



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

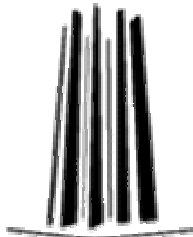
---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CAMPUS ARAGÓN

“EL USO DE FIBRA  
ÓPTICA EN LÍNEAS DE  
TRANSMISIÓN  
ELÉCTRICA DE  
COMPAÑÍAS  
SUMINISTRADORAS:  
CASO LUZ Y FUERZA DEL  
CENTRO.”

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
*RUBÉN ALEJANDRO SILVA JIMÉNEZ*

DIRECTOR: ING. CONSTANTINO  
GARCÍA ESCAMILLA



San Juan de Aragón, Edo. De México. Marzo del 2006



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.

*A mis padres, porque fueron quienes me dieron la vida, me enseñaron y aprendieron de ella conmigo; porque tuvieron la paciencia de aguantar mis rebeldías y porque sin ellos yo no estuviera aquí. Por esto y más les estoy eternamente agradecido. Esto es para ustedes.*

*A mis hermanos, porque sin ellos mi vida estaría vacía; porque dieron todo por mí; porque creyeron en mí y nunca dudaron que lo lograría, y porque son y seguirán siendo mi alegría. Espero no defraudarlos.*

*A la UNAM, porque me dio más que conocimientos; me enseñó a ser más humano y a crecer como persona.*

*A mis profesores, porque tuvieron el carácter y la dedicación de enseñarme, no solo el conocimiento académico; sino también sus experiencias como profesionistas, que seguramente me servirán mucho para mi desarrollo profesional y personal.*

*A todos mis amigos, porque me brindaron una casa y un catre duro para dormir; porque me dieron todo sin recibir nada a cambio y porque su amistad es el mejor regalo que me han dado.*

*A mis tíos y tías, porque me apoyaron en todo momento y creyeron en mí; porque me alentaron a no dejar de luchar.*

*A mis abuelos y abuelas; porque son la luz que ilumina mi camino y siempre estarán presentes en mi mente y en mi corazón.*

*A los ingenieros y trabajadores de LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, que me brindaron su apoyo incondicional y me tendieron la mano de un amigo, para poder realizar esta tesis.*

*A mi asesor que me tuvo bastante paciencia y me enseñó mucho en la elaboración de esta tesis.*

## ÍNDICE

<b>PROLOGO</b> .....	1
<b>OBJETIVO GENERAL Y PARTICULAR</b> .....	3
<b>CAPITULO 1. Introducción a la Óptica</b> .....	4
1.1 Principios de la Óptica .....	5
1.2 Física Óptica .....	7
1.3 Reflexión .....	7
1.4 Refracción .....	8
1.5 Índice de Refracción .....	10
1.6 Reflexión Interna Total.....	12
1.7 Dispersión .....	13
<b>CAPITULO 2. Fibra Óptica</b> .....	15
2.1 Historia de la Fibra Óptica .....	16
2.2 Definición y Estructura de una Fibra Óptica Sencilla.....	22
2.3 Propagación de la Luz en la Fibra óptica .....	23
2.4 Tipos de Fibras ópticas .....	24
2.5 Condiciones para seleccionar una Fibra Óptica .....	29
2.6 Parámetros de Transmisión de las Fibras Ópticas .....	33
2.7 Tecnologías de Fabricación de la Fibra Óptica .....	39
2.8 Construcción del Cable de Fibra Óptica .....	50
2.9 Técnicas de Empalme de Fibras Ópticas .....	61
2.10 Funcionamiento Básico de un Sistema de Comunicación por Fibra Óptica .....	71
<b>CAPITULO 3. Líneas de Trasmisión de Potencia Eléctrica</b> ....	73
3.1 Componentes de una línea de Trasmisión .....	74
<b>CAPITULO 4. Uso de Fibra Óptica en Compañías Eléctricas</b> 82	
4.1 Aplicaciones de Fibra Óptica en Compañías Eléctricas .....	83
4.2 Cable OPGW (Hilo de Guarda Óptico) .....	83
4.3 Cable OPPC (Conductor de Fase Óptico ) .....	86
4.4 Cable MASS (Cable Aéreo Autosoportado Metálico) .....	87
4.5 Cable ADSS (Cable Aéreo Autosoportado Totalmente Dieléctrico) .....	87
4.6 Cable ADL (Cable Acoplado Totalmente Dieléctrico) .....	88
<b>CAPITULO 5. Instalación y Mantenimiento de OPGW</b> .....	89
5.1 Instalación de el Cable OPGW .....	90
5.2 Variantes en la Instalación del Cable OPGW.....	97
5.3 Mantenimiento del Cable OPGW .....	101

<b>CAPITULO 6. Propuestas para Mantenimiento de OPGW ...</b>	103
6.1 Propuesta de Mantenimiento .....	106
<b>CONCLUSION .....</b>	108
<b>ANEXO 1 .....</b>	109
<b>GLOSARIO .....</b>	113
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	116

## PROLOGO.

La parte central de México es atendida por la empresa paraestatal de suministro de energía eléctrica LUZ Y FUERZA DEL CENTRO; esta región en los últimos años ha tenido un constante crecimiento urbano por lo cual la demanda de servicios es mayor. Por tal motivo la demanda de energía eléctrica se ha ido incrementando de manera considerable; con todo esto LUZ Y FUERZA DEL CENTRO empezó a tener un gran problema ya que sus instalaciones y equipos empezaban a ser poco a poco obsoletos y viejos para poder proporcionar energía eléctrica de calidad y en forma confiable.

Para minimizar estos problemas, LUZ Y FUERZA se dio a la tarea de modernizar instalaciones y equipos, para así ser capaz de medir, controlar y comunicarse en forma rápida y eficiente; y brindar un mejor servicio a los usuarios.

Con esta visión de modernidad, LUZ Y FUERZA DEL CENTRO desde fines de los 90's ha venido sustituyendo el hilo de guarda por cable de tierra óptico llamado OPGW (por sus siglas en ingles), entre subestaciones que son conectadas por las líneas de transmisión.

El OPGW esta compuesto usualmente por cables desnudos de acero y aluminio y en el centro un cable hueco que contiene fibras ópticas que son requeridas para una aplicación en particular, generalmente para la comunicación, control y medición interna de esta empresa. Un sistema de fibra óptica en operación puede equivaler aproximadamente a 39000 llamadas telefónicas simultáneas en un par de fibras y se usa actualmente para transportar datos, video, voz, telemediciones y telecontrol entre subestaciones esto es considerado por la empresa como una necesidad estratégica.

En los próximos años mas y mas redes estarán equipadas con OPGW y se integraran hasta tener la totalidad de los circuitos y así tener como resultado una red completa de telecomunicaciones lo cual generara un gran avance para el progreso del país.

En Estados Unidos y Europa las empresas suministradoras de energía eléctrica han adoptado este tipo de soluciones y les ha dado muy buenos resultados, además de tener oportunidades en los negocios de telecomunicación ya que han podido darse cuenta del enorme potencial que tienen sus líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica equipadas con fibra óptica, porque pueden rentar servicios a otras compañías o rentar sus líneas equipadas para que otras empresas no gasten en infraestructura.

LUZ Y FUEZA DEL CENTRO no se ha quedado atrás, recientemente firmo un contrato para le renta de sus líneas a una empresa de telecomunicaciones que usara la fibra óptica.

El presente trabajo es dar a conocer una de las aplicaciones que tiene la fibra óptica en las compañías suministradoras de electricidad de todo el mundo y México; tomando en consideración que esta aplicación es poco conocida en nuestro país; así como también ofrecer una propuesta de mantenimiento para esta aplicación a LUZ Y FUERZA DEL CENTRO.

Con esto pareciera que el trabajo esta enfocado a personas que solo tienen las bases para comprender las aplicaciones de la fibra óptica; sin embargo la presente tesis va dirigida a todo tipo de usuarios profesionales y personas interesadas en el tema.

Por tal motivo he decidido que el primer capítulo sea teórico, ya que en este capítulo se aborda los principios de óptica y física óptica para que se tengan las bases para la comprensión de los siguientes capítulos.

En el segundo capítulo abordare la historia de la fibra óptica, su definición, estructura, ventajas y desventajas, entre otros conceptos.

En el tercer capítulo se describirá que es una línea de transmisión de potencia eléctrica sus características y conceptos generales.

En el cuarto capítulo conoceremos las aplicaciones que tiene la fibra óptica en las compañías eléctricas en la actualidad.

En el quinto capítulo nos ocuparemos de una sola aplicación, y así describiremos la forma de instalación y mantenimiento del cable OPGW (Cable de Guarda Óptico).

En el sexto capítulo se ofrece una propuesta de mantenimiento para el cable OPGW utilizado en luz y fuerza del centro.

Por último este trabajo contará con un glosario de términos para apoyo del lector.

## **OBJETIVO GENERAL.**

Conocer las aplicaciones que tiene la fibra óptica en las Compañías suministradoras de Electricidad.

## **OBJETIVO PARTICULAR.**

Conocer la aplicación de fibra óptica mas usada en Compañías suministradoras de Electricidad en México.



# CAPITULO 1.

## INTRODUCCION A LA OPTICA.

Los sistemas de comunicaciones ópticas toman la luz como mecanismo para transmitir información de un lugar a otro. La luz, es un tipo de radiación electromagnética como las ondas de radio; sin embargo, esa parte del espectro de frecuencias es mas baja en frecuencia que los rayos X, pero mas alta que las frecuencias de microondas llamadas *ondas milimétricas*. En general, el termino luz se relaciona solo con la luz visible que se conoce. No obstante, también consta de ondas ultravioleta e infrarrojas que es imposible ver.

Hoy día, la luz tiene un uso cada vez mayor como portadora de información en un sistema de comunicaciones. Aun cuando la luz visible se emplee hasta cierto punto, la mayor parte de los sistemas de comunicaciones ópticas son infrarrojos. El medio de transmisión lo integra el espacio libre o un cable especial que transporta luz, llamado *cable de fibra óptica*. La luz se modula por la información por transmitirse. Debido a que la frecuencia de la luz es muy alta, suele acomodar anchos de banda bastante amplios de información en banda base, velocidades de datos muy altas, o ambas cosas, para su transmisión con gran confiabilidad. Las comunicaciones ópticas también ofrecen otros beneficios. Este capitulo introduce solo los conceptos básicos que considero son necesarios para la comprensión de los siguientes capítulos.

## 1.1 PRINCIPIOS DE OPTICA.

La óptica es un campo de estudio muy amplio que va más allá del alcance de esta tesis. La mayor parte de los cursos en física introducirán los principios básicos de luz y óptica. Aquí se hará un breve resumen de los principios que se relacionan en forma directa con los sistemas de comunicaciones ópticos y sus componentes.

### LUZ.

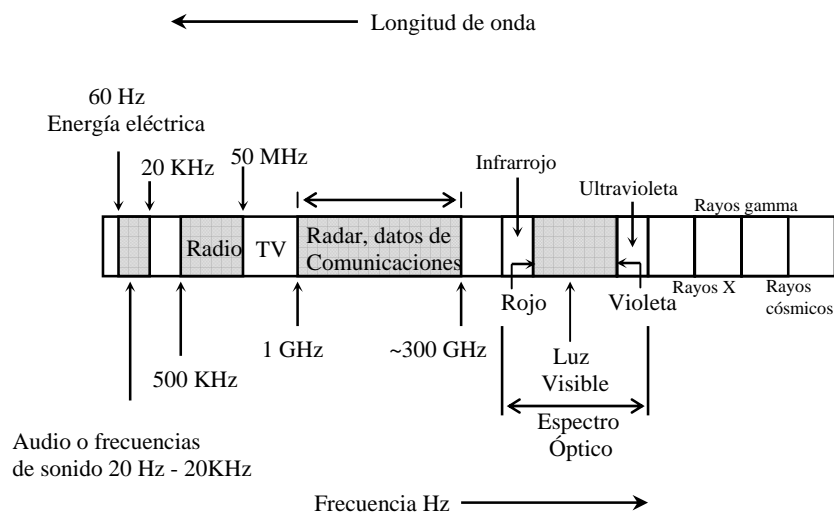
La luz, las ondas de radio y las microondas, son formas de radiación electromagnética. Las frecuencias de la luz están entre las microondas y los rayos X, como se muestra en la figura 1-1 a). El intervalo de frecuencias de radio esta en alrededor 10 KHz a 300 GHz. Las microondas se extienden de 1 a 300 GHz por lo general se definen como ondas milimétricas.

Más adelante en la escala esta el espectro óptico, constituido de luz infrarroja, visible y ultravioleta. Las frecuencias del espectro óptico se encuentran en el intervalo de  $3 \times 10^{11}$  a  $3 \times 10^{16}$  Hz. Esto incluye tanto las bandas de infrarrojo y ultravioleta como las partes visibles del espectro. El espectro visible es de  $4.3 \times 10^{14}$  a  $7.5 \times 10^{14}$  Hz.

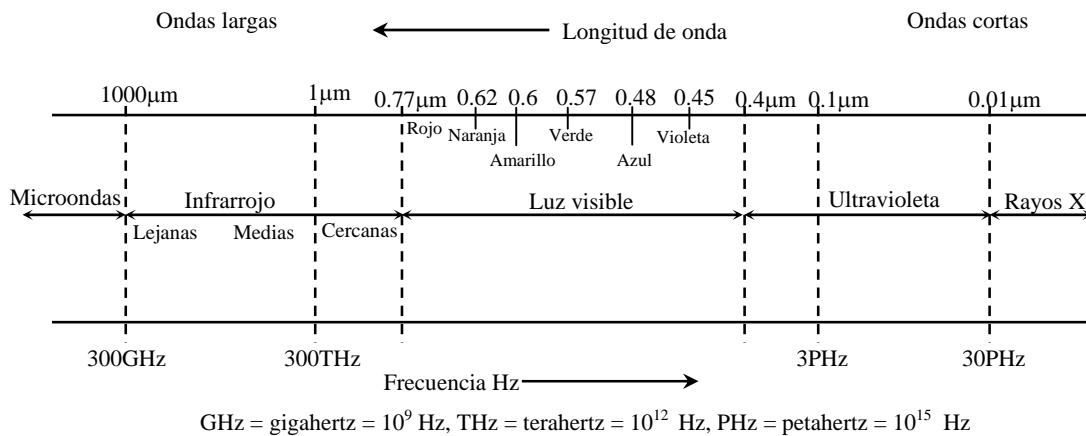
Rara vez se hace referencia a la “frecuencia de la luz”. La luz se expresa en términos de longitud de onda. Cabe recordar que la *longitud de onda* es una distancia medida en metros entre picos de una onda. Se calcula con la expresión familiar:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde  $\lambda$  (lambda minúscula) es la longitud de onda en metros,  $c$  es igual a 300 000 000 que representa la velocidad de la luz en metros por segundo, y  $f$  significa la frecuencia en Hz. Los detalles del espectro óptico se muestran en la figura 1- 1 b).



a)



b)

**Figura 1-1.** Espectro óptico: a) espectro de frecuencias electromagnético donde aparece el espectro óptico, b) detalles del espectro óptico.

Las ondas de luz son muy cortas y por lo regular se expresan en nanómetros (nm,  $10^{-9}$  m) o en *micrones* ( $\mu\text{m}$ ,  $10^{-12}$  m) también llamados *micrómetros*. La luz visible está en el intervalo de 400 a 700 nm o 0.4 a 0.7  $\mu\text{m}$ , según el color de la luz. La luz de longitud de onda corta es violeta (400 nm) mientras que la roja (700 nm) es una luz de longitud larga.

Otra unidad de medida para la longitud de onda de la luz es el ángstrom. Un ángstrom ( $\text{\AA}$ ) es igual a  $10^{-10}$  m o  $10^{-4}$   $\mu\text{m}$ . Para decirlo de otra manera, 1  $\mu\text{m}$  es igual a 10 000  $\text{\AA}$ .

Abajo de la luz visible hay una región denominada *infrarrojo*. Su espectro es de 0.7 a 1000  $\mu\text{m}$ . Algunas veces se oirá referirse al infrarrojo como *infrarrojo cercano* o *infrarrojo lejano*. El infrarrojo cercano se refiere a frecuencias cercanas al espectro óptico, mientras que el infrarrojo lejano es de frecuencia más baja, cercana a la región alta de microondas (figura 1-1 b).

Arriba del espectro visible está el intervalo de luz ultravioleta. Dicho intervalo está arriba de la luz violeta visible, la cual tiene una longitud de onda de 400 nm o 0.4  $\mu\text{m}$  a unos  $10^{-8}$  m o 0.01  $\mu\text{m}$  o 10 nm. A mayor frecuencia de la luz, más corta será su longitud de onda. La fuente principal de la luz ultravioleta es el sol. Los intervalos infrarrojos y ultravioletas se incluyen en lo que se llama *espectro óptico*.

#### VELOCIDAD DE LA LUZ.

Al igual que las microondas, las ondas de luz viajan en línea recta. Los rayos de luz emitidos por una vela, un foco, u otra fuente de luz se alejan en línea recta en todas

direcciones. Se considera que las ondas de luz tienen un frente de onda esférico como las ondas de radio.

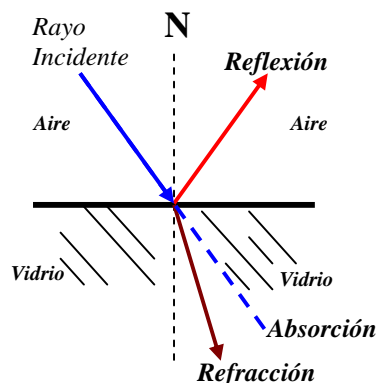
La velocidad de la luz es de casi 300 000 000 m/s o 186 000 mi/s, en el espacio libre. Estos son los valores que por lo regular se utilizan en los cálculos, pero para un resultado más preciso, los valores reales están más cerca de  $2.998 \times 10^8$  m/s.

La velocidad de la luz depende del medio a través del cual pasa. Las cifras dadas antes son correctas para la luz que viaja en el *espacio libre*, esto es, para la luz que viaja en el aire o en el vacío. Cuando la luz pasa a través de otro material como vidrio, agua o plástico, su velocidad ya no es la misma, se ha demostrado que en materiales más densos que el espacio libre, la velocidad se reduce y las frecuencias de la luz no se propagan con la misma velocidad por lo tanto la *velocidad de propagación* no es la misma.

## 1.2 FÍSICA OPTICA.

La *física óptica* se refiere a las formas donde la luz suele procesarse o manipularse de muchas formas. Por ejemplo, las lentes se usan mucho para enfocar, aumentar o disminuir el tamaño de las ondas de luz de una fuente.

Cuando la luz incide en la frontera o límite entre dos medios, por ejemplo aire y vidrio se pueden presentar una o varias de las tres situaciones que a continuación se muestran en la figura 1-2.



**FIGURA 1-2.** Cuando la luz incide en la frontera entre dos medios, puede reflejarse, refractarse o absorberse.

En la figura 1-2 podemos observar que una parte de la luz que incide sobre una superficie de vidrio se refleja, y otra parte penetra en el vidrio. La luz que entra al vidrio es absorbida parcialmente y la parte restante se transmite. La luz transmitida en general sufre un cambio de velocidad y de dirección, lo cual se conoce como refracción.

## 1.3 REFLEXION.

La forma más sencilla de manipular la luz es reflejarla. Cuando los rayos de luz inciden en una superficie reflejante, como un espejo, las ondas de luz son lanzadas de regreso o reflejadas. Por medio de espejos es posible cambiar la dirección del haz de luz.

La reflexión de la luz de un espejo se basa en una simple ley física. Esto es, la dirección de la onda de luz reflejada puede predecirse con facilidad si se conoce el ángulo del haz de luz

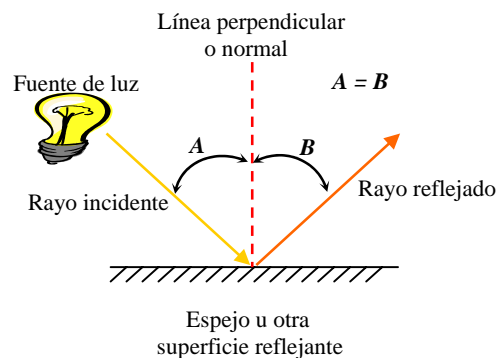
que incide en el espejo (figura 1-3). Suponga una línea imaginaria perpendicular a la superficie del espejo plano. Una línea perpendicular, por supuesto, hace un ángulo recto con la superficie, como se muestra. Esta línea perpendicular se llama *normal*. Por lo general, la normal se traza en el punto donde el espejo refleja el haz de luz.

Si el haz de luz sigue a la normal, la reflexión en realidad regresara por la misma trayectoria. El rayo de luz reflejado coincidirá exactamente con el rayo original.

Si el rayo de luz incide en el espejo en un ángulo  $A$  con la normal, el rayo de luz reflejado dejara el espejo al mismo ángulo  $B$  con la normal. Este principio se denomina *ley de reflexión*.

Por lo regular se expresa en la siguiente forma: *El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión*.

El rayo de luz de la fuente de luz por lo general se llama *rayo incidente*. Se produce un ángulo  $A$  con la normal en la superficie reflejante llamado *ángulo de incidencia*. El rayo reflejado es la onda de luz que deja la superficie del espejo. Su dirección la determina el ángulo de reflexión  $B$ , el cual es exactamente igual al ángulo de incidencia.



**Figura 1-3.** Ley de reflexión de la luz.  
El ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia

## 1.4 REFRACCION.

La dirección del rayo de luz también suele cambiarse por *refracción*, es decir, el doble de un rayo de luz que sucede cuando los rayos de luz pasan de un medio a otro. En la reflexión, el rayo de luz rebota alejándose de la superficie reflectora en vez de ser absorbida por, o pasar a través del espejo. La refracción se presenta solo cuando la luz pasa a través de algún material transparente como agua, aire y vidrio. Esta refracción se da en el punto donde se unen dos sustancias diferentes. Por ejemplo, entre una unión aire y agua aparecerá la refracción. La línea divisoria entre las dos sustancias o medios diferentes se denomina frontera, o interfase.

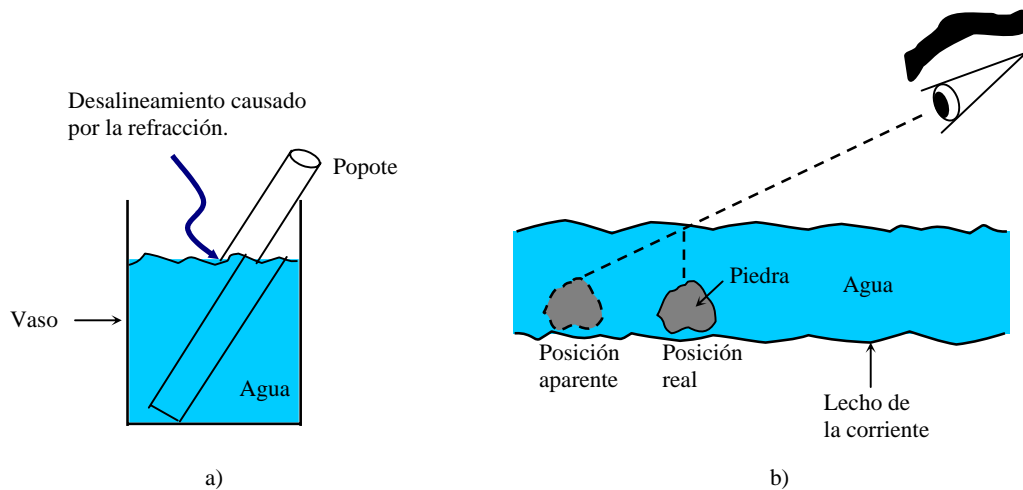
Para visualizar la refracción se coloca un popote en un vaso con agua como muestra la figura 1-4 a). Si dicho vaso se observa en forma lateral, se vera como si el popote estuviera doblado o desalineado en la superficie del agua.

Otro fenómeno debido a la refracción se presenta siempre que se observe un objeto dentro del agua. Se puede estar parado en una corriente de agua clara y observar una piedra en el fondo. La piedra esta en una posición diferente de la que aparenta estar desde donde se le observa (figura 1-4 b).

La refracción sucede porque la luz viaja a velocidades diferentes en materiales diferentes. La velocidad de la luz en el espacio libre, por lo general es mucho mayor que la velocidad de la luz en el agua, vidrio u otros materiales. La cantidad de refracción de la luz de un material, casi siempre se expresa en términos del índice de refracción,  $n$ .

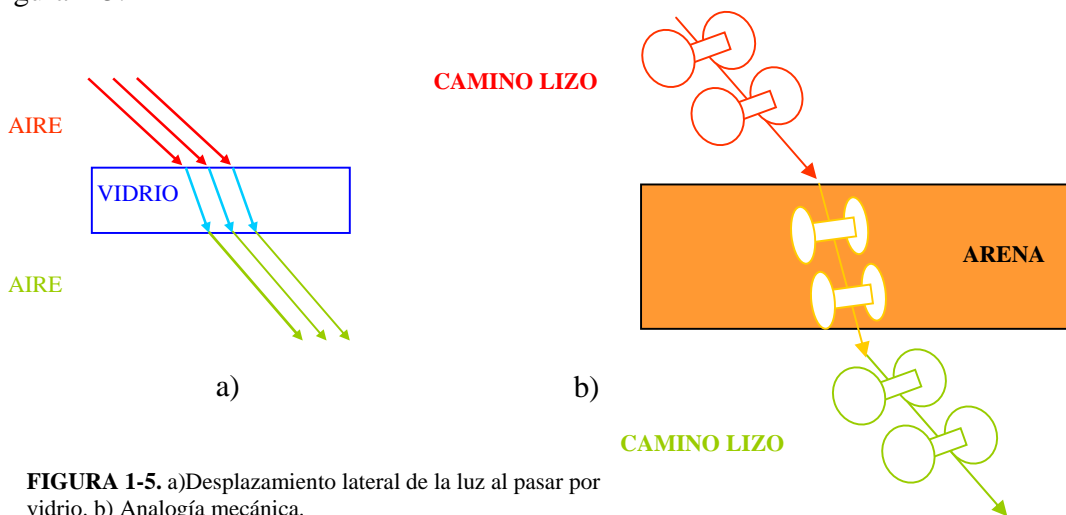
Se trata de la relación de la velocidad de la luz en el aire a la velocidad de la luz en la sustancia. Esto lo veremos mas adelante.

Sin duda, el índice de refracción del aire es 1, nada mas porque 1 dividido entre si mismo es 1. El índice refractivo del agua es mas o menos de 1.3 y el del vidrio 1.5.



**Figura 1-4.** Ejemplos del efecto de refracción.

Para entender mejor esta idea nos apoyaremos de la siguiente analogía mostrada en la figura 1-5.



**FIGURA 1-5.** a) Desplazamiento lateral de la luz al pasar por vidrio. b) Analogía mecánica.

En la figura 1-5 a) la luz que incide sobre una lamina de vidrio primero sufre una desviación hacia la normal mientras pasa a través del medio más denso, y luego se desvía alejándose de la normal al retornar al aire, es decir; la luz se dobla debido al cambio de velocidad. En la figura 1-5 b) la acción de las ruedas que encuentran a su paso una franja de

arena se asemeja al comportamiento de la luz. Al aproximarse a la arena, una de las ruedas la toca primero y disminuye su velocidad. La otra rueda continua a la misma velocidad, provocando que el eje forme un nuevo ángulo. Cuando ambas ruedas están en la arena, de nuevo se mueven en línea recta con velocidad uniforme. La primera rueda que entra en la arena es también la primera en salir de ella, y aumenta su velocidad al dejar la franja de arena. Por lo tanto el eje regresa a su dirección original. La trayectoria del eje es análoga a la trayectoria de un frente de onda.

### **1.5 INDICE DE REFRACCION.**

La cantidad de desviación o refracción que sucede en la interfaz de dos materiales de distintas densidades se puede predecir bastante bien, y depende del *índice de refracción* de los materiales. Este índice de refracción no es mas que la relación de la velocidad de propagación de un rayo de luz en el espacio libre, entre la velocidad de propagación del rayo en determinado material. La ecuación correspondiente es:

$$n = \frac{c}{v}$$

En la que  $n$  = índice de refracción

$c$  = velocidad de la luz en el espacio libre (300, 000,000 m/s)

$v$  = velocidad de la luz en determinado material (m/s)

los índices de refracción y velocidad de la luz para algunos materiales comunes aparecen en la tabla 1-1.

MATERIAL	ÍNDICE DE REFRACCIÓN (n)	VELOCIDAD DE LA LUZ (Km/s)
Vacio	1.0	300,000
Agua (H <sub>2</sub> O)	1.33	225,000
Cuarzo fundido (SiO <sub>2</sub> )	1.46	205,000
Vidrio crown	1.52	200,000
Diamante (C)	2.0	150,000
Silicio (S)	3.4	88,000
Arseniuro de galio(ArGA)	3.6	83,000
Fluorina (CaF <sub>2</sub> )	1.434	209,205
Vidrio flint	1.66	180,722
Hielo	1.309	229,182
Poliestireno	1.49	201,342
Cloruro de sodio (NaCl)	1.544	194,300
Circón	1.923	156,006
Benceno	1.501	200,000
Disulfuro de carbono	1.628	184,275
Tetracloruro de carbono	1.461	205,339
Glicerina	1.473	203,666
Alcohol etílico	1.361	220,426
Aire	1.0003	300,000
Dióxido de carbono	1.00045	300,000

Tabla 1-1. Índices de refracción y velocidad de la luz para algunos materiales

### **LEY DE SNELL .**

A continuación deduciremos la ley de Snell que nos sirve para poder entender mejor el fenómeno de refracción.

Una onda plana en un medio de índice de refracción  $n_1$ , choca con la superficie plana de un medio cuyo índice de refracción es  $n_2$ . El ángulo de incidencia se designa como  $\theta_1$  y el

ángulo de refracción  $\theta_2$ . En la figura 1-6 se supone que el segundo medio tiene una densidad óptica mayor que el primero ( $n_2 > n_1$ ). Un ejemplo de esto se presenta cuando la luz pasa del aire ( $n_1=1$ ) al agua ( $n_2=1.33$ ).

La línea AB representa el frente de onda en un tiempo  $t = 0$  justamente cuando entra en contacto con el medio 2. La línea CD representa el mismo frente de onda después del tiempo  $t$  requerido para entrar totalmente al segundo medio.

La luz se desplaza de B a D en el medio 1 en el mismo tiempo  $t$  requerido para que la luz viaje de A a C en el medio 2. Suponiendo que la velocidad  $v_2$  en el segundo medio es menor que la velocidad  $v_1$  en el primer medio, la distancia AC será menor que la distancia BD. Estas longitudes están dadas por:

$$AC = v_2 t ; BD = v_1 t$$

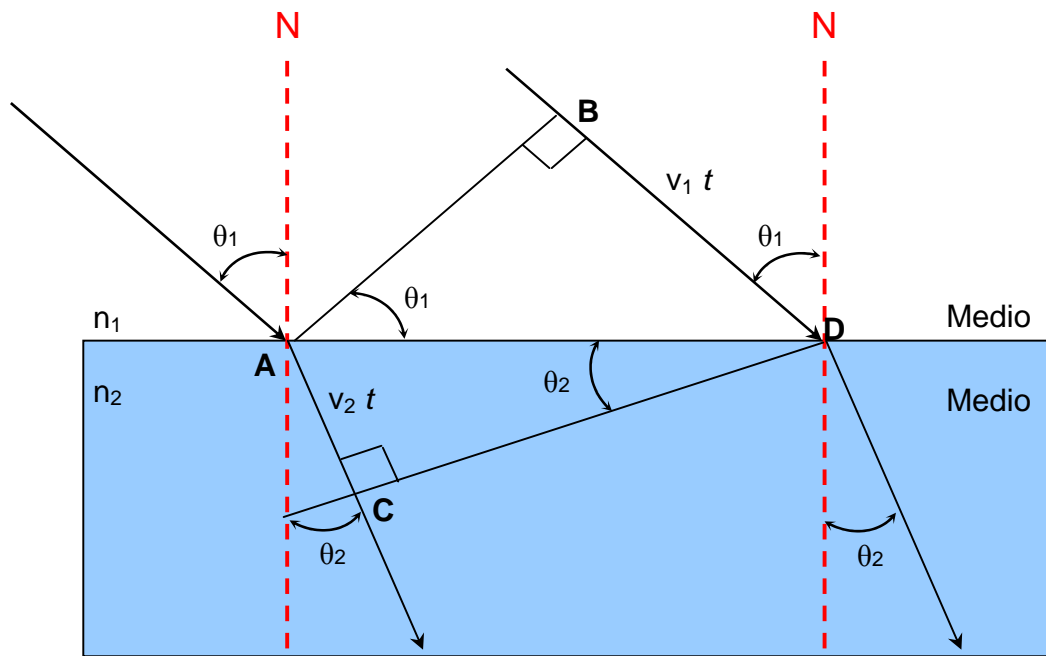
Se puede demostrar por geometría que el ángulo BAD es igual a  $\theta_1$  y que el ángulo ADC es igual a  $\theta_2$ , como se indica en la figura 1-6. La línea AD forma una hipotenusa que es común a los dos triángulos ADC. Partiendo de la figura,

$$\text{sen } \theta_1 = \frac{v_1 t}{AD}$$

**Ecuación A**

$$\text{sen } \theta_2 = \frac{v_2 t}{AD}$$

**Ecuación B**



**FIGURA 1-6.** Deducción de la ley de Snell.



Dividiendo la ecuación A entre la ecuación B obtenemos:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{Ecuación C}$$

**LEY DE SNELL:**

*La razón del seno del ángulo de incidencia con respecto al seno del ángulo de refracción es igual a la razón de la velocidad de la luz en el medio incidente con respecto a la velocidad de la luz en el medio de refracción.*

Esta regla fue descubierta por el astrónomo danés Willebrord Snell en el siglo XVII, y se llama en su honor ley de Snell. Una forma alternativa para esta ley puede obtenerse expresando las velocidades  $v_1$  y  $v_2$  en términos de los índices de refracción de los medios.

$$v_1 = \frac{c}{n_1} \qquad v_2 = \frac{c}{n_2}$$

Utilizando estas dos ecuaciones en la Ecuación C, escribimos:

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Puesto que el seno de un ángulo aumenta al aumentar el ángulo, vemos que un incremento en el índice de refracción provoca una disminución en el ángulo y viceversa.

### **1.6 REFLEXION INTERNA TOTAL.**

Puede presentarse un fenómeno, conocido como reflexión interna total, cuando la luz pasa en forma oblicua de un medio a otro de menor densidad óptica. Para entender este fenómeno, consideremos una fuente de luz sumergida en un medio 1, de la cual salen los rayos A, B, C, D como se muestra en la figura 1-7.

El rayo A pasa al medio 2 en dirección normal a la entrecara; el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción valen cero en este caso.

El rayo B incide con un ángulo  $\theta_1$  y se refracta alejándose de la normal con un ángulo  $\theta_2$ . El ángulo  $\theta_2$  es mayor que  $\theta_1$  porque el índice de refracción para el medio 1 es mayor que para el medio 2 ( $n_1 > n_2$ ). Cuando el ángulo de incidencia  $\theta_1$  aumenta, el ángulo de refracción  $\theta_2$  aumenta también hasta que el rayo refractado C emerge en forma tangencial a la superficie. El ángulo de incidencia  $\theta_c$  en el cual ocurre esto se conoce como *ángulo crítico*.

El *ángulo crítico*  $\theta_c$  es el ángulo de incidencia límite en un medio más denso, que da por resultado un ángulo de refracción de  $90^\circ$ .

Un rayo que se aproxime a la superficie con un ángulo mayor que el ángulo crítico es reflejado de nuevo al interior del medio 1. El rayo D no pasa al medio de arriba, sino que en la entrecara se refleja internamente en forma total. Este tipo de reflexión obedece a las mismas leyes que cualquier otro tipo de reflexión; esto significa que el ángulo de incidencia

es igual al ángulo de reflexión. La reflexión interna total puede ocurrir únicamente cuando la luz incidente procede de un medio de mayor densidad ( $n_1 > n_2$ ).

El ángulo crítico para dos medios determinados se pueden calcular a partir de la ley de Snell.

$$n_1 \text{ sen } \theta_c = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

Donde  $\theta_c$  es el ángulo crítico y  $\theta_2 = 90^\circ$ . Simplificando escribimos

$$n_1 \text{ sen } \theta_c = n_2 (1)$$

o bien

$$\text{sen } \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{Angulo critico}$$

Puesto que  $\text{sen } \theta_c$  nunca puede ser mayor que 1,  $n_1$  debe ser mayor que  $n_2$ .

A continuación se muestra la figura 1-7 que describe gráficamente todo lo anterior.

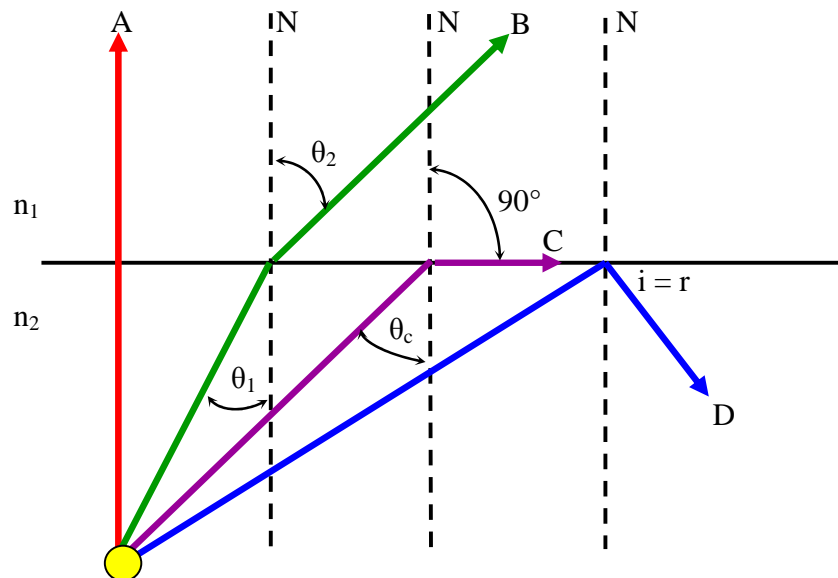


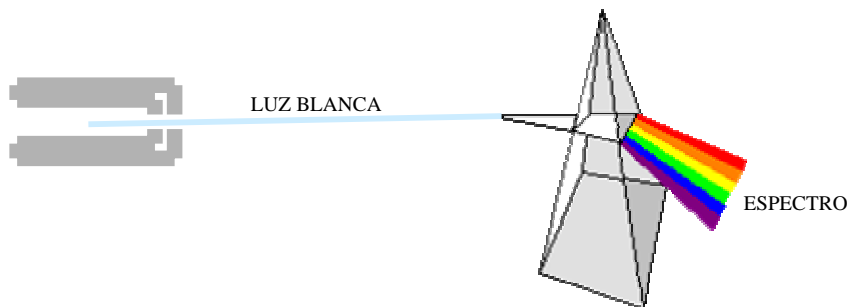
FIGURA 1-7. Angulo crítico de incidencia

### 1.7 DISPERSIÓN.

Las ondas luminosas se difunden siempre en idéntico plano y en el transcurso de su propagación experimentan movimientos irregulares alrededor de un eje, salvo que hayan sido sometidas a un proceso de polarización.

La luz blanca no tiene un origen primario, sino que está constituida por el conjunto de ondas de distinta longitud y, en consecuencia, es parte de las peculiaridades de cada una de ellas, determinándose que su fuente tiene una influencia perfectamente definida sobre su nivel energético, lo que motiva que existan diferentes clases de radiaciones luminosas.

El fenómeno conocido bajo el nombre de *descomposición* o *dispersión*, no es mas que la separación de la luz blanca en las longitudes de onda que la componen. Esto lo ilustramos en la figura 1-8.



**FIGURA 1-8.** Dispersión de la luz por medio de un prisma

Debido a las diferentes velocidades dentro del medio refringente, el haz se dispersa en sus colores componentes, rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil o índigo y violeta; se nota que cada uno de los colores tiene diferente índice de refracción, siendo el más refractado el violeta y el menos refractado el rojo; la diferencia entre sus índices de refracción para el vidrio es de 0.02. De esa diferencia de refracción se deduce que en el medio refringente que forma el prisma, cada uno de los colores avanza con distinta velocidad, siendo la luz roja la que se desvía menos debido a que es la más veloz, y la violeta se desvía más por ser de menor velocidad. Esta desigual refrangibilidad da como consecuencia que en una fibra óptica el haz de luz usado para transportar la información sea de luz monocromática para evitar pérdidas en la señal. La longitud de onda correspondiente a cada color se expresa en la tabla 1-2.

COLOR	LONGITUD DE ONDA (nm)
Infrarrojo	900
Rojo	660
Anaranjado	620
Amarillo	580
Verde	540
Azul	480
Violeta	400
Ultravioleta	170

**Tabla 1-2.-** Color y longitud de onda correspondiente a la dispersión.

Ahora bien; estudiamos de manera general los principios físicos de la óptica que se aplican para el estudio de la fibra óptica lo cual nos será de gran utilidad para poder comprender el siguiente capítulo.

# CAPITULO 2.

## FIBRA OPTICA.

La gran rapidez con la que la tecnología ha progresado ha hecho que las necesidades de transmitir grandes cantidades de información a grandes distancias sea una prioridad para todo el mundo, es así como las fibras ópticas se han convertido en unas de las tecnologías mas utilizadas y avanzadas como medio de transmisión, revolucionando los procesos de las telecomunicaciones logrando entre otras cosas una mayor velocidad de transmisión y una disminución casi total del ruido y las interferencias. Son la solución a la creciente demanda de canales de comunicación terrestres, tanto para pequeñas como para grandes distancias, además de tener nuevas aplicaciones que reducen costos.

## 2.1. HISTORIA DE LA FIBRA OPTICA.

Desde tiempos remotos en Grecia se sabía que la luz podía ser transmitida por varillas de vidrio.

Los primeros descubrimientos importantes que dan origen a la creación de la fibra óptica fueron realizados por el inglés JOHN TYNDALL en 1870, quien demostró que la luz podía ser guiada en un chorro de agua y observó que los rayos de la luz viajando a través del agua no salían hacia el exterior, a menos que excedieran un ángulo crítico, pero si iluminaban el recipiente donde caía el agua. En esencia este es el principio de las guías ópticas transparentes figura 2-1.



FIGURA 2-1. Experimento de Tyndall.

La primera comunicación optoeléctrica que existió se debe a ALEXANDER GRAHAM BELL, que en 1880 demostró, mediante su “FOTOFONO”, que la luz blanca visible podía modularse y usarse como medio portador de información analógica en comunicaciones a distancia, usando como medio de transmisión el aire.

El transmisor de este aparato usaba la luz del sol modulada por las vibraciones de un diafragma, con una superficie de acabado espejo, que a su vez era estimulado por el movimiento de las moléculas del aire originado por la voz. De esta forma se podían transmitir palabras a un receptor distante, ubicado a unos 200m. Este receptor contenía una celda de selenio, ([Se] metaloide con características de metal sin ser metal, no es buen conductor de la electricidad y no tiene el brillo de un metal) capaz de incrementar su conductividad eléctrica con la luz blanca que recibe, aumentando o disminuyendo la corriente eléctrica de un circuito proporcionalmente para excitar la bobina de un auricular.

Esta transmisión tenía sin embargo grandes problemas, ya que no se disponía de un emisor de luz con la capacidad de transmitir luz en una sola longitud de onda y en una sola dirección (recordemos que la luz blanca se compone de todos los colores).

El gran científico, llegó a considerar este aparato como su mejor invención (incluso mejor que el teléfono que el mismo invento) figura 2-2.

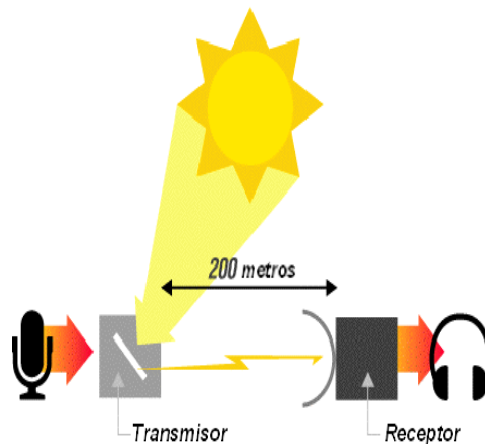


Figura 2-2. Fotófono de Graham Bell.

Su sueño de comunicación óptica se haría realidad hasta cien años después. En 1927, en Inglaterra J.L. BAIRD registró patentes que describían la utilización de bastones sólidos de vidrio en la transmisión de luz, para su empleo en un sistema primitivo de televisión a colores. El gran problema, sin embargo, es que los materiales y las técnicas usadas no permitían la transmisión de luz con buen rendimiento; las pérdidas eran grandes y no había dispositivos de acoplamiento óptico

Las primeras pruebas sobre la transmisión de la luz en fibras ópticas se pudieron realizar hasta 1930, en Alemania.

En 1935 Inglaterra propuso que la luz se transmitiera por un filamento de vidrio envuelto por otra capa de vidrio de menor índice de refracción.

Solamente en 1950 las fibras ópticas comenzaron a interesar a los investigadores, con muchas aplicaciones prácticas que estaban siendo desarrolladas. Estas aplicaciones se referían, principalmente, a la iluminación remota o a la transmisión de imágenes a través de cables flexibles, para aplicaciones médicas (Endoscopia).

N.S. KAPANY inventó el término "FIBRA OPTICA" en 1956. Lo definió como: "El arte de la conducción activa y pasiva de la luz a lo largo de fibras transparentes en trayectorias predeterminadas".

En 1960, Japón empezó a transmitir imágenes de video a través de fibras ópticas, pero las pérdidas fueron tan grandes en unos cuantos metros que por ese momento se desistió de seguirlas usando como medio de transmisión de señales. Pero ese mismo año se inventa en los Estados Unidos el primer rayo láser de rubí (Láser = Amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación) lo cual vino a dar un gran impulso a las transmisiones ópticas, por lo innovador de esta nueva fuente de luz, y por marcar la posibilidad de utilizar "Luz Coherente" para transmitir señales de comunicación. En las primeras pruebas hechas en el aire, las pérdidas de información eran muy grandes; debido a las condiciones ambientales, principalmente. Esto hizo que se impulsara el desarrollo de las fibras ópticas más transparentes, para el transporte seguro de la información.

En 1966 se lanza un programa de investigación en diversos laboratorios orientados al desarrollo de la fibra óptica, y en un comunicado dirigido a la British Association for the Advancement of Science, los investigadores CHARLES K. KAO y G.A. HOCKHAM propusieron el uso de las fibras ópticas y la luz en lugar de los conductores metálicos y la electricidad, en la transmisión de mensajes telefónicos. La obtención de tales fibras exigió

grandes esfuerzos con pérdidas muy grandes, del orden 1000 dB/Km (comparadas con las pérdidas de los cables coaxiales, que eran de 5 a 10 dB/Km; estaban muy lejos de sustituir el cable coaxial); además presentaban una banda de paso muy estrecha, una enorme fragilidad mecánica, y serios problemas para unir las fibras ópticas de una manera satisfactoria.

En 1970, en Estados Unidos Robert Maurer de la Corning Glass Works realizó la primera fibra óptica monomodo con pérdidas ópticas inferiores a 20dB y una banda pasante de 1GHz/Km, con la perspectiva de sustituir los cables coaxiales. La utilización de fibras ópticas de 100  $\mu\text{m}$  de diámetro, envueltas en nylon resistente, permitió dotar a las fibras de mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos, para que ya no pudieran romperse fácilmente.

En 1971, se incrementó la eficiencia y la vida útil del láser semiconductor a temperatura ambiente, y se mejoraron los fotodetectores. De esta manera se contó con todos los elementos necesarios para realizar el primer sistema de transmisión a través de un medio óptico, en el ámbito comercial.

10 años más tarde, las pérdidas de las fibras ópticas se redujeron a 5 dB/Km, y las técnicas de unión de baja pérdida se fueron perfeccionando; así se continuó con la fabricación de fibras ópticas con pérdidas siempre más bajas, llegándose actualmente a obtener pérdidas inferiores a 0.1 dB/Km (lo que es mucho menos de lo que presentan los cables coaxiales). Las pérdidas de potencia óptica dependen del tipo de fibra óptica, pero actualmente todas las fibras ofrecen baja atenuación y gran ancho de banda, gracias a sus avanzados métodos de fabricación.

Es así como 100 años después de que Alexander Graham Bell soñara con la realización eficiente de la comunicación óptica, se ve realizado su sueño totalmente, ya que en 1980 Estados Unidos instala la primera red de fibras ópticas de larga distancia entre las ciudades de Boston y Richmond. Esta aplicación tuvo un éxito inmediato en cubrir los estándares de confiabilidad y eficiencia. Como resultado, las redes de fibra óptica son comunes hoy en día.

#### LA FIBRA ÓPTICA EN MÉXICO.

Para 1974 se inician los estudios para aplicar la fibra óptica en telefonía, por parte de los fabricantes de cable telefónico, así mismo este año se ofrecen al mercado nacional los primeros equipos de transmisión ópticos, pero es hasta 1978 que Teléfonos de México inicia estudios formales de este nuevo medio de transmisión.

En 1981, Teléfonos de México decide la instalación de fibras ópticas y equipos de transmisión en una prueba piloto entre las centrales de Victoria y Peralvillo, en la Ciudad de México, donde dicho tramo requirió 6 Km como parte de un enlace de 40 Km, el cual entró en operación en julio de 1982 con un tráfico telefónico de 34 y 140 Mbps.

En 1985, a raíz de la descentralización de las instalaciones de Teléfonos de México, en el área metropolitana, se completa la primera instalación de 40 Km de fibras ópticas más otros 20 Km de reserva, en las zonas de Vallejo, Azcapotzalco, Roma, Morales y Estrella. Un segundo proyecto iniciado también este año incluyó la instalación de un enlace entre el centro telefónico San Juan y la central telefónica de Cuautitlan, con una longitud total de 40 Km sin repetidores. La utilización de fibras ópticas de este último enlace resolvió un viejo problema de alta inducción electromagnética que poseía parte de esta ruta.

A principios de la década de los noventa, Telmex comenzó el servicio de larga distancia con fibra óptica con una red de 13 mil 500 Km que uniría a Toluca, al DF, a Celaya y a

Guanajuato. La línea permite una difusión de 30 mil 720 conferencias simultaneas en un par de fibras del grosor de un cabello humano.

En 1991, Telmex, Alcatel e Indetel firmaron un convenio para la construcción de los primeros 5 mil 435 Km del sistema nervioso central de las comunicaciones en México, cuyas 27 rutas enlazarían a 34 ciudades del país.

De esta manera la fibra óptica empieza a ser parte de las comunicaciones en México y de otras empresas no necesariamente de telecomunicaciones, como las generadoras y suministradoras de electricidad.

Las fibras ópticas presentan ventajas económicas y técnicas muy grandes, como se enumera a continuación:

Mayor ancho de banda. Los cables de fibra óptica tienen mayor capacidad de transportar información.

Bajas pérdidas. Los cables de fibra óptica tienen menos atenuación de la señal en una distancia dada que una longitud de cable coaxial.

Peso ligero. Los cables de vidrio o plástico son mucho más ligeros que los cables de cobre y ofrecen beneficios en las áreas donde el peso es importante (por ejemplo en aviones).

Tamaño pequeño. Los cables de fibra óptica prácticos son mucho más pequeños en diámetro que los cables eléctricos y, por lo tanto, pueden estar en un espacio más o menos pequeño.

Seguridad. Los cables de fibra óptica no suelen ser intervenidos con facilidad como los cables eléctricos y no radian señales que puedan captar para propósitos de escucha no autorizada. Hay menos necesidad para técnicas de codificación complicadas y costosas.

Inmunidad a la interferencia. Los cables de fibra óptica no radian señales, como lo hacen algunos cables eléctricos, y causan interferencia a otros cables. Son inmunes a captar interferencia de otras fuentes.

Mayor seguridad. Los cables de fibra óptica no transportan electricidad. Por lo tanto, no hay riesgo de una descarga eléctrica. Son también aislantes y por consiguiente, no susceptibles a descargas eléctricas como los rayos. Pueden usarse en ambientes corrosivos, explosivos o ambos sin peligro de chispas.

Pero estos cables de fibra óptica también presentan sus desventajas; su pequeño tamaño y brillantez hacen que sea difícil de trabajar con ellos ya que a causa de esto se requieren herramientas y técnicas costosas. Este medio de enlace se ha hecho muy popular comercialmente y empieza a sustituir con éxito a otros medios de transmisión de señales, sobre todo en distancias grandes.

La siguiente tabla señala los acontecimientos más importantes que dan origen a la comunicación humana por medio de las fibras ópticas:

AÑO	PAIS	AVANCE TECNOLÓGICO
?	GRECIA	Observación de la propagación de la luz en el vidrio
?	VENECIA	Flores decorativas hechas con fibra de vidrio
1609	ITALIA	Telescopio de Galileo G.
1626	HOLANDA	Ley de Snell
1668	INGLATERRA	Newton crea el telescopio por reflexión óptica
1710	FRANCIA	Rene de Reaumur hace vidrio hilado
1790	FRANCIA	Claude Chappe inventa telégrafo óptico
1841	FRANCIA	Daniel Colladon demuestra que en un chorro de agua es posible guiar luz



1842	FRANCIA	Jacques Babinet guía luz en un chorro de agua y en varas de vidrio curvado, Paris.
1870	INGLATERRA	Jhon Tyndall, recorrido curvilíneo de la luz en un chorro de agua
1873	INGLATERRA	Maxwell, teoría electromagnética
1880	ESTADOS UNIDOS	G. Bell, inventa el fonógrafo
1884	INGLATERRA	Exposición de salud internacional en sur kensington distrito de Londres tiene las primeras fuentes que iluminaban los mismos chorros de agua, ideado por Segnor Francis Bolton
1888	AUSTRIA	El Dr. Roth y el Prof. Reuss de Viena usan vidrio curvado (varas) para iluminar cavidades del cuerpo
1889	FRANCIA	Exposición universal en Paris muestra fuentes iluminadas redefinidas ideadas por G. Bechman
1895	FRANCIA	Henry C. Santo-Rene idea un sistema de varas de vidrio curvado para guiar luz en un proyecto de televisión temprana (Crezancy, Francia)
1897	INGLATERRA	Rayleigh realiza análisis de una guía de onda
1902	ITALIA	Marconi inventa el radio detector
1910	ALEMANIA	Hondros y Debye, elaboran análisis con una guía de onda dieléctrica
1920	ESTADOS UNIDOS	Varas de vidrio curvado son usadas para la iluminación de un microscopio
1930	ALEMANIA	Lamb efectúa experimentos con una fibra de silicio
1936	ESTADOS UNIDOS	Primer comunicación usando guía de onda
A1940		
1951	INGLATERRA	Heel, Hopkins y Kapany transmiten una imagen por paquetes de fibra óptica
1956	INGLATERRA	Kapany, inventa el termino fibra óptica
1960	ESTADOS UNIDOS	Maiman, inventa el rayo láser en Hughes Research Laboratory
1960	ESTADOS UNIDOS	Javan inventa el rayo láser compuesto por He-Ne
1961	INGLATERRA	Kapany y Snitzer realizan análisis del modo de una fibra óptica
1962	ESTADOS UNIDOS	Se desarrolla el diodo láser semiconductor
1964	ESTADOS UNIDOS	Goubau y Christian experimentan la transmisión de un haz de luz con lentes periódicas
1966	INGLATERRA	Kao y Hockham, de la Standar Telecommunication Laboratory, y por otro lado Werst, sugieren las fibras ópticas para usarse en telecomunicaciones
1969	JAPON	Kawakami y Nishizawa descubren el índice gradual en una guía de onda óptica
1970	ESTADOS UNIDOS	Fibra unimodo de silicio dopado, de 20 db/km, desarrollada por R. Maurer (Corning Glass Woks)
1971	ESTADOS UNIDOS	Burrus y Miller, obtienen el AlGaAs (Emisión de Superficie)
1971	JAPÓN	Diodo Láser de Inyección (ILD) operando a temperatura ambiente y de un modo continuo.
1972	ESTADOS UNIDOS	Fibra multimodo
1972	AUSTRALIA	Ogilvie y Esdaile inventan fibra con centro liquido
1973	ESTADOS UNIDOS	Corning Glass Works, con el método de fabricación OPVD logran fibras ópticas con perdidas de 4 dB/km, de 800 a 850 nm de longitud de onda
1973	ESTADOS UNIDOS	La marina de guerra instala un teléfono con fibra óptica a bordo del uss "Little Rock"
1974	ESTADOS UNIDOS	Laboratorios Bell. método MCVD para fabricar fibras de 2 dB/km y 1600 nm con fibras de sílice dopadas de Ge
1975	INGLATERRA	Payne y Gambling experimentan y descubren fibra optica con una mínima dispersión a 1300 nm en fibras de sílice
1976	JAPON	Transmisión con una atenuación de 0.4 dB/km a 1200 nm.

		y fibras de SiO <sub>2</sub> – GeO <sub>2</sub> con 0.5 dB/km a 1300 y 1550 nm
1976	JAPON	Empalme de fibras ópticas por fusión de arco eléctrico
1977	JAPÓN	NTT, descubrimiento del método VAD para fabricar fibras ópticas
1977	ESTADOS UNIDOS	La armada instala el primer enlace de datos con fibra óptica de 2Km. a 20 Mbps conectando una estación terrena con un centro de procesamiento
1977	ESTADOS UNIDOS	Instalación en Chicago de una red local telefónica para trafico comercial (ATT y GTE)
1977	INGLATERRA	Oficina postal, enlace de 9 Km a 140 Mbps
1978	JAPON	NTT, Diodo Láser de Inyección a 1270 nm
1978	INGLATERRA	Gambling y Matsumura descubren fibras de modo simple con dispersión cero de primer orden
1979	JAPON	NTT, enlace con fibras unimodo a 1550 nm con atenuación de 0.2 dB/km
1979	JAPON	Shimada Co. lleva a cabo transmisión por fibra a mas de 100Km
1980	ESTADOS UNIDOS	primera red de fibras ópticas de larga distancia entre Boston y Richmond (por la ATT)
1980	ESTADOS UNIDOS	Fibras multimodo con una operación de 800nm y una razón de bits de 45Mbps
1982	ESTADOS UNIDOS	Instalación de fibra óptica unimodo para un programa de evaluación, por Jets Propulsión Laboratories, en Pasadena, Ca
1982	JAPON	Fujitsu demostró la operación de un sistema de 405Mbps de 30 Km, con fibra unimodo
1983	ESTADOS UNIDOS	Primer enlace de larga distancia sin repetidores de 36.8 Km, por la Continental Telephon Co.,NY
1985	ESTADOS UNIDOS	Propagaciones de modo simple a través de América para llevar señales de teléfono de larga distancia en 400 bites de millón por segundo y arriba
1987	ESTADOS UNIDOS	fibras monomodo con una Operación de 1300nm y una razón de bits de hasta 1.7Gbps
1988	ESTADOS UNIDOS	Empieza el primer servicio trasatlántico por cable óptico usando 1.3µm láser sobre fibras monomodo
1989	ESTADOS UNIDOS	Se implementa el uso de los amplificadores ópticos y el WDM (Multiplexion por división de onda).
1991	ESTADOS UNIDOS	El investigador Linn Mollenaver de Laboratorios Bell transmite una señal de 2.5Gbs a lo largo de 7500Km sin regeneracion, su sistema utilizo un láser soliton
1994	FRANCIA	Alcatel introduce el proceso de fabricación de fibras ópticas APVD, que asegura una fibra de muy alta calidad
1996	JAPON	Fujitsu, NTT Laboratory y Bell Laboratory todo mensaje es enviado a 1Gbps a través de fibra óptica monomodo en experimentos separados usando técnicas diferentes
1996	FRANCIA	Alcatel desarrolla e introduce al mercado un proceso que le da color a las fibras para su identificación
1998	ESTADOS UNIDOS	Laboratorios Bell demuestra la viabilidad de un sistema DWDM (Multiplexion por división de longitud de onda densa) con 100 haces cada uno operando a 10Gbps con una velocidad de 1tbps.

## 2.2 DEFINICION Y ESTRUCTURA DE UNA FIBRA OPTICA SENCILLA .

Las fibras ópticas son filamentos dieléctricos de vidrio (bióxido de silicio,  $\text{SiO}_2$  sílice ) o de plástico , básicamente, largos y flexibles de pequeña sección transversal (circular) , de dimensiones de tan solo  $125\ \mu\text{m}$  comparables al cabello humano. Una fibra óptica consta de varios componentes colocados de forma concéntrica desde el centro hasta el exterior del cable de fibra óptica nos encontramos con: el núcleo, un revestimiento, un recubrimiento exterior de plástico.

Este es un medio de transmisión que transporta señales con mucha información a gran distancia. Esto se logra por reflexiones internas totales de la luz en el núcleo ayudado por el revestimiento que le rodea. La figura 2-3 muestra la constitución de una fibra óptica simple.

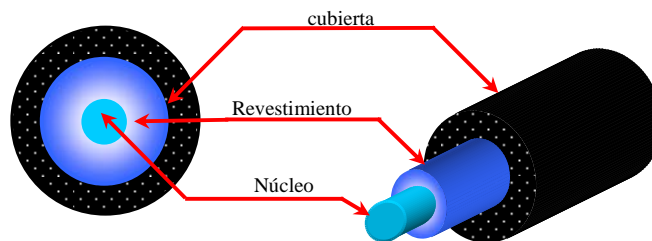


FIGURA 2-3. Estructura de una fibra óptica simple

### *NÚCLEO.*(core)

Es la sección central transparente principal, en la que viajan las ondas de luz óptica. El núcleo es el medio físico que transporta las señales ópticas desde la fuente de luz al dispositivo de recepción. Es una sola fibra continua de vidrio ultrapuro de cuarzo o dióxido de silicio de diámetro muy pequeño, entre  $10$  y  $100\ \mu\text{m}$ . Cuanto mayor es el diámetro del núcleo, mayor es la cantidad de luz que puede transportar. Precisamente los cables de fibra óptica se clasifican en función de su diámetro. Los tres tamaños disponibles mas usuales son los de  $9$ ,  $50$ ,  $62.5$  y  $100\ \mu\text{m}$ , también se puede encontrar tamaños mas grandes.

### *REVESTIMIENTO.*(cladding)

Es la capa transparente que rodea al núcleo con el objeto de actuar como una pantalla reflejante de las ondas de luz que este lleva, es decir, el revestimiento tiene la función de atrapar, concentrar y transportar la luz óptica transmitida en el núcleo; para lograrse este objetivo, el índice de refracción del revestimiento es ligeramente menor que el del núcleo. De hecho, el revestimiento tiene la misma función que el aire, actuando para que la luz no se salga del núcleo, pero no es conveniente que el núcleo este expuesto directamente al aire porque se oxida, perdiendo su transparencia. Por ello al poner la capa de revestimiento este se oxida pero tiene el suficiente espesor para que la afectación de la humedad del aire no llegue al núcleo. Tiene un diámetro de  $125$  o  $140\ \mu\text{m}$  aunque puede llegar a tener diámetros mucho más grandes.

### *RECUBRIMIENTO.*(coating o buffer)

Siempre se debe proteger la fibra óptica del aire, incluyendo al revestimiento, para alargar su vida útil al ser transparente más años. Para esto se emplean cubiertas acrílicas o plásticas, y en algunos casos compuestos químicos líquidos (GEL) envolviendo a las cubiertas con el objeto de absorber la humedad circundante también se añaden varias capas de plástico con el fin de absorber los posibles choques y proporcionar una protección extra

contra las curvaturas excesivas del cable, es decir, para preservar la fuerza de la fibra; la capa exterior del recubrimiento tiene un color que sirve para identificar las fibras (recomendación L10 de la UIT). Este recubrimiento también se mide en micrómetros y su diámetro puede estar entre 250,500 y 900  $\mu\text{m}$ .

### **2.3 PROPAGACION DE LA LUZ EN LA FIBRA OPTICA.**

Aunque se puede analizar por completo el funcionamiento de las fibras ópticas aplicando las ecuaciones de Maxwell, es una forma complicada por necesidad. Para la mayoría de las aplicaciones prácticas y el objetivo de esta tesis, se puede usar el trazado geométrico de ondas en lugar de las ecuaciones de Maxwell. Con el trazo de rayos se obtienen resultados con exactitud suficiente.

Para que un rayo de luz que incide al inicio de una fibra óptica se propague, es necesario como ya se vio en el capítulo anterior que el ángulo que forma dicho rayo con la fibra sea superior al ángulo crítico, de esta manera al no haber rayo refractado, no se pierde energía y el rayo de luz viajara por el núcleo de la fibra.

De acuerdo con lo anterior y aplicando la ley de Snell un rayo de luz en el interior de fibra óptica se propagaría como muestra la figura 2-4.

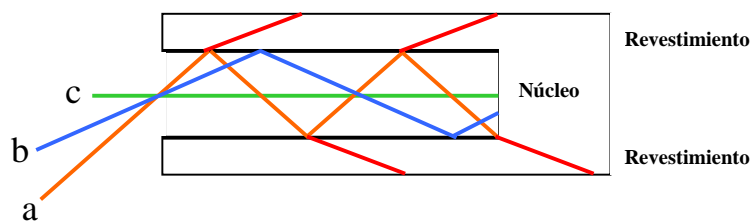


Figura 2-4.-Propagación de la luz en la fibra óptica.

Se observa que el rayo “a” acabara por desaparecer puesto que va perdiendo energía pues existe un rayo refractado.

Los rayos “b” y “c” se mantienen dentro del núcleo; es decir, tienen una reflexión interna total que los hace permanecer dentro de el.

Así se puede observar que a partir del valor del ángulo crítico se determina el ángulo máximo que puede formar la luz incidente con el eje de la fibra para que se pueda transmitir el rayo de luz sin ninguna pérdida. 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. (Diseño óptico)
- 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.

### **2.4 TIPOS DE FIBRAS OPTICAS.**

Las fibras ópticas se pueden clasificar en diferentes tipos atendiendo a los parámetros ópticos, geométricos o dinámicos que las definen.

#### ***POR LOS MATERIALES DEL NÚCLEO Y REVESTIMIENTO.***

En esencia hay tres variedades de fibra óptica que se usan en la actualidad. Las tres se fabrican con vidrio, plástico o una combinación de vidrio y plástico. Esas variedades son:

1.- Núcleo y forro de plástico.

2.- Núcleo de vidrio con forro de plástico (llamado con frecuencia fibra *PCS*, plastic-clad silica o sílice revestido con plástico).

3.- Núcleo de vidrio y forro de vidrio (llamado con frecuencia *SCS*, silica-clad silica o sílice revestido con sílice).

En la actualidad se investiga en Bell Laboratories, la posibilidad de usar una cuarta variedad que usa una sustancia no silicea, el cloruro de zinc. Los experimentos preliminares parecen indicar que esta sustancia será hasta 1000 veces más eficiente que el vidrio, su contraparte a base de sílice.

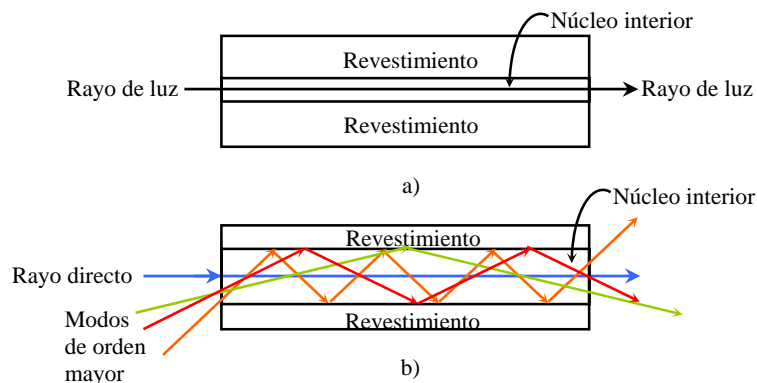
Las fibras de plástico tienen varias ventajas sobre las de vidrio. La primera es que las de plástico son más flexibles y, en consecuencia, más robustas que el vidrio. Son más fáciles de instalar, pueden resistir mejor los esfuerzos, son menos costosas y pesan 60% menos que el vidrio. La desventaja de las fibras de plástico es su alta atenuación característica: no propaga la luz con tanta eficiencia como el vidrio. En consecuencia, las fibras de plástico se limitan a tramos relativamente cortos, como por ejemplo dentro de un solo edificio o un complejo de edificios.

Las fibras con núcleos de vidrio tienen bajas atenuaciones características; sin embargo, las fibras *PCS* son un poco mejores que las *SCS*. Las fibras *PCS* también se afectan menos por la radiación y, en consecuencia, tienen mucho más atractivo en las aplicaciones militares. Las fibras *SCS* tienen las mejores características de propagación y son más fáciles de terminar que las *PCS*. Desafortunadamente, los cables *SCS* son los menos robustos y son más susceptibles a aumentos de atenuación cuando están expuestos a la radiación.

La selección de una fibra para determinada aplicación es función de los requisitos específicos del sistema. Siempre hay compromisos basados en la economía y la logística en una aplicación determinada.

**POR EL NUMERO DE MODOS TRANSMITIDOS: UNIMODO O MULTIMODO.**

En la terminología de fibras ópticas, la palabra *modo* simplemente quiere decir camino. Si solo hay una trayectoria que pueda tener la luz por el cable, se llama *modo único*, o *unimodal*; en algunos casos es llamada también *monomodo*. Si hay más de una trayectoria, se llama *modo múltiple* o *multimodal*; también llamada *multimodo*. La figura 2-5 muestra la propagación de luz en modo único y en multimodo, por una fibra óptica



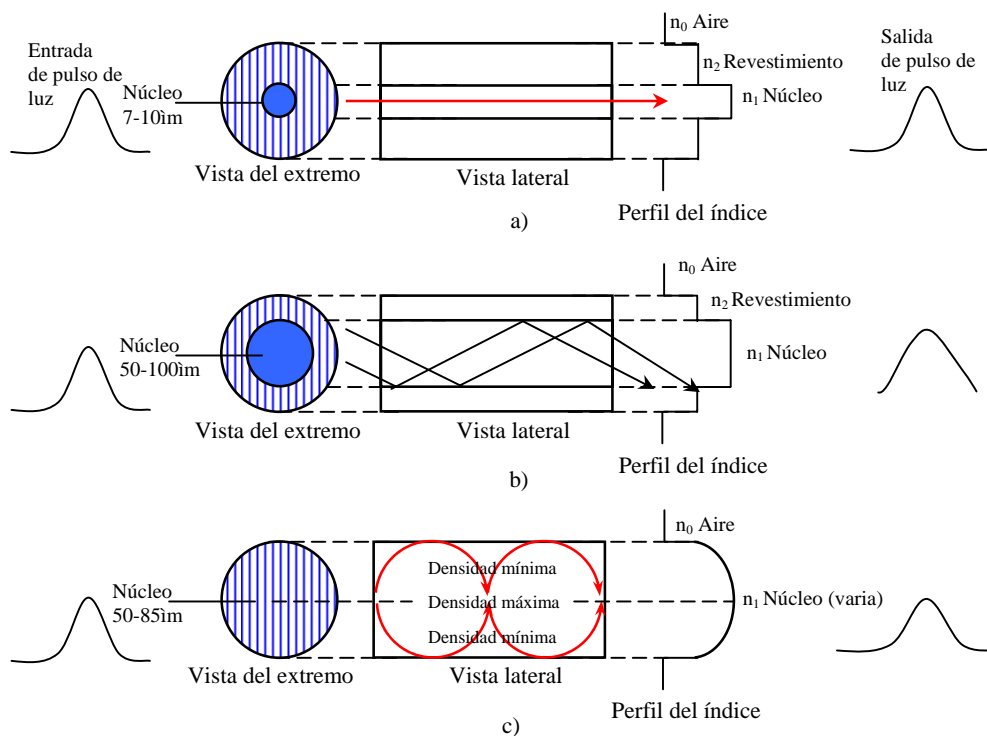
**Figura 2-5.** Modos de propagación: a) unimodal; b) multimodal.

### POR EL PERFIL DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN.

Con este nombre se indica la variación del índice de refracción en el diámetro de la fibra óptica, y su forma determina las trayectorias de la luz en la fibra, así como sus características de transmisión (atenuación y ancho de banda), de igual manera que la cantidad de modos por los que discurre la luz en su propagación a lo largo de la fibra.

El perfil del índice de una fibra óptica es una representación grafica del índice de refracción en la sección transversal de la fibra. El índice de refracción se grafica en el eje horizontal, y el eje de la distancia radial al centro es el vertical. La figura 2-6 muestra los perfiles índices del núcleo para tres clases de fibra.

Hay dos tipos básicos de perfiles índice: escalonados y graduados. Una *fibra de índice escalonado* tiene un núcleo central con índice de refracción uniforme. Este núcleo está rodeado por un revestimiento externo con índice de refracción uniforme, pero menor que el del núcleo central. Se ve en la figura 2-6 que una fibra de índice escalonado hay un cambio abrupto de índice de refracción en la interfaz entre núcleo y revestimiento. En una *fibra de índice gradual* no hay revestimiento, y el índice de refracción del núcleo no es uniforme; es máximo en el centro y disminuye en forma gradual de acuerdo con la distancia hacia la orilla externa.



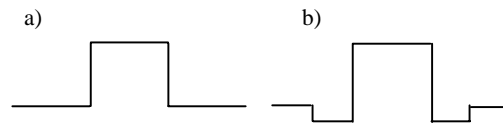
**Figura 2-6.** perfiles de índice en el núcleo; a) unimodal, índice escalonado; b) multimodal, índice escalonado; c) multimodal, índice graduado.

Pero estos perfiles básicos no han satisfecho todas las necesidades que han surgido con el paso del tiempo; llegando así a *los perfiles de índices de refracción múltiple o segmentados*. Los cuales fueron diseñados para compensar la dispersión cromática de las fibras monomodo. Estos conductores de fibra óptica monomodo pueden ser realizados con perfiles de diferentes estructuras. A continuación se da una reseña de dichos perfiles:

Clase 1 sin desplazamiento de la dispersión

Perfil escalonado normal (simple step-index o matched cladding), figura 2-7a

Perfil escalonado con índice de refracción rebajado en el recubrimiento (depressed cladding), figura 2-7b.



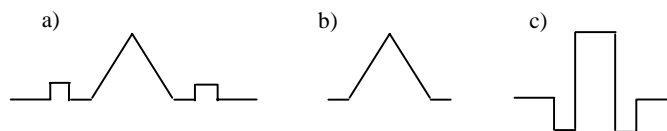
**Figura 2-7.-** perfiles de conductores de fibras ópticas sin desplazamiento de la dispersión.

Clase 2 con desplazamiento de la dispersión.

Perfil segmentado con núcleo triangular (segmented core), figura 2-8a.

Perfil triangular (triangular profile), figura 2-8b.

Perfil segmentado con doble escalón del índice de refracción en el recubrimiento (double clad), figura 2-8c.

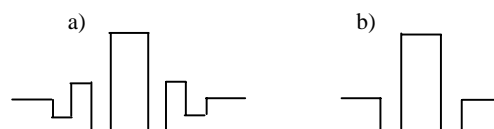


**Figura 2-8.-** perfiles de conductores de fibras ópticas con desplazamiento de la dispersión.

Clase 3 con dispersión plana.

Perfil segmentado con cuatro escalones del índice de refracción en el recubrimiento (quadruple clad), figura 2-9a

Perfil W (double clad), figura 2-9b.



**Figura 2-9.-** perfiles de conductores de fibras ópticas con dispersión plana.

### *POR LA APLICACIÓN A QUE SE DESTINEN LAS FIBRAS.*

Dependiendo el tipo de aplicación a que se destine una fibra, y siempre en función de su uso más frecuente se pueden considerar dos grupos: las fibras de alta calidad y las fibras de mediana calidad.

Las fibras de alta calidad son fabricadas con sílice ultrapuro, presentan atenuaciones muy bajas y son aplicadas para enlaces de telecomunicación de larga distancia; se distinguen las fibras monomodo índice escalonado y las fibras multimodo de índice gradual. Dentro de las fibras de mediana calidad encontramos a las fibras multimodo de índice escalonado que son utilizadas para enlaces de corta distancia.

### FIBRAS MONOMODO INDICE ESCALONADO.(SM)

Las fibras monomodo de índice escalonado tienen un solo modo, o una sola trayectoria de transmisión a través de la fibra, en esencia elimina la dispersión modal al volver al núcleo tan pequeño que el número total de modos o trayectorias a través del núcleo son minimizados de tal manera que la única trayectoria a través del núcleo es por el centro ver figura 2-10 a). Con refracciones mínimas, aparece poco estiramiento en el pulso y esto da como resultado que el pulso de salida tenga la misma duración que el pulso de entrada. Las fibras monomodo de índice escalonado son, con mucho, las mejores, ya que la velocidad de repetición de pulsos suele ser alta y es posible transportar la cantidad máxima de información. Para distancias de transmisión muy grandes y contenido máximo de información. El diámetro del núcleo que es utilizado comúnmente es de  $9\ \mu\text{m}$  ver figura 2-10 b). El ancho de banda que maneja es de  $10\text{GHz/Km}$ . Las aplicaciones que tiene son para la transmisión de información a larga distancia de compañías eléctricas, telefónicas, gaseras etc., cables submarinos y cables interurbanos a velocidades muy altas.

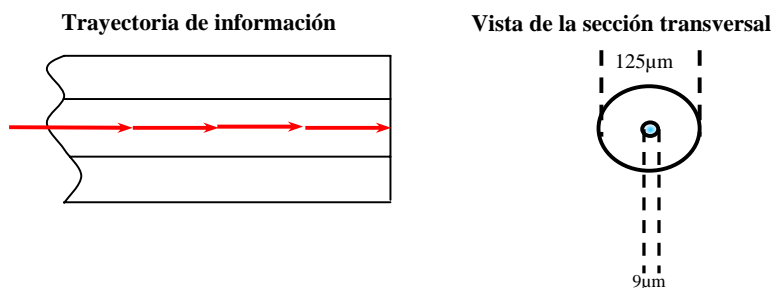


Figura 2-10.-Fibra óptica monomodo de perfil de índice de refracción escalonado (step-index)

#### Ventajas

- 1.- hay dispersión mínima. Como todos los rayos que se propagan por la fibra toman aproximadamente la misma trayectoria, tardan aproximadamente el mismo tiempo para recorrer la fibra. En consecuencia, un pulso de luz que entra a la fibra se puede reproducir con mucha exactitud en el extremo de recepción.
- 2.- debido a la gran exactitud de reproducción de los pulsos transmitidos en el extremo de recepción, son posibles mayores anchos de banda y mayores capacidades de transmisión de información con las fibras monomodales de índice escalonado.

#### Desventajas

- 1.- debido a que el núcleo central es muy pequeño, es difícil acoplar la luz hacia adentro y hacia fuera de esta clase de fibra. La abertura de la fuente a la fibra es la más pequeña.
- 2.- también debido al pequeño núcleo central, se requiere una fuente luminosa muy direccional, como por ejemplo un láser, para acoplar la luz en una fibra monomodo de índice escalonado.
- 3.- estas fibras son muy costosas y difíciles de fabricar.

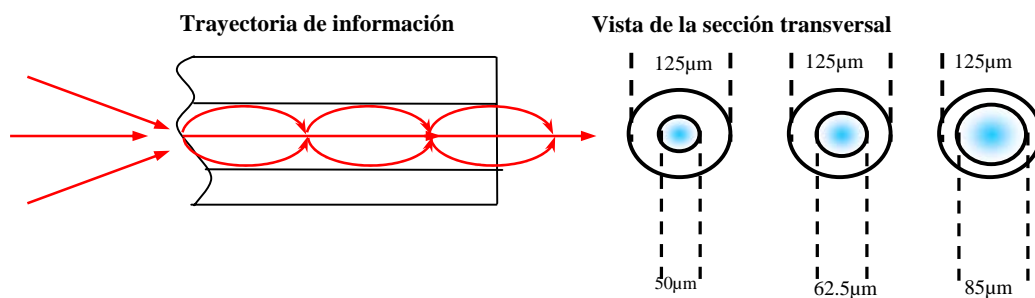
### FIBRAS MULTIMODO DE INDICE GRADUAL.(MM)

Las fibras multimodo de índice gradual tienen varios modos, o trayectorias de transmisión a través de la fibra, pero son mucho más ordenados y predecibles. La figura 2-11 a) manifiesta las trayectorias típicas de los haces de luz. Debido a la continua variación del



índice de refracción a través del núcleo, los rayos de luz son doblados de manera suave y convergen en forma repetida en puntos a lo largo de la fibra. Los rayos de luz cerca de la orilla del núcleo toman una trayectoria mas larga, pero viajan mas aprisa porque el índice de refracción es menor. Todos los modos de las trayectorias de luz tienden a arribar en un punto casi al mismo tiempo. El resultado es una dispersión modal menor. En consecuencia, esta fibra suele utilizarse a velocidades de pulsos muy altas y, por lo tanto, es posible transportar una cantidad considerable de información. Este tipo de fibra también es mucho mas ancha de diámetro, los tamaños de núcleo mas comunes son de 50,62.5 y 85  $\mu\text{m}$  figura 2-11 b). Manejan un ancho de banda de 100 a 1000 MHz/Km.

Estas fibras son las mas populares en aplicaciones comerciales; tienen amplios usos en conexiones de datos y video, redes de distribución de TV. por cable, redes de área local de fabricas, oficinas, edificios etc.



**Figura 2-11.**-Fibra óptica multimodo de perfil de índice de refracción gradual (graded-index)

En esencia esta clase de fibra no tiene ventajas y desventajas sobresalientes- las fibras multimodales de índice graduado son mas fáciles de acoplar la luz que les entra y que les sale, en comparación con las fibras monomodales de índice escalonado, pero mas difíciles de acoplar en comparación con las multimodales de índice escalonado. La dispersión debida a trayectorias múltiples de propagación es mayor que en las modomodales de índice escalonado, pero menor que en las multimodales de índice escalonado. Son mas fáciles de fabricar que las fibras monomodo de índice escalonado, pero mas difíciles que las multimodo de índice escalonado. La fibra multimodal de índice graduado se considera intermedia en comparación con las monomodo y multimodo de índice escalonado.

#### FIBRAS MULTIMODO DE INDICE ESCALONADO.

Las fibras multimodo de índice escalonado toma varios cientos de modos, o trayectorias de transmisión a través del núcleo antes de salir en la figura 2-12 a) se puede apreciar. Debido a las diferentes longitudes de estas trayectorias, algunos de los rayos de luz necesitan un poco mas de tiempo para alcanzar el otro extremo de la fibra que otros. El problema con esto es que alarga el pulso; es decir tiene una dispersión modal muy alta y en consecuencia no es aplicable en largas distancias. En consecuencia, esta fibra suele utilizarse a velocidades de pulsos muy bajas y, por lo tanto, no es posible transportar una cantidad considerable de información, sino que se limita a transportar muy poca información a distancias de unas decenas de metros. Este tipo de fibra es la mas ancha de diámetro, los tamaños de núcleo mas comunes son de 100  $\mu\text{m}$  figura 2-12 b). Manejan un ancho de banda de 50 MHz/Km. Sus aplicaciones mas comunes es en los controles de aviones,

embarcaciones, automóviles, en la transmisión de señales en equipos de audio y video, en medicina (endoscopio) etc.

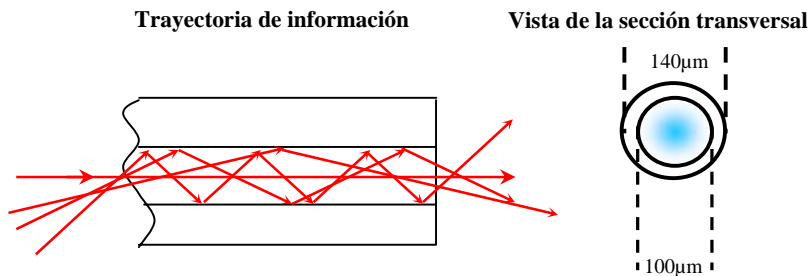


Figura 2-12.-Fibra óptica multimodo de perfil de índice de refracción escalonado (step-index)

Ventajas

- 1.- las fibras multimodales de índice escalonado son poco costosas, y su fabricación es muy sencilla.
- 2.- es fácil acoplar la luz hacia adentro y hacia fuera de las fibras multimodales de índice escalonado; tienen una abertura grande de la fuente a la fibra.

Desventajas

- 1.- los rayos luminosos siguen muchas trayectorias distintas por la fibra, lo que da como resultado grandes diferencias en sus tiempos de propagación. por eso, los rayos que recorren esta clase de fibras tienden a extenderse y, en consecuencia, un pulso de luz que se propague por una fibra multimodal de índice escalonado se dispersa mas que en otros tipos de fibra.
- 2.- el ancho de banda y la capacidad de transferencia de información posibles con esta clase de fibra es menor que con los otros tipos.

**2.5 CONDICIONES PARA SELECCIONAR UNA FIBRA ÓPTICA.**

Se deben considerar varios factores cuando se selecciona una fibra optica para una aplicación determinada:

- El tamaño del núcleo / revestimiento
- El material y la fabricación de la fibra
- La atenuación de la fibra medida en dB/Km
- El producto de ancho de banda-distancia medido en MHz · Km
- Las consideraciones del medio ambiente

En la tabla 2.1, 2.2 y 2.3 se recopilan esos factores para diferentes tamaños de fibra óptica.

FIBRA		PERDIDAS ÓPTICAS (dB/Km)			
Tamaño	Tipo	780nm	850nm	1310nm	1550nm
9/125μm	Monomodo (SM)	---	---	0.5-0.8	0.2-0.3
50/125μm	Multimodo (MM)	4.0-8.0	3.0-7.0	1.0-3.0	1.0-3.0
62.5/125μm		4.0-8.0	3.0-7.0	1.0-4.0	1.0-4.0
100/140μm		4.5-8.0	3.5-7.0	1.5-5.0	1.5-5.0
110/125μm		---	15.0	---	---
200/230μm		---	12.0	---	---

Tabla 2.1.- perdidas típicas de la fibra.

FIBRA		PRODUCTO ANCHO DE BANDA-DISTANCIA (MHz • Km)			
Tamaño	Tipo	780nm	850nm	1310nm	1550nm
9/125µm	monomodo (SM)	<800	2000	20000+	4000-20000+
50/125µm	multimodo (MM)	150-700	200-800	400-1500	300-1500
62,5/125µm		100-400	100-400	200-1000	150-500
100/140µm		100-400	100-400	100-400	10-300
110/125µm		---	17	---	---
200/230µm		---	17	---	---

**Tabla 2.2.-** ancho de banda típico de la fibra.

TAMAÑO DE LA FIBRA	APERTURA NUMÉRICA	RANGO DE TEMPERATURA	RADIO MÍNIMO DE CURVATURA
9/125µm	---	-60 a +85°C	12mm
50/125µm	0.20	-60 a +85°C	12mm
62,5/125µm	0.275	-60 a +85°C	12mm
100/140µm	0.29	-60 a +85°C	12mm
110/125µm	0.37	-65 a +125°C	15mm
200/230µm	0.37	-65 a +125°C	16mm

**Tabla 2.3.-** diversos parámetros de la fibra.

### PARÁMETROS GEOMÉTRICOS.

Cualquiera que sea el tipo de fibra a considerar, los parámetros geométricos que la caracterizan son los siguientes:

Diámetro del núcleo

Diámetro del revestimiento

Estos diámetros, dependiendo de la tecnología de fabricación, arrastran errores diversos. La magnitud de las tolerancias correspondientes se encuentra recogida en la recomendación del CCITT (UIT) G.651 para fibra multimodo y G.652 para fibra monomodo.

Además, el propio proceso de fabricación introduce defectos en la concetricidad del núcleo y en la circularidad del núcleo y revestimiento, lo que obliga a definir los siguientes parámetros adicionales:

Excentricidad

No circularidad del núcleo

No circularidad del revestimiento

Siendo  $d_{Nmax}$  y  $d_{Nmin}$  los diámetros máximo y mínimo del núcleo,  $d_{Rmax}$  y  $d_{Rmin}$  los diámetros máximo y mínimo del revestimiento, N y R los centros geométricos respectivos del núcleo y revestimiento, se definen en la citada recomendación:

Diámetro del núcleo: promedio de los valores máximo y mínimo del diámetro del núcleo.

$$d_N = \frac{1}{2} (d_{Nmax} + d_{Nmin})$$

Diámetro del revestimiento: promedio de los valores máximo y mínimo del diámetro del revestimiento:

$$d_R = \frac{1}{2} (d_{Rmax} + d_{Rmin})$$

Excentricidad núcleo – revestimiento:

$$C_{N-R} = NR/d_N$$

No circularidad (elipticidad) del núcleo:

$$N_N = (d_{Nmax} - d_{Nmin}) / d_N$$

No circularidad (elipticidad) del revestimiento:

$$N_R = (d_{Rmax} - d_{Rmin}) / d_R$$

Las características comerciales mas habituales son, en el momento actual para fibras monomodo y multimodo las que recoge la tabla 2.4 y 2.5 respectivamente.

ESPECIFICACIONES OPTICAS		ESPECIFICACIONES MECANICAS	
<b>Atenuacion (Cableado)</b>		<b>Prueba examen del cable de fibra optica</b>	
Atenuacion a 1310nm	≤ 0.35dB/Km	Es sometida a una prueba de Tension y resistencia	>100Kpsi (0.7GN/m <sup>2</sup> ) Equivalente al 1% de estiramiento
Atenuacion a 1550nm	≤ 0.22dB/Km	<b>Resistencia a la traccion</b>	
Atenuacion a 1625nm	≤ 0.25dB/Km	Resistencia a la traccion Dinamica (0.5 metros de largo de muestra)	media ≥550Kpsi (3.8GN/m <sup>2</sup> )
Atenuacion a 1450nm	≤ 0.26dB/Km	<b>Fatiga Estatica y Dinamica</b>	
Atenuacion a 1383nm	≤ 0.33dB/Km	Resistencia a la fatiga dinamica	N <sub>d</sub> ≥ 20
<b>Uniformidad de la atenuacion (Cableado)</b>		Fatiga Dinamica, 2 puntos de curvatura	N <sub>d</sub> ≥ 20
Punto de discontinuidad no mayor que 0.1 dB a 1310 y1550nm		Fatiga Estatica	N <sub>s</sub> ≥ 20 a 85°C y 85% de Humedad Relativa HR
<b>Longitud de onda Vs. Atenuacion</b>		<b>Rendimiento del recubrimiento</b>	
Longitud de onda (nm)	Atenuacion (dB/Km)	Fuerza para retirar el recubrimiento	2.0 lbf (8.9N) max 23°C, 0°C y 45°C 0.3 lbf (1.3N) min
1285 - 1310	≤ 0.035	<b>ESPECIFICACIONES AMBIENTALES</b>	
1310 - 1330	≤ 0.03	Atenuacion inducida a 1550nm	dB/Km
1525 - 1550	≤ 0.03	Rendimiento del ciclo de temperatura (-60°C a 85°C)	≤ 0.05
1575 - 1550	≤ 0.03	Ciclo de temperatura y humedad (-10°C a 85°C; 4 - 98% HR)	≤ 0.05
<b>Atenuacion con curvatura</b>		Inmersión en agua (23°C)	≤ 0.05
100 vueltas, 60mm de diametro a 1550 y 1620nm	≤ 0.05dB	Templado (85°C)	≤ 0.05
1 vuelta, 32mm de diametro a 1550 y 1620nm	≤ 0.5dB	<b>VALORES DE LAS CARACTERISTICAS TIPICAS</b>	
<b>Longitud de onda</b>		Longitud de onda nominal con dispersion cero	1310nm
Longitud de onda de corte (Cableado)	≤ 1260nm	Dispersion nominal del material cero	0.086ps/nm <sup>2</sup> ·Km
Longitud de onda con dispersion cero	1310nm ± 10nm	Indice de refraccion de grupo efectivo a 1310nm	1.464
<b>Dispersion del material</b>		Indice de refraccion de grupo efectivo a 1550nm	1.4645
Dispersion del material cero	≤ 0.090ps/nm <sup>2</sup> ·Km	Diamatro tipico del nucleo	8.8µm
<b>Dispersion por modo de polarizacion (Cableado) PMD</b>		Resistencia a la traccion dinamica	750Kpsi (5.26GN/m <sup>2</sup> )
PMD evaluado en el diseño del cable	≤ 0.08ps/Km	Fatiga dinamica	N <sub>d</sub> = 22
<b>ESPECIFICACIONES GEOMETRICAS</b>		Fatiga estatica	N <sub>s</sub> ≥ 25 a 85°C, 85% HR
Diametro por modo de campo a 1310nm	9.0 ± 0.4µm	Dispersion a 1285 - 1330nm	≤ 2.7ps/nm ·Km
Diametro por modo de campo a 1550nm	10.2 ± 1.0µm	Dispersion a 1550nm	≤ 17ps/nm ·Km
Diametro del revestimiento	125.0 ± 1.0µm		
Nucleo/Revestimiento Compensado	≤ 0.6µm		
No circularidad de la fibra	≤ 0.1%		
Diametro del recubrimiento coloreado	242 ± 7µm		
Error de concentricidad del revestimiento y el recubrimiento coloreado	≤ 12µm		
Radio de curvatura de la fibra	> 4 metros		

Tabla 2.4.- Fibra monomodo.

ESPECIFICACIONES OPTICAS	
<b>Atenuacion espectral y Ancho de banda (Dispersion Modal)</b>	
Atenuacion a 850/1300nm	2.9/0.8dB/Km max
Ancho de Banda	200/500Mhz·Km
<b>Punto de discontinuidad</b>	
a 850/1300nm	≤ 0.2dB
<b>Atenuacion y sensibilidad a las curvaturas</b>	
100 vueltas, 75mm de diametro a a 850 y 1300nm	≤ 0.5dB
<b>Dispersion cromatica</b>	
Longitud de onda con dispersion cero ( $\lambda_0$ )	1320 y 1365nm
Dispersion del material cero ( $S_0$ ) para 1320nm < $\lambda_0$ < 1348nm es tipica para 1348nm < $\lambda_0$ < 1365nm es tipica	≤ 0.11ps/nm <sup>2</sup> ·Km ≤ 0.001ps/nm <sup>2</sup> ·Km (1458 - $\lambda_0$ )
<b>Apertura Numerica NA</b>	
Apertura Numerica NA	0.275 ± 0.015
<b>Indice de refraccion de grupo efectivo</b>	
a 850nm	1.497
a 1300nm	1.492

ESPECIFICACIONES MECANICAS	
<b>Prueba - examen del cable de fibra optica</b>	
Toda la longitud es sometida a una prueba de resistencia	>100Kpsi (0.7GN/m <sup>2</sup> )
<b>Otras Evaluaciones</b>	
Factor de corrosion y tension (n)	≥ 20
<b>Distribucion de longitudes</b>	
1.1, 2.2, 3.3, 4.4, 5.5, 6.6, 7.7, 8.8 Km	

ESPECIFICACIONES AMBIENTALES	
<b>Cambio de atenuacion inducida a 850 y 1300nm</b>	
Temperatura de operación -60 a +85°C	≤ 0.2dB/Km
Ciclo de temperatura y humedad (-10°C a 70°C; 95% HR)	≤ 0.2dB/Km

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Diametro del nucleo	62.5 ± 3µm
No circularidad del nucleo	≤ 6%
Diametro del revestimiento	125.0 ± 2µm
No circularidad del revestimiento	≤ 2%
Error de concentricidad del nucleo/ Revestimiento	≤ 3µm
Diametro del recubrimiento	245 ± 15µm
No circularidad del recubrimiento	≤ 6%
Error de concentricidad del revestimiento/ Recubrimiento	≤ 12.5µm

**Tabla 2.5.-** Fibra multimodo.

## 2.6 PARAMETROS DE TRANSMISION DE LAS FIBRAS OPTICAS.

Los parámetros de transmisión fundamentales a las que nos referiremos son:  
**APERTURA NUMÉRICA (NA).**

La apertura numérica es un parámetro que indica el ángulo de aceptación de la luz en la fibra o simplemente la facilidad con que la fibra permite que la luz pase a través de ella.

La apertura numérica es muy importante a considerar cuando se determinan las pérdidas en la fibra óptica, ya que es uno de los factores que contribuyen a incrementarlas.

Cuando un rayo de luz incide sobre la superficie plana perpendicular al eje de la fibra, desde el exterior, al valor máximo que el ángulo de incidencia “ $\theta$ ” puede tener se le conoce como “Ángulo de aceptación máximo”, ya que si excede el máximo valor de este ángulo entonces dejara de ocurrir la reflexión interna total dentro del núcleo, y parte del haz de luz se refractara en el revestimiento perdiéndose.

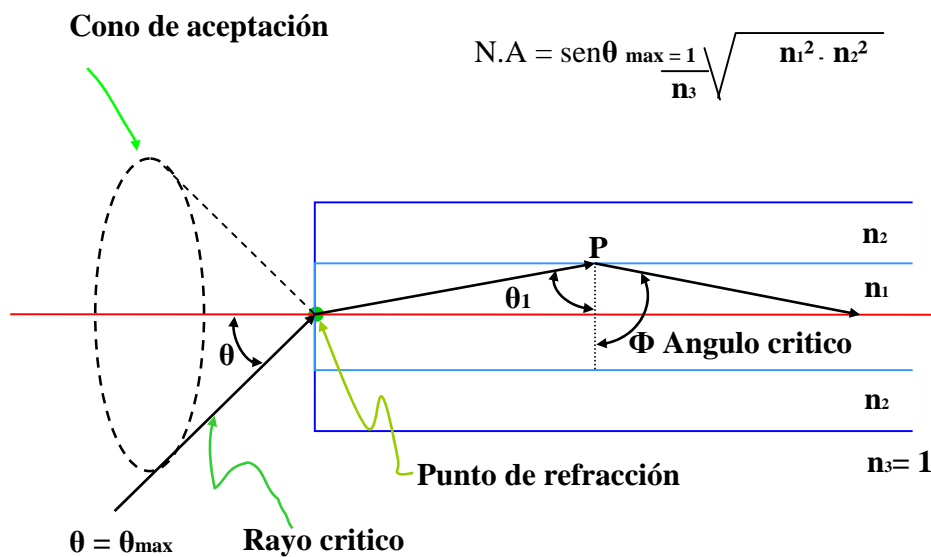
La apertura numérica es entonces definida como el seno del ángulo máximo de aceptación; esto es,

$$NA = n \text{ sen } (\theta_{\max})$$

Normalmente  $n = 1$ , que es el índice de refracción del aire, por lo que:

$$NA = \text{sen } (\theta_{\max})$$

y el valor queda dentro del intervalo  $0 < NA < 1$ .



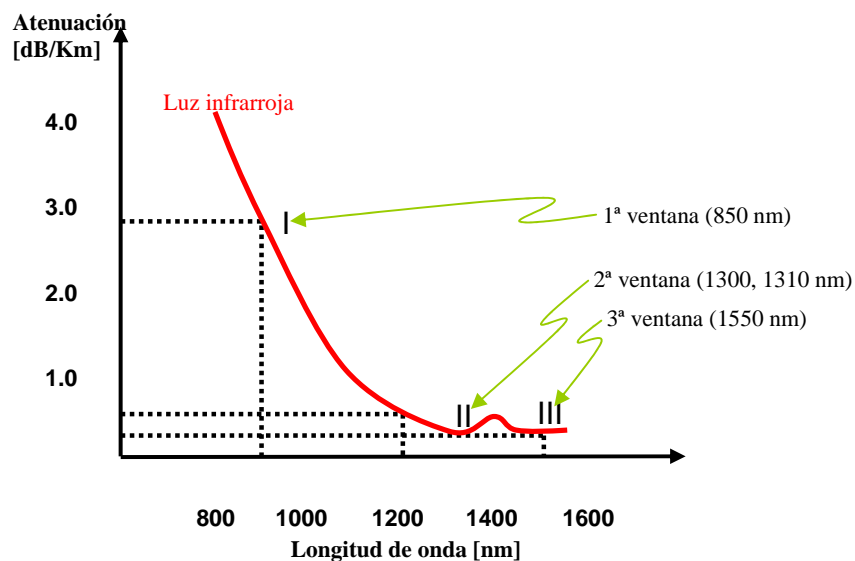
**LA REFLEXION TOTAL SE OBTIENE EN P Si  $\theta < \theta_{\max}$**

$\theta =$  **Ángulo de admisión**

**Figura 2-13.** Interpretación de la apertura numérica.

### ATENUACIÓN.

La atenuación es el decremento de potencia de una señal cuando viaja en algún medio de transmisión de un punto a otro, y nos restringe la distancia a la cual dicha señal puede ser transmitida. Los primeros sistemas comerciales trabajaban en la ventana de los 800nm, en gran parte a causa de la no disponibilidad de láseres y detectores para mayores longitudes de onda; la velocidad binaria era de 45 Mb/s y los regeneradores intermedios distaban entre si unos 6 Km. A medida que se fue disponiendo de nuevos láseres y detectores, se comenzaron a implantar los primeros sistemas a 1300nm, longitud de onda que proporcionaba mas bajas cifras de atenuación, llegándose posteriormente a los 1550nm con la implementación de amplificadores ópticos para aumentar la distancia entre regeneradores entre 60-100 Km y el uso de WDM (multiplexaje por división de longitud de onda) para aumentar la velocidad de transmisión hasta 40 Gbps. Actualmente los investigadores se dedican a buscar una solución para el problema de la dispersión; ya que los amplificadores ópticos resuelven el problema de la atenuación pero al mismo tiempo empeoran el problema de la dispersión, puesto que los efectos dispersivos se acumulan a través de las etapas amplificadoras, se trabaja con técnicas de compensación de dispersión. En la grafica 1 observamos que la atenuación disminuye cuanto mas grande es la longitud de onda.



Grafica2.1.- Ventanas de transmisión.

### VENTANAS.

Se ha podido determinar que, en longitudes de onda concretas, puede considerarse como extremadamente reducida la atenuación de la señal en una fibra óptica; es decir, las fibras ópticas presentan menores pérdidas en ciertas porciones del espectro lumínico. Estas longitudes se designan con el nombre de *ventanas* y corresponden a las siguientes longitudes de onda ( $\lambda$ ), expresadas en nanómetros:

Primera ventana 800 a 900 nm.  $\lambda_{utilizada} = 850\text{nm}$

Adoptándose en fibras multimodo con emisores LED y para cortas distancias.

Segunda ventana 1250 a 1350 nm.  $\lambda_{utilizada} = 1310\text{nm}$

Adoptándose también en fibras multimodo, normalmente con emisores a base de diodo láser, para distancias medias que no sobrepasen de unos 12 Km. De igual modo trabajan en la segunda ventana las fibras monomodo para grandes distancias, requiriendo entonces la utilización de repetidores, colocados aproximadamente cada 30 Km. Existe la muy apreciable ventaja de que a esta longitud de onda la dispersión espectral queda prácticamente anulada.

Tercera ventana 1500 a 1600 nm  $\lambda_{utilizada} = 1550\text{nm}$

lo cual hace que se utilicen fibras monomodo y que la distancia entre repetidores sea mayor. En la figura 2-14 se ilustra la ubicación de estas ventanas en el espectro electromagnético.

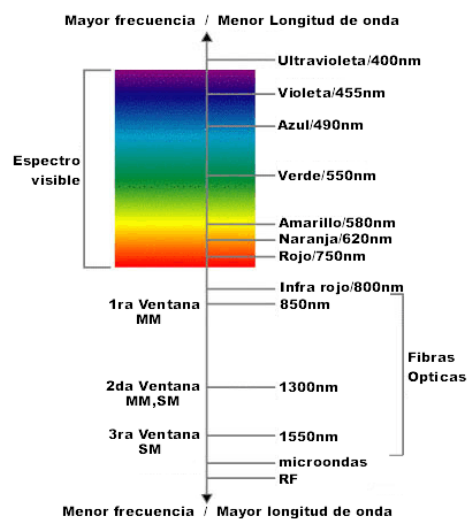


Figura 2-14.- Ubicación de las ventanas.

La atenuación de una fibra óptica se mide en decibeles por kilómetro ( dB/Km) también se puede medir en (watts/Km) .

La atenuación en una fibra óptica se debe a pérdidas que ocasionan las reflexiones, las dispersiones y la absorción.

**La absorción** del material, es un mecanismo de pérdida por el cual parte de la potencia transmitida es disipada en forma de calor; esta absorción se debe a impurezas químicas del material. Esta disipación sería equivalente a la disipación de potencia en los cables de cobre.

**Perdidas de reflexión de fresnel.**- Es la pérdida de potencia que se produce en la superficie de separación de dos medios, cuando una onda de luz incide sobre ella introduciéndose una



gran parte de potencia y otra menor parte es reflejada. La pérdida por reflexión depende principalmente de los índices de refracción absolutos de los medios incidente y refractor, la frecuencia, el ángulo de incidencia y la polarización de la luz incidente relativa al plano de incidencia. Cuando la luz incide perpendicularmente sobre la superficie de separación entre el vidrio y el aire, las pérdidas por reflexión se producen tanto a la entrada como a la salida de la luz en la fibra óptica, y se deben fundamentalmente a la diferencia de los índices de refracción de la fibra y el aire. El factor o coeficiente de reflexión ( $\delta$ ) sobre una superficie vale:

$$\delta = \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}^2$$

Esta pérdida es aproximadamente del 0.04 o 4% para cada superficie de transición entre aire y vidrio, con índice de refracción del aire  $n_1 = 1$  y el vidrio  $n_2 = 1.5$ .

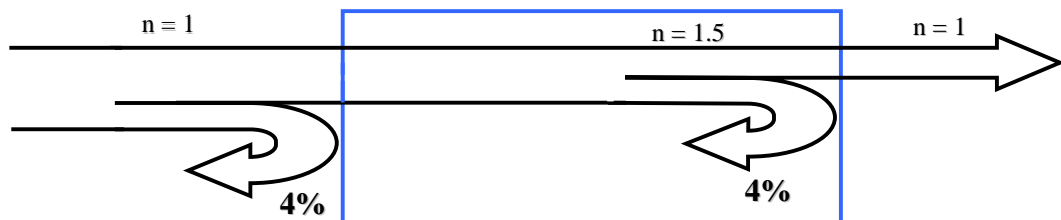


Figura2.15. Pérdidas de reflexión de Fresnel

Típicamente, en la unión de dos fibras ópticas por medio de conectores se presenta este tipo de pérdida, ya que el rayo de luz pasa del vidrio al aire y del aire al vidrio. Esta se asocia a las *pérdidas de retorno* de los conectores.

### DISPERSIÓN.

La dispersión en las fibras ópticas puede ser de varias formas como la dispersión de modo (intermodal o modal), la dispersión cromática (material y guía de onda), la dispersión por modo de polarización (PMD) y la dispersión lineal de rayleigh.

Estas dispersiones se caracterizan por limitar el ancho de banda de una fibra óptica, provocando distorsión de retardo de grupo y limitan la capacidad de transmitir información por unidad de tiempo en la fibra óptica.

Este fenómeno afecta la transmisión de la señal, y se debe principalmente a que la duración de un pulso que se propaga en una fibra óptica, se incrementa con la distancia de propagación y se disminuye su amplitud proporcionalmente.

Las fibras multimodo mantienen la siguiente relación:

Dispersión de modo > dispersión de material > dispersión de guía de onda.

Las unimodo guardan la siguiente proporción de dispersión:

Dispersión de material > dispersión de guía de onda > dispersión por modo de polarización.

**Dispersión de modo.-** Se debe a que los diversos modos que se propagan en la fibra óptica multimodo, en diferentes trayectorias, arriban al otro extremo de la fibra en diferentes tiempos.

En fibras multimodo de perfil de índice de refracción gradual la diferencia de tiempo de retardo de grupo de modos es más pequeña que en las fibras multimodo de perfil escalonado, es decir, tiene una menor dispersión de modo.

Esto se debe a que el índice de refracción disminuyendo a partir del eje central del núcleo hace que los modos que viajan por la periferia del núcleo viajen más rápido y tratando de igualar la velocidad de los modos que viajan más cercanos al núcleo.

**Dispersión cromática.-** Un rayo de luz está compuesto por una infinidad de longitudes de onda, dependiendo del ancho espectral de la fuente luminosa (ver figura 1-8 ). Al viajar por el núcleo de la fibra óptica, las diferentes longitudes de onda adquieren una velocidad de propagación diferente entre ellas. Entonces, el pulso a la entrada en una fibra disminuye su potencia y se ensancha al llegar al otro extremo de la fibra (Pulso de difusión). Esto quiere decir, que esta dispersión limita el ancho de banda de la fibra óptica, pues la señal que se recibe en el otro extremo llega distorsionada, sus efectos son más notorios entre más larga sea la fibra. Se puede disminuir su efecto, usando emisores ópticos monocromáticos, como el diodo láser de inyección (ILD). Esta dispersión se presenta tanto en fibras ópticas monomodo como multimodo.

**Dispersión de guía de onda.-** Cuando un rayo de luz se transmite por una fibra óptica con diferentes índices de refracción en su núcleo, la longitud de onda o las longitudes de onda de dicho rayo experimentan un cambio de velocidad según el lugar donde viajen en el núcleo. Esto provoca también un retardo de grupo o que los pulsos lleguen al otro extremo de la fibra distorsionados (atenuados y ensanchados, debido a que los componentes del rayo llegan a diferentes tiempos). Entonces, en general, es producto de la construcción de la fibra como guía de onda, y por eso esta dispersión recibe el nombre de *Guía de onda* (por diferencias del índice de refracción en su estructura).

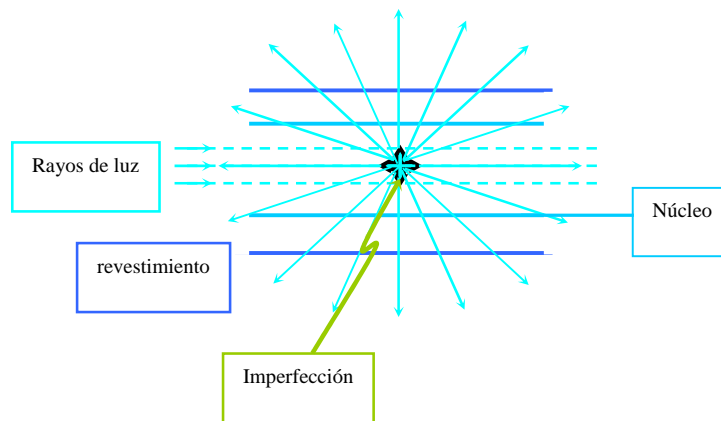
Esta dispersión se presenta tanto en fibras multimodo como monomodo. Su efecto es menor con fibras ópticas de perfil de índice escalonado, si se envía el rayo de luz solo por el núcleo.

**Dispersión por modo de polarización (PMD).-** Las fibras monomodo, durante su fabricación, cableado e instalación pueden someterse a tensión o torcido que provoca la *birrefringencia* lo que quiere decir que la luz polarizada en una dirección ve un índice de refracción ligeramente diferente que polariza la luz en otra dirección.

Cuando se tiene una fibra birrefringente, la luz polarizada en una dirección viajara más rápido que la luz polarizada en otra dirección; consecuentemente, si el flujo de bits tiene luz en ambos estados de polarización, entonces parte de ella viajara más rápido que el resto, así después de suficiente longitud de fibra los bits llegaran a ser estropeados.

PMD es la cantidad de retardo por kilómetro que tendrán los estados de polarización cruzados uno respecto al otro. Para algunos enlaces de alta velocidad, enlaces que usan detección coherente, o enlaces que tienen amplificadores ópticos, PMD puede ser un problema.

**Dispersión de Rayleigh.-** El proceso de fabricación de una fibra óptica debe ser muy cuidadoso, ya que para la comunicación es muy importante que las fibras sean lo mas puras posible para evitar perdidas, pero la realidad es que en este proceso las fibras se exponen a manejos inapropiados o muy delicados que causan que la fibra tenga irregularidades sub-microscópicas que se mantienen permanentemente. Así que cuando los rayos de luz que se propagan por la fibra chocan con alguna de estas irregularidades, estos se difractan, provocando que la luz se disperse, es decir, que se reparta en muchas direcciones, por lo cual una parte continua propagándose y la otra se pierde por la cubierta resultando en una perdida de potencia de la luz, a esto se le llama perdidas por dispersión de Rayleigh.

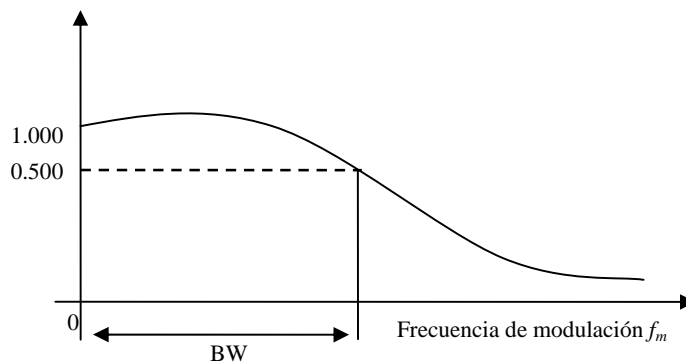


**Figura2-16.-** Dispersión de Rayleigh.

#### **ANCHO DE BANDA.**

El ancho de banda de un cable de fibra óptica determina la velocidad máxima de pulsos de datos que es capaz de manejar el cable; es decir determina la capacidad de transmisión de información. Los sistemas de alta capacidad utilizan señales codificadas en el sistema binario de unos y ceros. Un pulso de luz alta representa un uno y un pulso de luz baja representa un cero; el numero de pulsos (BITS) por segundo posibles son inversamente proporcionales a la duración del pulso. Conforme aumenta la longitud del cable, el ancho de banda disminuye en proporción.

Un pulso que se propaga a lo largo del conductor de fibra óptica incrementa su duración a causa de la dispersión; es decir hay un ensanchamiento de pulsos. Si este evento se traslada al campo de las frecuencias, el conductor se comporta como un filtro pasabajos. Por lo anterior se entiende el hecho de que en un conductor de fibras ópticas a medida que aumenta la *frecuencia de modulación  $f_m$*  decrece la amplitud de una onda luminosa hasta quedar anulada. El ancho de banda es pues aquella frecuencia de modulación a la cual la amplitud (potencia luminosa) comparada con el valor que tiene la frecuencia nula, decae óptimamente en un 50% o sea 3dB. Ver figura 2-17.



**Figura 2.17.-** Ancho de Banda (BW).

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

Debemos tener presente el significado del uso de la luz y de las frecuencias luminosas en las comunicaciones. Si consideramos el hecho de que para la transmisión de información es necesaria una pequeña banda de frecuencias (quizás del orden de los kilohertzios), pensemos entonces en la cantidad de bandas que puede contener la región luminosa del espectro de frecuencias sin que se interfieran unas con otras. Además, como las bandas pueden hacerse más anchas, es posible transmitir información a velocidades mucho mayores. Podrían llegar a usarse velocidades del orden de los gigahertzios e incluso superiores y aún así nos quedaría una anchura de banda suficiente para poder manejar un gran número de canales simultáneamente. En los sistemas de fibra óptica pueden enviarse datos digitales y analógicos de manera conjunta sin ningún tipo de problemas. Esto significa que los costes son menores que con los cables de cobre, hay también menor diafonía e interferencias, una menor cantidad de cables significa que casi inevitablemente, más tarde o más temprano todos los canales de comunicaciones telefónicas utilizarán este medio para la transmisión de datos, teléfono, telégrafo y señales de video.

## **2.7 TECNOLOGIAS DE FABRICACIÓN DE LA FIBRA OPTICA.**

Las características técnicas que determinan la calidad de las fibras ópticas y de los materiales utilizados en ella.

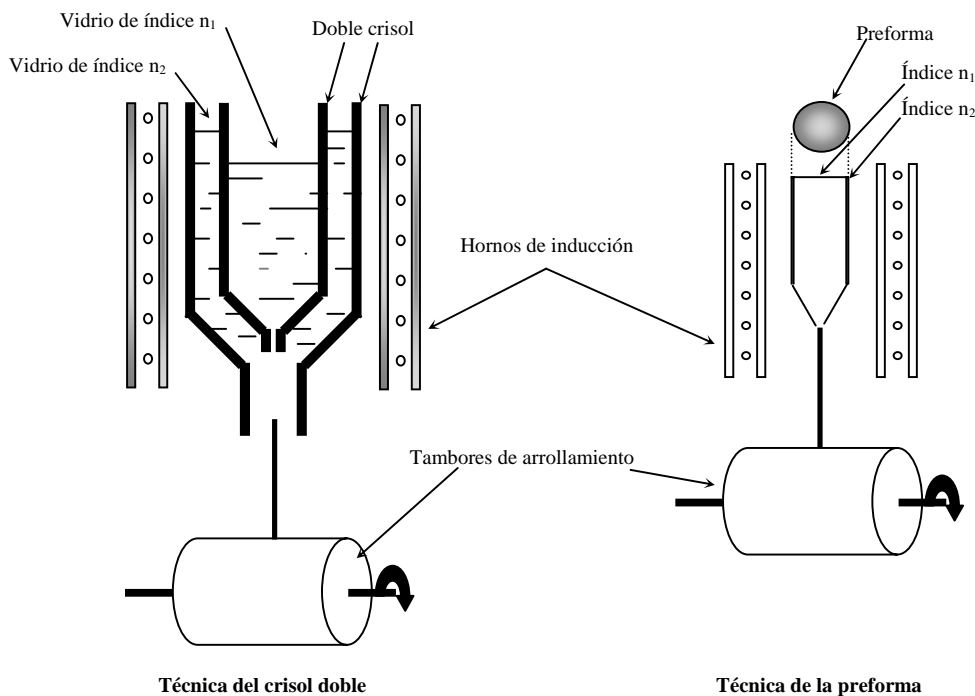
Hasta el momento se han propuesto muchos procesos para la fabricación, y la rápida evolución de las mejoras permite lograr atenuaciones reales prácticamente incidentes con las teóricas, centrándose los esfuerzos actualmente en mantener los valores logrados para la atenuación y mejorar los anchos de banda.

El índice de refracción de la fibra de sílice se modifica, tanto en el núcleo como en el revestimiento, mediante la adición de pequeñas cantidades, fuertemente controladas, de óxidos de germanio, boro y fósforo, partiendo para ello de tetracloruros y pentacloruros, todos ellos líquidos a la temperatura ambiente.

En esencia, los procesos de fabricación de fibras son dos en la actualidad: el de crisol y el de preforma. El primero se utiliza para fibras de prestaciones limitadas en atenuación y ancho de banda (aplicaciones de circuito cerrado, medicina, industria del automóvil, etc.), siendo de baja calidad. Las derivadas del segundo proceso son las de mas interés en el campo de las comunicaciones (enlaces urbanos e interurbanos de voz, datos y video, y de redes de área local en aplicaciones de banda ancha).

La técnica del doble crisol parte de dos crisoles concéntricos que contienen en fase líquida los vidrios que, al discurrir por su parte inferior y solidificarse, originan el núcleo y el revestimiento.

Los vidrios que alimentan a cada crisol son de composiciones diferentes y funden en su interior al estar inmersos en hornos de inducción. Por la parte inferior de los crisoles emergen de forma concéntrica y en fase líquida los vidrios que formaran núcleo y revestimiento. Ver figura 2.18.



**Figura 2.18.-** Técnicas de fabricación.

La falta relativa de definición de los diámetros obtenidos implica que solo se fabriquen mediante este procedimiento fibras de índice escalonado y preferentemente multimodo. Además, la presencia de sustancias contaminantes procedentes de los crisoles hace difícil obtener fibras de baja atenuación.

La técnica de fabricación a base de preformas parte de una barra sólida que se obtiene a través de diversos procesos, y cuyas características macroscópicas son equivalentes a las de la fibra definitiva. Esta técnica permite lograr fibras multimodo y monomodo en cualquier modalidad de perfil de índice de refracción.

#### *TÉCNICAS PARA LA OBTENCIÓN DE PREFORMAS.*

La preforma es un cilindro macizo de vidrio de 2 metros de longitud y 2cm de diámetro de la que, por estiramiento tras un tratamiento previo, se obtienen unos 25Km de fibra. Sus características macroscópicas son similares a las de la fibra que se obtendrá de ella. La realización de fibras por la técnica de la preforma se efectúa en dos etapas.

La primera es la realización de la propia preforma, y puede lograrse a partir de dos procesos diferentes, que originan, a su vez, dos técnicas distintas:

- a) por deposición de vapores químicos, abreviadamente CVD, que también admite diversas variantes:

IPVD: Oxidación interior en fase de vapor.

OPVD: Oxidación exterior en fase de vapor.

MCVD: Deposición de vapor químico modificado.

PCVD: Deposición de vapor químico activada por plasma.

- b) Por deposición axial de vapores, abreviadamente VAD. Este sistema es de implantación moderna.

La segunda fase de los sistemas de preforma consiste en el estirado de la misma para obtener la fibra definitiva.

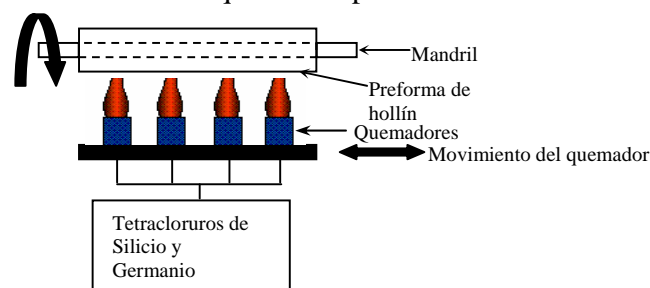
#### *DEPOSICIÓN DE VAPORES QUÍMICOS (CVD).*

Este proceso, en sus diversas variantes, cubre del 90% de las fibras comercializadas.

#### *PROCESOS OPVD E IPVD.*

Los sistemas IPVD y OPVD son tecnológicamente equivalentes y comercializados por Corning Glass. El primero de ellos fue utilizado para obtener las primeras fibras con menos de 20Db/Km de atenuación.

En la figura 2.19 se muestra un esquema del proceso OPVD.



**Figura 2.19.- Método OPVD.**

En el la preforma se obtiene en dos etapas:

- Deposición de los vapores sobre la preforma.
- Sinterización o colapso de la preforma.

La primera se realiza utilizando como soporte de la futura preforma un mandril cerámico o de grafito de unos 5mm de diámetro que gira a la velocidad constante y en el que, en forma

sucesiva y mediante una llama adecuada, se depositan las capas de vidrio que darán lugar al perfil de índice de refracción deseado.

Acabado este proceso se retira el mandril aprovechando la diferencia de coeficientes de dilatación entre la cerámica y el depósito vítreo realizado (preforma porosa u Hollín), y a continuación se le somete a un proceso de sinterización a 1500°C en atmósfera de helio para evitar la contaminación por iones OH produciéndose el estiramiento de la preforma original, que adopta la forma definitiva con la que se trabajara.

Longitudes típicas de fibra obtenidas por este procedimiento son de unos 10 a 15 Km, con velocidades medias de crecimiento de la preforma porosa de 0.7 a 1.5 gr/min. Los valores de atenuación obtenidos por este procedimiento son realmente bajos.

#### *MÉTODO MCVD.*

Desarrollado por los laboratorios Bell, es, dentro de los métodos de deposición, el más conocido y se utiliza habitualmente en la fabricación de fibras monomodo.

En el proceso se parte de una barra hueca de SiO<sub>2</sub> puro de unos dos metros de longitud y 4cm. de diámetro, a la que se hace girar entre dos puntos bajo la acción de un quemador de atmósfera reductora.

La temperatura del proceso es próxima a los 1900°C, y por un extremo del cilindro hueco se introducen tetracloruros de silicio y germanio, que están contenidos en recipientes en fase líquida, tras haber pasado por un circuito mezclador en el que se dosifican sus proporciones exactamente con tricloruros de fósforo y boro, oxígeno y helio. Los óxidos formados se depositan en la cara interna del cilindro y desde aquí se difunden hacia el exterior.

La variación de la velocidad de crecimiento (obtenida variando la superficie calentada por los mecheros) permite controlar la diferencia de los índices de refracción de núcleo y revestimiento. En cualquier caso, no conviene exceder la velocidad de 1gr/min. Además, una excesiva deposición de capas hace menos preciso el perfil del índice de refracción, lo que impide obtener fibras multimodo de gran anchura de banda.

Con un control adecuado de los dopantes es posible conseguir una disminución paulatina del índice de refracción desde el eje de la fibra hasta el revestimiento. Así, el germanio aumenta el índice de refracción, mientras que el boro lo disminuye.

Una vez terminado el proceso de deposición se colapsa el tubo a temperatura más elevada, formando una varilla maciza o preforma, en cuyo centro la capa de sílice depositada constituye el núcleo de la futura fibra, y cuya parte externa, formada por la primitiva varilla con los dopantes adecuados, va a constituir el revestimiento de aquella.

#### *MÉTODO PCVD.*

Es básicamente similar al anterior, con la diferencia de que utiliza como fuente térmica un plasma radioeléctrico, en lugar de quemadores en atmósfera de hidrógeno. Parece ser que las temperaturas obtenidas así son más uniformes. Sin embargo los resultados no son mejores.

#### *DEPOSICIÓN AXIAL DE VAPORES (VAD)*

En este método, desarrollado en Japón por la NTT, el crecimiento de la preforma no se realiza lateralmente, sino en la dirección del eje de la fibra mediante dos sopletes de oxihidrógeno que inyectan los dopantes en una varilla inicial (preforma porosa) a una temperatura de 1500°C. La posición relativa de los sopletes determinará el perfil del índice de refracción. Habitualmente se sitúan desplazados un ángulo de 45°.

Esta varilla se desplaza continuamente a lo largo de su eje, girando al mismo tiempo. La velocidad de desplazamiento debe ser tal que entre un calentador de anillo a 2000°C cuando se considera que ha alcanzado la proporción adecuada de materias primas; en este anillo se produce el colapso de la preforma porosa, obteniéndose la preforma transparente.

Presenta este procedimiento la ventaja de poder obtener preformas mas largas y de menor atenuación; sin embargo, es mas difícil el control de la uniformidad del índice de refracción a lo largo de la fibra.

### PROCESOS POSTERIORES

La preforma obtenida por cualquiera de los métodos anteriores se monta después en una torre de estirado y se introduce en un horno tubular, deslizándose en el a velocidad controlada. La temperatura en el interior del horno es de 2100°C, y la fibra se estira a partir del extremo fundido de la preforma.

El diámetro de la fibra se controla normalmente en valores de  $125\mu\text{m} \pm 0.2\mu\text{m}$  mediante un bucle de control que alterna la velocidad de estirado al detectar variaciones del diámetro exterior medido.

A continuación se aplica a la fibra un revestimiento de acetatos, siliconas o nylon que protegerá la superficie de vidrio y absorberá esfuerzos localizados en la fase de cableado: el llamado recubrimiento primario. Los procesos de fabricación incluyen sistemas de control del espesor y concentricidad de este recubrimiento, cuyos diámetros pueden oscilar entre  $250 \pm \mu\text{m}$  y 1mm, con desviaciones admisibles comprendidas entre  $\pm 15$  y  $\pm 25 \mu\text{m}$ , dependiendo de la estructura que se deba dar al cable futuro.

La fibra completa queda constituida al aplicar a la estructura obtenida hasta ahora un segundo recubrimiento, recubrimiento secundario, que se puede realizar por extrusión directa sobre el recubrimiento primario con nylon o poliamidas (fibra de estructura densa o ajustada) o bien por extrusión de un tubo de mayor diámetro y materiales similares alrededor de la fibra (estructura holgada). En el primer caso, el diámetro exterior resulta ser del orden de 1mm, y en el segundo, de 1.5 a 2.5mm. la ventaja de este segundo procedimiento radica en la posibilidad de introducir petrolato o cualquier otra sustancia viscosa en el espacio entre recubrimientos, lo que protegerá a la fibra de la entrada de humedad, aislándola al mismo tiempo de las tensiones externas.

Una vez recubierta la fibra se bobina. Los aparatos de bobinado incluyen un circuito en puente al que llega una tensión de entrada proporcional al tiro, y la tensión de salida corrige las desviaciones del mismo.

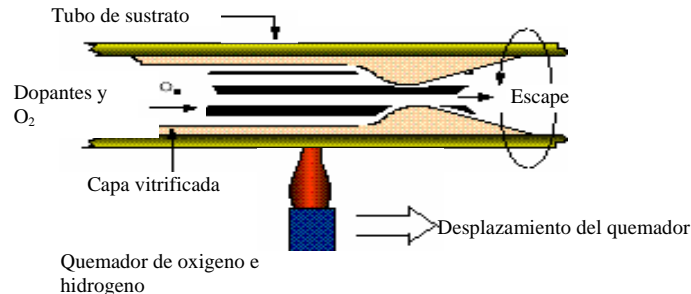
### *MÉTODO APVD (DEPOSICIÓN AVANZADA DE PLASMA Y VAPOR).*

Este método es uno de los más actuales en el mundo. Pertenece al grupo de métodos de deposición interna de vapor. Por claras razones describiremos ello en sus seis principales pasos de fabricación.



### PASO 1. DEPOSICIÓN INTERNA DE VAPOR. (IVD).

El método IVD usado, derivado del proceso MCVD (deposición modificada de vapor químico) el cual es uno de los principales métodos usados para producir fibra óptica. Ver figura 2.20.



**Figura 2.20.-** Esquema del método MCVD

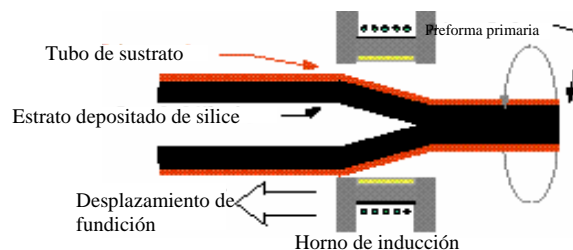
En este método un tubo de sílice ultrapuro es montado sobre un torno para vidrio, equipado con un quemador de hidrógeno y oxígeno. Los cloruros y el oxígeno son introducidos desde uno de los extremos del tubo y reaccionados por el calor del quemador. El polvo hollín resultante (partículas microscópicas de sílice y germanio) son depositadas dentro del tubo, corriente abajo del quemador, ayudados por un fenómeno conocido como termoforesis. Conforme el quemador pasa sobre los depósitos, estos son vitrificados a vidrio sólido. El perfil de índice de refracción es construido capa tras capa del exterior hacia el núcleo, variando la proporción de silicón y cloruro de germanio (más germanio más alto índice refractivo).

Las principales ventajas de este método son que la reacción esta confinada dentro de un tubo, y que la vitrificación es hecha en el mismo paso que la deposición.

Pero una de sus principales desventajas, ha sido tradicionalmente la fase de colapso, porque la fabricación de preformas con una buena geometría imponen un largo tiempo en el colapso el cual sobre todo incrementa rápidamente con el tamaño de la preforma. Hacer muy largas preformas así llega a ser un periodo de colapso muy costoso por ser prohibitivamente largo. Porque el colapso se ha hecho en un torno de deposición, ello también limita severamente el tiempo de fabricación de este muy costoso equipo.

### PASO 2. COLAPSO.

En este proceso de colapso se produce una excelente geometría de la preforma en la mitad de tiempo que normalmente sería necesario. Ver figura 2.21.



**Figura 2.21.-** Colapso

Después de la deposición, el tubo, con el vidrio depositado adentro es montado sobre un torno de colapso, donde un horno especialmente diseñado provee el calor necesario para el

colapso y cierra el tubo a una preforma primaria. Una atmósfera especial es proveída dentro del tubo para restringir el contenido de agua en el vidrio a pocas partes de millón.

Este proceso es completamente automatizado, para producir preformas primarias de muchas mejores prestaciones geométricas (particularmente ovalidad), que las que eran posibles con el tradicional quemador de colapso.

La preforma primaria es entonces medida sobre un analizador de preformas, un método no destructivo para medir el perfil de índice de refracción de la preforma y esto es lo que se requiere antes del siguiente paso de fabricación.

### PASO 3. REVESTIMIENTO DE PLASMA.

Hasta este punto, solo ha sido producida la parte de la fibra óptica que lleva la luz, pero otro método es usado para la parte que solamente provee resistencia mecánica. Varias técnicas existen para añadir sílice a la preforma primaria, para llevar su diámetro al valor deseado (sobrevestimiento, remangado, etc.) pero son costosas y a veces no proveen una adecuada resistencia mecánica.

Para solucionar estos problemas se ha desarrollado un nuevo proceso, usando una antorcha de plasma para revestir la preforma primaria usando solamente granos de sílice como materia prima. Ver figura 2.22.

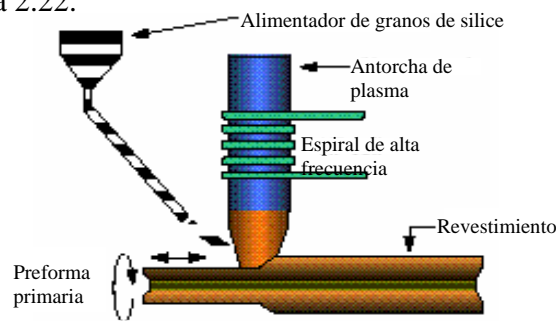


Figura 2.22.-Revestimiento de plasma

Una antorcha de plasma es alimentada con aire filtrado calentado a alta temperatura por un espiral de inducción de alta frecuencia. Para encender la antorcha, una chispa es generada dentro de una corriente de argon para hacerlo conductivo y entonces es calentado por las corrientes de inducción. La corriente es entonces cambiada sobre el aire el cual es usado para el proceso.

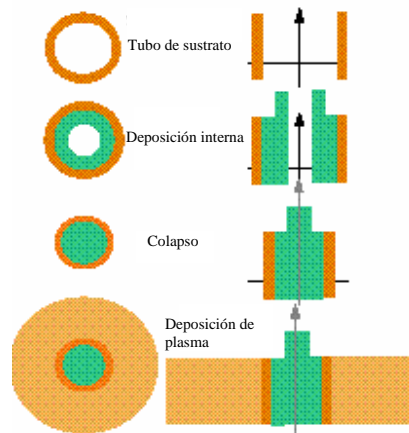
Granos de sílice altamente purificados son alimentados por una pluma de plasma donde son calentados a altas temperaturas y depositados en las preformas. Algunas capas son depositadas unas sobre otras para obtener el diámetro requerido, con un sistema de visión que ajusta el diámetro exterior automáticamente (en la figura 2.23 se muestra un resumen de todos los pasos). Una gran cantidad de trabajo ha desaparecido dentro del desarrollo de estos procesos, el cual tiene una demostrada capacidad para fabricar vidrio de muy alta calidad. Así como todos los procesos de fabricación usados en APVD el plasma esta completamente automatizado y no requiere intervención humana.

Las ventajas de este proceso son el uso de una materia prima barata, y la ausencia de cualquier corrosivo, o derivado peligroso, los cuales requieren extensas instalaciones antipolusion.

Sobre todo, las muy altas temperaturas alcanzadas (10000°C) además purifican el grano, dando como resultado las excelentes propiedades mecánicas del vidrio.

Contrario a procesos externos, la deposición de plasma produce vidrio de alta calidad en una sola operación, eliminando el riesgo de contaminación y produciendo una superficie libre de defectos de vidriado, que precisa tolerancias dimensionales para una preforma lista para perfilar.

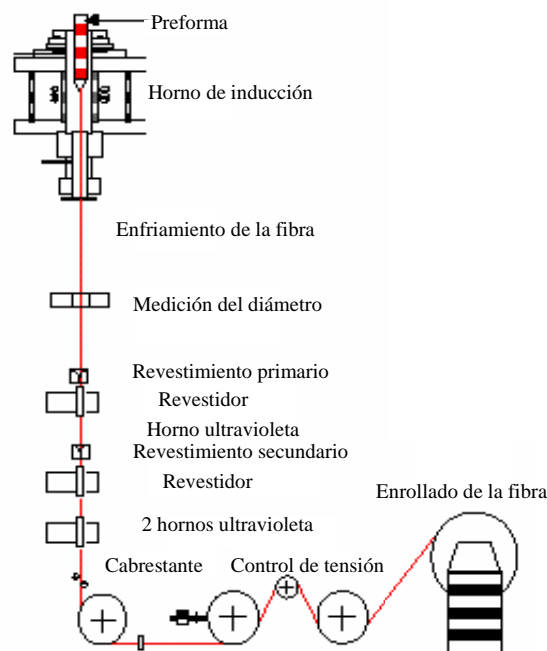
Mediante un grabado ligero de el preformado primario se eliminan los problemas de interfase los cuales son una gran dificultad con los procesos de remangado.



**Figura 2.23.-** Resumen de pasos

#### PASO 4. PERFILADO DE LA FIBRA.

La preforma es entonces perfilada a fibra. Esta operación incluye además el revestimiento de la fibra con 2 capas de protección de acrilato de uretano. Una típica instalación de perfilado es mostrada en la figura 2.24.



**Figura 2.24.-** Perfilado de la fibra

La preforma es introducida en un horno de inducción, llevado a una alta temperatura. La punta de la preforma se ablanda hasta que un pedazo de sílice fundida se forma, la cual

empuja una delgada hebra de vidrio por gravedad. El pedazo es eliminado, y la fibra es empujada sobre un cabrestante a través de dos revestidores los cuales aplican la resina primaria y secundaria, y cada una curada en la línea por un conjunto de hornos ultravioleta. La fibra terminada es entonces enrollada en un gran tambor (carrete). Un aparato láser de medida de alta precisión controla los diámetros de la fibra y el revestimiento y retroalimenta una señal de regulación para mantener todos los parámetros del proceso dentro de tolerancias muy ajustadas, aun cuando la fibra este perfilándose o estruyéndose a gran velocidad.

Se han hecho esfuerzos significativos para la optimización del equipo y el proceso en sistemas de control de gran rendimiento para regular todos los parámetros del proceso. Como es costumbre en todos los procesos de APVD, todos los parámetros están controlados por computadora para una mínima intervención humana, también el record de las medidas de parámetros dimensionales en línea, así como la velocidad o rapidez y la tensión del perfilado o estruido. Todos los records se guardan para garantizar un rastreo completo de los parámetros de la fibra.

Para garantizar la mejor calidad posible, y reducir la frecuencia de errores y debilidades mecánicas, las torres de perfilado o estruido son operadas en cuartos con un medio ambiente limpio. Al final del perfilado o estruido la fibra ha alcanzado su condición de producto acabado, pero hay dos pasos adicionales necesarios para garantizar que un producto sin defectos le sea enviado al cliente.

#### PASO 5. PRUEBA EXAMEN.

Ya que el sílice es un material fuerte y manejable, también puede ser sensible a pequeños defectos e imperfecciones de tamaño de menos de micrómetros pueden debilitar puntos de la fibra. Estas imperfecciones pueden ser generadas por pequeñas cantidades de polvo, pero solo mientras la fibra no esta protegida por el revestimiento. Por lo tanto es esencial eliminar estos pedazos de fibra imperfecta ya que dan lugar a errores.

Esto se logra enrollando la fibra bajo tensión. La fibra es cargada a una elongación de por lo menos igual a 1% (significativamente mayor que los 100 Kpsi), y es mantenida bajo tensión con una duración equivalente a 1seg, con el fin de dejar tiempo para posibles errores de perfilado o estruido y rotura; y el tiempo sobre la carga se reduce debajo de 1seg, la carga se incrementa de acuerdo con las reglas generales de diseño aceptadas para obtener un efecto equivalente. Ver figura 2.25.

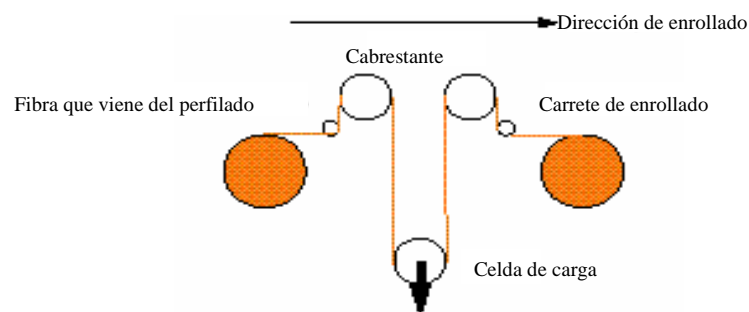


Figura 2.25.- Prueba examen.

Esa prueba garantiza que la fibra reunirá las predicciones de tiempo de vida requeridas en los medios mas difíciles de uso de los productos de línea de fibra óptica para uso terrestre, aéreo o submarino.

## PASO 6. MEDICIONES DE LA FIBRA.

El proceso de control en todas las etapas de fabricación garantiza que los parámetros más importantes no se pierdan de vista a través de todo el proceso. Además, todas las fabricas guardan un rastreo completo de todos los parámetros del proceso, la carga de materia prima y rendimiento, así como los controles realizados. Sin embargo, las fibras son probadas en la fabrica para estar seguros de que reúnen todos los requerimientos. Esas pruebas están realizadas sistemáticamente, o por medio de un control de proceso estadístico. Por ejemplo algunas de estas pruebas son:

- Medición de la atenuación espectral para toda la fibra con un OTDR(Optical Time Domain Reflectometry)
- Mediciones End-cut de diámetro de campo de modo y longitud de onda Cut-off
- Mediciones de End-cut dimensional
- PMD ( Dispersión por modo de polarizacion)
- Dispersión cromática entre otras pruebas

La realización de las mediciones ópticas en un enlace es para determinar la confiabilidad y eficiencia de los enlaces, en cuanto a la atenuación y potencia mínima permitida, de acuerdo a las necesidades y cumplimiento de normas establecidas. Para tal efecto, podemos hacer uso de las técnicas de medición de retrodispersion e inserción, en donde los valores obtenidos nunca deberán exceder el dato especificado para cumplir con el presupuesto teórico de perdidas. Estas mediciones se realizan en ambos sentidos del enlace a cada una de las fibras ópticas del cable. Las mediciones se realizan con instrumentos que trabajan en la banda del espectro infrarrojo, con la longitud de onda adecuada, (comúnmente 1300nm o 1500nm).

Las mediciones más importantes para prueba, operación y mantenimiento de los enlaces de fibras ópticas son:

- Mediciones de atenuación de la fibra óptica, los empalmes, las terminaciones y los conectores.
- Mediciones de la luz reflejada del extremo de una fibra.
- Localización de fallas por la medición de la distancia.

*Método de inserción.*- Este método de medición lo usamos para medir la atenuación causada por la inserción de fibras ópticas, jumpers y pigtails, en los enlaces de una red de fibras ópticas. Los métodos se basan en el uso de componentes pasivos de referencia. Así para medir atenuación de fibras ópticas usamos una fibra óptica de referencia y para medir atenuación de conectores usamos un conector de referencia. Este método requiere como instrumento de medición un emisor de potencia óptica y un medidor de esta como el de la figura 2.26. Por otra parte el método de inserción tiene una desventaja con respecto al de retrodispersion, es que no detecta fallas en las fibras ópticas en caso de existir.



Figura 2.-26.- Medidores de potencia optica.

*Método de retrodispersion.*- La medición de atenuación y localización de fallas es una de las más importantes etapas de la instalación de la fibra óptica, dado que con ellas se determina la confiabilidad del equipo instalado.

El instrumento de medición mas importante para la caracterización de los parámetros mas relevantes en la instalación operación y mantenimiento de las fibras ópticas es el “*Optical Time Domain Reflectometer*” (*OTDR*) o en español *reflectómetro optico en el dominio del tiempo*, también conocido como “Analizador óptico”. Con este instrumento básicamente se mide la potencia óptica transmitida a todo lo largo de la fibra incluyendo conectores y empalmes.

La técnica de medición usando el *OTDR* se basa en el análisis de la retrodispersion de la luz de la propia fibra, y tiene la ventaja de conectar únicamente un extremo de la fibra al *OTDR*, quedando el otro extremo libre. Por lo tanto es un equipo muy popular usado para medir las pérdidas de transmisión, empalmes y terminaciones de un sistema ya instalado. También es útil para determinar y localizar roturas en las fibras, e incluso la distancia donde se encuentra dicha falla.

El *OTDR* es esencialmente un sistema de eco unidimensional cerrado, tipo radar óptico, que funciona enviando pulsos láser periódicos de corta duración y de alta intensidad de luz a través de una fibra óptica bajo prueba, monitoreando la amplitud de la pequeña porción de luz que regresa desde cada punto del enlace (fibra, empalmes, conectores) al *OTDR*. Este retorno es causado básicamente por la dispersión continua que sufre el pulso de luz a lo largo de toda la longitud del enlace. El grado de dispersión depende de:

*La Reflexión de Fresnel*, que ocurre cuando la luz pasa de un medio a otro con diferente índice de refracción.

*La Dispersión de Rayleigh*, que se debe a imperfecciones moleculares en la misma estructura de la fibra óptica. En la figura 2-27 se muestran diferentes *OTDR*.



Figura 2-27.- diferentes marcas y tipos de OTDR.

## **2.8 CONSTRUCCIÓN DEL CABLE DE FIBRA OPTICA.**

La fibra, como elemento resistente dispuesto en el interior de un cable formado por agregación de varias de ellas, no tiene características adecuadas de tracción que permitan su utilización directa; es por esto que han de preverse una serie de elementos que la ayuden en ese aspecto.

Por otra parte, en la mayoría de los casos las instalaciones se encuentran a la intemperie o en ambientes agresivos que pueden afectar al núcleo, lo que se debe impedir para garantizar el mantenimiento de las características ópticas y mecánicas del sistema.

Las investigaciones sobre componentes optoelectrónicos y fibras han traído consigo un sensible aumento de la calidad de funcionamiento de los sistemas. En este contexto, parece cada vez mas necesario disponer, para diversas aplicaciones, de cubiertas y protecciones de calidad capaces de proteger a la fibra. Para alcanzar tal objetivo hay que tener en cuenta ciertas cualidades importantes de la misma, como son su sensibilidad a la curvatura y la microcurvatura, la resistencia mecánica y las características de envejecimiento.

Aunque otro objetivo sea minimizar las pérdidas adicionales por cableado y las variaciones de la atenuación con la temperatura, se observan resultados que demuestran la existencia de importantes diferencias sobre lo previsto. Tales diferencias se deben a diseños calculados a veces para mejorar otras propiedades, como la resistencia mecánica, la calidad de empalme, el coeficiente de relleno (numero de fibras por  $\text{mm}^2$ ) o el coste de producción.

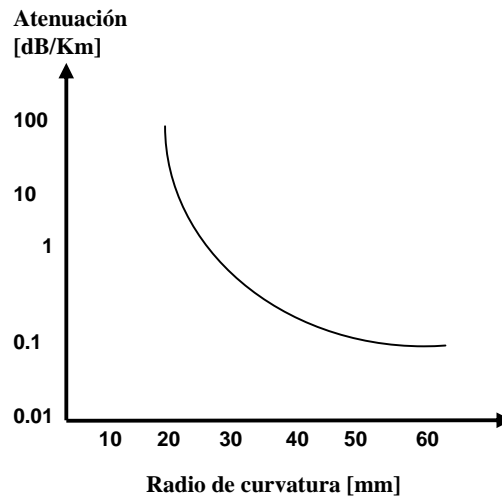
### **PARÁMETROS DE DISEÑO.**

La fibra óptica presenta tres características que constituyen parámetros de diseño del cable: *Sensibilidad a las curvaturas.*

Siempre que la fibra se ve sometida a una curvatura o un pando (al bobinarla, al tender el cable, etc.), se origina una atenuación adicional al producirse una fuga de modos que en

condiciones normales permanecerían en el núcleo; no obstante, como esta atenuación adicional varía exponencialmente con el radio de curvatura (gráfica 2.2), estas pérdidas son inapreciables hasta que se sobrepasa una curvatura crítica.

Como regla práctica, puede considerarse un radio de curvatura mínimo de valor igual a diez veces el diámetro del tubo que aloja al módulo de fibras (gráficas 2.3, 2.4 y figura 2.25).



Gráfica 2.2.-Perdidas en la fibra por curvatura.

En cuanto a las microcurvaturas, se producen por fuerzas laterales localizadas a lo largo de la fibra. Pueden aparecer a consecuencia de irregularidades de fabricación e instalación, así como por variaciones dimensionales en los materiales del cable a consecuencia de los cambios de temperatura. Se ha comprobado que la tensión que producen es inversamente proporcional al radio de curvatura, y directamente al módulo de young y al momento de inercia de la fibra. Por tanto, las pérdidas debidas a la microcurvatura en un cable de fibras ópticas pueden limitarse modificando muchos de los parámetros mecánicos de la fibra o del cable. Entre diversas posibilidades cabe citar:

Aumento del diámetro del revestimiento de modo que la tensión necesaria para producir microcurvatura sea mayor.

Aumento del radio de la curvatura continua debido al trenzado.

Disminución del módulo de elasticidad del recubrimiento y del material de la cubierta del cable.

Aumento del espesor del recubrimiento.

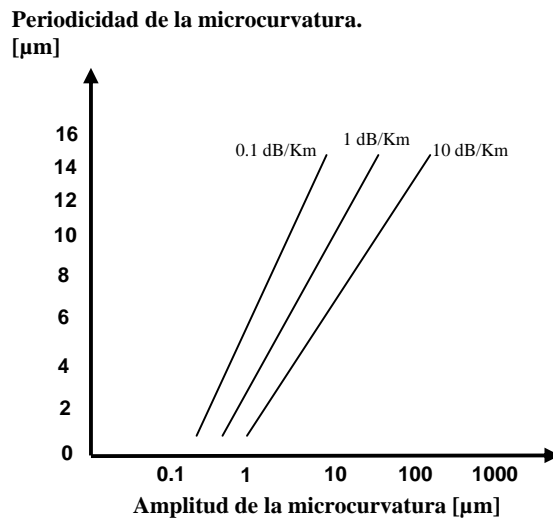
Eliminación de la tensión de la fibra en el interior del cable.

Esta gran variedad de soluciones explica en parte la diversidad de soluciones adoptadas para el cableado.

En la práctica se usan dos variantes: una se basa en la eliminación de la tensión susceptible de producir microcurvaturas (estructuras de fibra libre u holgada), y la otra trata de minimizar los efectos de las tensiones mediante el uso de materiales amortiguadores de las mismas sobre fibra (estructuras densas).

En cuanto a la atenuación adicional que producen las microcurvaturas, depende de su periodicidad y de la amplitud de las mismas (gráfica 2.3).





**Grafica 2.3.-** Atenuación por microcurvaturas.

#### *Resistencia mecánica.*

La resistencia mecánica teórica de las fibras ópticas (del orden de los 350 N/mm<sup>2</sup>) es muy pequeña comparada con las altas tensiones a que puede estar sometido un cable durante el proceso de tendido, por lo que los cables ópticos deben incorporar elementos adicionales que proporcionen la resistencia mecánica con la mínima elongación, independizando en lo posible las elongaciones de fibra y del cable, lo que justifica la preferencia por las estructuras holgadas en la mayoría de los casos.

Al comparar el valor teórico anterior con la resistencia real obtenida en la práctica, se observan disminuciones notables de la misma, bajando hasta valores de 30 50 N/mm<sup>2</sup>, lo que se explica por la presencia de fisuras superficiales en el revestimiento que disminuyen la superficie efectiva resistente. Este dato apoya lo expuesto sobre la necesaria presencia de elementos resistentes.

La probabilidad de rotura aumenta exponencialmente con el esfuerzo de tracción y la resistencia disminuye rápidamente al aumentar la longitud, hasta el punto de que mientras una fibra de 10 metros se puede alargar un 5%, otra de 1500 metros no soporta más de 2% de elongación. En cualquier caso, esta probabilidad no es una función claramente definida, aunque se sepa que depende de la longitud del cable y del número y profundidad de las fisuras iniciales.

Por otra parte, la vida útil de la fibra depende de la tensión permanente a que se la somete, tanto mientras se tiende como cuando queda instalada. La relación entre tensiones, T, y tiempos, t, durante los que se pueden aplicar aquellas es:

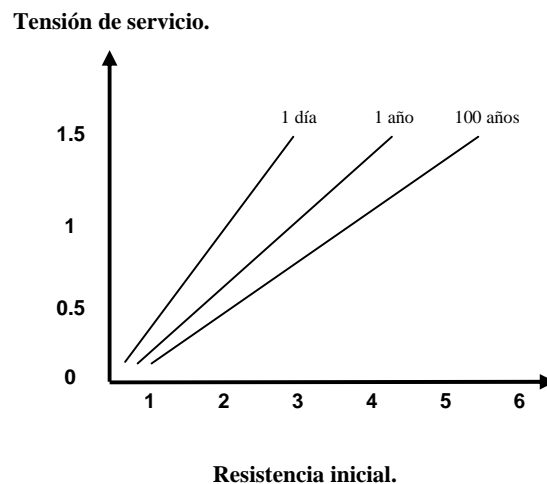
$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{t_2^n}{t_1^n}$$

Donde n es un parámetro cuyos valores oscilan entre 15 y 25, dependiendo del tipo de fibra. Hay ábacos y gráficas que relacionan estas variables y determinan cuál debe ser el esfuerzo máximo de tendido durante el tiempo que dura este; normalmente será tal que no provoque una elongación mayor del 0.3%.

### *Fatiga estática.*

En el proceso de fabricación se incluyen elementos hidrófugos de protección de la fibra, ya que la humedad presente en el exterior de la misma puede provocar el aumento del tamaño de las fisuras superficiales originadas en los procesos de tracción.

La vida media de las fibras esta ligada directamente a la relación entre los valores de fatiga durante el tendido y la tensión permanente a que quedan sometidas, de modo que si la tensión de servicio es inferior al 20% de la resistencia inicial, el efecto de la fatiga estática es despreciable, mientras que si excede del 30% la vida de la fibra alcanza solo unos días (grafica 2.4).



**Grafica 2.4.-** Efecto de la fatiga estática.

Los ensayos realizados son no destructivos. Ha de tenerse en cuenta que el propio ensayo disminuye notablemente la resistencia posterior de la fibra, por lo que si se quiere evitar este efecto, ha de realizarse de modo estadístico sobre elementos que no vayan a prestar servicio posteriormente.

### *Atenuación por cableado.*

El cableado introduce una atenuación suplementaria del orden de 0.1 dB/Km, dependiendo de la longitud de onda de explotación.

### **ESTRUCTURAS DE LOS CABLES.**

La aplicación a que se destine el cable determinara en todos los casos su estructura y, en consecuencia, sus características. En cualquier caso, han de tenerse en cuenta los siguientes factores:

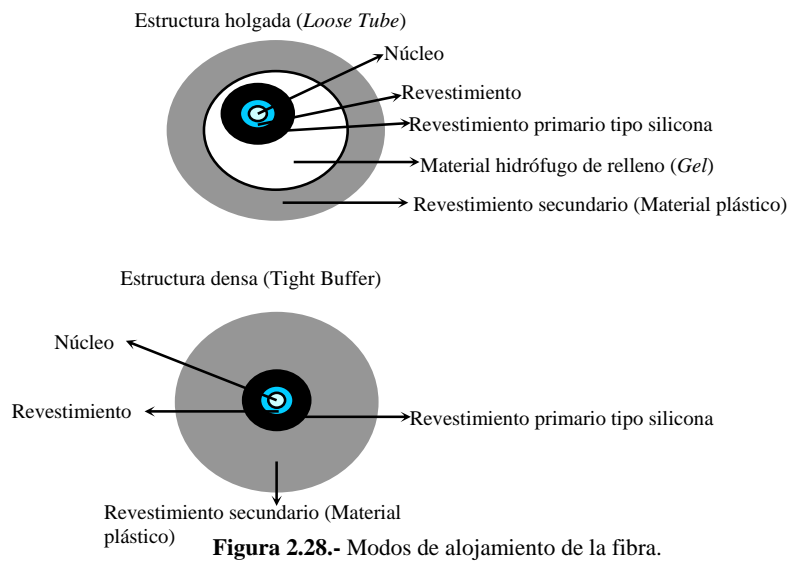
- 1.- elongación prevista: será pequeña en cables subterráneos y grande en el caso de cables submarinos o tendido aéreo.
- 2.- resistencia mecánica y tensión de trabajo admisible.  
Protección contra humedades.
- 3.- tipo y grado de elementos agresivos ambientales, que determinarán las características mecánicas y químicas de los materiales plásticos a utilizar.
- 5.- pérdidas adicionales causadas por curvaturas y microcurvaturas.

6.- capacidad del cable: pequeña en cables destinados a aplicaciones de gran velocidad y cables monofibra o bifibra para instalaciones de interior, y grande para los cables de enlace de centrales telefónicas y de distribución.

7.- procedimiento de empalme, aspecto muy importante a considerar cuando el numero de fibras es grande, pudiendo determinar en estos casos la elección de estructuras modulares de cable.

Los cinco primeros factores determinan la elección del tipo y dimensiones del recubrimiento de la fibra, debiendo optar entonces por:

- a) **Estructura holgada o libre ( *loose-tube* )**, en la que la fibra y su recubrimiento primario quedan inmersos en un fluido viscoso que los aísla parcialmente de esfuerzos externos y humedades.
- b) **Estructura ajustada o densa ( *tight-bufer* )**, donde la fibra esta embutida por extrusión en un material plástico resistente.



**Figura 2.28.-** Modos de alojamiento de la fibra.

### *Estructuras holgadas.*

La fibra se encuentra envuelta en un recubrimiento primario coloreado de acetato de celulosa de unos 6µm de espesor y 150 a 250µm de diámetro. El recubrimiento secundario es un tubo de material plástico de 1.5 a 3 mm de diámetro y espesor de 0.25mm, dependiendo del número de fibras que aloje, relleno de grasa de silicona, que evita la entrada de humedad. La silicona debe ser hidrófuga y estable al menos entre -20 y +60 °C.

En cables de pequeño numero de fibras, estas se ensamblan por grupos de 6, 8,10 o 12 recubrimientos de polietileno, y todos ellos alrededor de un elemento central resistente de poliamida aromática (aramida) de 0.7 a 4mm, normalmente Kevlar 49. lo mas normal es que este elemento quede separado del conjunto de tubos de fibras que lo rodean por una almohadilla. Esta disposición constituye un elemento básico.

Cuando se trata de cables de mayor capacidad, se disponen varios de estos elementos helicoidalmente alrededor de otro elemento resistente de igual o mayor diámetro, y el conjunto se recubre con una cinta envolvente de poliéster, una de polietileno (PE), otra estanca de aluminio y polietileno y una ultima de polietileno. Cuando se desean cables dieléctricos, se sustituye la capa de Al-PE por hilaturas de Kevlar.

A veces se incluyen en el cable conductores metálicos para alimentación de regeneradores intermedios o para comunicaciones de prueba extremo a extremo.

La identificación de la fibra se hace por coloreado de los recubrimientos primario y secundario.

#### *Estructuras ajustadas.*

El recubrimiento primario es una capa de barniz de acetato de celulosa de  $6\mu\text{m}$  de espesor o resinas de silicona de unos  $20\mu\text{m}$ . La segunda capa, colocada sobre la anterior por extrusión, va directamente sobre ella y tiene un espesor aproximado de 0.5 a 1mm.

La identificación de la fibra dentro del cable se hace coloreando el recubrimiento secundario. Entre ambos recubrimientos se sitúa a veces una capa amortiguadora.

No debe deducirse de lo expuesto que cualquiera que sea la estructura del cable (holgada o ajustada) la disposición de las fibras es siempre circular. Muestra de ello son los tipos que seguidamente se citan.

#### *Cables de matriz de cinta.*

Para aplicaciones en las que se emplea un gran número de fibras, o deben reempalmarse estas en ocasiones por cambio de las estructuras de comunicaciones, interesan a veces estructuras holgadas en nido de abeja (alveolares), en las que las fibras se disponen individualmente sobre bandejas de perfil semiexagonal, superponiéndolas después y uniéndolas por soldadura térmica.

La unidad básica así formada es de recubrimiento secundario holgado y queda inmersa en una protección antihumedad y amortiguadora envuelta en cintas de protección de polietileno y aluminio.

El elemento de refuerzo consiste en una o dos filas de hilos trenzados de Kevlar situadas concéntricamente sobre las sucesivas envolturas. Varias de estas unidades básicas pueden ser reunidas para constituir el cable.

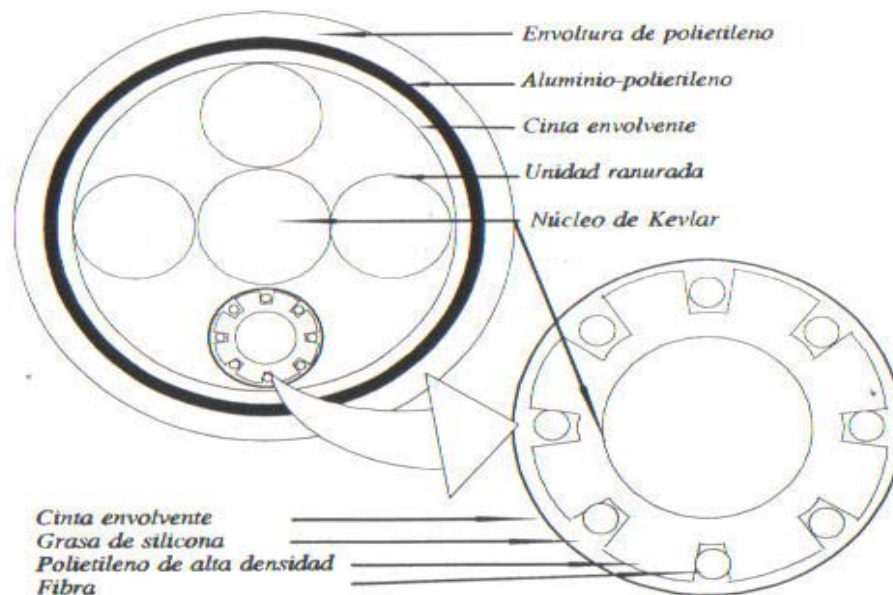


**Figura 2-29.** Cable matriz de cinta (Ribbon).

*Cables de cilindro ranurado.*

Este tipo de cable, usado en los cables submarinos, tiene como unidad básica un cilindro de polietileno en cuya periferia se disponen de 10 a 12 ranuras con paso de hélice que alojaran las fibras individuales. En el centro del cilindro hay un elemento resistente de aramida, y la periferia va encintada.

El cable se forma por varias de esas unidades apiladas y se reviste con número y tipos diversos de cintas, dependiendo de la aplicación a que se destinen.



**Figura 2-30.-** Cable de cilindro ranurado.

*Cubiertas y envolturas.*

En función del ambiente exterior en que se deba encontrar el cable, se disponen los diferentes tipos de cubiertas. En la tabla 2.6 se indican algunos tipos de ellas y sus aplicaciones; en la tabla 2.7 se muestran algunos materiales usados para los aislamientos externos.

CUBIERTA	APLICACIÓN
Polietileno-Kevlar-polietileno	Canalización
Polietileno-Aluminio-polietileno	Canalización
Polietileno-Acero-polietileno	Canalización
Polietileno-Aluminio-polietileno	Zanja canalizada
Polietileno-Acero-polietileno	Zanja canalizada
Polietileno-Acero-polietileno	Enterrado
Polietileno-Kevlar-Acero-Polietileno	Aéreo

**Tabla 2.6.-** Algunos tipos de cubiertas para cables

MATERIAL DEL AISLAMIENTO	PROPIEDADES
PVC (Cloruro de polivinilo)	Protección mecánica normal, diferentes grados de PVC ofrecen retardancia al fuego en usos exteriores. También para interiores y propósitos generales.
Hypalon®	Puede soportar medio ambiente extremo, retardante de flama, buena estabilidad térmica, resistente a la oxidación, ozono y radiación.
Polietileno	Usado para cables de teléfono, resistente a químicos y humedad, bajo costo. Flamable por lo tanto no se usa en aplicaciones electrónicas.
Elastómero Termoplástico (TPE)	Bajo costo, excelentes propiedades mecánicas y químicas.
Nylon	Usado sobre conductores simples para mejorar sus características físicas.
Kynar ® (Fluoruro de Polivinilideno)	Resistente a las abrasiones y cortes, térmicamente estable, resistente a la mayoría de los químicos; baja emisión de humo autoextinguible. Usado en cables altamente retardables de flama plenum
Teflon® FEP	Cero emisión de humo, incluso expuesto directamente a flama. Ideal para temperaturas de 200°C; químicamente inerte. Usado en cables altamente retardantes de flama.
TEFZEL®	Muchas de las propiedades del Teflon®; clasificado para 150°C, autoextinguible.
Polyolefin de eslabón cruzado y radiado (XLPE)	Clasificado para 150°C, alta resistencia a la tensión ambiental, quebraduras, cortes, ozono, solventes y soldadura.
Termoplástico Halógeno Cero	Baja toxicidad es usado en cualquier medioambiente cerrado

*Kevlar, Hypalon, TEFZEL y Teflón son marcas registradas de DUPOND. Kynar marca registrada de PENNWALT Inc.*

**Tabla 2.7.-** Propiedades de los materiales de aislamiento externo.

*Elementos auxiliares.*

Además de las fibras, con sus envolturas y cubiertas, estos cables disponen, como es usual en todos los cables para comunicaciones, de otros conductores auxiliares: para alimentación del sistema de fibras, conductores para alarmas y para comunicaciones de servicio, herrajes cajas de empalmes etc.

## PRUEBAS DE LOS CABLES.

Los laboratorios efectúan en los cables producidos pruebas óptico-geométricas, de transmisión, mecánicas y ambientales, que pueden resumirse así:

### *Medidas geométricas.*

- diámetro de la superficie de referencia (revestimiento).
- Error de concentricidad núcleo-revestimiento.
- No circularidad núcleo-revestimiento.
- Diámetro, error de concentricidad y no circularidad del recubrimiento primario.

### *Medidas ópticas.*

- diámetro del campo modal.
- Apertura numérica.

### *Medidas de transmisión.*

- retrodispersion y atenuación monocromática.
- Atenuación espectral.
- Longitud de onda de corte.
- Dispersión espectral y total.
- Perfil de índice de refracción del núcleo.
- Ancho de banda en el dominio de la frecuencia.

### *Medidas mecánicas.*

- resistencia a las microcurvaturas.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia a la tracción y alargamiento.
- Resistencia a la fatiga.
- Dependencia de la atenuación con la temperatura.
- Flexibilidad.

### *Medidas ambientales.*

- Pruebas de temperatura.
- Pruebas de alta temperatura y humedad combinadas.
- Comportamiento a bajas temperaturas.
- Ciclos de temperaturas altas, bajas y humedad.
- pH del medio circundante.
- Inmersión en diversos medios: agua marina, siliconas, aceite, petróleo, etc.

## TIPOS MÁS IMPORTANTES DE CABLES DE FIBRA OPTICA.

Sus características dependen de la aplicación que se pretenda obtener de ellos, aunque la construcción básica de tipo mas general consiste en proteger las fibras con un recubrimiento secundario holgado, reuniendo varias de estas fibras para formar un tubo y varios tubos para constituir un cable.

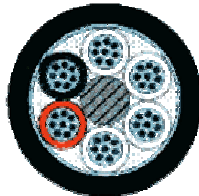
### Cables para redes telefónicas interurbanas.

Son los de aplicación más común. Responden a la estructura descrita anteriormente y son de gran compacidad. Su cubierta metaloplástica y el relleno de los intersticios y los tubos protegen contra la entrada longitudinal y transversal del agua.

Cuando se usan en canalización (practica mas usual) no necesitan protecciones adicionales contra los agentes mecánicos.

Cuando vayan a ser enterrados directamente o se encuentren en ambientes especialmente agresivos, se les añade una segunda cubierta a base de cinta de acero-polietileno, que también los protege de la entrada transversal del agua.

Normalmente se fabrican cables de 4, 8, 16, 32,64 y 128 fibras. En vista del bajo costo de los cables frente a los convencionales, y para prever futuras ampliaciones de estas redes, se suelen equipar cables de gran número de fibras, habitualmente de 16 a 64.



**Figura 2-31.-** Cable multifibra para redes interurbanas de comunicaciones.

### Cables para redes urbanas y locales.

Se utilizan en zonas urbanas o con gran destino de abonados, para uniones entre centrales telefónicas y en redes de área local (LAN), atendiendo a servicios telefónicos, de TV, terminales de datos, etc., por lo que el número de fibras a equipar por cable es muy grande, hasta 16 tubos de 8 fibras o mas. Además, al ir embutidos en canalizaciones no precisan cinta de aluminio-polietileno. Por lo demás son similares a los anteriores.

### Cables monofibra y bifibra.

Su aplicación más usual es la de latiguillos de conexión de los equipos a las fibras de los cables de gran capacidad cuando estos se despeinan para la conexión a aquellos.

Su función de latiguillos obliga a que su flexibilidad sea alta, para lo que el elemento resistente se monta a base de hilatura de Kevlar o Aramida trenzada, lo que, a su vez, proporciona características dieléctricas al conjunto.

Sobre el primer revestimiento (transparente) se coloca el segundo, ajustado y de material plástico. La cubierta de estos cables suele ser de poliuretano ignifugo (Retardadora de llamas) como medida complementaria de seguridad.

Para su conexión a cable y equipo se terminan en sendos conectores por sus extremos. En cuanto a la identificación como monomodo (SM) o multimodo (MM), se hace por el color de la cubierta exterior, siendo amarillo para SM y verde para MM.

La cubierta infuga del conjunto tiene forma de "8" o elíptica, disponiendo en su parte central de un hilo de rasgado que permita abrirlo para extraer independientemente cada una de las fibras.



**Figura 2-32.-** Cables monofibra y bifibra.



### Cables dieléctricos.

Su principal uso se encuentra en los servicios de banda ancha y las transmisiones telefónicas multicanales.

En algunas aplicaciones de los cables ópticos, particularmente las militares, es imprescindible que carezcan de componentes metálicos, bien en la zona central de refuerzo o en cualquiera de las cubiertas exteriores.

También son particularmente útiles en ambientes eléctricamente ruidosos o en los que se prevean fenómenos de tipo electrolítico.

El elemento central resistente será, por tanto, de Kevlar, y una de las capas de protección externa, que en un cable de fibra convencional es de Al-polietileno o de acero-polietileno, queda sustituida por hilatura de Kevlar. El número de fibras es hasta de 32 y por su gran flexibilidad y poco peso admiten instalación aérea, cosidos o en canalización.

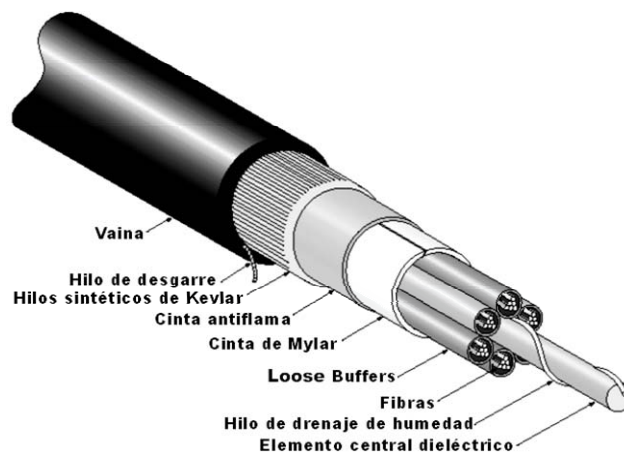


Figura 2-33.- Cable dieléctrico.

### Cables para empresas eléctricas.

Los cables de fibra óptica encuentran un campo de aplicación muy interesante en la transmisión de señales de telecomunicación a lo largo de las líneas de distribución de alta tensión, aprovechando sus características dieléctricas e inmunidad a las interferencias electromagnéticas.

El cable se aloja en el interior del conductor de tierra de la red de distribución y, como debe soportar altas temperaturas eventualmente, los tobos que alojan la fibra óptica son de plástico fluorado. A su alrededor se dispone una capa de aluminio extruido, sobre la que se cablean una o dos capas trenzadas de aleación de aluminio, que constituirán el cable de tierra.

Por su función, el número de fibras necesarias es pequeño, construyéndose de 16 fibras, alojadas en cuatro tubos.

Los diseños actuales permiten alcanzar temperaturas continuas en el núcleo óptico hasta 220°C y corrientes de 25KA debidas a frentes de onda escarpados en el cable metálico.

Desarrollos posteriores han permitido la instalación de conductores ópticos en el interior de los conductores de fase.

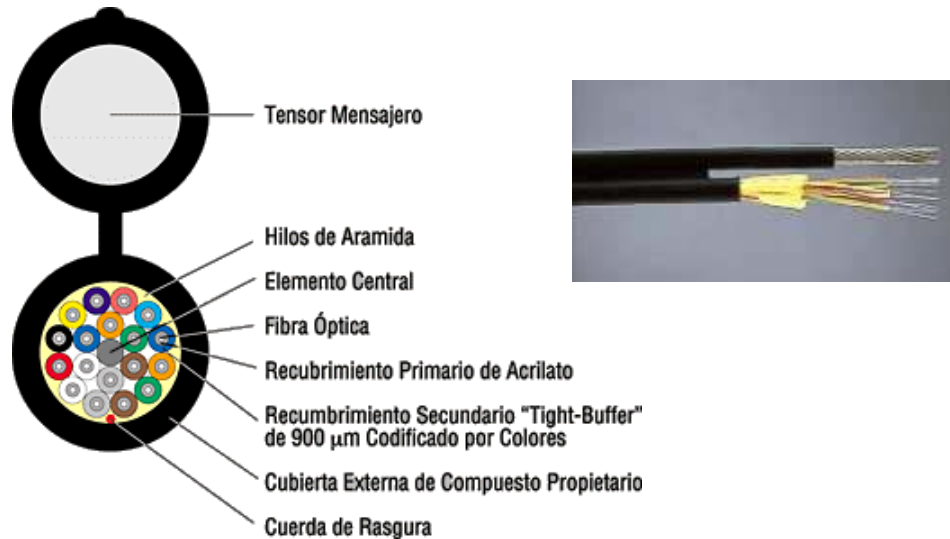


Figura 2-34.- Cable autosoportado para empresas eléctricas.

### Aplicaciones militares.

Además de las características dieléctricas antes mencionadas, se exige en estas aplicaciones una alta resistencia mecánica y a las radiaciones nucleares, por lo que el núcleo deberá ser de sílice.

Al mismo tiempo, la disposición de los elementos ópticos y la composición de sus cubiertas será tal que permita un fácil y rápido pelado y utilización de conectores de campana.

### Cables para empresas ferroviarias.

Características normales de trabajo de este tipo de cables deben ser:

- Resistencia a las bajas temperaturas.
- Resistencia a las vibraciones.
- Protección antirroedores.

## **2.9 TÉCNICAS DE EMPALME DE FIBRAS OPTICAS.**

Las uniones de fibra por empalme se pueden efectuar fibra a fibra (empalme simple) o mediante empalmes múltiples, solución mas practica en el caso de cables de gran numero de conductores.

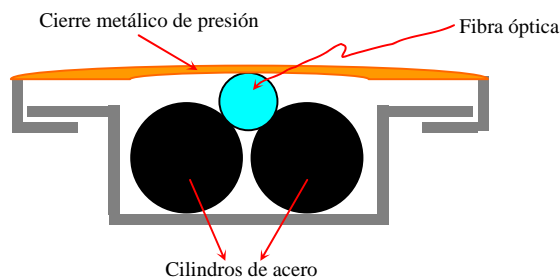
En cualquier caso, las soluciones pueden ser:

- Empalme mecánico.
- Empalme con pegamentos.
- Empalme por fusión de arco.

### *Empalme mecánico.*

Es un tipo de empalme que aprovecha la circunstancia de la menor sensibilidad de las pérdidas por separación de extremos en las fibras frente a la desviación angular, por lo que se trata de buscar formas de unión que garanticen en lo posible la alineación de ejes.

A tal fin, se han desarrollado varias soluciones, de las que una es la **ranura muelle** (springgroove): las dos secciones de la fibra a empalmar se enfrentan sobre la generatriz de dos cilindros tangentes que constituyen el elemento de alineación; el diámetro de los cilindros es tal que el borde superior de la fibra esta a mayor altura que los cilindros, lo que permite utilizar un elemento elástico como cierre del conjunto.(2-35)



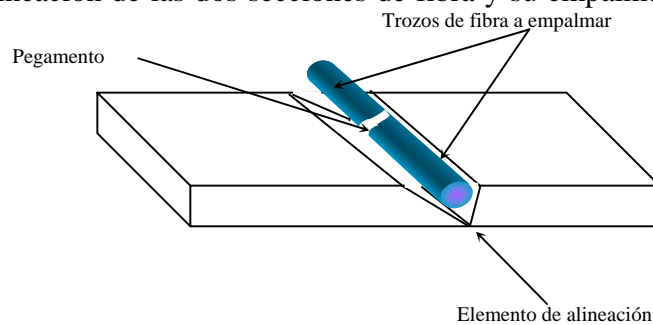
**Figura 2-35.-** Empalme Mecánico (ranura muelle)

Una solución mas simple que la anterior, aunque menos precisa, consiste en introducir los extremos de fibra a unir (tras su preparación) en el interior de un manguito de vidrio de baja temperatura de fusión, cuyos extremos se colapsan por aplicación de calor. El conjunto se cubre con un cilindro funda de material elastómero en cuya generatriz va fijado un cilindro de acero de pequeño diámetro que dará rigidez al empalme.

### *Empalmes por pegamento.*

Los sistemas de empalme por pegamento son rápidos, como los anteriores, pero presentan el inconveniente de la degeneración de la resina epoxy óptica con el tiempo, aunque el incremento de pérdidas que supone esta degradación es del orden de 0.05dB. Hay dos sistemas para efectuarlos: la **ranura V-groove** y el sistema de **manguito**.

La V-groove consiste en un par de placas rectangulares iguales, entre cuyas caras enfrentadas se presentan dos ranuras en V cuidadosamente pulidas. Las dimensiones de las V serán tales que albergue cada una menos de media fibra, con lo que se asegura la presión sobre esta de la placa superior. El conjunto se cierra con pinzas elásticas de acero tras haber procedido a la alineación de las dos secciones de fibra y su empalme con resina óptica.(2-36)



**Figura 2-36.-** Empalme por pegamento.

En el sistema por empalme por manguito, una vez preparados los extremos de las fibras, se introduce un extremo en el manguito, colapsándolo térmicamente, con lo que forma una especie de conector en cuyo interior se va a alojar el otro extremo. Una vez introducido y enfrentado con el primero, se añade resina epoxy para fijarlo al manguito y cerrar el conjunto.(2-37)

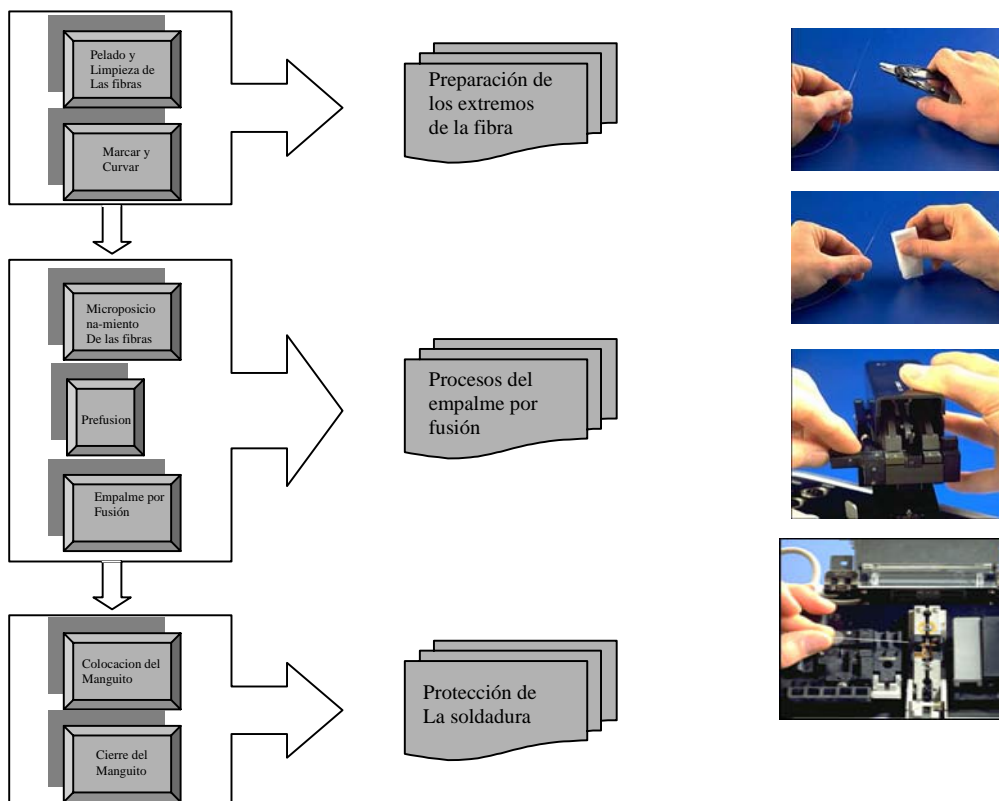


**Figura 2-37.-** Empalme por manguito

Cuando en un empalme de este tipo se procede a la curación (polimerización) del mismo con rayos ultravioleta se pueden obtener pérdidas hasta de 0.04dB, si bien quedan comprometidas en la mayoría de las ocasiones las pérdidas cuando se trata de fibras monomodo, dada la inexactitud propia del método para un correcto enfrentamiento de diámetros del orden de 8 a 10µm

*Empalmes por fusión de arco.*

Aplicable tanto a las fibras monomodo como a las multimodo, es el que aporta menores pérdidas. El proceso complejo incluye las fases que se indican en la figura 2-38.



**Figura 2-38.-** Fases de la fusión.

El empalme de las fibras, una vez pasadas las fases previas de corte, pelado y limpieza de los extremos, se efectúa posicionando estos en máquinas adecuadas provistas de microposicionadores según las direcciones de tres ejes en el espacio, lo que se consigue, en el caso de fibra multimodo, colocándolas sobre una bandeja V-groove y procediendo después al correcto enfrentamiento y unión de los extremos.

Este procedimiento, que aporta suficiente exactitud en el caso citado, se muestra inadecuado para el empalme de fibra monomodo por las fuertes pérdidas que introduciría el más mínimo error de alineación, por lo que se recurre a alinear no ya los revestimientos, sino el haz luminoso que emerge de una fibra para llegar a la otra. Esto implica la utilización de una fuente láser estabilizada que proporciona un haz de luz a una de las fibras; en el extremo opuesto de la segunda fibra se conecta un detector que incluye la función de medida de la potencia recibida: cuando esta sea máxima, las fibras estarán enfrentadas correctamente. Los aparatos más modernos incluyen un monitor de TV que permite la visión del spot luminoso desde cualquiera de los dos ejes perpendiculares al propio eje de la fibra. Ver figura 2-39



**Figura 2-39.-** Empalmadoras por fusión de arco eléctrico.

Una vez enfrentadas y puestas a tope las fibras, se calienta localmente mediante arco eléctrico la zona de unión. El proceso se suele realizar de forma automática e incluye las siguientes fases:

- Ligera separación de los extremos a empalmar.
- Prefusión por arco de baja intensidad para conseguir el redondeo de los extremos a unir.
- Aproximación y nueva descarga de mayor intensidad, con lo que funden completamente y se forma en ese punto una esfera de mayor diámetro que las fibras originales.
- Final de la descarga de arco y ligera separación de las fibras para que el diámetro del conjunto sea uniforme.

Tras el proceso de fusión se procede a la protección y cierre del empalme mediante un primer tubo que sustituye a los revestimientos eliminados en el proceso de pelado, y un segundo tubo de material elastómero provisto de un miembro metálico de refuerzo; este tubo será el que se colapse posteriormente para hacer hermético el cierre, o bien un manguito formado por dos tubos concéntricos termorretractiles entre los que va situada una varilla de acero que dará rigidez al conjunto unas vez colapsado.

La disminución de la resistencia mecánica inherente al proceso de empalme puede alcanzar el 70% de la resistencia inicial de la fibra por efecto de las microburbujas producidas durante la fusión, los cambios en la composición química de los materiales en la zona de

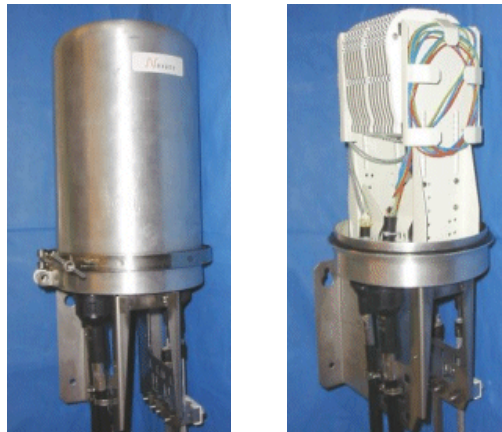
unión y la aparición de imperfecciones superficiales, por lo que el cierre del tubo no se considera suficiente. De este modo, el conjunto de fibras empalmadas y protegidas individualmente se protegen introduciéndolas en una caja metálica de forma cilíndrica o rectangular. Esta disposición permitirá la colocación y anclaje de la caja en la arqueta de registro o en el soporte de la instalación de interior.

Este sistema proporciona las menores pérdidas, normalmente entre 0.05 y 0.1dB, e incluso inferiores, aunque por seguridad se suelen adoptar valores del orden de 0.2dB en los cálculos de pérdidas en empalmes.

#### *Cajas de empalmes.*

Al efectuar un empalme por fusión sobre un cable de fibras ópticas, se deben proteger las uniones de las fibras del ambiente externo y al mismo tiempo tener acceso para efectuar algún mantenimiento sobre los empalmes cuando sea necesario.

Las cajas de empalme se pueden instalar en postes, pozos de visita, en interiores o enterradas directamente en el suelo, por lo que deben ser altamente resistentes a la humedad, corrosión, esfuerzos mecánicos y temperaturas extremas.

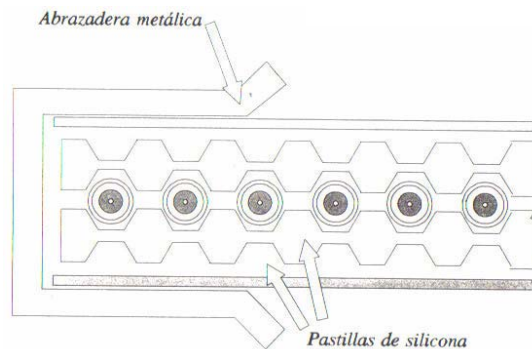


**Figura 2-40.-** Cajas de empalme.

#### *Empalmes múltiples.*

Cuando el número de fibras a unir es muy grande, o se trata de un cable de cinta, se puede acudir a los multiconectores para empalme múltiple, formados por dos mitades que se ensamblan mediante una abrazadera metálica de presión.

El conjunto presenta un corte transversal en el que aparecen unos alvéolos que albergaran a las fibras a unir. La unión se hace a tope y se completa con resina para adaptar los índices de refracción. El multiconector puede desconectarse y volverse a conectar después de instalado, si bien no admite muchas operaciones de conexión. Su principal ventaja está en que permite la reorganización de las conexiones cómodamente. La pérdida media que se obtiene con un multiconector de este tipo es del orden de 0.2dB.



**Figura 2-41.-** empalmes múltiples.

## CONECTORES.

Además del tipo de unión mencionado en el apartado anterior, que se caracteriza por ser permanente y usarse en las instalaciones exteriores, hay otro tipo de unión no fija, definida por la repetibilidad de la operación. Al dispositivo que permite este tipo de unión se le llama conector óptico. Naturalmente, no se puede exigir que un conector válido para fibras multimodo lo sea también para fibras monomodo, ya que para estas últimas la precisión del ajuste debe ser superior en un orden de magnitud a las primeras.

### *Conectores para fibra multimodo.*

Dependiendo de la forma de alinear las fibras a conectar, existen dos sistemas básicos de conectores:

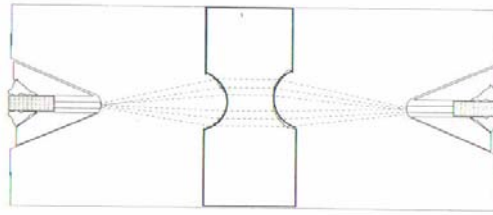
- Conectores de alineamiento de fibra desnuda.
- Conectores de alineación por virola.

### *Conectores por fibra desnuda.*

Hay dos tipos de conectores para fibra desnuda de índice gradual con diámetro de 50µm. Ambos se basan en utilizar un miembro de alineación común a las dos fibras a unir.

El primer tipo de conector llamado **de haz expandido** o **de lente compuesta** (2-42). Utiliza los extremos de las fibras cortados y sin recubrimiento; ambos extremos se alinean en una lente compuesta, formada por un elemento central biconico moldeado en plástico, en cuyo interior hay dos cavidades cóncavas llenas de un fluido óptico. Un pequeño rebasamiento permite que el extremo de la fibra se introduzca en la cavidad de la lente. La alineación transversal de las fibras se consigue mediante el moldeo de precisión de ese elemento biconico.

La ventaja de este tipo de conector esta en que prácticamente desaparecen las pérdidas por separación longitudinal y transversal de los extremos; así, un desplazamiento axial de 70 µm produciría una atenuación de 1dB en condiciones normales, y tan solo de 0.05dB en un conector de este tipo.



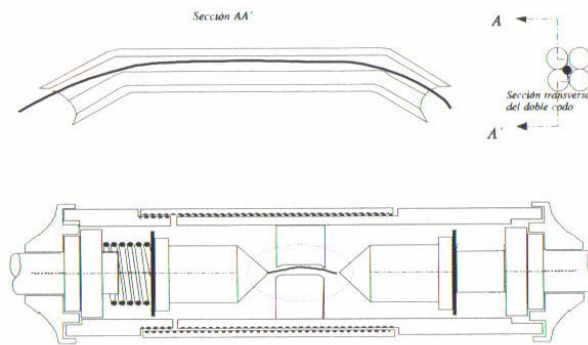
**Figura 2-42.-** Conector de haz expandido.

La parte crítica del conector es la falta de alineación angular de los haces expandidos, lo que se puede evitar moldeando en el mismo proceso las dos lentes. Habitualmente presentan pérdidas hasta de 1 dB, siendo las nominales de 0.6dB.

El segundo procedimiento de conexión para fibra desnuda multimodo es llamado de **dobles codo**, en el que se usa el revestimiento de la fibra como elemento alineador. La guía de la fibra la constituye en este caso un conjunto de cuatro varillas cilíndricas de vidrio unidas por sus generatrices y doblemente acodadas.

El conector consta de dos mitades que se enroscan entre si; en una de ellas se alberga el canal sobredimensionado constituido por las cuatro varillas dentro del cual queda sujeta permanentemente una de las fibras, aproximadamente en el punto medio de dicho canal. La otra fibra se coloca en la segunda mitad del conector sujeta a un manguillo retráctil; la elasticidad del muelle del manguito es la que asegura el contacto cuando se enroscan las dos mitades.

Las pérdidas de estos conectores son inferiores a 1dB.



**Figura 2-43.-** Conector de doble codo.

#### *Conectores de alineación por virola.*

En este segundo tipo de conectores para fibra multimodo se interpone una virola entre la fibra y el mecanismo de alineación. La virola consiste en un cilindro hueco, también llamado ferrule (férula), de gran precisión, en cuyo extremo hay un rubí con una perforación concéntrica del diámetro de la fibra desnuda; una vez insertada la fibra en el, de modo que sobresalga ligeramente, se cierran los dos extremos con resina epoxy y se pulimenta el extremo saliente de la fibra.



Con este sistema de fijación de la fibra se fabrican algunos tipos de conectores, entre los que se pueden citar el conector biconico y el de bolas.

En el **conector biconico** se alojan las dos virolas o extremos insertables en un manguito central moldeado en forma biconica por su interior. Las virolas disponen de collarines de retención que se roscan al elemento central; en el interior de los collarines unos muelles aseguran la introducción de las férulas en el elemento cónico y el consiguiente contacto de los extremos de las fibras.

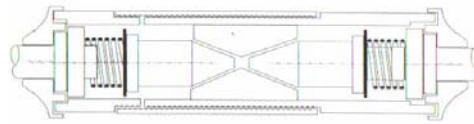


Figura 2-44.- Conector

La perdida mas baja obtenida con este conector ha sido de 0.1dB. se realiza en plástico, y en ocasiones puede ser empleado para fibras monomodo.

Otro tipo de conector con virola es el **conector de bolas**. En este caso se colocan dos virolas entalladas en el extremo por el que aparece la fibra. En la entalladura circular se insertan tres esferas que definen un espacio intersticial por el que emerge la fibra. Enfrentando ambas ferrules giradas  $60^\circ$  una con respecto a la otra se consigue el acoplamiento del conector; la exactitud de este acoplamiento dependerá de la del tallado de las bolas. Las perdidas se sitúan entre 0.5dB y 1dB.

Basándose en el mismo principio del conector de bolas, y como perfeccionamiento del mismo, se han construido posteriormente los llamados **conector de virola fundida** y el **conector capilar cerámico**. Las perdidas medias obtenidas con ellos alcanzan los 0.4dB.

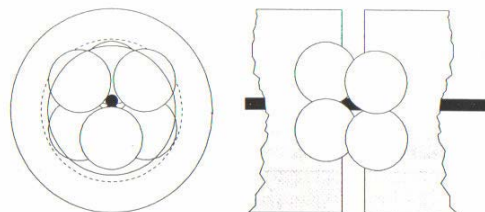


Figura 2-45.- Conector de bolas.

Aunque la mayor parte de los conectores del mercado proporcionan conexiones individuales, también se fabrican para conexiones múltiples, repitiendo el mismo mecanismo de alineación de las fibras individuales comentado anteriormente. Para los cables de cinta se utilizan dos pastillas de silicona, provistas ambas de ranuras en V para alinear las fibras que están unidas a las pastillas.

#### CONECTORES PARA FIBRAS MONOMODO.

Los conectores para fibras monomodo tienen tolerancias de alineación inferiores en un orden de magnitud a los empleados con fibras multimodo, de modo que los desplazamientos laterales no deben ser superiores a 1 o 2  $\mu\text{m}$  si se desea tener perdidas inferiores a 1dB. Son usuales los conectores capilares cerámicos, los de bolas y los de manguito moldeado.

No obstante, el de mejor resultado es el de esfera de centrado, con el que se consiguen pérdidas inferiores a 0.5 dB y típicamente de 0.3 dB, con estabilidad mejor que 0.1 dB después de 500 operaciones de conexión y desconexión.

Los tallos de fibra se alojan en anillos de cierre que roscan sobre un racord central; en el centro de este, una esfera agujerada diametralmente para permitir el paso de los extremos de fibra centrara el conjunto. En uno de los anillos de cierre hay tres tornillos micrométricos a 120° que permiten desplazar lateralmente la fibra de un extremo; en el otro anillo de cierre hay un agujero de iluminación por el que se inyecta un haz de luz, al tiempo que con un microscopio acoplado en el extremo de este anillo se observa el núcleo de la fibra, que deberá centrarse sobre la retícula por medio de los tres tornillos.

En todos los casos de conexión hay discontinuidad entre las superficies enfrentadas, lo que contribuye a aumentar pérdidas. Se añaden a veces líquidos adaptadores de índice de refracción para minimizar este efecto.

Estos conectores tanto de fibras multimodo como de fibras monomodo han sido perfeccionados con el paso de los años y se ha llegado a obtener una diversidad muy grande de ellos, a continuación se muestra en la tabla algunos fabricantes.

MONOMODO	MULTIMODO
DDK	Amphenol
Fujitsu	Deutsche
Fujicura	Fujitsu
Hitachi	ITT
NEC	GTE
Seiko	NEC
Western Electric	Western Electric

**Tabla 2-8.-** Fabricantes de conectores.

Para poder conectar un cable de fibra a un equipo es necesario que en cada fibra se arme un conector, o bien, cada fibra se empalme con un **PIGTAIL**, que es un cable de una sola fibra que posee un conector en una de sus puntas, armado en fábrica.

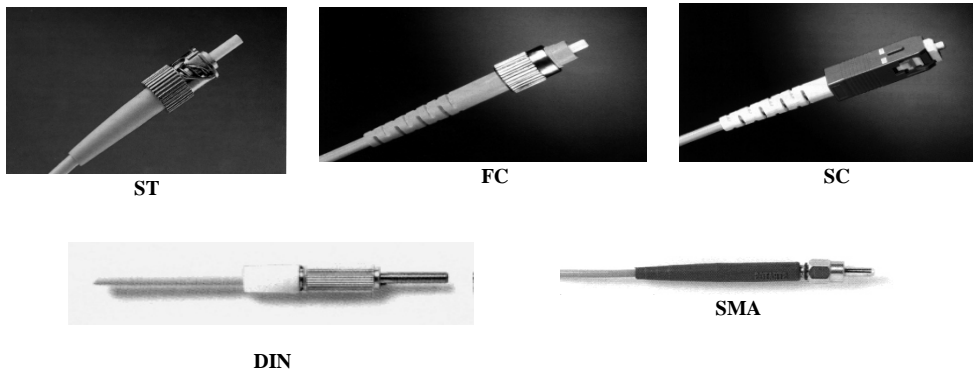


**Figura 2-46.-** Jumper (la mitad de un jumper es un Pigtail)

Existe una gran variedad de conectores que se diferencian por sus aplicaciones o simplemente por su diseño, los más frecuentes se relacionan en la tabla 2-9 siguiente:

CONECTORES	ACOPLAMIENTO	TIPO DE FIBRA ÓPTICA	PÉRDIDAS CONECTORES
ST	Bayoneta	Monomodo y Multimodo	0.30 dB monomodo – 0.40 dB multimodo
SMA	Rosca	Multimodo	0.60 dB multimodo
FC/PC	Guía+Rosca	Monomodo y Multimodo	0.20 dB monomodo – 0.15 dB multimodo
SC	Push-Pull	Monomodo y Multimodo	0.20 dB monomodo – 0.15 dB multimodo

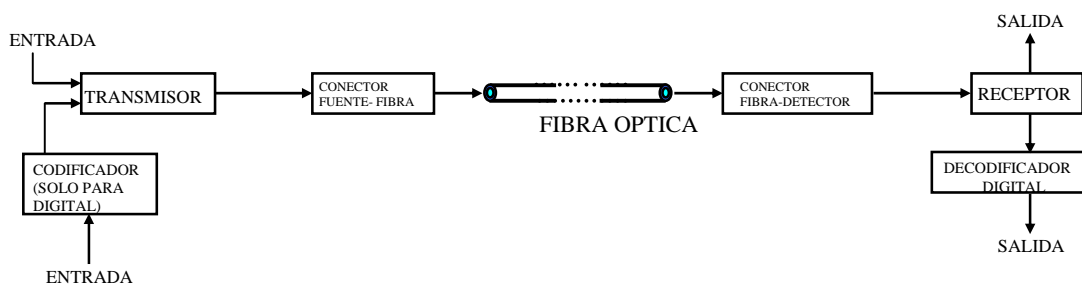
**Tabla 2-9.-** Variedades de conectores.



**Figura 2-47.-** Algunos tipos de conectores comerciales.

## 2.10 FUNCIONAMIENTO BASICO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR FIBRA OPTICA.

En un sistema de fibra óptica, como se muestra en la figura 2-48, los tres bloques mas importantes para realizar la comunicación son los siguientes: una fuente de luz o transmisor, la fibra óptica y un detector de luz o receptor. La fuente de luz puede ser un diodo emisor de luz (LED) o un diodo láser semiconductor; la fibra óptica puede ser muy corta como de 1m o tan larga como de 10Km; el detector de luz puede ser un fotodiodo de avalancha (APD) o un dispositivo-intrínseco-negativo (PIN).



**Figura 2-48.**- Diagrama a bloques de los elementos básicos en un sistema de comunicaciones por fibra óptica.

Básicamente un sistema simple de fibra óptica convierte una señal eléctrica en una señal de luz infrarroja, transmite esta señal de luz por la fibra óptica y después captura la señal en el otro extremo, en donde se vuelve a convertir la luz en una señal eléctrica.

Para poder lograr la transmisión de la información la señal a transmitir debe estar modulada ya sea analógicamente o digitalmente.

En la modulación analógica la intensidad del haz de luz proveniente del láser o del LED es variada continuamente, esto significa que la fuente de luz emite un haz continuo de intensidad variante. En la modulación digital, por el contrario, la intensidad cambia impulsivamente de la manera de encendido / apagado (ON/OFF), la luz se apaga o enciende de manera extremadamente rápida.

La modulación digital es mucho mas utilizada, ya que permite transmisiones a largas distancias con menor potencia que la modulación analógica, aunque esta ultima es mas simple como puede verse en la figura 18. El codificador y el decodificador no son necesarios en la modulación analógica, la interfaz o convertidor realiza la conversión de la señal entrante, ya sea analógica o digital, a la forma necesaria para que pueda operar la fuente de luz.

Aunque pequeñas fuentes de luz y detectores son usados en estos sistemas, la fibra óptica es mucho mas pequeña, por lo cual son necesarios conectores especiales para acoplar la luz de la fuente a la fibra y de la fibra hacia el detector. Estos conectores especiales se muestran en la figura 2-49.

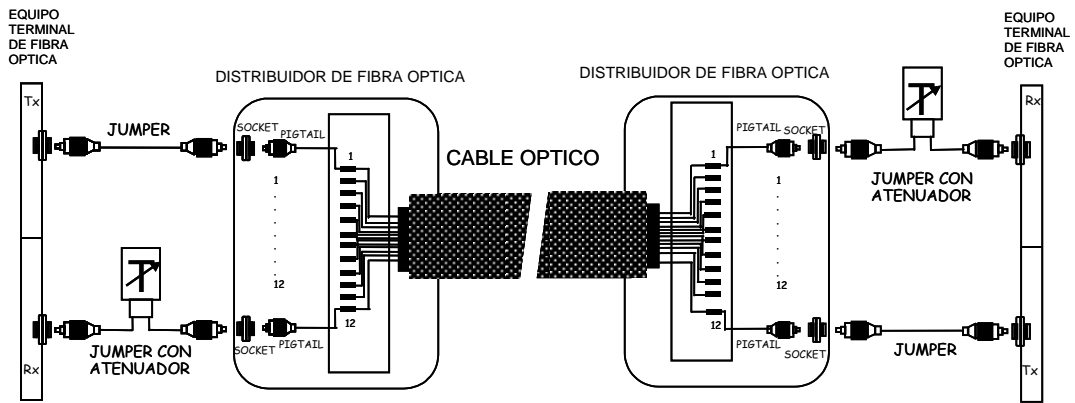
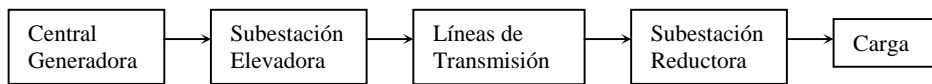


Figura 2-49.- Elementos básicos para un sistema de comunicación óptica.

# CAPITULO 3.

## LINEAS DE TRANSMISION DE POTENCIA ELECTRICA.

Sabemos que la energía eléctrica es producida en plantas generadoras de electricidad localizadas donde se dan las condiciones naturales para realizar una conversión económica de la energía. En general este tipo de proyectos se encuentran muy alejados de los centros de consumo, por lo tanto es necesario transportar la energía desde el centro de generación hasta el centro de consumo por medio de las líneas de transmisión, siendo estas el medio de conexión entre las centrales generadoras y las redes de distribución. Debido al gran desarrollo industrial en el mundo, los sistemas de energía eléctrica son un elemento primordial. Físicamente estos sistemas son muy complejos, sin embargo, se pueden representar en su forma mas elemental por un diagrama a bloques como se muestra en la figura 3.1.



**Figura 3-1.-** diagrama a bloques de un sistema eléctrico de potencia

Para realizar el transporte de energía eléctrica en forma económica, se eleva la tensión a la salida de los generadores y se reduce en la proximidad de los centros de consumo para alimentar en sistema de distribución a una tensión adecuada.

Las redes de distribución pueden adoptar diversas disposiciones, ya sea que la distribución se haga con líneas aéreas o subterráneas y diversos arreglos de la tipología del sistema, radial, anillo o en red. Esto depende en gran parte de la densidad de carga en un área determinada y del tipo de carga.

### **3.1. COMPONENTES DE UNA LINEA DE TRANSMISION.**

Una línea de transmisión aérea esta constituida por varias partes como son los conductores, los aisladores y accesorios para sujetar los conductores a las estructuras de soporte (Torres) y, en la mayor parte de los casos de las líneas de alta tensión, los cables de guarda (Hilo de guarda) para proteger la línea de las descargas directas de los rayos.

#### **CONDUCTORES.**

Los materiales conductores más comunes usados en las líneas de transmisión son el cobre y el aluminio. El aluminio por su conductividad y bajo peso es empleado en líneas con claros grandes, en claros (distancia entre torres) pequeños se puede emplear cobre o aluminio, pero por lo general en líneas de transmisión que operan con altas tensiones es donde los claros grandes son mas comunes y se emplean conductores de aluminio con “alma” de acero para dar una mayor resistencia mecánica. Normalmente se emplean conductores formados por varios hilos en forma trenzada, en lugar de conductores sólidos, en el caso de los conductores de aluminio y acero (ACSR) el hilo o hilos centrales son de acero y se conocen como el alma del conductor. La principal razón para preferir el uso de conductores trenzados (formados por varios conductores de menor sección), en lugar de conductores sólidos, es prevenir problemas de vibraciones que se tienen con los conductores sólidos y que podrían romper los soportes, por otra parte los conductores trenzados son mas fáciles de manipular que los sólidos para una sección transversal dada especialmente en grandes longitudes. Ver tabla 3.1.

CARACTERISTICA	CONDUCTOR DE ALUMINIO	CONDUCTOR DE COBRE
Conductividad eléctrica	0.585	0.975
Peso específico	2.71	8.89
Resistencia a la tensión (Newton/m <sup>2</sup> )	180x10 <sup>6</sup> 234x10 <sup>6</sup>	384x10 <sup>6</sup> 430x10 <sup>6</sup>
Resistencia eléctrica para un Km de Longitud y un área de 1mm <sup>2</sup>	Blando 27.75 Duro 28.72	16.92 17.34
Peso por Km para un área de 1mm <sup>2</sup>	8.144 Newton	27.07 Newton
Relación de áreas para igual resistencia	1.66	1.0
Relación de peso para igual área	1.0	3.3
Relación de peso para igual resistencia eléctrica	1.0	2.0
Coefficiente de expansión lineal por °C	0.0000245	0.0000170
Relación de conductividades para igual área	1.6	1.0

**Tabla 3-1.-** Características importantes de los conductores de aluminio y cobre.

#### **Selección de conductores para líneas de transmisión.**

Para seleccionar el conductor mas adecuado a utilizar en una línea de transmisión se debe previamente realizar el estudio técnico económico comparativo correspondiente.

Para seleccionar el tipo de conductor en cuanto a material se refiere se deben investigar las características de corrosión galvanica y/o atmosférica en la zona en que se localizara la línea, a fin de utilizar el material mas adecuado.

La intensidad de corrosión se clasifica como:

- Fuerte (F).
- Media (M).
- Ligera (L).

En general se recomienda utilizar los siguientes tipos de cables conductores

- a) Cable de aluminio con núcleo de acero (ACSR).
- b) Cable de aluminio con núcleo de alumonelo (ACSR/AW).
- c) Cable de cooperweld y cobre (CW-Cu).

Dependiendo de la zona de corrosión se recomienda lo siguiente en cuanto al tipo de cable:

Zona de corrosión	Tipo de cable
Fuerte (F)	CW-Cu
Media (M)	ACSR/AW
Ligera (L)	ACSR

**Tabla 3-2.-** zona de corrosión.

La corrosión se clasifica en base a los efectos producidos por el clima combinado con los siguientes medios ambientales: Marino, Industrial y Rural.

Es conveniente también considerar las ventajas y desventajas de los conductores de aluminio, aluminio con alma de acera y cobre con el objeto de marcar un criterio para su selección.

- 1) el empleo de cables de aluminio con alma de acero (ACSR) en líneas aéreas de transmisión permite distancias entre torres mucho mayores que con el empleo de conductores de cobre, lo que trae un ahorro considerable en estructuras y herrajes.
- 2) Los cables de aluminio con alma de acero no deben emplearse en zonas de contaminación fuerte o con atmósfera salubre en lugares próximos al mar, ya que los efectos de la corrosión electroquímica entre los hilos de acero y de aluminio los destruyen rápidamente.
- 3) En redes de distribución el empleo de alambres y cables de aluminio por lo general no reporta ventajas sobre el uso de conductores de cobre, ya que este ultimo tiene un precio de recuperación (como chatarra) superior al aluminio.
- 4) Los alambres y cables de cobre se recomienda usarlos en líneas de transmisión, subtransmision y distribución de energía eléctrica en zonas con atmósfera salubre (lugares próximos al mar) o bien en donde se tiene una corrosión fuerte.

*Especificaciones generales para alambres y cables de aluminio o ACSR.*

Alambre de aluminio: calibre, temple y longitud en metros.

Cables de aluminio: calibre, longitud en metros.

Cables de ACSR: calibre, longitud en metros, números de alambres de aluminio y número de alambres de acero.

*Especificaciones generales para conductores y cables de cobre.*

Calibre, alambre o cable de cobre desnudo, temple (duro, semiduro o suave) número de hilos, cantidad total en kilogramos y tolerancia en % en el peso de cada tramo.



### AISLADORES Y ACCESORIOS O HERRAJES.

En general se entenderá como aislador a un soporte no conductor para un conductor eléctrico. De una manera más técnica un Aislador es un dispositivo para hacer una separación física eléctricamente y mecánicamente de todas las fuentes de energía eléctrica, tal separación no puede eliminar los efectos de inducción eléctrica.

Los aisladores de acuerdo a su material de fabricación se clasifican en:

- aisladores de porcelana vidriada.
- aisladores de vidrio templado.
- aisladores de material polimérico.

Los tipos de aisladores que se manejan son:

- aislador tipo alfiler.
- aislador de suspensión.
- aislador de tensión.

Los aisladores tipo alfiler son usados en líneas de distribución donde se manejan voltajes de baja y mediana tensión que no pasen de los 44000 volts y son fabricados de los tres materiales antes mencionados. En México estos aisladores son utilizados en las líneas de distribución de 23000 volts y en subestaciones.



**Figura 3-2.-** aisladores de alfiler.

Los aisladores de suspensión y de tensión son usados en las líneas de transmisión donde se manejan voltajes de alta tensión arriba de los 44000 volts con estos dos tipos de aisladores es necesario formar cadenas las cuales dependen del voltaje de la línea, al igual que los anteriores son fabricados de las tres clases de materiales anteriormente mencionados. En México estos dos tipos de aisladores son utilizados en las líneas de transmisión de alta tensión de 85000, 115000, 230000 y 400000 volts.

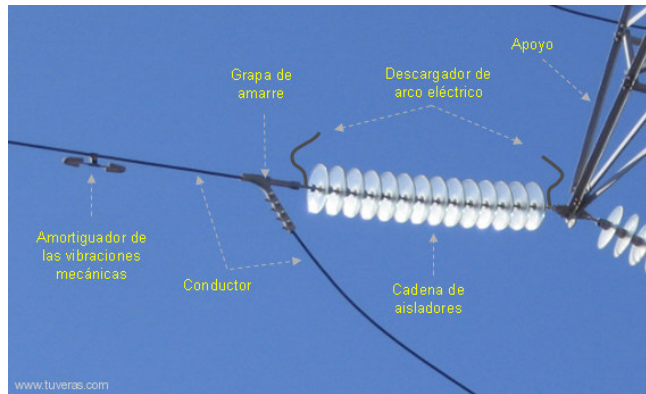
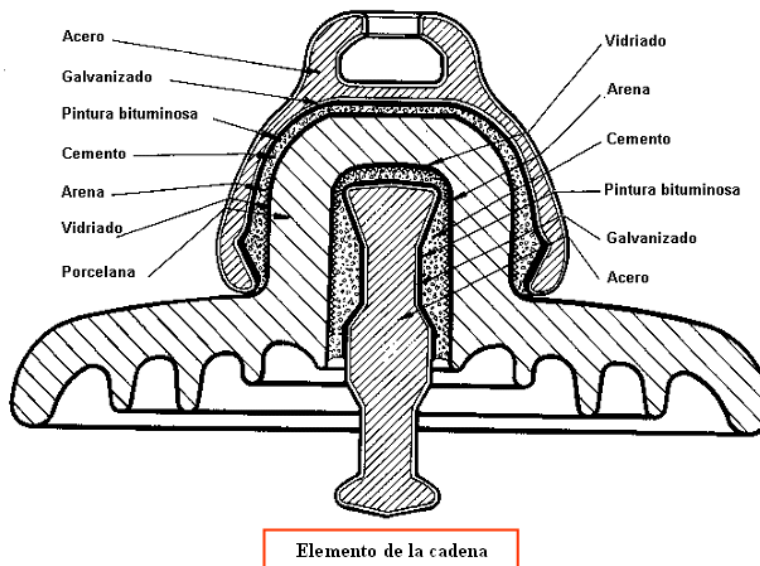


Figura 3-3.- Aislador de tensión de vidrio templado.



Figura 3-4.- Aislador de suspensión de material polimérico.



Elemento de la cadena

Figura 3-5.- Partes de un aislador de vidrio templado.

En cuanto a los herrajes solo mencionaremos los más generales que son utilizados en la mayoría de las compañías eléctricas.

*Para el tipo alfiler:*

**Alfiler:** la función de un alfiler para aislador consiste en sostener el aislador en posición vertical. Los alfileres de uso general en la actualidad son los que están hechos de acero; estos tienen una base ancha que descansa sobre la cruceta del poste. Normalmente, el alfiler cuenta con rosca de plomo para evitar cualquier presión en el aislador.

*Para el tipo suspensión y tensión:*

**Calavera:** Parte del aislador de hierro fundido y que esta en la parte superior del mismo. Herraje de resistencia mecánica adecuada, provisto de una cavidad. Empleado como elemento de unión entre la cadena de aisladores y herrajes propios de conjunto.

**Chaveta (Pasador):** Clavija que une dos piezas, en que su extremo esta abierta y que se usa para sostener un aislador de otro.

**Gancho con bola:** Es un herraje de acero en forma de gancho provisto de una masa redonda, empleado como enlace entre la calavera del aislador y los ángulos de las torres.

**Ojo con bola (anillo de bola):** Es un herraje que en un extremo tiene un barreno para su acoplamiento con otro herraje del conjunto y en otro extremo un dispositivo (bola) que sirve para acoplamiento a la cadena de aisladores.

**Horquilla de bola:** sirve para conectar los aisladores a otros herrajes de la cadena.

**Perno del aislador:** Parte del aislador en forma de bola al final, que sirve para el acoplamiento de dos aisladores o el aislador a otros herrajes.

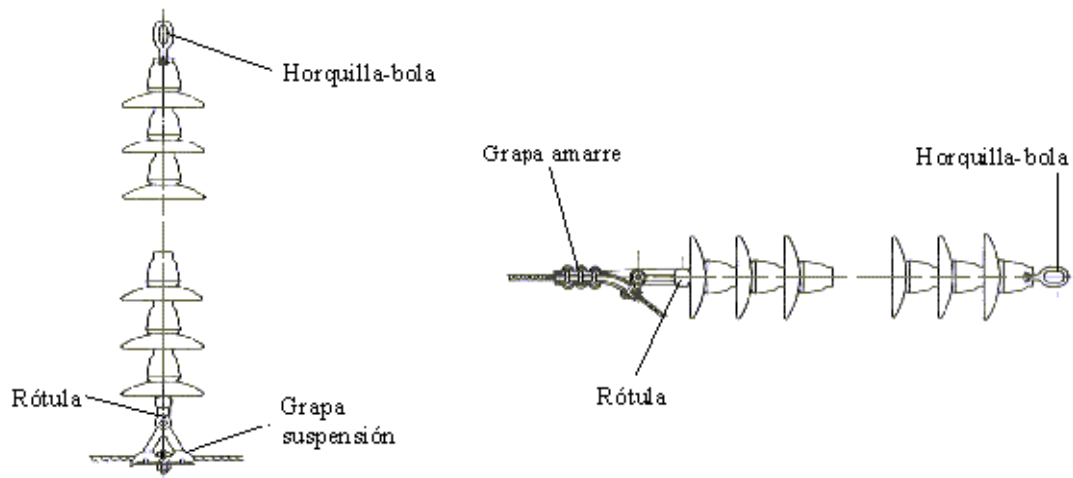
**Grillete:** sirve para conectar los herrajes asociados al dispositivo de la torre. Generalmente estos grilletes se enganchan por su parte trasera y se conectan al punto de soporte en la torre para orientar el plano de la placa de la torre y el resto de los herrajes del aislador.

**Horquilla “Y” con bola (Balancín de bola):** sirve para conectar los aisladores a otros herrajes de la cadena. El perno curvo proporciona un punto adicional de articulación.

**Horquilla “Y” con ojo (Balancín de oreja):** sirve principalmente para acoplar los dispositivos de sujeción al yugo o a cualquier otro herraje asociado, en un atado de conductores en conjunto. El perno curvo proporciona un punto adicional de articulación en el conjunto.

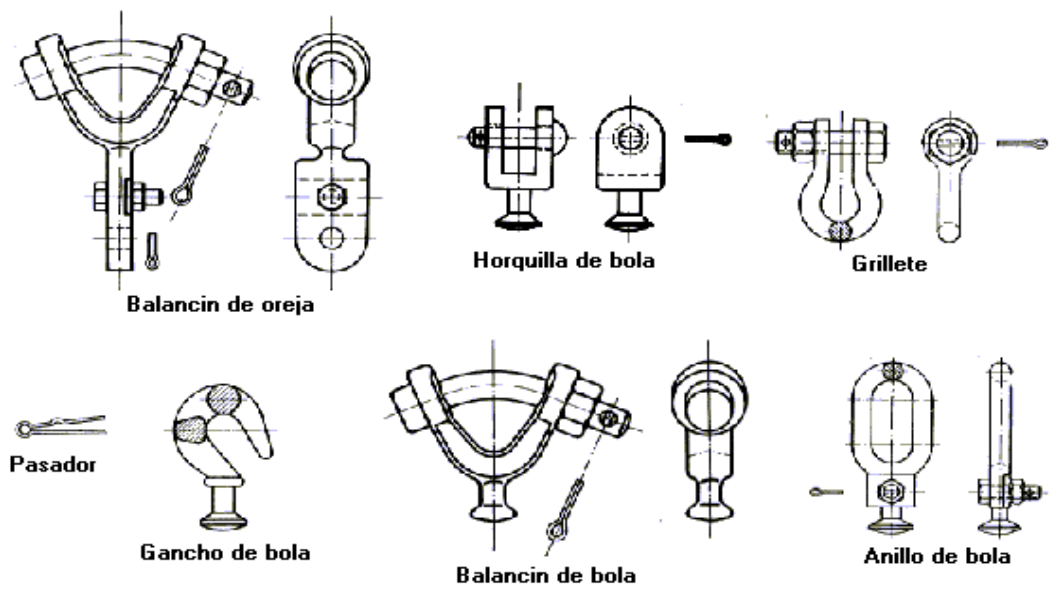
**Grapa de suspensión:** es acoplada en la parte inferior de la cadena de aisladores de suspensión, sujeta al conductor ya envarillado.

**Grapa de tensión:** es acoplada con un grillete en el extremo de la cadena de aisladores de tensión o de remate, sujeta un conductor ACSR.



**Aislador en cadena de suspensión**

**Aislador en cadena de amarre**



**Herrajes**

**Figura 3-6.- Herrajes para aisladores de suspensión y de tensión.**

### ESTRUCTURAS DE SOPORTE.

Las estructuras de soporte mas utilizadas en las líneas de transmisión son las torres de acero. El termino *torre*, en general, incluye estructuras fabricadas con acero, con una base ancha y tienen 10.668 metros o más de altura. Las estructuras de acero con una base pequeña y que miden menos de 10.668 metros de altura, más bien se clasifican como postes de acero.

Las torres se pueden ser rígidas o flexibles. La torre rígida es firme en todas direcciones, mientras que la torre flexible puede flexionarse en la dirección de la línea. Las torres rígidas deben tener tres o más patas. Las construcciones flexibles solo tienen dos. La figura muestra diferentes tipos de torres rígidas utilizadas en México. Las torres rígidas tienen la misma resistencia en todas las direcciones; las torres flexibles solo transversalmente o a treves de la línea y tienen muy poca resistencia en la dirección de la línea. Pueden ceder o flexionarse si hay algún desequilibrio al jalar un conductor, de hecho dependen en gran parte de que los conductores las mantengan en posición y por esta razón están fuera de uso.

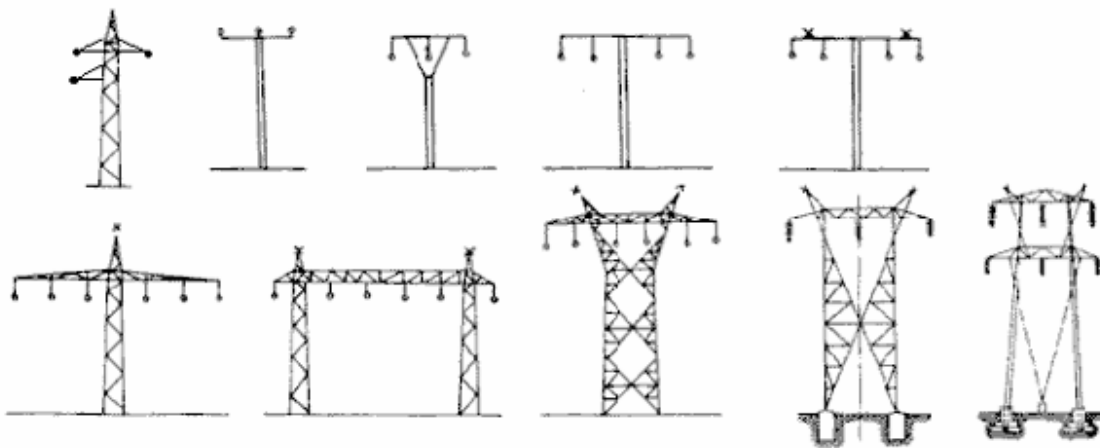


Figura 3-7.- Estructuras de soporte.

### CABLE DE GUARDA (HILO DE GUARDA).

También llamado conductor de tierra, es un conductor formado por cable de acero desnudo sujeto a los apoyos (torres) en la parte mas alta de estos, por encima por tanto de los conductores de fase o activos de la línea, en paralelo con ella y puesto a tierra a través de los apoyos metálicos y sus respectivas tomas de tierra. Entre las diversas funciones que cumple el conductor de tierra, tenemos:

*Protección contra las descargas de origen atmosférico.*

Consiste en interceptar los rayos originados como consecuencia de descargas atmosféricas provocadas por una tormenta; la experiencia obtenida en líneas en servicio y con pruebas en modelos reducidos, indica que el ángulo de protección no debe ser mayor de 30°.

*Disminución del efecto inductivo.*

Los circuitos de telecomunicación se ven afectados por el campo magnético generado por las líneas eléctricas, de aquí la conveniencia de que ambas líneas no discurren paralelas entre sí, pero en el caso de disponer uno o mas hilos de tierra o en conductores enterrados, el hilo de guarda constituye una pantalla (efecto pantalla) reduciendo así los fenómenos de inducción en los circuitos o conducciones vecinos y paralelos a la línea.

*Interconexión de las puestas a tierra de los apoyos (torres).*

A través del hilo de guarda se consigue la interconexión de las puestas a tierra de los apoyos, la importancia de tal interconexión se debe a que, en el caso de que la resistencia de tierra de algunos de los apoyos, debido a la naturaleza del terreno, resultará ser elevada, al estar todos los apoyos interconectados entre si por medio del o de los hilos de guarda, es como si tuvieran tantas resistencias a tierra (como apoyos existan) en paralelo, con lo que la resistencia de tierra con la que se encontraría la intensidad de corriente de un corto circuito fase y tierra o dos fases y tierra sería menor, lo que origina el mejor funcionamiento de las protecciones.

# CAPITULO 4.

## USO DE FIBRA OPTICA EN COMPAÑIAS ELECTRICAS.

Una provisión confiable de energía eléctrica a cualquier tiempo se ha convertido en una de las tareas más importantes de nuestros días.

Las mallas de las líneas de transmisión regional e internacional requieren de una red moderna de sistemas de control remoto y automatizado. Esto es debido a que los servicios de energía empezaron muy pronto a equipar sus líneas con conexiones confiables de telecomunicaciones. La desregulación de los monopolios de telecomunicación de todo el mundo añaden ahora mas oportunidades para las empresas de energía eléctrica ya sea rentando fibra óptica de alta capacidad de transmisión o bien convertirse ellos mismos en operadores de telecomunicaciones.

Las conexiones con cable de fibra óptica son la base de tales sistemas de comunicación ya que tienen la ventaja de su gran capacidad, alta velocidad y transmisión a larga distancia. Al mismo tiempo no son influidos por los campos electromagnéticos, no muestran ninguna interferencia lo cual es muy importante en la instalación en líneas de alto voltaje



**Figura 4-1.-** Diferentes opciones de cables ópticos.

#### 4.1 APLICACIONES DE FIBRA OPTICA EN COMPAÑIAS ELECTRICAS.

La forma mas fácil para conectar plantas de potencia con subestaciones es usar las líneas de alto voltaje existentes. El método más común para esto es instalar un hilo de guarda óptico (OPGW), que contiene fibras ópticas, como sustituto del hilo de guarda usual.

Otra posibilidad consiste en la incorporación de fibras ópticas en un cable que reemplaza a uno de los conductores de fase estándar. Esta solución es llamada conductor de fase óptico (OPPC). Además de estas soluciones integrales, se pueden instalar cables adicionales en las torres. Cables de autoaporte para una instalación adicional en las líneas de alto voltaje son los cables aéreos autoaportados metálicos y los cables aéreos autoaportados totalmente dieléctricos (MASS y ADSS). Mientras que estos cables de alto soporte están colgados entre las torres, el cable acoplador totalmente dieléctrico (ADL) es un cable pequeño el cual esta conectado a un cable mensajero. En las líneas de alto voltaje pueden servir como el mensajero en cables de tierra o en conductores de fase. El diagrama de abajo resume y categoriza todas estas soluciones.

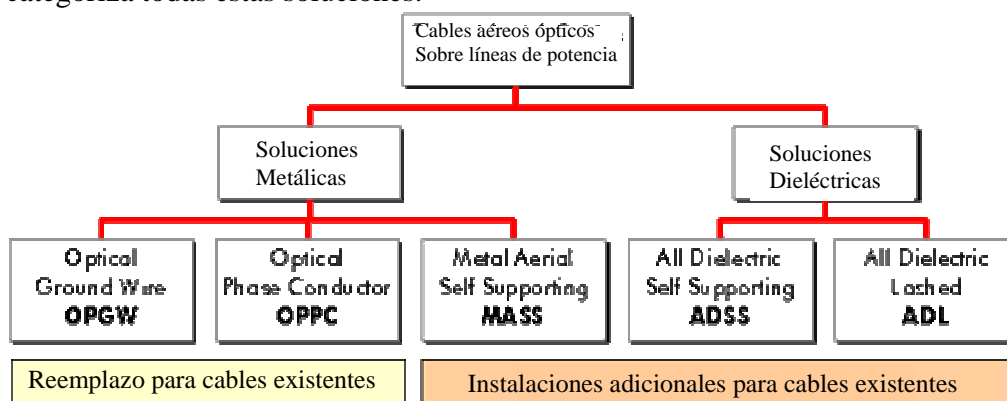


Figura 4-2.- Soluciones para cada tipo de necesidad.

Para cada proyecto se debe considerar cual es la solución más conveniente, por ejemplo: parámetros tales como la carga máxima para las torres, el posible viento, la carga de hielo, etc., deben ser evaluadas cuidadosamente.

#### 4.2 CABLE OPGW (HILO DE GUARDA ÓPTICO).

La sustitución de un cable óptico de tierra por un cable que convine las funciones clásicas de un cable de tierra y de capacidad de telecomunicaciones tiene una larga espera.

Al final de los años 60's, las empresas de energía instalaron cables de tierra con pares de cobre integrados en el centro para conectar sus equipos de transmisión. Al final de los años 70's se agrego las primeras fibras ópticas a la parte de cobre. Después de algunas experiencias con esta nueva tecnología el OPGW real con fibras solo para telecomunicaciones se estableció. En nuestros días el OPGW es la tecnología más importante y más aceptada para equipar líneas de alto voltaje con facilidades de transmisión.

Un cable OPGW tiene que cubrir con dos funciones. Estas son por un lado las funciones de un cable de guarda por ejemplo conducir corrientes de corto circuito resultantes de las fallas



en el sistema eléctrico y proteger las líneas de las descargas atmosféricas. Por otro lado, las fibras ópticas deben ser colocadas de tal manera que estén protegidas contra las fuerzas y las condiciones del medio ambiente severas, tales como las diferencias de temperatura, el viento y las cargas de nieve o hielo. El resto es optimizar las propiedades mecánicas, eléctricas y de transmisión de datos de tal manera que todas las especificaciones de las líneas de cable aéreo se cumplan. La ventaja es que todas estas funciones están combinadas en un cable, lo que reduce la carga de cables adicionales en las torres.

Las principales características del OPGW son:

- Resistencia mecánica, la cual está determinada principalmente por la cantidad de acero.
- La capacidad de corriente en corto tiempo, que está determinada principalmente por la cantidad de aluminio (aleación).
- El número de fibras ópticas.

Hay dos tipos básicos de cable que son usados predominantemente como OPGW:

#### ESTRUCTURA DE TUBOS DE ACERO INOXIDABLE.

La unidad óptica tiene fibras ópticas que están libremente alojadas en un tubo lleno de gel hecho de acero inoxidable fundido con láser.

La ventaja bien conocida de estructura holgada tal como el separarlo de otras tensiones y la baja atenuación se combinan como una protección perfecta contra el agua, el vapor y la tensión del tubo.

#### Estructura del cable.

La base de la construcción consiste en el modelo usual de trenzado de núcleo de acero hecho con un alambre central y una capa de alambres enrollados alrededor de este. En esta capa uno o más alambres de acero pueden sustituirse con tubos de acero inoxidable. Para proteger los tubos de acero de la presión radial la cubierta de esta capa es optimizada. Igual que en los conductores estándar la estructura del centro está engrasada con un anticorrosivo. Una, dos o más capas de alambres de aluminio (Aleación) se enrollan alrededor de esta estructura central para darle al cable OPGW la conductibilidad correcta

#### Ventajas.

Diseño de tubo de hebra holgada:

- Una baja atenuación porque las fibras están libres de tensión
- No hay cambio en la atenuación debido a las diferencias de temperatura y cargas adicionales ya que el margen de tensión es de por lo menos 0.5%.
- Las vibraciones y otros movimientos no influyen porque las fibras están embebidas en gel.

Diseño de trenzado:

- las características mecánicas y eléctricas como en los cables de tierra usuales con peso y diámetro similar.
- Cargas adicionales muy similares para reemplazar los cables de tierra.
- Comportamiento y flexibilidad similares a los cables de tierra.

Diseño modular:

- cambio de características solo en caso de reemplazo de componentes
- el aumento en el conteo de fibras para llenar el tubo de acero y por posibles tubos adicionales.

Diseño completamente metálico:

- la no degradación de materiales plásticos debido a la radiación ultravioleta o la temperatura.
- Grandes sobrecargas en posibles cortocircuitos de la corriente.( no se funde el plástico en el caso de la estructura de centro ranurado)

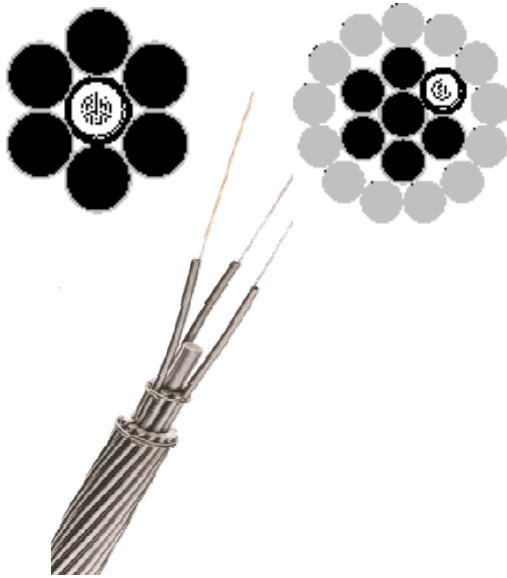


Figura 4-3.-Tubo de acero inoxidable OPGW.

#### ESTRUCTURA DE CENTRO RANURADO.

Donde las fibras ópticas están contenidas en tubos plásticos los cuales están ordenados alrededor del centro que esta protegido por un tubo de aluminio óptico y un blindaje posterior.

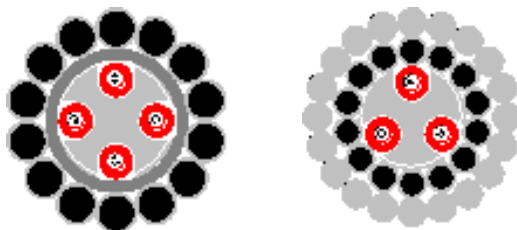


Figura 4-4.- Estructura de centro ranurado OPGW.

En todo el mundo se usan cuatro materiales para el armado de el cable OPGW: Aluminio recubierto de Acero (ACS), Acero Galvanizado (St), Aluminio (Al) y Aleación de Aluminio (AA). Estos materiales están estandarizados en todo el mundo. Con alambres de estos materiales pueden construirse cables con las siguientes combinaciones: Al/ACS, Al/St, AA/ACS, y AA/St. Lo mas usual en el campo de el cable OPGW es la combinación AA/ACS porque tiene las mejores propiedades mecánicas y protección a la corrosión. Con tubos de acero de diferentes tamaños es posible construir diferentes núcleos de cable. Cada núcleo de cable puede aplicarse con una, dos o mas capas de aluminio (aleación). El número de construcciones que pueden hacerse con un núcleo se llama una familia de OPGW. En el anexo 1 se pueden ver algunas de estas familias.

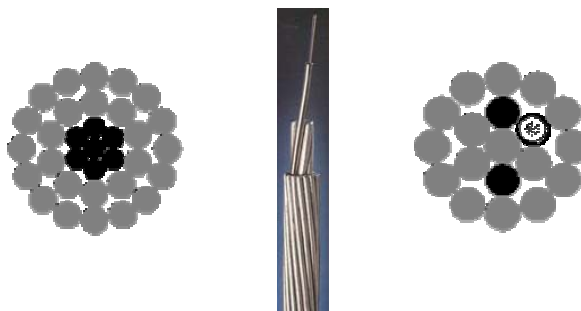
La diferencia entre los cables de tierra usuales y el OPGW considerando especialmente el diámetro y el peso deben ser lo mas pequeños posibles para prevenir a las torres de cargas adicionales.

### **4.3 CABLE OPPC (CONDUCTOR DE FASE ÓPTICO).**

Usualmente las líneas de voltaje medio (y algunas veces también las líneas de alto voltaje de hasta 150 KV) no están equipadas con un cable de tierra. Consecuentemente, el reemplazo por un OPGW no es aplicable en estos casos. Sin embargo, para equipar tales líneas de transmisión con fibra óptica, se puede usar un cable conductor de fase óptico (OPPC). Aquí el cable óptico tiene que cubrir otra vez dos funciones diferentes. Desde llevar la corriente permanente en el sistema trifásico y tiene que alojar y proteger las fibras ópticas. Para mantener el sistema eléctrico de potencia funcionando bien, especialmente la resistencia eléctrica del cable, debe adaptarse apropiadamente al conductor de fase sustituido. Generalmente los OPPC son fabricados de acuerdo en los mismos diseños básicos ya comentados para el OPGW.

Ya que las fibras ópticas están instaladas en el nivel de alto voltaje en el caso de los OPPC, la tecnología específica es diferente de la del OPGW. Las conexiones en las líneas deben ser llevadas a cabo de tal manera que el cable así como la caja de conexión no toquen directamente el potencial de tierra. Una caja de conexión también puede ser instalada libremente colgando entre los alambres aislados, cerca de los postes o puede ser localizada en los aislantes mismos. A ambos extremos de las líneas de corriente eléctrica las fibras ópticas deben estar separadas. Esto puede hacerse con separadores especiales que consisten en dos empalmes.

Tal como los OPGW los OPPC tienen la ventaja de no tener cargas adicionales para las torres.



**Figura 4-5.-** Cable OPPC.

#### **4.4. CABLE MASS (CABLE AÉREO AUTOSOPORTADO METÁLICO).**

En el caso de que la sustitución del hilo de guarda o de conductores de fase no sea posible o no sea una alternativa económica, se pueden instalar cables adicionales. La única función de estos cables es alojar y proteger las fibras ópticas. Una solución universal para todos los altos voltajes es el cable autosoportado aéreo metálico (MASS). Este es un cable metálico de pequeño tamaño para instalaciones adicionales en las torres o postes. Para minimizar la carga adicional tanto el peso como el diámetro están fuertemente reducidos. El rango de diámetro típico de los cables MASS esta entre 9 y 12 mm solamente. El blindado es optimizado solamente de acuerdo con los requerimientos de longitud y curvatura porque el cable no tiene ninguna función eléctrica.

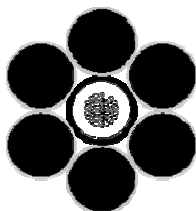


Figura 4-6.- Cable MASS.

#### **4.5. CABLE ADSS (CABLE AÉREO AUTOSOPORTADO TOTALMENTE DIELECTRICO).**

Otra solución bien conocida para instalación de cables adicionales en líneas de voltaje medio y alto son los cables aéreos autosoportados totalmente dieléctricos (ADSS). En contraste con los diseños antes mencionados, los ADSS no contienen ningún elemento metálico las fibras están localizadas en cables de tuvo plástico en el centro o de manera libre y están cubiertas por uno o dos revestimientos plásticos. Para hacer que el cable sea de autoaporte contiene elementos que lo hacen mas rígido hechos de hilos de aramida. La excelente relación de resistencia comparada con el peso de este material asegura el bajo peso del ADSS y limita las cargas adicionales para las torres o los postes. Adaptando el contenido de aramida, una longitud de 800m hasta 1000m es posible, dependiendo de las cargas permisibles adicionales. A este respecto el ADSS es una solución universal para una gran variedad de aplicaciones. Sin embargo, se debe prestar atención especial si el cable estará instalado en líneas de alto voltaje para prevenir daños (cuarteaduras en el cable). Un revestimiento de material especial y cálculos óptimos en el lugar de instalación de las torres o los postes hace esta tecnología útil para las líneas de voltaje de hasta 275 KV. Con una capacidad de 144 fibras ópticas o más, esta tecnología de cable ofrece una buena oportunidad para equipar líneas de medio y alto voltaje con fibras ópticas.

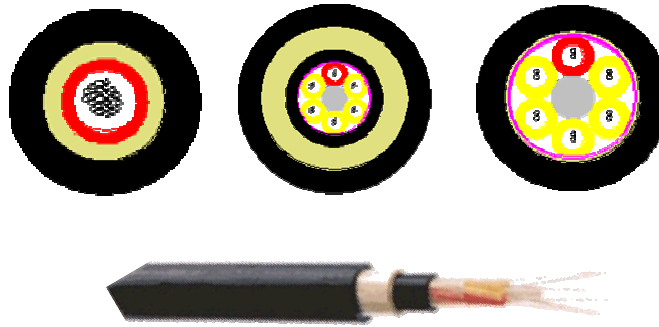


Figura 4-7.- Cable ADSS.

#### **4.6. CABLE ADL (CABLE ACOPLADO TOTALMENTE DIELECTRICO).**

Contrariamente a los cables antes descritos, los cables sujetos totalmente dieléctricos (ADL) no son una construcción autosoportada sino que necesitan que un cable mensajero les sea acoplado. El mensajero puede ser el cable de guarda en líneas de alto voltaje o un conductor de fase en líneas de voltaje medio y bajo. El cable es instalado por dos sujetadores (abrazaderas) hechas de hilo de aramida revestida que esta helicoidalmente enrollada en el cable mensajero y en el cable ADL. Ese proceso es llevado a cabo usando pequeñas maquinas llamadas lashert (acopladoras), viajando a lo largo del cable mensajero. Puede ser empujado manualmente o con un tug (jalador). El cable puede ser alimentado dentro de una maquina ya sea desde el piso o con carretes especiales en el mensajero. Con estos componentes y opciones diferentes para ser usados independientemente la tecnología es muy flexible y puede ser adoptada a las condiciones específicas.

El ADL ofrece rapidez y efectividad de costo de la instalación del cable de fibra óptica en líneas de alto voltaje donde deben ser minimizadas las cargas adicionales de las torres y el reemplazo de los cables existentes no es económico por alguna razón.

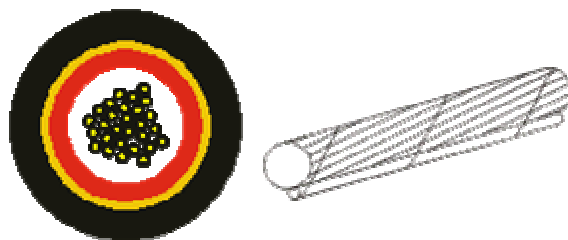


Figura 4-8.- Cable ADL.

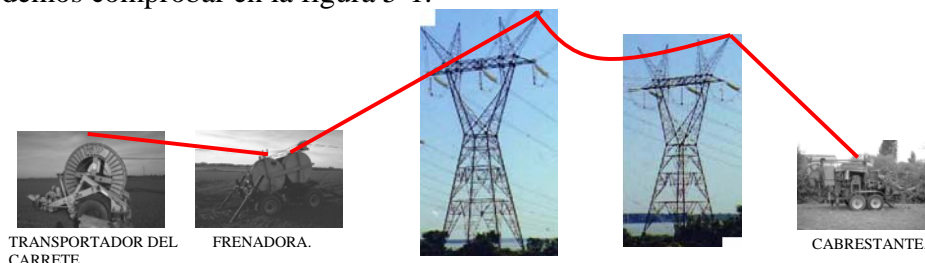
# CAPITULO 5.

## INSTALACION Y MANTENIMIENTO DE OPGW.

En este capítulo abordare recomendaciones generales para la selección de un método, equipo y herramientas para el tendido del cable OPGW. Los métodos de instalación para OPGW son básicamente los mismos usados para los cables de tierra. Sin embargo se debe tomar especial cuidado para no exceder la máxima tensión de jalado y el radio mínimo de catenaria o elongación; también es esencial evitar el daño de las fibras, por la aplicación de presiones inadmisibles, torsión o doblado. Es importante que la compañía instaladora tenga experiencia en el tendido de este tipo de cable o por lo menos en líneas de conductores de alto voltaje; para el caso de LUZ Y FUERZA esto no es ningún problema. Por otro lado para llevar a cabo un buen mantenimiento del cable OPGW es necesario tener en cuenta diversos aspectos ya que como se ha visto tiene dos funciones que realizar, por lo tanto hay que dividir su mantenimiento.

## **5.1. INSTALACIÓN DE EL CABLE OPGW.**

En general, el sistema y equipamiento utilizado para la instalación del cable de tierra con fibras ópticas *OPGW* es similar al utilizado en la del conductor de tierra estándar, como podemos comprobar en la figura 5-1.



**Figura 5-1.- Método estándar de instalación.**

### **SEGURIDAD.**

Cualquier método para efectuar trabajos de tendido del cable OPGW exige el cumplimiento de unas determinadas normas básicas de seguridad que han de considerarse en la preparación, planificación y ejecución del mismo y que garantizan que la seguridad quede perfectamente integrada en el propio procedimiento de ejecución.

Para este procedimiento se han considerado, una serie de medidas específicas de seguridad que son:

- Evaluación del estado del cable de tierra existente con la finalidad de utilizarlo como cable piloto para el tendido.
- Análisis de los cruzamientos existentes con otras líneas de alta tensión.
- Señalización de las zonas de seguridad y trabajo.
- Comprobación de maquinaria, herramientas y equipos.
- Charlas de seguridad al personal implicado en la ejecución de los trabajos.

En cualquier caso y como nota complementaria, quedara terminantemente prohibido que el cable que se esta tendiendo sea manipulado por cualquier trabajador a menos que dicho cable este totalmente parado, detenida la maniobra.

### **TRANSPORTE, CARGA, DESCARGA Y ALMACENAJE DE LAS BOBINAS.**

Los procedimientos siguientes se recomiendan para prevenir daños del cable durante su manejo, transporte y almacenaje.

- ⊕ Las bobinas deben transportarse siempre en posición vertical con los extremos fijados para prevenir que el cable se suelte o afloje. Todas las duelas y protecciones deben mantenerse hasta que se emplace para su inmediata instalación.
- ⊕ Tras el transporte, las bobinas deben inspeccionarse para verificar que no hayan sufrido ningún daño y que ninguna de las duelas este rota.
- ⊕ En ninguna circunstancia las bobinas deben ser tiradas del camión durante su descarga, ni trasladarlas rodando de forma incontrolada.

- ⊕ La carga y descarga se realizara de forma que la bobina se mantenga en posición vertical y no se dañen las maderas de la bobina.
- ⊕ Las bobinas pueden desplazarse rodando una distancia corta y el sentido de giro de la bobina será el mismo en el que enrolló el cable el fabricante, vigilando que no existan objetos que puedan dañar las duelas.
- ⊕ Bajo ninguna circunstancia la bobina debe almacenarse sobre su lateral.
- ⊕ Los extremos de los cables deben estar sellados para evitar el ingreso de humedad.
- ⊕ El almacenaje de las bobinas debe realizarse sobre un suelo suficientemente duro para evitar su hundimiento.
- ⊕ Las bobinas deben almacenarse de forma que se facilite su manejo y carga; y lejos de cualquier actividad que pueda dañarlas.



**Figura 5-3.-** Campamento- Almacén de OPGW.

#### EQUIPO PARA TENDER EL CABLE.

Una instalación exitosa debe incluir el equipo apropiado. Todos los equipos para la instalación, herramientas para los cables deben tener las dimensiones correctas, estar correctamente sujetos, limpios y en buenas condiciones para el trabajo.

Antes de que comience el tendido del cable el equipo de instalación debe de tener las cantidades y tipos apropiados de los siguientes equipos de ensambladura.

#### **Frenadora (*Bullwheel*).**

Para mantener una tensión constante y apropiada durante la tensión hacia dentro del cable OPGW se necesita una rueda de alta tensión de canales múltiples frenadora. El tensor debe ser fácilmente controlable y capaz de mantener una tensión y velocidad constante. Debe tener un sistema de frenos hidráulicos. El tensor también debe estar equipado con un dinamómetro o aparato similar para medir la tensión en todo momento.

Los canales en las ruedas de tensión deben de estar cubiertas con neopreno. También deben estar limpias y en buenas condiciones. El diámetro de la raíz de las ruedas de tensión debe ser mayor o igual a 50 veces el diámetro del cable OPGW. Debe haber un mínimo de 6 vueltas para anclar el cable. Para hacer un enrollado del cable del lado derecho el cable



debe entrar por la parte izquierda y salir por la derecha; si redesea un enrollado izquierdo se hace lo opuesto.

**Transportador del carrete (*Reel carrier*).**

El transportador del carrete debe ser lo suficientemente fuerte como para que se apoye el peso del carrete del cable OPGW. El transportador debe ser de un tamaño apropiado, dadas las dimensiones del carrete. Por otro lado el transportador debe ser capaz de rotar para que el cable salga del distribuidor del cable sin complicaciones, pero no debe girar libremente o rotar de manera incontrolable; debe tener un mecanismo que mantenga una ligera contratensión. No se necesita un valor específico, pero generalmente se utiliza una tensión de alrededor de 50 a 100 libras (22 a 45 Kg) con esto se obtiene un buen funcionamiento.

**Tirador del cable o cabrestante (*Puller*).**

El tensor debe tener la suficiente capacidad para tirar el cable, además debe operar con facilidad y no tener tableteos. Debe ser capaz de arrancar y detener las tiradas sin complicaciones y no debe ocasionarle ninguna sacudida súbita o rebotes al cable OPGW. Esta máquina debe contar con un aparato que indique la tensión y la límite, como puede ser un embrague hidrostático. De forma ideal, el indicador de tensión debe ser capaz de parar automáticamente el tirador para que no siga funcionando si se excede la carga máxima establecida.

**Cuerda de tracción o cable piloto.**

Se recomienda el uso de cuerdas tiradoras, de cable trenzado de alta calidad con un diámetro igual o ligeramente menor que el diámetro del cable OPGW. La cuerda debe ser lo suficientemente resistente como para recoger el cable OPGW. En otras palabras, el índice de resistencia a la tensión de la cuerda tensora debe ser mayor que la tensión del tendido.

Se pueden usar ya sean cuerdas de fibra sintéticas o de alambre. Si se usan cuerdas de fibra sintéticas se recomienda una de tipo sin torsión. Si se usan cuerdas de alambre, entonces se recomienda la de tipo swged.

También es aceptable recoger los nuevos cables OPGW usando el cable existente en la línea de transmisión. Sin embargo, en esos casos, es importante inspeccionar cuidadosamente el cable antes de tirarlo.

Se tiene que tener la seguridad de que esta en buenas condiciones y que además no dañara las poleas durante la recogida. Además al estar haciendo la instalación se debe estar monitoreando el cable viejo, con el fin de que no haya filamentos rotos que puedan dañar las poleas y esto a su vez dañar el OPGW.

**Camisa de tiro o sujetadores.**

Los sujetadores se deben ajustar apropiadamente para el cable OPGW y para la cuerda tiradora. Los sujetadores también deben ser lo suficientemente fuertes como para resistir la tensión del tendido; deben pasar sin dificultad por todas las poleas. Los sujetadores deben estar unidos con seguridad al cable OPGW y la cuerda de tiro; sus puntas deben estar aseguradas con bandas y luego envueltos con cinta, para prevenir que el sujetador se deslice fuera del cable o de la cuerda tensora.

**Giratorios.**

Se recomienda el uso de giratorios de doble eje de alta calidad, de cojinete (rodamiento), entre la cuerda tensora y el cable OPGW; esto minimizara la transferencia de cualquier torsión desde la cuerda tiradora al cable OPGW. Los giratorios deben ser lo suficientemente fuerte como para resistir la tensión del tendido y pasar sin dificultad por todas las poleas.

**Poleas.**

Las poleas son las herramientas más importantes usadas durante el tendido. Es absolutamente esencial que estén ajustadas apropiadamente y que estén en buenas condiciones.

Las poleas deben ser de aluminio sin revestimiento o revestidas con neopreno o uretano. no deben usarse poleas de acero sin revestimiento, y todas las poleas deben desplazarse sin dificultad; es decir, que giren libremente. La figura 5-2 muestra estos equipos.



Transportador del carrete.



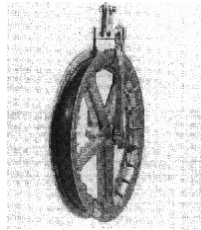
Frenadora.



Cabrestante.



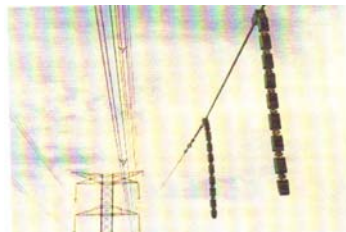
Giratorios.



Polea.



Camisa de tiro.



Giratorios.



Cables piloto de Nylon y Acero.

**Figura 5-2.-** Maquinas y accesorios para la instalación de OPGW.

Referencias: IEEE 524- 1992.

## EMPLAZAMIENTO PARA EL TENDIDO.

- ▶ La bobina se colocara en el lugar elegido (con el espacio necesario para su desplazamiento) de forma que la salida del cable se efectuó por la parte superior y emplazada de tal forma que el cable no quede forzado al tomar la alineación de tendido.
- ▶ La bobina debe situarse a 2 o 3 metros del dispositivo de freno. Los elementos de elevación usuales son gatos hidráulicos y una barra de las dimensiones convenientes alojada en el orificio central de la bobina. La elevación de ésta respecto al suelo será de 10 a 15 cm.
- ▶ Tanto el freno como el cabrestante deben emplazarse aproximadamente a una distancia del doble de la altura del apoyo al que ataca el cable.
- ▶ En una instalación con reenvío, la última polea debe colocarse a una distancia igual a la anteriormente citada.
- ▶ En el dispositivo de freno, la primera ranura por la que pasara el cable debe estar perpendicular al centro de la bobina.
- ▶ El dispositivo de freno debe disponer de dinamómetro.
- ▶ El cabrestante también debe estar equipado con un dinamómetro que desconecte automáticamente el tiro en caso de sobretracción sobre el cable.
- ▶ El piloto (cable de tiro) debe estar unido al cable óptico mediante un giratorio y una camisa de tendido. El elemento giratorio es necesario para evitar el giro del cable cuando se realiza el tiro.



**Figura 5-4.-** Emplazamiento de la bobina.

## LAS PRECAUSIONES INICIALES QUE SE DEBEN TOMAR ANTES DE TENDER.

◆ El piloto o cable de tiro debe ser específico para tendido de cables y para tendidos con la línea sin servicio se recomienda que sea metálico con la carga de rotura mínima de 2500 Kg (debiendo ser superior en función del cable OPGW).

◆ Si fuera necesaria la utilización del antiguo hilo de guarda hay que asegurarse de que no este dañado y que su peso es inferior al del cable OPGW que se instalara.

◆ El método general de instalación es el denominado estándar y se encuentra representado en la figura5-1.

◆ Cuando se realiza la instalación de un cable OPGW, tanto de simple como de doble corona, se requieren tres dispositivos giratorios o contrapesos para compensar el efecto inherente de giro del cable OPGW. Generalmente se instalan dos contrapesos, uno justo después del final de la camisa de tiro y el segundo a unos 5 metros, así se tiene siempre la certeza que uno de los contrapesos actúa mientras el otro esta pasando por la polea se muestra en la figura 5-3. El tercer giratorio se fija hacia el final de la bobina cuando el cable esta a punto de salir del freno.

El contrapeso consiste en una serie de elementos enlazados con bisagras. Los contrapesos se fijan al cable por una hendidura de las apropiadas dimensiones forrada con neopreno o un material similar, para adaptarse al cable perfectamente sin dañarlo demasiado.

Los pesos requeridos para los contrapesos son:

- 12 Kg para vanos de hasta 300 m
- 15 Kg para vanos de 300 a 700 m
- 20 Kg para vanos superiores de 700 m

Para bobinas superiores a los 4000 m se deben aumentar en 5 Kg.



**Figura 5-5.-** Salida de la punta de tiro de la frenadora.

## FACTORES IMPORTANTES DURANTE LA INSTALACIÓN.

- ◆ Es preciso establecer controles estrictos durante la instalación para asegurar que esta se realiza correctamente, sin sobretracciones, giros del OPGW, compresiones inadecuadas, regulando con la flecha correcta y con la certeza que ni las fibras ni el tubo de aluminio extruido sufren daño alguno.
  - ◆ El diámetro mínimo de los bombos (donde se enrolle el OPGW) que intervienen en la instalación deben tener como mínimo 80 veces el diámetro del cable OPGW; por ejemplo los bombos del freno para un cable de 15mm deben tener alrededor de los 1.2m de diámetro.
  - ◆ La mínima distancia a la que debe situarse el cabrestante de la primera polea de torre debe ser de dos veces la altura a la que esta polea se encuentra situada.
  - ◆ La velocidad de tendido especificada es de 15-20 m/min., pero siempre depende de las condiciones de tendido.
  - ◆ La máxima tensión de tendido esta limitada al 50% de la tracción del cable instalado. Se recomienda un máximo esfuerzo en instalación de 1000Kg.
  - ◆ El número de pases del cable a través de las poleas debería ser limitado a 12, pero dependiendo de la longitud de los vanos puede aumentarse.
  - ◆ Las poleas de las torres, en los casos que se mencionan a continuación, deben tener un diámetro mínimo de al menos 0.8m:
    - En todas las torres con un cambio igual o superior a los 15 grados en la dirección de tendido.
    - En las torres final e inicial del tendido.
    - Si la distancia entre torres es superior a los 600m.
- En los otros casos pueden usarse poleas de 0.6m de diámetro.
- ◆ Las poleas deben ser de alta calidad. La guía de la polea debe estar protegida con neopreno u otro material similar.
  - ◆ El radio mínimo de curvatura del cable durante la instalación debe ser de 1m.
  - ◆ El personal situado en el cabrestante, en la maquina de freno, en los pasos de poleas y en la punta del cable estará comunicado constantemente mediante walkie-talkies. El cabrestante deberá estar equipado con un dinamómetro con registro con el fin de registrar la tracción de tiro.
  - ◆ Al terminar la instalación de una bobina de OPGW la línea se podría poner en servicio, teniendo la precaución de dejar una longitud extra de cable en los extremos (Torres de empalme) enrollada hasta que se realice el empalme del cable (es necesario dejar del orden de 10 a 20 m de cable adicional, desde el suelo, en las torres de empalme).

◆ Todos los empalmes de OPGW deben realizarse en las torres, al contrario de lo que ocurre con el cable de tierra convencional que puede ser empalmado en medio de un vano.

## **5.2. VARIANTES EN LA INSTALACIÓN DEL CABLE OPGW.**

### Tendido en líneas sin servicio.

1) Tendido en líneas de nueva construcción.

La instalación del cable OPGW esta supeditada a la instalación de la línea:

Construcción de apoyos y tendido de conductores. El tendido se realiza con el método estándar mostrado en la figura 5-1.

2) Sustitución del cable de tierra en líneas existentes.

Se realiza con el método estándar y en el caso que el conductor de tierra este en buenas condiciones, se puede utilizar como cable piloto. En caso contrario se deberá sustituir por un piloto para tender el cable OPGW.

3) Líneas sin conductor de tierra.

Se deberá tender inicialmente el piloto, para posteriormente instalar el cable OPGW con el método estándar.

### Tendido con la línea en tensión

#### Recomendaciones:

- a) Se podrá realizar siempre que la configuración de la línea lo permita (se deben comprobar que se cumplen las distancias de seguridad a los conductores en cualquiera de las fases o trabajos de preparación, tendido, regulado y grapado del cable OPGW). Además es recomendable que todo el personal disponga de una metodología de todos los trabajos que se realicen en proximidad de tensión.
- b) Se debe aplicar la normativa de trabajos en proximidad de tensión para las operaciones de tendido y disponer del equipamiento de seguridad para los diferentes trabajos del tendido. El personal también debe tener su equipo de protección personal, estar capacitados para los diferentes trabajos que deberán efectuar y para la correcta utilización de todo el equipamiento.
- c) Todo el equipo de tendido (cabrestante, freno, caballetes alza bobinas) estará conectado a tierra.
- d) Las poleas de tendido tendrán los diámetros adecuados, pero el neopreno será conductor.
- e) Si es necesario se colocaran pantallas de cuerda aislante en los apoyos de inicio y fin de serie, para que la zona de cruzamiento del OPGW entre los conductores se mantenga fija.
- f) El piloto de tendido será de cuerda aislante, con una carga de rotura adecuada al cable OPGW a tender.
- g) El tendido se realizara con la velocidad y tracción especificadas para el cable, controlando en todo momento la tracción para que el cable no baje de la altura de seguridad mínima. El tiro sobre el cable será constante, para evitar el baile del cable.
- h) Es básico que la maquinaria que se utilice este en optimas condiciones, para que el control sea lo mas preciso posible. Además el personal que lo maneje debe estar completamente familiarizado con su funcionamiento.

- i) Se recomienda que el tendido del cable OPGW se realice en condiciones meteorológicas favorables, sin viento, lluvia, etc.
- j) El sistema de comunicaciones del personal de tendido, compañía eléctrica, supervisores, etc., debe funcionar perfectamente.

#### 1) Sustitución del cable de tierra en líneas existentes.

Se podría utilizar como piloto el cable de tierra; siempre que sea menos pesado que el cable OPGW; pero por motivos de seguridad se recomienda tender con piloto aislante, para así delimitar la longitud de control en la instalación a la del cable OPGW que se vaya tendiendo.

El método de tendido es el estándar teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores, extremando todas las precauciones y aplicando las normativas de seguridad.

#### 2) Instalación del cable OPGW en líneas sin cable de tierra.

Idénticamente al tendido en líneas sin servicio, se deberá tender un piloto; completamente aislante; antes de proceder al tendido del OPGW. Asimismo se seguirán las recomendaciones anteriores y se aplicaran las normativas de seguridad.

#### REGULADO DEL CABLE.

Generalmente, los métodos utilizados para obtener la flecha correcta de los cables de fibra óptica son los mismos que los utilizados para los cables de tierra convencionales. Las recomendaciones particulares son:

- La aplicación del tiro se realizara mediante un preformado de amarre (en vanos intermedios) o con camisa de tiro en la punta.
- El regulado del cable se realizara, sin excusa, a continuación del tendido, así como la colocación de los herrajes de sujeción, para prevenir daños sobre el cable OPGW.
- El instalador tiene la responsabilidad de los daños que puedan producirse en el cable si no respeta el punto anterior.
- Los herrajes de suspensión y amarre deben ser de tal forma que no dañen ni deformen el tubo de aluminio, lo cual podría dañar las fibras ópticas.

#### CONTROLES ESPECIALES EN LA INSTALACIÓN.

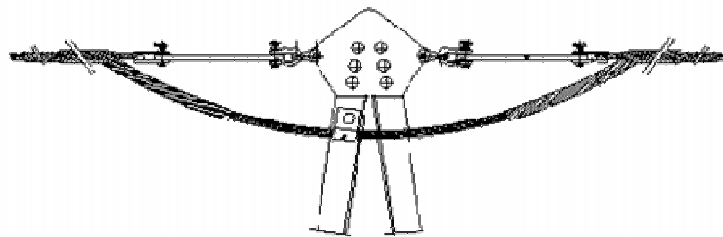
Deben establecerse puntos de control intermedios estableciendo las precauciones necesarias en puntos críticos:

- En torres con cambio brusco de dirección.
- Debe tenerse cuidado en evitar dañar el cable OPGW durante la instalación, y en el manejo del cable.
- El cable OPGW no debe golpear ni rozar nada durante la instalación.
- Se precisa el control del radio mínimo de curvatura en todas las maniobras de instalación.
- Es necesario prevenir el contacto del cable con la parte metálica de las poleas para evitar que se dañe.
- Si la tracción y las flechas de regulado difieren de los valores esperados la operación de tendido o regulado debe detenerse.

## INSTALACIÓN DE HERRAJES Y ACCESORIOS.

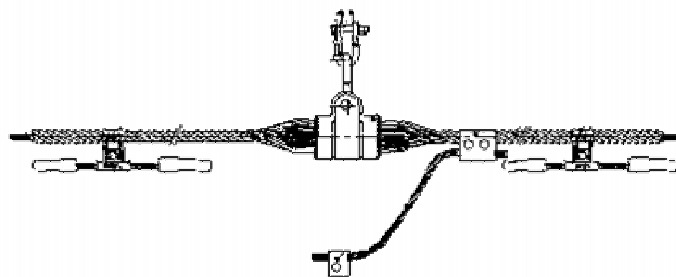
Los herrajes, amarres, suspensiones, grapas de bajada, amortiguadores, etc., deben ser instalados bajo las instrucciones del fabricante. Requisitos importantes:

- Los herrajes deben instalarse siguiendo las instrucciones del fabricante y mediante las herramientas necesarias.
- Los preformados deben de ser de calidad y comprobados sistemáticamente.
- Los herrajes deben instalarse de forma que no dañen ni deformen el cable.
- En los amarres pasantes, la flecha del cable entre los preformados estará siempre sin tracción y el radio mínimo de curvatura no será inferior al radio mínimo recomendado por el fabricante. No debe dejarse mayor longitud de la necesaria pues por efecto del viento el cable podría golpear con la torre y dañarse. Se recomienda colocar una grapa de sujeción, en el caso que el OPGW tenga bastante movimiento. figura 5-6.



**Figura 5-6 .-** Amarre de tensión con una grapa de sujeción.

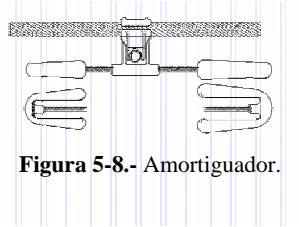
- En la colocación de las suspensiones no se forzara el cable y los elementos que se apliquen, para colocar la suspensión en su posición, será sobre las varillas, Figura 5-7.



**Figura 5-7.-** Amarre de suspensión.



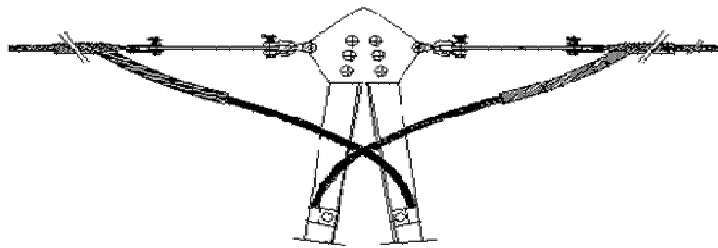
- La colocación de los amortiguadores se realiza sobre varillas de protección del cable OPGW, casi siempre del accesorio de sujeción, y con el apriete recomendado, figura 5-8.



**Figura 5-8.-** Amortiguador.

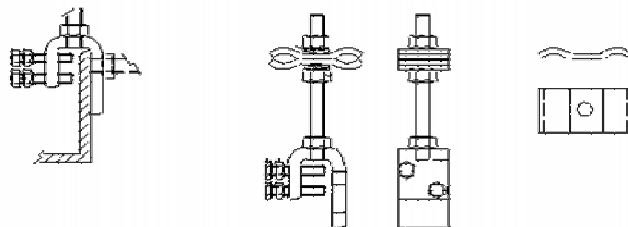
### GRAPADO DEL CABLE EN LAS TORRES DE EMPALME Y RADIOS DE CURVATURA.

- Las torres de bajada con caja de empalme deben ser de amarre y reforzarse convenientemente, figura 5-9



**Figura 5-9.-** Amarre de tensión con dos grapas de sujeción.

- Las grapas de bajada deben situarse a una distancia entre ellas de alrededor de 1.5m. Distancias menores pueden ser necesarias para prevenir que el cable golpee con la torre, especialmente en zonas de clima muy ventoso, figura 5-10.



**Figura 5-10.-** Grapa de bajada.

- Los radios de curvatura del cable OPGW descendiendo a lo largo de la torre deben ser mayores que 1000mm.
- El radio mínimo de curvatura que puede usarse para longitudes cortas de cable (0.5m) es de 600mm. Cuando ocurran especiales condiciones.

#### TORRES TERMINALES.

En las torres terminales, habitualmente dentro de recintos cerrados, el cable de tierra queda empalmado a un cable de fibra óptica convencional apto para instalación enterrada o en canalización.

Los cables enterrados proporcionan la finalización del enlace de la línea de transmisión del OPGW, mediante los repartidores ópticos; localizados normalmente, en el interior de una sala de comunicaciones. En los repartidores se fusionan las fibras del cable de acometida a los pigtails, para terminar así el enlace con un conector óptico.

#### FORMACION DEL PERSONAL.

Todo el personal involucrado en la instalación del cable OPGW debe estar informado de los problemas relativos al manejo y las operaciones de instalación del cable OPGW.

#### SUPERVISION.

El supervisor tiene la responsabilidad de que la instalación se realice siempre de acuerdo con los procedimientos debidos.

El supervisor decidirá la acción correcta a tomar caso de que aconteciera alguna circunstancia que no estuviera reflejada en las normas de instalación.

El supervisor debe controlar la calibración de los dinamómetros antes de iniciar la instalación.

El supervisor debe verificar la continuidad óptica de las fibras del cable OPGW con un OTDR antes de proceder a la instalación.

### **5.3. MANTENIMIENTO DEL CABLE OPGW.**

El mantenimiento del cable OPGW se hace observando y recorriendo las líneas de transmisión en donde se haya instalado el cable OPGW en busca de posibles daños en el cable o en los herrajes. Este mantenimiento consta de dos tipos:

#### El mantenimiento correctivo.

Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo cuando el cable OPGW sufre daños irreparables, por lo que se tiene que hacer una sustitución total del tramo de cable que se dañó; en la práctica hay veces que es posible hacer un empalme y así cambiar la mitad del tramo pero esto requiere hacer un evaluación que influye en que el cable tenga o no la misma eficiencia.

*El mantenimiento preventivo.*

Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo de manera periódica con revisiones mensuales, semestrales o una vez al año, todo depende de la experiencia y los requerimientos que tenga la empresa suministradora de electricidad con el cable OPGW.

Estos dos tipos de mantenimiento se subdividen en otros dos ya que como se ha visto el cable OPGW tiene dos funciones.

- Mantenimiento mecánico: que es el que se le da al cable como hilo de guarda, así como a todos los herrajes que contiene.
- Mantenimiento óptico: que es el que se le da a las fibras ópticas que contiene el cable OPGW, a las cajas de empalme, los conectores, repetidores y aparatos de transmisión y recepción ópticos.

# CAPITULO 6.

## PROPUESTA PARA EL MANTENIMIENTO DE OPGW.

Para la empresa paraestatal suministradora de energía eléctrica en el centro del país LUZ Y FUERZA DEL CENTRO, es muy importante que la demanda de energía que ha ido creciendo con el tiempo llegue al usuario con una buena calidad y alta confiabilidad, por tanto es prioridad tener instalaciones y equipos modernizados que garanticen esto.

Después de que tuve la oportunidad de realizar mi servicio social y practicas profesionales en el Departamento de Transmisión Líneas, dependiente de la Gerencia de Transmisión y Transformación de dicha empresa; pude acumular conocimientos y experiencias que me motivaron a realizar este trabajo y a dar una propuesta de mantenimiento para este tipo de aplicación que tiene la fibra óptica; considerando que son dos los departamentos que le dan mantenimiento a este tipo de cable, ya que uno le da mantenimiento mecánico y otro mantenimiento óptico; me di a la tarea de crear y dividir en formatos donde se capture la información necesaria para darle mantenimiento al cable OPGW y que sirvan para los dos departamentos encargados de el mantenimiento.

### **6.1. PROPUESTA DE MANTENIMIENTO.**

La manera mas eficiente y que nos va a decir que hacer para darle mantenimiento preventivo al cable OPGW es teniendo toda la información necesaria capturada en un formato.

Es por eso que mi propuesta de mantenimiento preventivo para el cable OPGW estará plasmada en formatos donde se captura la información que nos va a ayudar a tomar decisiones rápidas, concretas y eficientes.

Por otro lado como he mencionado anteriormente el motivo que me llevo a proponer como darle un seguimiento de mantenimiento a este tipo de cable es que no existe hasta ahora un formato o método escrito que capture datos para darle mantenimiento al cable OPGW; dado que LUZ Y FUERZA DEL CENTRO hasta este momento no ha tenido problemas con este tipo de cable, debido a que es un cable de muy alta calidad y confiabilidad. Pero aun así debemos estar previstos ante cualquier avería o falla que pueda suceder, además de que entre mas crezca este tipo de red y mas empresas renten este tipo de servicio, la confiabilidad del sistema tendera a aumentar y el compromiso que tendrá LUZ Y FUERZA DEL CENTRO para con sus usuarios será mucho mayor; ya que este cable no solo sirve de protección de la línea sino que también es un medio de transmisión de telecomunicaciones.

FORMATOS PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECÁNICO Y OPTICO DEL OPGW.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECANICO PARA EL CABLE OPGW							
FECHA DE REVISION:							
NOMBRE DE LA LINEA:							
ENTRE S.E Y S.E.:							
VOLTAJE DE LA LINEA :							
LONGITUD DEL CABLE OPGW :							
No. DE CAJA DE EMPALME	REVISION DEL CABLE	REVISION DE HERRAJES	REVISION DE AMORTIGUADORES	REVISION DE CONEXIONES A TIERRA	REVISION DE PREFORMADOS	REPARACIONES EFECTUADAS	OBSERVACIONES

SUPERVISOR:

FIRMA:





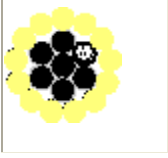



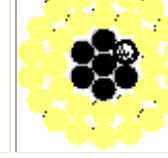


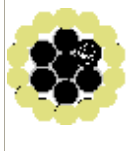

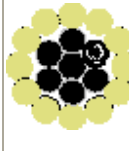
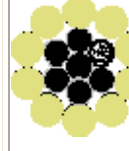
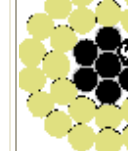
## **CONCLUSIÓN.**

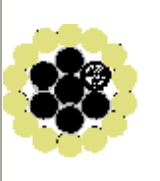


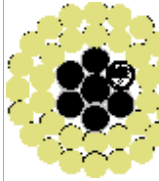
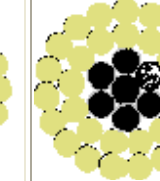
Finalmente la elaboración de este trabajo creo que deja información relevante sobre las aplicaciones que tiene la fibra óptica en las compañías suministradoras de energía eléctrica; aplicaciones que han entrado en nuestro país poco a poco y que le darán un cambio importante a las telecomunicaciones en México. Esta aplicación, como se aprecia en este trabajo, tiene muy buenas ventajas y se puede aprovechar al máximo, por ejemplo: en nuestro país todavía existen personas y poblaciones que no conocen que es el Internet; pero su poblado cuenta con energía eléctrica o por lo menos tiene muy cerca algunas líneas de transmisión de alta tensión, con instalaciones con fibra óptica como la que abordamos en esta tesis; ahora bien, sería posible llevar a todas estas personas y poblaciones no solo el Internet, sino también educación a distancia, comunicación mas eficiente y rápida y mucho mas servicios que los beneficien.


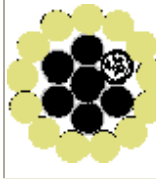
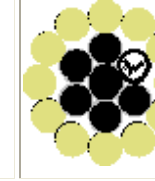
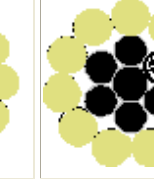
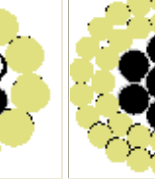
Por otro lado los conocimientos teóricos adquiridos en la Universidad Nacional Autónoma de México y los conocimientos prácticos que adquirí con la realización de mi servicio social y practicas profesionales en la empresa paraestatal de Luz y Fuerza del Centro, me han permitido elaborar la propuesta de mantenimiento que presento en esta tesis; la cual espero sirva como fuente de información y paralelamente despierte el interés por la investigación de este tema, con el propósito de que las futuras generaciones de ingenieros estén mejor preparadas y así puedan brindar un progreso tecnológico, humano y laboral justo para el país.

## Anexo 1.

Cable Type	ASLH-D(S)bb 1x24SMF (AA/ACS 52/30-7,4)	ASLH-D(S)bb 1x24SMF (AA/ACS 59/30-8,2)	ASLH-D(S)bb 1x24SMF (AA/ACS 70/30-9,4)	ASLH-D(S)bb 1x24SMF (AA/ACS 83/30-10,8)	ASLH-D(S)bbb 1x24SMF (AA/ACS 147/30-17,7)
Cross Section					
Construction	<b>S 1.1</b>	<b>S 1.2</b>	<b>S 1.3</b>	<b>S 1.4</b>	<b>S 1.5</b>
Center	1 ACS wire Ø 2,6mm				
1 st layer Steel Tube	1 Stainless Steel Tube with Maximum 24 Optical Fibres				
ACS, [mm]	5 x ACS Ø 2,5mm				
2 nd layer AA - wires	13 x AA 2,25mm	12 x AA 2,5mm	11 x AA 2,85mm	10 x AA 3,25mm	12 x AA 2,5mm
3 rd layer AA - wires	-				18 x AA 2,5mm
Technical Data					
Cable Diameter	12,1mm	12,6mm	13,3mm	14,1mm	17,6mm
Cable Weight	367kg/km	387kg/km	418kg/km	453kg/km	634kg/km
Supporting Cross Section	81,5mm <sup>2</sup>	88,8mm <sup>2</sup>	100,0mm <sup>2</sup>	112,8mm <sup>2</sup>	177,1mm <sup>2</sup>
Rated Tensile Strength	52,0kN	54,1kN	57,4kN	61,2kN	80,1kN
Modulus of Elasticity	95,4kN/mm <sup>2</sup>	92,3kN/mm <sup>2</sup>	88,3kN/mm <sup>2</sup>	84,8kN/mm <sup>2</sup>	74,7kN/mm <sup>2</sup>
Thermal Elongation Coefficient	16,810 <sup>-6</sup> /K	17,110 <sup>-6</sup> /K	17,510 <sup>-6</sup> /K	17,910 <sup>-6</sup> /K	19,310 <sup>-6</sup> /K
Max. Perm. Working Stress	267,9N/mm <sup>2</sup>	256,1N/mm <sup>2</sup>	241,2N/mm <sup>2</sup>	227,8N/mm <sup>2</sup>	190,0N/mm <sup>2</sup>
Everyday Stress (16% RTS)	102,0N/mm <sup>2</sup>	97,6N/mm <sup>2</sup>	91,9N/mm <sup>2</sup>	86,8N/mm <sup>2</sup>	72,4N/mm <sup>2</sup>
Ultimate Exceptional Stress	459,2N/mm <sup>2</sup>	439,1N/mm <sup>2</sup>	413,5N/mm <sup>2</sup>	390,6N/mm <sup>2</sup>	325,6N/mm <sup>2</sup>
DC Resistance	0,529Ω/km	0,475Ω/km	0,409Ω/km	,354Ω/km	0,211Ω/km
Continuous Current (T <sub>max</sub> =80°C)	257A	274A	299A	327A	449A
Short Time Current (1s, 20-200°C)	7,4kA	8,2kA	9,4kA	10,8kA	17,7kA
Short Current Capacity (20-200°C)	54,6kA <sup>2</sup> s	66,6kA <sup>2</sup> s	87,9kA <sup>2</sup> s	115,6kA <sup>2</sup> s	312,5kA <sup>2</sup> s
Normal Delivery Length	4000m				
Temperature Range in Operation	-40 to +80°C				

Cable Type	ASLH-D(S)bb 1x30SMF (AA/ACS 56/36-8,2)	ASLH-D(S)bb 1x30SMF (AA/ACS 64/36-9,1)	ASLH-D(S)bb 1x30SMF (AA/ACS 71/36-9,9)	ASLH-D(S)bb 1x30SMF (AA/ACS 96/36-12,6)	ASLH-D(S)bbb 1x30SMF (AA/ACS 178/36-21,4)
Cross Section					
Construction	<b>S 2.1</b>	<b>S 2.2</b>	<b>S 2.3</b>	<b>S 2.4</b>	<b>S 2.5</b>
Center	1 ACS wire Ø 2,85mm				
1 st layer Steel Tube	1 Stainless Steel Tube with Maximum 30 Optical Fibres				
ACS, [mm]	5 x ACS Ø 2,75mm				
2 nd layer AA - wires	14 x AA 2,25mm	13 x AA 2,5mm	12 x AA 2,75mm	10 x AA 3,5mm	12 x AA 2,75mm
3 rd layer AA - wires	-				18 x AA 2,75mm
Technical Data					
Cable Diameter	12,9mm	13,4mm	13,9mm	15,4mm	19,4mm
Cable Weight	423kg/km	446kg/km	466kg/km	535kg/km	765kg/km
Supporting Cross Section	91,7mm <sup>2</sup>	99,9mm <sup>2</sup>	107,4mm <sup>2</sup>	132,3mm <sup>2</sup>	214,3mm <sup>2</sup>
Rated Tensile Strength	60,8kN	63,2kN	65,4kN	72,8kN	96,9kN
Modulus of Elasticity	98,3kN/mm <sup>2</sup>	94,9kN/mm <sup>2</sup>	92,3kN/mm <sup>2</sup>	85,6kN/mm <sup>2</sup>	74,7kN/mm <sup>2</sup>
Thermal Elongation Coefficient	16,510 <sup>-6</sup> /K	16,810 <sup>-6</sup> /K	17,110 <sup>-6</sup> /K	17,810 <sup>-6</sup> /K	19,310 <sup>-6</sup> /K
Max. Perm. Working Stress	278,6N/mm <sup>2</sup>	265,9N/mm <sup>2</sup>	256,0N/mm <sup>2</sup>	231,0N/mm <sup>2</sup>	189,9N/mm <sup>2</sup>
Everyday Stress (16% RTS)	106,1N/mm <sup>2</sup>	101,3N/mm <sup>2</sup>	97,5N/mm <sup>2</sup>	88,0N/mm <sup>2</sup>	72,3N/mm <sup>2</sup>
Ultimate Exceptional Stress	477,5N/mm <sup>2</sup>	455,9N/mm <sup>2</sup>	438,9N/mm <sup>2</sup>	396,1N/mm <sup>2</sup>	325,5N/mm <sup>2</sup>
DC Resistance	0,480Ω/km	0,430Ω/km	0,392Ω/km	0,303Ω/km	0,174Ω/km
Continuous Current (T <sub>max</sub> =80°C)	274A	292A	309A	361A	506A
Short Time Current (1s, 20-200°C)	8,2kA	9,1kA	9,9kA	12,6kA	21,4kA
Short Current Capacity (20-200°C)	67,1kA <sup>2</sup> s	82,3kA <sup>2</sup> s	97,5kA <sup>2</sup> s	157,7kA <sup>2</sup> s	457,3kA <sup>2</sup> s
Normal Delivery Length	4000m				
Temperature Range in Operation	-40 to +80°C				

Cable Type	ASLH-D(S)bb 1x36SMF (AA/ACS 69/43-10,0)	ASLH-D(S)bb 1x36SMF (AA/ACS 77/43-11,0)	ASLH-D(S)bb 1x36SMF (AA/ACS 85/43-11,8)	ASLH-D(S)bbb 1x36SMF (AA/ACS 167/43-20,6)	ASLH-D(S)bbb 1x36SMF (AA/ACS 190/43-23,1)
Cross Section					
Construction	<b>S 3.1</b>	<b>S 3.2</b>	<b>S 3.3</b>	<b>S 3.4</b>	<b>S 3.5</b>
Center	1 ACS wire Ø 3,2mm				
1 st layer Steel Tube	1 Stainless Steel Tube with Maximum 36 Optical Fibres				
ACS, [mm]	5 x ACS Ø 3,0mm				
2 nd layer AA - wires	14 x AA 2,5mm	13 x AA 2,75mm	12 x AA 3,0mm	14 x AA 2,5mm	13 x AA 2,75mm
3 rd layer AA - wires				20 x AA 2,5mm	19 x AA 2,75mm
Technical Data					
Cable Diameter	14,2mm	14,7mm	15,2mm	19,2mm	20,2mm
Cable Weight	513kg/km	536kg/km	558kg/km	788kg/km	852kg/km
Supporting Cross Section	112,1mm <sup>2</sup>	120,6mm <sup>2</sup>	128,2mm <sup>2</sup>	210,3mm <sup>2</sup>	233,5mm <sup>2</sup>
Rated Tensile Strength	73,7kN	76,2kN	78,4kN	102,6kN	109,4kN
Modulus of Elasticity	97,6kN/mm <sup>2</sup>	94,8kN/mm <sup>2</sup>	92,5kN/mm <sup>2</sup>	78,7kN/mm <sup>2</sup>	76,5kN/mm <sup>2</sup>
Thermal Elongation Coefficient	16,610 <sup>-6</sup> /K	16,910 <sup>-6</sup> /K	17,110 <sup>-6</sup> /K	18,810 <sup>-6</sup> /K	19,110 <sup>-6</sup> /K
Max. Perm. Working Stress	276,1N/mm <sup>2</sup>	265,4N/mm <sup>2</sup>	256,9N/mm <sup>2</sup>	204,8N/mm <sup>2</sup>	196,8N/mm <sup>2</sup>
Everyday Stress (16% RTS)	105,2N/mm <sup>2</sup>	101,1N/mm <sup>2</sup>	97,9N/mm <sup>2</sup>	78,0N/mm <sup>2</sup>	75,0N/mm <sup>2</sup>
Ultimate Exceptional Stress	473,3N/mm <sup>2</sup>	454,9N/mm <sup>2</sup>	440,5N/mm <sup>2</sup>	351,2N/mm <sup>2</sup>	337,3N/mm <sup>2</sup>
DC Resistance	0,391Ω/km	0,356Ω/km	0,329Ω/km	0,182Ω/km	0,162Ω/km
Continuous Current (T <sub>max</sub> =80°C)	311A	329A	346A	493A	530A
Short Time Current (1s, 20-200°C)	10,0kA	11,0kA	11,8kA	20,6kA	23,1kA
Short Current Capacity (20-200°C)	100,9kA <sup>2</sup> s	120,1kA <sup>2</sup> s	138,7kA <sup>2</sup> s	425,0kA <sup>2</sup> s	534,1kA <sup>2</sup> s
Normal Delivery Length	4000m				
Temperature Range in Operation	-40 to +80°C				

Cable Type	<a href="#">ASLH-D(S)bb 1x48SMF (AA/ACS 79/59-12,1)</a>	ASLH-D(S)bb 1x48SMF (AA/ACS 108/59-15,2)	ASLH-D(S)bb 1x48SMF (AA/ACS 115/59-16,0)	ASLH-D(S)bb 1x48SMF (AA/ACS 138/59-18,5)	ASLH-D(S)bbb 1x48SMF (AA/ACS 187/59-23,7)
Cross Section					
Construction	S 5.1	S 5.2	S 5.3	S 5.4	S 5.5
Center	1 ACS wire Ø 3,75mm				
1 st layer Steel Tube	1 Stainless Steel Tube with Maximum 48 Optical Fibres				
ACS, [mm]	5 x ACS Ø 3,5mm				
2 nd layer AA - wires	16 x AA 2,5mm	13 x AA 3,25mm	12 x AA 3,5mm	11 x AA 4,0mm	16 x AA 2,5mm
3 rd layer AA - wires	-	-	-	-	22 x AA 2,5mm
Technical Data					
Cable Diameter	15,8mm	17,3mm	17,8mm	18,8mm	20,8mm
Cable Weight	654kg/km	735kg/km	756kg/km	819kg/km	957kg/km
Supporting Cross Section	137,7mm <sup>2</sup>	167,0mm <sup>2</sup>	174,6mm <sup>2</sup>	197,4mm <sup>2</sup>	245,7mm <sup>2</sup>
Rated Tensile Strength	92,0kN	100,6kN	102,9kN	109,5kN	123,7kN
Modulus of Elasticity	102,1kN/mm <sup>2</sup>	94,2kN/mm <sup>2</sup>	92,6kN/mm <sup>2</sup>	88,5kN/mm <sup>2</sup>	80,8kN/mm <sup>2</sup>
Thermal Elongation Coefficient	16,210 <sup>-6</sup> /K	16,910 <sup>-6</sup> /K	17,110 <sup>-6</sup> /K	17,510 <sup>-6</sup> /K	18,210 <sup>-6</sup> /K
Max. Perm. Working Stress	280,6N/mm <sup>2</sup>	253,0N/mm <sup>2</sup>	247,4N/mm <sup>2</sup>	233,1N/mm <sup>2</sup>	211,6N/mm <sup>2</sup>
Everyday Stress (16% RTS)	106,9N/mm <sup>2</sup>	96,4N/mm <sup>2</sup>	94,2N/mm <sup>2</sup>	88,8N/mm <sup>2</sup>	80,6N/mm <sup>2</sup>
Ultimate Exceptional Stress	481,1N/mm <sup>2</sup>	433,8N/mm <sup>2</sup>	424,1N/mm <sup>2</sup>	399,6N/mm <sup>2</sup>	362,7N/mm <sup>2</sup>
DC Resistance	0,330Ω/km	0,256Ω/km	0,242Ω/km	0,208Ω/km	0,160Ω/km
Continuous Current (T <sub>max</sub> =80°C)	349A	405A	420A	460A	537A
Short Time Current (1s, 20-200°C)	12,1kA	15,2kA	16,0kA	18,5kA	23,7kA
Short Current Capacity (20-200°C)	145,5kA <sup>2</sup> s	231,6kA <sup>2</sup> s	257,2kA <sup>2</sup> s	341,9kA <sup>2</sup> s	561,3kA <sup>2</sup> s
Normal Delivery Length	4000m				
Temperature Range in Operation	-40 to +80°C				

## **GLOSARIO.**

Absorción.- proceso por el cual una radiación disminuye su intensidad (perdida) cuando atraviesa una materia.

Alma del cable.- lo conforman todos los elementos de trenzado, apoyo, tracción, ciego y de vinculación existentes dentro del cable, así como la envoltura sobre todo de estos elementos.

Alta tensión.-más de 600 volts.

Amortiguador.- un aparato que se usa para inhibir la vibración de los conductores en una línea de transmisión.

Aterrizado.- conectado a tierra o algún cuerpo conductor que hace las veces de tierra.

Banda base.- se refiere a la transmisión de una señal analógica o digital en su frecuencia original, sin modificarla por modulación.

Bit .- un dígito binario que puede ser 1 o un 0 en el sistema de numeración binario. Un bit es la unidad de información más pequeña que puede tratar una computadora.

Birrefringencia.- es una doble refracción de un rayo que incide en un cristal llamado espato

Bps (bits per second).- es la medida de la velocidad de transmisión de datos en un sistema de comunicaciones.

Byte .- un grupo de 8 bits, usado para representar valores entre 0 y 255. Cada carácter representa un carácter alfanumérico, un carácter gráfico, o un carácter de control especial. Por tanto un byte se puede entender como un carácter de información.

Cabrestante.- malacate que se usa en el encordelado de cuerdas y cables.

Corto circuito.- conexión anormal de relativa baja resistencia, accidental o intencional, entre dos puntos de potencial diferente en un circuito.

dB.- decibel. Unidad de diferencia entre niveles de potencia en las comunicaciones eléctricas.

dB/Km.- decibel por metro.

Diafragma.- separación movable que intercepta la comunicación entre dos partes de un aparato o de una máquina.

Detrimento.- destrucción leve, pérdida o quebranto.

Dieléctrico.- sustancia que es mala conductora de la electricidad y que amortiguara la fuerza de un campo eléctrico que la atraviese.

Difracción.- desviación de la luz al rozar los bordes de un cuerpo opaco.

Diodo.- dispositivo electrónico de dos electrodos, por la cual la corriente pasa en un solo sentido.

Dopado.- agregado de pequeñas cantidades de determinado material a una sustancia pura para modificar en pequeña medida las características de esta.

Epoxicos .- es un material aislante de resina, que se utiliza en la elaboración de aisladores sintéticos.

Extrínseca.- externo, no esencial.

Filtro.- se refiere a un proceso o dispositivo que filtra la información que le llega, permitiendo solo el paso de algún subconjunto de ella que tenga ciertas características.

Fotodiodo.- diodo semiconductor en el cual los rayos luminosos incidentes provocan variaciones en la corriente eléctrica.

In Ga As P.- símbolos químicos de: indio, galio, arsénico y fósforo, respectivamente.

Intrínseca.- intimo, esencial.

LAN .- local area network- red de área local. Es un grupo de computadoras en una misma area conectadas entre si.

Laser.- lighth activation by stimulated emisión of radiations- generación de luz por medio de la emisión estimulada de radiación. Es un dispositivo destinado a generar ondas electromagnéticas de frecuencias ópticas, y que produce haces extremadamente concentrados de luz coherente.

LD.- laser diode- diodo láser. Diodo que emite luz coherente cuando la corriente supera un valor umbral (emisión estimulada).

LED.- light emitting diode- diodo emisor de luz. Un componente semiconductor que emite luz incoherente en forme espontánea.

Línea de transmisión.- línea para transmisión de energía eléctrica.

Longitud de onda.- distancia entre crestas sucesivas.

Mbps (Mega bits per second).- un millón de bits por segundo. Cuando se utiliza Mbps se esta haciendo referencia a bytes (8 bites) por segundo.

Modulación.- adaptación de las características de una señal, con respecto a otra, para adecuarla al canal o medio de transmisión.

nm.- nanometros. Unidad de longitud equivalente a la millonésima parte del metro ( $10^{-9}$ m).

Optoelectronica.- técnica que se ocupa de la transformación de señales eléctricas en ópticas, y a la inversa.

p (pico).- elemento compositivo inicial de nombre que significa la billonesima parte ( $10^{-12}$ ) de las respectivas unidades.

Pigtail.- corto tramo de un conductor de fibras ópticas para acoplar componentes ópticos.

Plasma.- estado gaseoso de la materia que contiene, prácticamente, el mismo número de electrones que de iones positivos, es un buen conductor eléctrico, constituye el estado da la materia que se presenta con más frecuencia en el universo.

Portadora.- es un pulso electromagnético transmitido u onda en una frecuencia base regular de alternación en la cual la información puede ser impuesta por incrementos fuertes de señal variando la frecuencia base, verificando la fase de la onda u otro medio.

Preforma.- varilla de vidrio formada por el vidrio del núcleo y del recubrimiento; es estirada hasta formar una fibra óptica.

Resonancia.- la condición en un circuito de corriente alterna que existe cuando la reactancia capacitiva equilibra exactamente la reactancia inductiva.

Retro (dispersión).- partícula prepositiva o prefijo que lleva a lugar o tiempo anterior la significación de las voces simples a que se halla unida.

Tasa de bits.- velocidad de transmisión de una señal binaria cuyos bits se suceden en una frecuencia establecida, también llamada frecuencia de sucesión de bits.

Termoforesis.- proceso físico - químico utilizado en la fabricación de fibras ópticas.

Watt.- es la medida de la potencia eléctrica.

WDM.- wavelenght division multiplexing- multiplexaje por división de longitud de onda.



## **BIBLIOGRAFÍA.**

- CONDUCTORES DE FIBRA OPTICA  
G. MHIKE, P. GÔSSING  
EDITORIAL MARCOMBO 2000.
- CURSOS PARA LUZ Y FUERZA DEL CENTRO “FIBRAS OPTICAS Y CABLES OPGW”  
ALCATEL  
1997
- CURSOS PARA LUZ Y FUERZA DEL CENTRO “JORNADAS TECNICAS SOBRE CABLES OPTICOS”  
PIRELLI  
1998
- CURSOS PARA LUZ Y FUERZA DEL CENTRO “OPTICAL AERIAL CABLES”  
ALCATEL  
2003
- EL TRANSPORTE DE LA ENERGIA ELECTRICA EN ALTA TENSION  
FRANCISCO RODRIGUEZ BENITO, ANTONIO FAYOS ALVAREZ  
EDITORIAL SERVICIO DE PUBLICACIONES UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA ESPAÑA 1998.
- FIBER OPTIC DATA COMMUNICATION. TECHNOLOGICAL TRENDS AND AVANCES  
CASIMER DeCUSATIS  
EDITORIAL ACADEMIC PRESS 2002.
- FIBER OPTIC REFERENCE GUIDE  
DAVID R. GOFF  
1999.
- INTRODUCCION A LA FIBRA OPTICA Y EL LASER  
EDWARD L. SAFFORD  
EDITORIAL PARANINFO 1988.
- INTRODUCCION A LA INGENIERIA DE LA FIBRA OPTICA .  
BALTASAR RUBIO MARTINEZ  
EDITORIAL ADDISON-WESLEY IBEROAMERICA Ra-Ma 1994.

- MANUAL DE ENTRENAMIENTO PARA TENEDORES DE LINEAS ELECTRICAS  
A.B. CHANCE COMPANY
- OPTICAL FIBER SYSTEMS  
CHARLES K. KAO  
EDITORIAL Mc GRAWHILL 1982.
- PRACTICAS DE COMUNICACIONES OPTICAS  
BEATRIZ ORTEGA, JOSE CAPMANY, DANIEL PASTOR, SALVADOR SALES  
EDITORIAL UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA 2003
- REDES ELECTRICAS PRIMERA PARTE.  
JACINTO VIQUEIRA LANDA  
EDITORIAL ALFA OMEGA 1993.
- REDES ELECTRICAS SEGUNDA PARTE.  
JACINTO VIQUEIRA LANDA  
EDITORIAL REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA S.A MEXICO  
1986.
- SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRONICAS  
WAYNE TOMASI  
EDITORIAL PEARSON EDUCACION CUARTA EDICION 2003.
- SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR FIBRAS OPTICAS  
HILBERTO JARDON AGUILAR, ROBERTO LINARES Y MIRANDA  
EDITORIAL ALFA OMEGA 1995.
- SISTEMAS ELECTRONICOS DE COMUNICACIONES  
LOUIS E. FRENZEL  
EDITORIAL ALFA OMEGA 2003.
- TELECOMUNICACIONES VIA FIBRA OPTICA  
CENTRO DE CAPACITACION CELAYA  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
- TESIS: FIBRA OPTICA PERSPECTIVA TECNICA. INSTALACION CONEXIÓN Y  
MANTENIMIENTO PARA REDES OPTICAS DE COMUNICACIONES  
GARCIA RAMIREZ GILDA MARGARITA, MARTINEZ CRUZ JULIO CESAR  
2001.
- TESIS: SOLITONES  
EDGAR ROCHA VELAZQUEZ  
2003.

- TODO SOBRE LAS FIBRAS OPTICAS  
JUAN TUR, MARIA ROSARIO MARTINEZ  
EDITORIAL MARCOMBO, BOIXAREU EDITORES 1989.