

---

---

## CAPÍTULO I. FIBRA ÓPTICA.

### 1.1 INTRODUCCIÓN.

La fibra óptica se ha vuelto el medio de comunicación de elección para la transmisión de voz, video, y de datos, particularmente para comunicaciones de alta velocidad. Comparada con los cables de cobre (el cable coaxial y el cable par trenzado), la fibra óptica es un medio compacto. Posee propiedades y características que los medios de comunicación de cobre no ofrecen.

Como características de la fibra podemos destacar que son ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad ya que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia. La fibra óptica es un medio muy seguro de transmisión de señales, ya que la interceptación por inducción o simple contacto es imposible; para interceptar una señal, la luz que transmite la fibra óptica debe ser extraída, y esto es detectable, por lo cual se convierte en un medio seguro de transmisión de señales. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas, conducen rayos luminosos, por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductor y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Además de que la fibra óptica no se corroe con el tiempo. Sin embargo, la instalación de un sistema de comunicación por fibra

---

---

óptica requiere de personal especializado y de equipos costosos. Lo costoso, no es la fibra óptica en sí (ya que un metro cuesta menos de un dólar), sino el costo de las licencias necesarias para atravesar campos, utilizar conductos subterráneos o los postes de líneas de transmisión. [1]

## 1.2 DESCRIPCIÓN.

La fibra óptica está compuesta por filamentos de silicio de alta pureza, muy compactos, mezclados con elementos específicos. Estos elementos son agregados para dopar los filamentos, de modo que se obtengan los índices de refracción deseados. Estos elementos pueden ser por ejemplo óxidos de metales. Fabricadas a alta temperatura, 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.

El grosor de una fibra es como la de un cabello humano aproximadamente (de 10 $\mu$ m a 200 $\mu$ m de diámetro). Un cable de fibra óptica consiste de varias capas. En la figura 1.1 se puede observar la estructura de una fibra óptica. La parte central y la más importante llamado núcleo de silicio. El núcleo está cubierto por otra capa de silicio con un índice de refracción diferente, conocida como revestimiento. Ésta a su vez está cubierta por otra capa de almacenamiento

intermediario, y dos más, una de Kevlar y la final de plástico, para darle fuerza y resistencia al cable. [1]

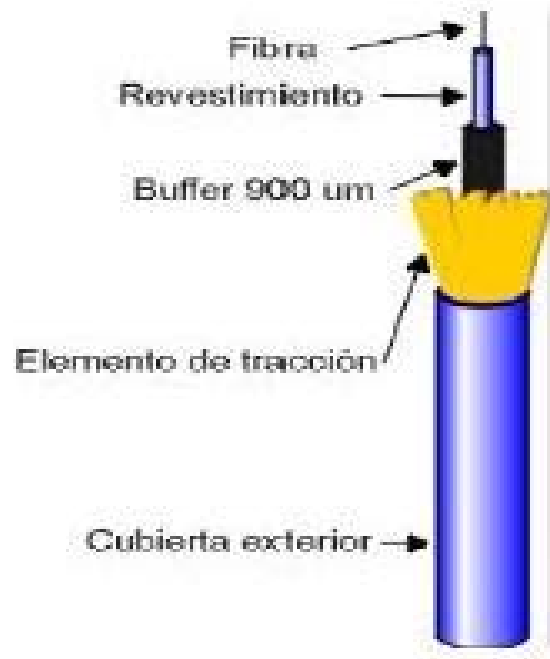


Figura. 1.1 Estructura de la fibra óptica.

---

### 1.3 VENTAJAS.

Como algunas de las ventajas principales se pueden enlistar las siguientes:

**Ancho de banda:** la capacidad potencial de transportar información crece con el ancho de banda del medio de transmisión y con la frecuencia de la portadora.

Las fibras ópticas tienen un ancho de banda de alrededor de 1 THz.

**Bajas pérdidas:** las pérdidas indican la distancia a la cual la información puede ser enviadas. En un cable de cobre, la atenuación crece con la frecuencia de modulación. En una fibra óptica, las pérdidas son las mismas para cualquier frecuencia de la señal hasta muy altas frecuencias.

**Inmunidad electromagnética:** la fibra no irradia ni es sensible a las radiaciones electromagnéticas, ello las hace un medio de transmisión ideal cuando el problema a considerar son las EMI.

**Seguridad:** Es extremadamente difícil intervenir una fibra, y virtualmente imposible hacer la intervención indetectable, por ello es altamente utilizada en aplicaciones militares.

---

Bajo peso: Un cable de fibra óptica pesa considerablemente menos que un conductor de cobre. Por ejemplo un kilómetro de fibra óptica monomodo pesa 2.09 kilogramos. [2]

## 1.4 TRANSMISIÓN DE LUZ DENTRO DE LA FIBRA ÓPTICA.

### 1.4.1 LEY DE SNELL (O LEY DE REFRACCIÓN).

La ley de Snell liga el cociente de los índices de refracción con el ángulo del haz de luz incidente y el haz refractado. Ecuación 1.1.

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2 \quad (1.1)$$

En la figura 1.2 se pueden observar los parámetros relacionados con la Ley de Snell. Donde  $\theta_1$  es el ángulo entre el haz de luz incidente y la normal (perpendicular) a la superficie. Y  $\theta_2$  es el ángulo entre el haz de luz refractado y la normal a la superficie. [3]



Figura. 1.2 Parámetros de la Ley de Snell.

#### 1.4.2 ÍNDICE DE REFRACCIÓN.

Cuando un haz de luz que se propaga por un medio ingresa a otro distinto, una parte del haz se refleja mientras que la otra sufre una refracción, que consiste en el cambio de dirección del haz. Para esto se utiliza el llamado índice de refracción del material, que nos servirá para calcular la diferencia entre el ángulo de incidencia y el de refracción del haz (antes y después de ingresar al nuevo material).

Se llama índice de refracción absoluto “n” de un medio transparente al cociente de la velocidad de la luz en el vacío ( $3 \times 10^8$  m/s), “ $c_0$ ”, y la velocidad que tiene la luz en ese medio, “v”. La relación se muestra en la ecuación 1.2:

$$n = c_0 / v \quad (1.2)$$

Dado que la velocidad de la luz siempre es menor en cualquier medio que en el vacío, el índice de refracción siempre será mayor que 1, ya que  $n=1$  en el vacío. En la tabla 1.1 se muestran los índices de refracción para algunos materiales. [3]

MATERIAL.	ÍNDICE DE REFRACCIÓN.
Vacío.	1
Aire.	1.0003
Agua	1.33
Cuarzo.	1.46
Sal rocosa.	1.54
Diamante.	2.42

Tabla 1.1 Índices de refracción.

### 1.4.3 APERTURA NUMÉRICA.

Es un indicador del ángulo máximo con que un haz de luz puede ingresar a la fibra óptica para que se produzca la reflexión total interna. En la ecuación 1.3, se muestra como se puede calcular ésta utilizando los índices de refracción; y en la ecuación 1.4 se calcula con el ángulo de aceptación de la fibra óptica.

$$AN = \sqrt{(n_1)^2 - (n_2)^2} \quad (1.3)$$

$$AN = \text{sen } \alpha \quad (1.4)$$

Siendo el medio externo aire o vacío. Entonces a mayor AN, mayor es el ángulo de aceptación ( $\alpha$ ). En la figura 1.3 se puede visualizar el ángulo de aceptación. [1]

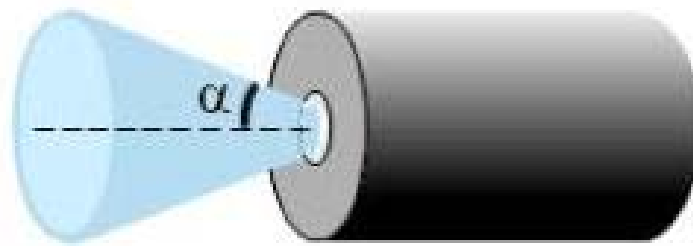


Figura. 1.3 Ángulo de aceptación.



#### 1.4.4 MODO DE PROPAGACIÓN.

En la terminología técnica empleada para la fibra óptica, el modo denota el camino. Si sólo hay un camino para que la luz viaje por la fibra, se le conoce como fibra óptica monomodo. Si existe más de un camino se le conoce como fibra óptica multimodo. En la figura 1.4 se pueden observar los modos de propagación: (a) multimodo y (b) monomodo. [1]

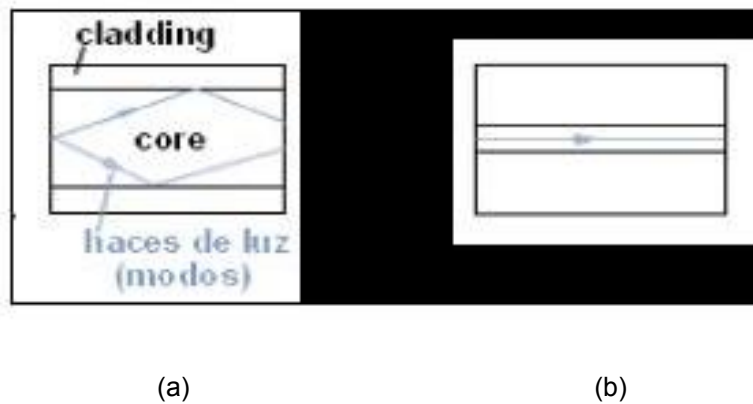


Figura. 1.4 Modos de propagación.

#### 1.4.5 PÉRFIL DEL ÍNDICE.

El perfil del índice de una fibra óptica es una representación gráfica del índice de refracción del núcleo. El índice de refracción se grafica en el eje horizontal y la distancia del radio desde el núcleo de la fibra se grafica en el eje vertical. En la figura 1.5 se muestran las gráficas de los dos tipos de índice de refracción existentes. [1]

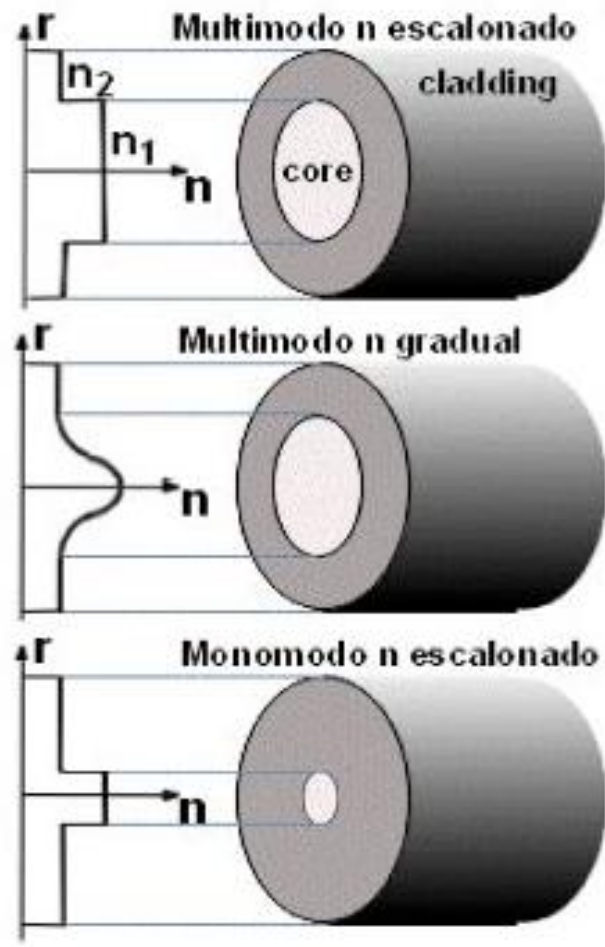


Figura. 1.5 Índices de refracción.

Hay dos tipos básicos de índices: escalonado y gradual. Una fibra óptica de índice escalonado tiene el núcleo con un índice de refracción uniforme, el núcleo está revestido por otra capa de silicio con un índice uniforme y de menor magnitud que el núcleo. En una fibra óptica de índice gradual la

---

---

magnitud del índice del núcleo es variable, va desde un valor máximo en el centro, descendiendo gradualmente hasta llegar a igualar el índice del revestimiento del núcleo.

## 1.5 CONFIGURACIONES DE LA FIBRA ÓPTICA.

Existen esencialmente tres tipos de configuraciones de la fibra óptica: monomodo de índice escalonado, multimodo de índice escalonado, y multimodo de índice gradual. [1]

### 1.5.1 FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE ÍNDICE ESCALONADO.

Este tipo de fibra óptica tiene un núcleo lo suficientemente pequeño (de  $8\mu\text{m}$  a  $10\mu\text{m}$ ) de manera que esencialmente sólo hay un camino por el cual se transmite un haz de luz.

En una fibra óptica monomodo hay mínima dispersión porque todos los haces de luz que se propagan por la fibra siguen el mismo camino, por lo cual toman el mismo tiempo en llegar a su destino. Esta configuración posee un ancho de banda mayor que las configuraciones multimodo.

Como su núcleo es muy pequeño, la conexión de estas fibras es complicada, por lo que se necesita de un láser para inyectar luz en la fibra. La figura 1.6 muestra: (a) vista frontal de la fibra óptica, con las dimensiones de la misma; (b) gráfica del índice de refracción; (c) señal a la entrada de la fibra; (d) modo de propagación de la señal; y (e) señal a la salida de la fibra.

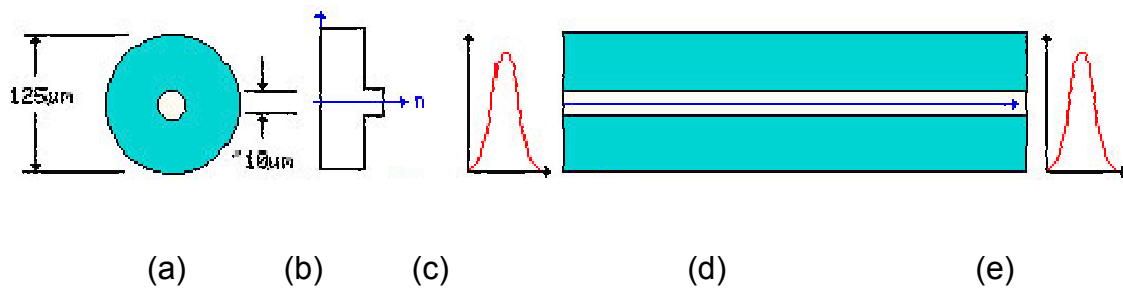


Figura. 1.6 Fibra monomodo de índice escalonado.

---

### 1.5.2 FIBRA ÓPRICA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO.

Es similar a la configuración anterior, excepto por el núcleo que es mucho mayor ( $50\mu\text{m}$  a  $200\mu\text{m}$ ). Por el tamaño de su núcleo, el valor de la apertura numérica es mayor y por lo tanto pueden propagarse un mayor número de haces de luz. La luz se propaga dentro de la fibra por reflexión, puede tomar distintos caminos dentro de la fibra por lo cual, el tiempo de transmisión de distintos haces de luz será diferente y dependerá del camino que la luz siga.

Como ventaja, la conexión de un haz de luz es sencilla y poseen una apertura numérica grande.

Una deficiencia de ésta fibra, es el tiempo de transmisión de distintos rayos de luz, ya que estos toman variados caminos su tiempo de transmisión no es el mismo. Esto provoca que los rayos de luz se extiendan y por lo tanto que se distorsionen más que en las otras dos configuraciones de la fibra óptica. Su ancho de banda es por lo tanto inferior, a la vez que su tasa de transmisión de datos. La figura 1.7 muestra: (a) vista frontal de la fibra óptica, con las dimensiones de la misma; (b) gráfica del índice de refracción; (c) señal a la entrada de la fibra; (d) modo de propagación de la señal; y (e) señal a la salida de la fibra.

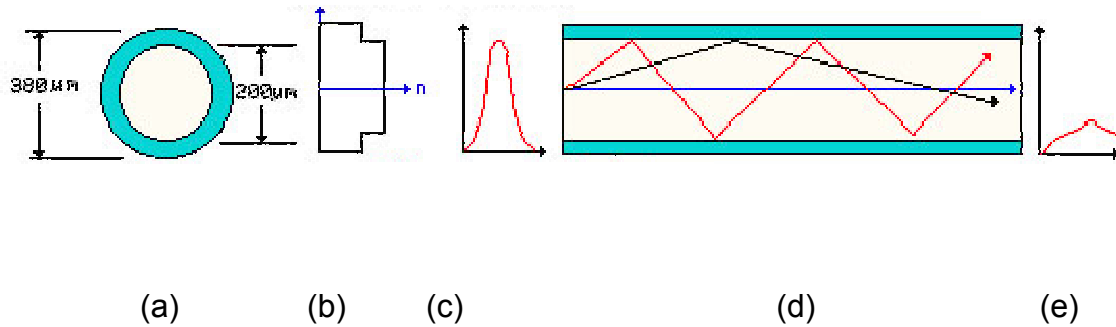


Figura. 1.7 Fibra óptica multimodo de índice escalonado.

### 1.5.3 FIBRA ÓPTICA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL.

Ésta se caracteriza por tener un núcleo de índice gradual, el cual toma el valor máximo en el centro y decrece gradualmente hasta el borde externo. La luz se propaga por medio de la refracción. Si un rayo de luz se propaga de forma diagonal por el núcleo, continuamente está atravesando regiones de menor a mayor densidad y vice-versa. Por consiguiente, los rayos de luz son refractados continuamente, lo que resulta en una continua reflexión de los rayos de luz. La luz entra a la fibra en diferentes ángulos. Los rayos que viajan cerca del centro del núcleo viajan una distancia menor que los rayos que se

---

propagan lejos del centro del núcleo. A causa de que el índice de refracción decrece con la distancia desde el centro del núcleo y la velocidad de propagación de la luz es inversamente proporcional al índice de refracción, los rayos que se propagan lejos del centro del núcleo viajan a una velocidad mayor que los que se propagan cerca del centro del núcleo. Por lo cual la propagación de haces de luz en este tipo de fibra se realiza en tiempos aproximados.

Es más fácil acoplar la luz que en las fibras monomodo, pero más difícil que en las fibras multimodo de índice escalonado. La distorsión debido a la propagación por diferentes caminos es mayor que en las fibras monomodo, pero menor que en las multimodo de índice escalonado. Son de manufactura más sencilla que las fibras monomodo, pero más complicada que las multimodo de índice escalonado. Este tipo de configuración es considerada como la intermedia comparada con las otras dos. La figura 1.8 muestra: (a) vista frontal de la fibra óptica, con las dimensiones de la misma; (b) gráfica del índice de refracción; (c) señal a la entrada de la fibra; (d) modo de propagación de la señal; y (e) señal a la salida de la fibra. [1]

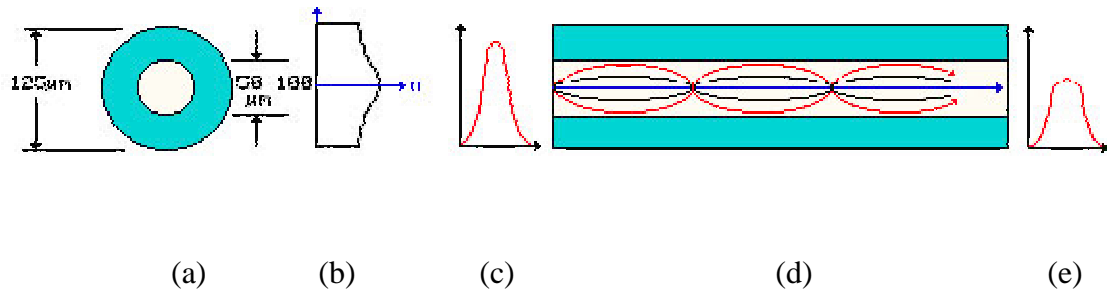


Figura. 1.8 Fibra óptica multimodo de índice gradual.