

## 4.1 Terminología y Clasificación

Una organización responsable para la estandarización en el campo de las comunicaciones ópticas es el comité electrotécnico internacional (IEC TC86) que ha establecido las siguientes series de tipos:

- Fibras multimodo
- Fibras monomodo

Sin embargo, las marcas populares se basan en cortos tipos de fibra como lo son:

- OM – Multimodo óptico
- OS – Monomodo óptico

Las marcas OM han sido ampliamente adoptados a diferencia del SO. En el caso de las fibras ópticas monomodo, los nombres más comunes son los utilizados por una diferente organización internacional, la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), específicamente por el departamento dedicado a la estandarización de soluciones de telecomunicaciones (UIT-T). Las recomendaciones del UIT-T son muy conocidas y utilizadas. (11)

Unos ejemplos son: OM1, OM2, OM3, OM4, OS1, OS2. Estos son parámetro específico de transmisión de las fibras que se presentaran más adelante

Los medios de transmisión y las características de los sistemas ópticos están cubiertos por la serie G.600- G.699, las fibras ópticas se describen en la gama G.650 – G.659. Cada recomendación es para un tipo de fibra en específico.

## 4.2 Estándares y recomendaciones seleccionadas

Se presentará un pequeño resumen de los estándares seleccionados para la fibra óptica.

ISO/IEC estándares:

- IEC 60793: Parámetros de fibra óptica y cables:
  - IEC 60793-2-10: Aplicable para las fibras multimodo.
  - IEC 60793-2-50: Aplicable para las fibras monomodo.
- IEC 60794-2: Requisitos para los cables interiores.
- IEC 60794-3: Requisitos para los cables exteriores.
- ISO/IEC 11801: Especifica sistemas de cableado de telecomunicaciones de uso general (cableado estructurado) incluyendo varias interconexiones de fibra óptica (OM1 – OM4 con un ancho de banda modal mínimo especificado a 850 nm y OS1 que contiene una atenuación máxima de 1 dB/km).

Tipo	Diámetro del núcleo [ $\mu\text{m}$ ]	Ancho de banda modal mínimo [ MHz - KM ]		
		OFL*		EMB**
		850 nm	1300 nm	850 nm
OM1	50 or 62.5	200	500	-
OM2	50	500	500	-
OM3	50	1500	500	2000
OM4	50	3500	500	4700

Tabla 4. Resumen Simplificado de los tipos de fibra multimodo definidos por las normas IEC

OFL (OverFilled Launch): Método estandarizado de medición de ancho de banda de fibra donde la fuente lanza la luz uniformemente en todos los modos de la fibra multimodo (fuente LED).

EMB (Ancho de banda modal efectivo): Ancho de banda modal efectivo de lanzamiento central/offset (fuente láser que ilumina una pequeña porción del núcleo de fibra).



### 4.3 ITU-T recomendaciones

ITU-T G.650.1 y G.650.2: Aquí se manejan las definiciones y métodos de ensayo, determinar atributos de fibras y cables monomodo.

ITU-T G.651.1: Características de un cable multimodo de fibra óptica de índice clasificado de 50/125  $\mu\text{m}$ .

ITU-T G.652: Características de una fibra óptica monomodo y de un cable (9/125  $\mu\text{m}$ ).

ITU-T G.653: Características de una fibra óptica y un cable monomodo desplazado por dispersión (DS-SMF),

ITU-T G.654: Características de una fibra óptica y un cable monomodo desplazado por separación (CS-SMF),

ITU-T G.655: Características de una fibra óptica y un cable monomodo desplazado por dispersión no desplazada por cerofibra óptica de modo y cable (NZDS-SMF),

ITU-T G.656: Características de una fibra y cable con dispersión no Cero para el transporte óptico de banda ancha,

ITU-T G.657: Características de una fibra óptica de modo único e insensible a pérdidas de flexión para la red de acceso.

Las recomendaciones de la UIT-T son mucho más restrictivas (o precisas) que las categorías de rendimiento de transmisión definidas por la CEI (OS1 y OS2). Por ejemplo, las especificaciones requeridas por OS2 se cumplen con la fibra G.652.C, lo que significa que la fibra G.652D tiene parámetros aún mejores. (11)

## 4.4 Normas de la fibra monomodo

Las fibras monomodo que más se utilizan para las aplicaciones típicas son aquellas que cumplen con las siguientes normas:

### 4.4.1 G.652

Define 4 versiones (A, B, C, D). Las variantes G.652.C y G.652.D cuentan con un pico de agua reducido (ZWP - Zero Water Peak), lo que les permite ser utilizados en la región de longitud de onda entre 1310 nm y 1550 nm que soporta la transmisión Coarse Wavelength Division Multiplexed (CWDM). G.652.D es fibra monomodo estándar (SSMF) dedicada para sistemas de 10 Gbps y 40 Gbps (gracias a la dispersión de modo de polarización reducida - PMD). Actualmente, es la fibra óptica más popular.

### 4.4.2 G.655

Define una fibra óptica con rendimiento especificado a 1550 nm y 1625 nm con una pendiente de dispersión cromática no nula en estas regiones de longitud de onda. Este tipo de fibra óptica puede soportar sistemas de larga distancia utilizando la transmisión multiplexada de división de longitud de onda densa (DWDM) en 1530 nm a 1625 nm ventana de longitud de onda.

### 4.4.3 G.656

Fibra óptica dedicada para su uso en sistemas de banda ancha utilizando tanto DWDM y CWDM, destinado a operar en 1460 nm a 1625 nm ventana de longitud de onda.

#### 4.4.4 G.657

Define las fibras ópticas que producen niveles más bajos de atenuación causada por las curvas. El radio de flexión mínimo se ha reducido a 15-5 mm (dependiendo de la versión).

La fibra G.657A es compatible con fibras G.652, las versiones G.657.B no proporcionan un 100% de compatibilidad con las otras fibras, sin embargo, tienen características mecánicas únicas adecuadas para las instalaciones más exigentes.  
(12)

## CAPITULO V

### Aplicaciones de la Fibra Óptica

#### 5.1 Internet

El servicio de conexión a internet por medio de la fibra óptica derriba la mayor limitación del ciberespacio: la lentitud.

Para poder navegar por la red mundial de redes, internet, no solo se necesita una computadora, un modem o programas, se necesita una paciencia debido a que un usuario se puede pasar varios minutos esperando que se cargue una página o tratando de descargar alguna información o a un programa que se encuentre en la red y lo quiera obtener en su PC. Todo esto se debe a que las líneas telefónicas que es el medio que utiliza la mayoría de los usuarios en el mundo para poder tener acceso a internet no fueron creadas para transportar videos, graficas, textos y otros más elementos que viajan de un lado a otro en la red.

Lo que hace la fibra óptica es que hace posible navegar por internet a una velocidad de dos millones de bps, impensable en el sistema convencional en el que la mayoría de los usuarios se conecta a 28.000 o 33.600, permitiendo que el usuario que tiene fibra pueda navegar y hacer las funciones que él requiera.

#### 5.2 Redes

La fibra óptica se emplea cada aun vez más en la comunicación debido a que las ondas de luz tienen una frecuencia alta y la capacidad de una señal para poder transportar información aumenta con la frecuencia. (13)

Hoy en día muchas redes de fibra para las comunicaciones a la larga distancia que proporcionan conexiones transcontinentales y transoceánicas. La ventaja de los sistemas de fibra óptica es la gran distancia que puede

recorrer una señal antes de necesitar un repetidor para recuperar su intensidad.

Otra aplicación más extendida de la fibra óptica son las redes de área local, al contrario que las comunicaciones de larga distancia, estos sistemas conectan una serie de abonados locales con equipos centralizados como computadoras o impresoras. Esto aumenta el rendimiento de los equipos y permite fácilmente la incorporación a la red de nuevos usuarios.

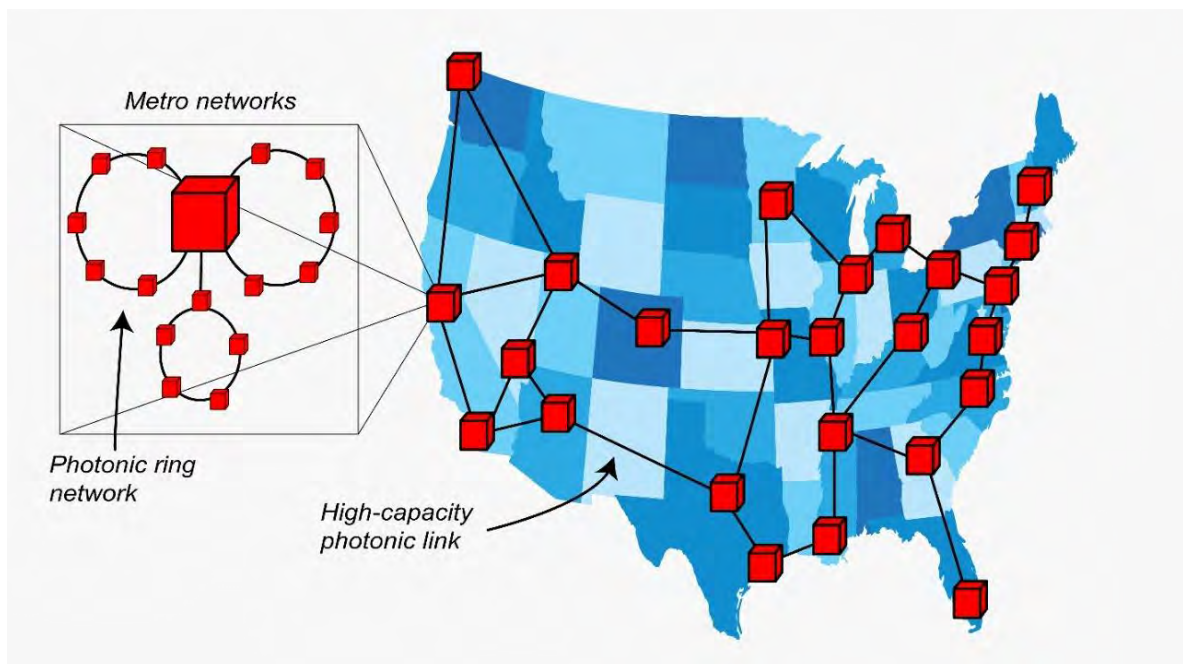


Ilustración 11. Ejemplo de la conexión de las redes en larga distancias

### 5.3 Telefonía

Con los sistemas de transmisión por fibra óptica para los niveles de la red de telecomunicación públicas en una aplicación, por lo contrario, para sistemas de red de abonado (línea de abonado) hay una serie de consideraciones.

Para las conexiones de un teléfono es completamente suficiente con los conductores de cobre existentes. Con la implantación de los servicios de banda ancha como la videoconferencia, la videotelefonía entre otros, la fibra óptica se hará imprescindible para el abonado.

### 5.4 Otras aplicaciones

Las fibras ópticas emplean una amplia variedad de sensores, que van desde termómetros hasta los giroscopios. (14) Su potencial de aplicación en este campo por lo general no tiene límites, debido a que la luz transmitida a través de las fibras es sensible a numerosos cambios ambientales, como lo son: la presión, las ondas de sonido y la deformación, además del calor y el movimiento.

Una aplicación sencilla de la fibra óptica es la transmisión de luz a lugares que serían difíciles de iluminar. También se pueden utilizar para transmitir imágenes, en este caso se utilizan haces de varios miles de fibras muy finas que están situadas exactamente una del lado de la otra y ópticamente pulidas en sus extremos.

La transmisión de imágenes se utiliza mucho en instrumentos médicos para examinar el interior del cuerpo humano para efectuar cirugía con láser, en sistemas de reproducción mediante facsímil y fotocomposición en gráficos de computadora y en muchas aplicaciones.

## 5.5 Áreas de Aplicación

Debido al desarrollo y crecimiento de la óptica a nivel mundial se ha tenido como consecuencia novedosas aplicaciones en las actividades cotidianas del ser humano. Estas se pueden separar en cuatro grandes áreas en las cuales inciden las investigaciones que actualmente se realizan: Instrumentación óptica, comunicaciones ópticas, metrología óptica. Sin embargo, como soporte de estos tres, se debe mencionar un área más de la investigación que es la óptica de frontera (y que está estrechamente relacionada con la fotonica). Estos cuatro grupos de aplicaciones no se encuentran aisladas entre si al contrario hay una relación muy pequeña entre ellos. Un claro ejemplo de ello es que las aplicaciones de instrumentación óptica están relacionadas con las aplicaciones en comunicación ópticas y metrológicas, así mismo, la óptica de frontera está relacionada con la instrumentación óptica a través de los nuevos conceptos o descubrimientos que se va generando.

### 5.5.1 Instrumentación Óptica

Este sistema se utiliza principalmente para coleccionar imágenes. Como un ejemplo de ello podemos citar: lentes, prismas, espejos, microscopios, telescopios etc. Hay temas relacionados con la instrumentación óptica que son: trazo de rayos, aberraciones, análisis de Fourier, difracción, etc.

Estos sistemas ópticos se utilizan en bastantes ámbitos de la vida cotidiana, así como las investigaciones científicas, aplicaciones tecnológicas y militares. (15)

### 5.5.2 Comunicaciones ópticas

En este grupo de aplicaciones se utiliza a la luz como portadora de información y se usan sistemas ópticos para la transmisión y recepción de señales. Los temas que van relaciones con esta área son:

- Cristales especiales
- Fibras ópticas
- Detectores
- Fuentes de luz (láseres)
- Procesamiento de señales
- Holografía
- Óptica no lineal

### 5.5.3 Metrología óptica

Este tiene mucho que ver con el monitoreo de parámetros físicos, usando sistemas y métodos de no contacto, utilizando luz, esto lo cual lleva a realizar pruebas no destructivas. Los temas relacionados con este polo de aplicaciones son:

- Sistemas ópticos
- Polarización
- Interferencia
- Emisión de luz
- Detectores de luz
- Procesamiento de imagen



#### 5.5.4 Óptica de frontera

Esta aplicación investiga los fenómenos relacionados con la radiación luminosa de alta potencia, la rápida detección y transmisión de información generada con la luz, los nuevos materiales ópticos, las fuentes de radiación y la detección luminosa. Los temas relacionados son:

- Coherencia
- Óptica cuántica
- Fibras fotónicas
- Óptica no lineal

Las aplicaciones derivadas de estos estudios se reflejan en la aparición de nuevos tipos de láseres o bien en el perfeccionamiento de los ya existentes. También permite el empleo de nuevos materiales para aplicaciones diversas como en las comunicaciones y sensores ópticos.

#### 5.6 Aplicaciones de la fotónica

Hoy en día los cristales fotónicos son nuevos materiales nano estructurados que presentan propiedades exclusivas y estas propiedades son ya aplicadas para las fibras ópticas. Se trata de estructuras constituidas por variaciones periódicas en el índice de refracción del material que las constituye y con banda prohibida para fotones. (15)

La electrónica funciona con corrientes de electrones, con electricidad para entender. Pero la fotónica funciona con corrientes de fotones, con luz para describir mejor. Las corrientes de partículas luminosas, los fotones, empiezan a hacerse un hueco entre nosotros y algunas de sus aplicaciones ya son imprescindibles; los lectores de código de barras, las aplicaciones laser en la medicina, la televisión digital, las cámaras fotográficas, telescopios y microscopios, los punteros laser, etc.

La fotónica tiene aplicaciones en la mayoría de los sectores industriales como lo son:

- Tecnologías de la imagen
- Salud

Después que la óptica y el fotón lograron conquistar las comunicaciones van a invadir de una manera muy progresiva las computadoras y con esto suplicar sus posibilidades. Con la sustitución del electrón por el fotón en las PC's representa un gigantesco desafío tecnológico ya que se tiene que concebir y realizar nuevos tipos de transistores, componentes de memoria y circuitos capaces de utilizar toda su potencia que tiene un constituyente básico de la luz, este se comporta como una partícula "puntual" y también como una onda difusa.

Entre las propiedades sorprendentes del fotón, algunas de estas podrían resultar demasiado útiles en informática, un ejemplo de ello sería que muchos haces de fotones pueden cruzarse sin interferir entre sí.

La fibra óptica y las comunicaciones ópticas a la velocidad de la luz son muy imprescindibles debido a que cada día se requiere un mayor movimiento de información por internet y la televisión digital por cable, lo que hace necesario un sistema de alta capacidad de transmisión donde los conductores eléctricos quedan saturados. Por las fibras ópticas se sabe que podemos enviar la información en haz de laser a la velocidad de luz.

Además, la más moderna tecnología nos permite enviar muchas comunicaciones a la vez por la misma fibra, enorme ventaja respecto de los cables eléctricos, simplemente usando luces de varios colores distintos.

En la ciudad de México en el departamento de fotonica de la UAM se procede a realizar estudios sobre la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para

generar y manejar luz y otras formas de energía radiante, de las cuales su unidad cuántica es un fotón.

Lo que hacen en este departamento es enfocar y aplicar su investigación fundamental en cuatro temas principales que son:

- Ingeniería laser.
- Espectroscopia óptica.
- Materiales ópticos avanzados.
- Superficies ópticas.

La misión que ellos tienen es incrementar el conocimiento alrededor de la interacción de la materia con los fotones permitiendo nuevas oportunidades y avanzadas tecnologías que en un futuro cercano puedan mejorar el confort humano.

## Bibliografía

1. **son, Roshester NY. John Wiley and.** *Fiber-Optic Communication Systems* . 2002.
2. **Tomasi, Wayne.** *Sistemas de comunicaciones electrónicas.*
3. **Sttaford.** *Application of Fibers Optic.* 2006 .
4. **Sanz, Jose M.** *Comunicaciones ópticas.* 1996.
5. **Bates.** *Detectors and Applications.* 2001.
6. **Ravioli, G. Cancellieri and U.** *Measurement of optical Fiber and divices.* 1984.
7. <http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/propiedades-tranmision>.
8. <http://www.smf.mx/boletin/2005/Abr-05/Articulos-HHC.html>.
9. **Ravioli, G. Cancellieri and U.** *Measurement of optical Fiber and divices.* 1984.
10. **Keiser, Gerd.** *Optical Fiber communications,* . 2000.
11. **recommendations, Various TIA/EIA and ITU-T test estándares and.**
12. **Freeman, Roger L.** *fiber –Optic sistems for telecommucation* . 2001.
13. **Geophysics.** 2003.
14. **pereda, José Maria.** *Pearson Prentice Hall.* 2004.
15. <http://www.fisicahoy.com/fisicaHoy/fotonica/fotonica.html>.
16. **Jardon A., Hilberto.** *Sistemas de comunicación por fibras ópticas.* 1995 .

## CONCLUSIONES

Podemos concluir mencionas que las fibras ópticas desde su llegada han aportado bastante a la humanidad debido a que la fibra óptica está en una etapa muy moderna, así como lo han sido otros muchos experimentos. Cabe mencionar que la fibra óptica no solo ha permitido profundizar en las interconexiones, sino que también ha permitido llegar a desarrollar cosas que nosotros jamás imaginamos y hoy en día es muy importante es nuestra vida que han sido utilizadas en los hospitales, electrónica, etc.

De igual manera cabe mencionar que las fibras de nueva generación representan mucho a las fibras de tipo monomodo convencional que estas van a generar un aumento en el ancho de banda, en el costo total del aumento en el valor por kilómetros de fibras, pero para todo esto es necesario poder comparar las características de cada una de las fibras y hacer un balance entre los beneficios que estas nos entregan. Por otra parte, la supresión del pico de agua juega un papel muy importante debido a sus avanzadas especificaciones de atenuación apoyara a la evolución de transmisión de larga distancia mediante su uso.

Las ventajas que nos proporcionan las fibras ópticas hoy en día para poder establecer un sistema de comunicación confiable que cuenta con una gran capacidad a una larga distancia hoy en día se están haciendo presentes. Es decir que esto se está extendiendo al usuario final y no solamente a operadores de servicio. La fibra óptica es y representa un medio de comunicación con un gran futuro.