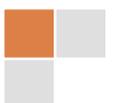
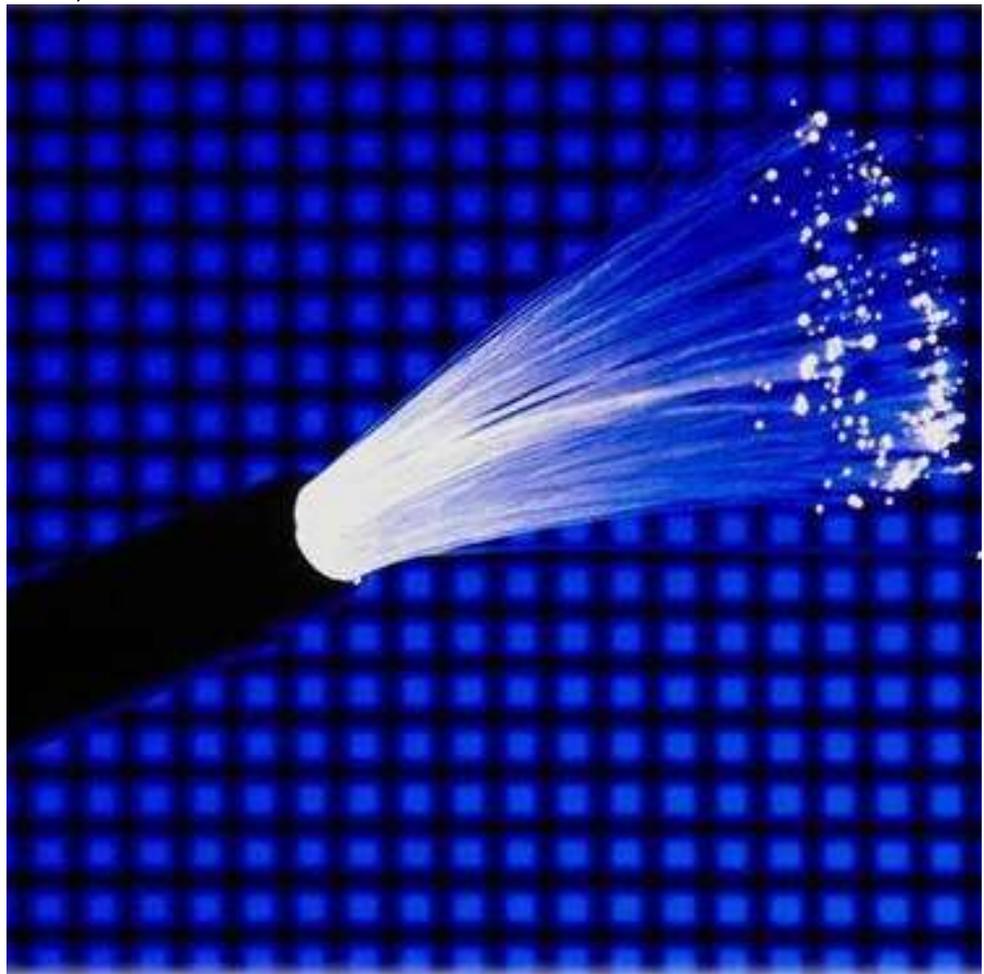


2008

# FIBRA OPTICA

## LA GRAN MARAVILLA MODERNA

ARIAS, DANIEL- LESCANO, SANTIAGO- MARTINEZ, ALEJANDRO- PEREZ MARCOS-  
PEREZ, WALDO



## Introducción

El objetivo de este trabajo es conocer mejor los aspectos de un medio de transmisión de datos que causó una revolución en las comunicaciones: la fibra óptica.

Ella es la responsable de la difusión de servicios interactivos, internet, e incluso operaciones remotas, y en salud.

Aquí se explicará que es, para que sirve, ventajas y desventajas, transmisión por fibra óptica, conversores, proceso de fabricación, entre otros temas.

La abundancia de información en este tema, nos ha obligado a sintetizar algunos temas, quizá interesantes de explicar, pero harán muy largo y complicado de entender la clase.

Se adjuntará un video acerca de la fabricación de las fibras, el cual es costoso y presenta dificultades.

## Fibra óptica

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos: El grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Fabricadas a alta temperatura con base en silicio, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones, entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductivo y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos. Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal; De esta forma es considerable el ahorro en volumen en relación con los cables de cobre. Con un cable de seis fibras se puede transportar la señal de más de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10,000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, con la desventaja que este último medio ocupa un gran espacio en los ductos y requiere de grandes volúmenes de material, lo que también eleva los costos. Comparado con el sistema convencional de cables de cobre donde la atenuación de sus señales (decremento o reducción de la onda o frecuencia) es de tal magnitud que requieren de repetidores cada dos kilómetros para regenerar la transmisión, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 70 km. Sin que halla necesidad de recurrir a repetidores lo que también hace más económico y de fácil mantenimiento este material. Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución entre otros.

### Concepto de transmisión.

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original. El sistema básico de transmisión se compone en este orden, de señal de entrada,

amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo), empalme, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida.

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

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

### Sistemas de comunicación de fibra óptica.

Los bloques principales de un enlace de comunicaciones de fibra óptica son:

- Transmisor
- Receptor
- Guía de fibra

El transmisor consiste de una interface analógica o digital, un conversor de voltaje a corriente, una fuente de luz y un adaptador de fuente de luz a fibra.

La guía de fibra es un vidrio ultra puro o un cable plástico.

El receptor incluye un dispositivo conector, un foto detector, un conversor de corriente a voltaje un amplificador de voltaje y una interface analógica o digital.

En un transmisor de fibra óptica la fuente de luz se puede modular por una señal análoga o digital. Acoplando impedancias y limitando la amplitud de la señal o en pulsos digitales.

El conversor de voltaje a corriente sirve como interface eléctrica entre los circuitos de entrada y la fuente de luz. La fuente de luz puede ser un diodo emisor de luz LED o un diodo de inyección láser ILD, la cantidad de luz emitida es proporcional a la corriente de excitación, por lo tanto el conversor voltaje a corriente convierte el voltaje de la señal de entrada en una corriente que se usa para dirigir la fuente de luz. La conexión de esa fuente a la fibra es una interface mecánica cuya función es acoplar la fuente de luz al cable.

La fibra óptica consiste de un núcleo de fibra de vidrio o plástico, una cubierta y una capa protectora. El dispositivo de acoplamiento del receptor también es un acoplador mecánico.

El detector de luz generalmente es un diodo PIN o un APD (fotodiodo de avalancha).

Ambos convierten la energía de luz en corriente. En consecuencia, se requiere un conversor corriente a voltaje que transforme los cambios en la corriente del detector a cambios de voltaje en la señal de salida.

## Forma

Un filamento de vidrio sumamente delgado y flexible (de 2 a 125 micrones) capaz de conducir rayo ópticos (señales en base a la transmisión de luz). Las fibras ópticas poseen capacidades de transmisión enormes, del orden de miles de millones de bits por segundo. Se utilizan varias clases de vidrios y plásticos para su construcción.

Una fibra es un conductor óptico de forma cilíndrica que consta del núcleo (core), un recubrimiento (cladding) que tienen propiedades ópticas diferentes de las del núcleo y la cubierta exterior (jacket) que absorbe los rayos ópticos y sirve para proteger al conductor del medio ambiente así como darle resistencia mecánica.

Además, y a diferencia de los pulsos electrónicos, los impulsos luminosos no son afectados por interferencias causadas por la radiación aleatoria del ambiente.

Cuando las compañías telefónicas reemplacen finalmente los cables de cobre de sus estaciones centrales e instalaciones domiciliarias con fibras ópticas, estarán disponibles de modo interactivo una amplia variedad de servicios de información para el consumidor, incluyendo la TV de alta definición.

Cada una de las fibras ópticas, puede transportar miles de conversaciones simultáneas de voz digitalizada.

## Ventajas de la fibra óptica...

Capacidad de transmisión: La idea de que la velocidad de transmisión depende principalmente del medio utilizado, se conservo hasta el advenimiento de las fibras ópticas, ya que ellas pueden transmitir a velocidades mucho más altas de lo que los emisores y transmisores actuales lo permiten, por lo tanto, son estos dos elementos los que limitan la velocidad de transmisión.

1. Mayor capacidad debido al ancho de banda mayor disponible en frecuencias ópticas.
2. Inmunidad a transmisiones cruzadas entre cables, causadas por inducción magnética.
3. Inmunidad a interferencia estática debida a las fuentes de ruido.
4. Resistencia a extremos ambientales. Son menos afectadas por líquidos corrosivos, gases y variaciones de temperatura.
5. La seguridad en cuanto a instalación y mantenimiento. Las fibras de vidrio y los plásticos no son conductores de electricidad, se pueden usar cerca de líquidos y gases volátiles.

## Un excelente medio para sus comunicaciones...

En el último kilómetro es donde se presenta con mayor frecuencia problemas y daños en las comunicaciones de los clientes, pensando en esto empresas como la ETB crearon el proyecto de digitalización de la red de abonado en fibra óptica. La fibra es el soporte ideal por todas las ventajas que brinda, tales como:

1. Supresión de ruidos en las transmisiones.
2. Red redundante.
3. Conexión directa desde centrales hasta su empresa.
4. Alta confiabilidad y privacidad en sus comunicaciones telefónicas.
5. Posibilidad de daño casi nula.
6. Tiempos de respuesta mínimos en la reparación de daños.
7. Mayor número y rapidez en la solicitud y entrega de nuevos servicios.
8. Gran ancho de banda

También la fibra óptica es una plataforma para la prestación de otros servicios, como:

1. Transmisión de datos de Alta Velocidad
2. Enlaces E1 (2Mb/s) para conexión de PABX

La posibilidad en el futuro de conexión de nuevos servicios como multimedia o sistemas de televisión por cable.

## Desventajas

A pesar de las ventajas antes enumeradas, la fibra óptica presenta una serie de desventajas frente a otros [medios de transmisión](#), siendo las más relevantes las siguientes:

- La alta fragilidad de las fibras.
- Necesidad de usar transmisores y receptores más caros
- Los empalmes entre fibras son difíciles de realizar, especialmente en el campo, lo que dificulta las reparaciones en caso de ruptura del cable
- No puede transmitir electricidad para alimentar [repetidores](#) intermedios
- La necesidad de efectuar, en muchos casos, procesos de conversión eléctrica-óptica
- La fibra óptica convencional no puede transmitir potencias elevadas.<sup>1</sup>
- No existen memorias ópticas

## Cables Ópticos.

Para poder utilizar fibras ópticas en forma práctica, estas deben ser protegidas contra esfuerzos mecánicos, humedad y otros factores que afecten su desempeño. Para ello se les proporciona una estructura protectora, formando así, lo que conocemos como cable óptico. Dicha estructura de cables ópticos variará dependiendo de sí el cable será instalado en ductos subterráneos, enterrando directamente, suspendido en postes, sumergido en agua etc.

El propósito básico de la construcción del cable de fibra óptica es el mismo; Mantener estables la transmisión y las propiedades de rigidez mecánica durante el proceso de manufactura, instalación y operación. Las propiedades esenciales en el diseño del cable son la flexibilidad, identificación de fibras, peso, torsión, vibración, límite de tensión, facilidad de pelado, facilidad de cortado, facilidad de alineación del cable y la fibra, resistencia al fuego, atenuación estable, etc. Los parámetros para formar un cable especial son:

1. Esfuerzo máximo permitido en la fibra durante su fabricación, instalación y servicio; determina la fuerza mínima de ruptura de la fibra y la fuerza requerida para el miembro de tensión.
2. Fuerza lateral dinámica y estática máxima ejercida sobre la fibra, para determinar la configuración del cable y el límite de tolerancia de micro curvaturas.
3. Flexibilidad
4. Rango de temperatura y medio ambiente en donde el cable va a operar, paralela elección del tipo de materiales a utilizar tomando en cuenta su coeficiente de expansión térmica y su cambio de dimensiones en presencia de agua.

Para cumplir estos requerimientos se observan las siguientes recomendaciones:

1. Evitar cargas o esfuerzos mecánicos sobre las fibras.
2. Aislar la fibra de los demás componentes del cable.
3. Mantener las fibras cerca del eje central y proporcionar espacio a las fibras para su mantenimiento.
4. Escoger los materiales de los elementos del cable con mínimas diferencias en sus coeficientes de expansión térmica.

### Parámetros de una fibra óptica...

Existen varios parámetros que caracterizan a una fibra óptica. Se habla de parámetros estructurales y de transmisión que establecen las condiciones en las que se puede realizar la transmisión de información.

Entre los parámetros estructurales se encuentra:

- El perfil de índice de refracción.
- El diámetro del núcleo.
- La apertura numérica.
- Longitud de onda de corte.

En cuanto a los parámetros de transmisión se tiene:

- Atenuación.
- Ancho de banda.
- Inmunidad a las Interferencias:

El uso de medios transparentes para la propagación de ondas electromagnéticas en forma de luz hace que la fibra óptica no necesite voltajes ni de corrientes, esto lo convierte en un medio de comunicación 100% inmune a todo tipo de interferencias electromagnéticas a su alrededor y, por lo tanto, es un medio de comunicación altamente confiable y seguro. Este es uno de los principales factores que motivaron su uso militar ya que para poder obtener información de ella hay que provocarle un daño, daño que podría detectarse fácilmente con equipo especializado. Esto no sucede con el cobre, donde basta con dejar el conductor al descubierto.

El hecho de no necesitar corrientes ni voltaje hace que la fibra óptica sea idónea para aplicaciones en donde se requiere de una probabilidad nula de provocar chispas, como el caso de pozos petroleros y las industrias químicas, en donde existe la necesidad de transportar la información a través de medios explosivos.

### Micro curvatura...

Fuerzas laterales localizadas a lo largo de la fibra dan origen a lo que se conoce como micro curvaturas. El fenómeno puede ser provocado por esfuerzos durante la manufactura e instalación y también por variaciones dimensionales de los materiales del cable debidos a cambios de temperatura. La sensibilidad a las micro curvaturas es función de la diferencia del índice de refracción, así como también de los diámetros del núcleo y del revestimiento. Es evidente que las micro curvaturas incrementan las pérdidas ópticas.

### Curvado...

El curvado de una fibra óptica es causado en la manufactura del cable, así como también por dobleces durante la instalación y variación en los materiales del cable debidos a cambio de temperatura. Los esfuerzos que provoca la torcedura de las fibras son básicamente una fuerza transversal y un esfuerzo longitudinal. El esfuerzo longitudinal no provoca torcedura cuando trabaja para alargar la fibra, no hay cambio en las pérdidas ópticas. Sin embargo, cuando trabaja para contraer a la fibra, este esfuerzo provoca que la fibra forme bucles y se curve, de tal manera que la pérdida óptica se incrementa. Por lo tanto, al evaluar los diseños de los cables se debe poner especial atención en:

- La carga transversal trabajando en la fibra durante el cableado, instalación y utilización.
- El esfuerzo de contracción que ocurre a bajas temperaturas debido al encogimiento de los elementos del cable.

Dadas las razones anteriores, el eje de la fibra puede curvarse severamente causando grandes incrementos en las pérdidas ópticas. Para prevenir esta situación se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

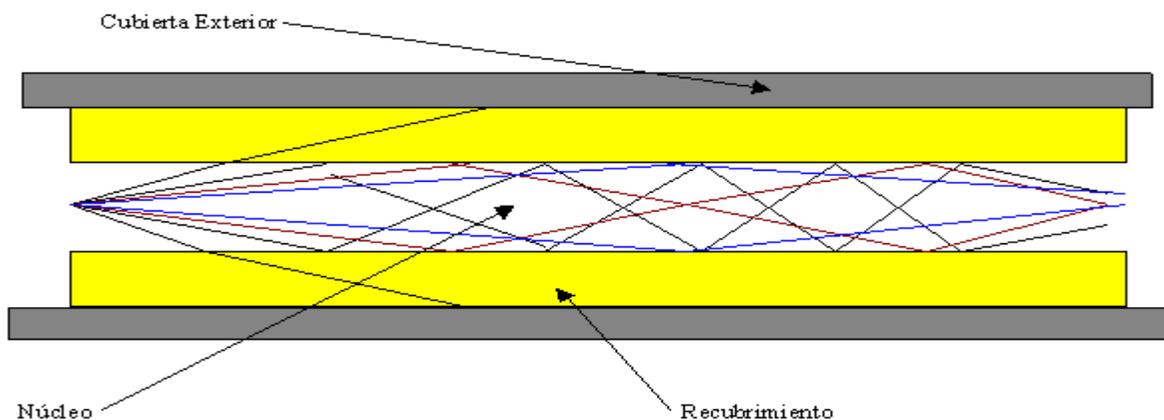
- Mantener un radio de curvatura determinada, seleccionando el radio y la longitud del cableado.
- Reducir variaciones técnicas de las fibras protegidas con pequeños coeficientes de expansión térmica disponiéndolas alrededor de un elemento con buenas propiedades térmicas.

## Tipos básicos de fibras ópticas

- Multimodales
- Multimodales con índice graduado
- Monomodales

### Fibra multimodal

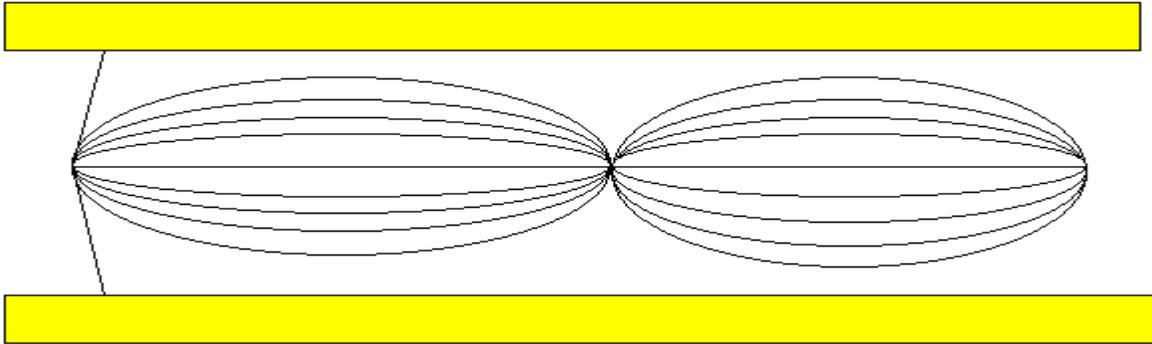
En este tipo de fibra viajan varios rayos ópticos reflejándose a diferentes ángulos como se muestra en la figura.



Los diferentes rayos ópticos recorren diferentes distancias y se desfasan al viajar dentro de la fibra. Por esta razón, la distancia a la que se puede transmitir esta limitada.

### Fibra multimodal con índice graduado

En este tipo de fibra óptica el núcleo esta hecho de varias capas concéntricas de material óptico con diferentes índices de refracción. La propagación de los rayos en este sigue un patrón similar mostrado en la figura.



En estas fibras el número de rayos ópticos diferentes que viajan es menor y, por lo tanto, sufren menos el severo problema de las multimodales.

### Fibra monomodal

Esta fibra óptica es la de menor diámetro y solamente permite viajar al rayo óptico central. No sufre del efecto de las otras dos pero es más difícil de construir y manipular. Es también más costosa pero permite distancias de transmisión mayores.

La fibra óptica ha venido a revolucionar la comunicación de datos ya que tiene las siguientes ventajas:

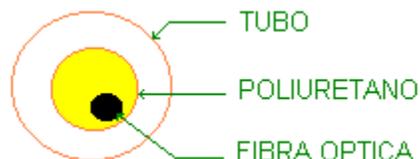
- Gran ancho de banda (alrededor de 14Hz)
- Muy pequeña y ligera
- Muy baja atenuación
- Inmunidad al ruido electromagnético

Para transmitir señales por fibra óptica se utiliza modulación de amplitud sobre un rayo óptico, la ausencia de señal indica un cero y la presencia un uno. La transmisión de fibra óptica es unidireccional. Actualmente se utilizan velocidades de transmisión de 50, 100 y 200 Mbps, pero experimentalmente se han transmitido hasta Gbps sobre una distancia de 110 Kms.

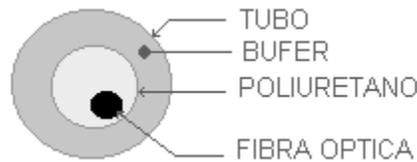
### Construcción.

Núcleo, cubierta, tubo protector, búferes, miembros de fuerza, y una o más capas protectoras. Las principales variantes son:

1. Tubo suelto. Cada fibra está envuelta en un tubo protector.



2. Fibra óptica restringida. Rodeando al cable hay un búfer primario y uno secundario que proporcionan a la fibra protección de las influencias mecánicas externas que ocasionarían rompimiento o atenuación excesiva.



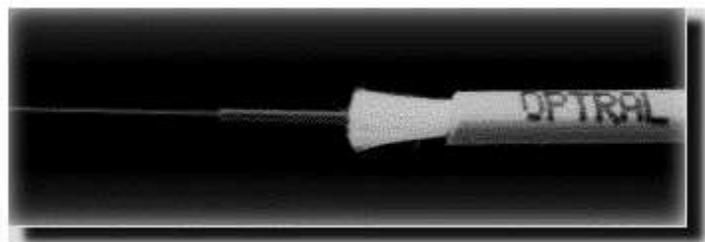
3. Hilos múltiples: Para aumentar la tensión, hay un miembro central de acero y una envoltura con cinta de Mylar.



4. Listón: Empleada en los sistemas telefónicos Tiene varios miembros de fuerza que le dan resistencia mecánica y dos capas de recubrimiento protector térmico.



En la foto de abajo se observa un cable de fibra óptica.



### Conversores Luz- Corriente eléctrica

Este tipo de conversores convierten las señales ópticas que proceden de la fibra en señales eléctricas. Se limitan a obtener una corriente a partir de la luz modulada incidente, esta corriente es proporcional a la potencia recibida, y por tanto, a la forma de onda de la señal moduladora. Se fundamenta en el fenómeno opuesto a la recombinación, es decir, en la generación de pares electrón-hueco a partir de los fotones. El tipo más sencillo de detector corresponde a una unión semiconductor P-N.

Las condiciones que debe cumplir un fotodetector para su utilización en el campo de las comunicaciones, son las siguientes:

- La corriente inversa (en ausencia de luz) debe de ser muy pequeña, para así poder detectar señales ópticas muy débiles (alta sensibilidad).
- Rapidez de respuesta (gran ancho de banda).
- El nivel de ruido generado por el propio dispositivo ha de ser mínimo.

Hay dos tipos de detectores los fotodiodos PIN y los de avalancha APD.

- **Detectores PIN:** Su nombre viene de que se componen de una unión P-N y entre esa unión se intercala una nueva zona de material intrínseco (I), la cual mejora la eficacia del detector.

Se utiliza principalmente en sistemas que permiten una fácil discriminación entre posibles niveles de luz y en distancias cortas.

- **Detectores APD:** El mecanismo de estos detectores consiste en lanzar un electrón a gran velocidad (con la energía suficiente), contra un átomo para que sea capaz de arrancarle otro electrón.

Estos detectores se pueden clasificar en tres tipos:

- de silicio: presentan un bajo nivel de ruido y un rendimiento de hasta el 90% trabajando en primera ventana. Requieren alta tensión de alimentación (200-300V).
- de germanio: aptos para trabajar con longitudes de onda comprendidas entre 1000 y 1300 nm y con un rendimiento del 70%.
- de compuestos de los grupos III y V

## Amplificador óptico

En fibra óptica, un **amplificador óptico** es un dispositivo que amplifica una señal óptica directamente, sin la necesidad de convertir la señal al dominio eléctrico, amplificar en eléctrico y volver a pasar a óptico.

## Amplificadores de fibra dopada

**Amplificadores en fibra** son amplificadores ópticos que usan fibra dopada, normalmente con tierras raras. Estos amplificadores necesitan de un bombeo externo con un láser de onda continua a una frecuencia óptica ligeramente superior a la que amplifican. Típicamente, las longitudes de onda de bombeo son 980 nm o 1480 nm y para obtener los mejores resultados en cuanto a ruido se refiere, debe realizarse en la misma dirección que la señal.

Un amplificador óptico es capaz de amplificar un conjunto de longitudes de onda (WDM, wavelength division multiplexing)

## Amplificador de fibra dopada con Erblio (EDFA)

El amplificador de fibra dopada más común es el EDFA (del inglés, Erbium Doped Fiber Amplifier) que se basa en el dopaje con Erblio de una fibra óptica.

Algunas características típicas de los EDFAs comerciales son:

- Baja figura de ruido (típicamente entre 3-6 dB)
- Ganancia entre 15-40 dB
- Baja sensibilidad al estado de polarización de la luz de entrada
- Máxima potencia de salida: 14 - 25 dBm
- Ganancia interna: 25 - 50 dB
- Variación de la ganancia: +/- 0,5 dB
- Número de láseres de bombeo: 1 - 6
- Longitud de onda de bombeo: 980 nm o 1480 nm<sup>2</sup>
- Ruido predominante: ASE (Amplified Spontaneous Emission)

## Amplificador óptico de semiconductor (Semiconductor optical amplifier, SOA)

Los amplificadores ópticos de semiconductor tienen una estructura similar a un láser Fabry-Perot salvo por la presencia de un anti reflectante en los extremos. El anti reflectante incluye un antireflection coating y una guía de onda cortada en ángulo para evitar que la estructura se comporte como un láser.

El amplificador óptico de semiconductor suele ser de pequeño tamaño y el bombeo se implementa de forma eléctrica. Podría ser menos caro que un EDFA y puede ser integrado con otros dispositivos (láseres, moduladores...).

Sin embargo, en la actualidad, las prestaciones no son tan buenas como las que presentan los EDFAs. Los SOAs presentan mayor factor de ruido, menos ganancia, son sensibles a la polarización, son muy no lineales cuando se operan a elevadas velocidades...

Su elevada no-linealidad hacen atractivos los SOAs para aplicaciones de procesado como la conmutación toda óptica o la conversión de longitud de onda. También se está estudiando su uso para implementar puertas lógicas.

## Amplificadores Raman

Estos dispositivos se basan en amplificar la señal óptica mediante el efecto Raman. A diferencia de los EDFAs y de los SOAs, los amplificadores Raman se basan en una interacción no lineal entre la señal óptica y la señal de bombeo de alta potencia. De esta forma, la fibra convencional ya instalada puede ser usada como medio con ganancia para la amplificación Raman. Sin embargo, es mejor emplear fibras especialmente diseñadas (fibra altamente no lineal) en las que se introducen dopantes y se reduce el núcleo de la fibra para incrementar su no linealidad.

La señal de bombeo se puede acoplar a la fibra tanto en la misma dirección en la que se transmite la señal (bombeo codireccional) o en el sentido contrario (bombeo

contradireccional). Es más habitual el bombeo contradireccional para evitar la amplificación de las componentes no lineales.

El máximo de ganancia se consigue 13 THz (unos 100 nm) por debajo de la longitud de onda de bombeo.

Para obtener una buena amplificación es necesario usar potencias de bombeo elevadas (de hasta 1 W y hasta 1,2 W para amplificación en banda L en fibra monomodo estándar).

Normalmente se emplean más de dos diodos de bombeo. El nivel de ruido que se obtiene es bajo especialmente cuando se usa junto con EDFAs.