



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL TUCUMÁN**

**Ingeniería Electrónica – Medidas Electrónicas II**

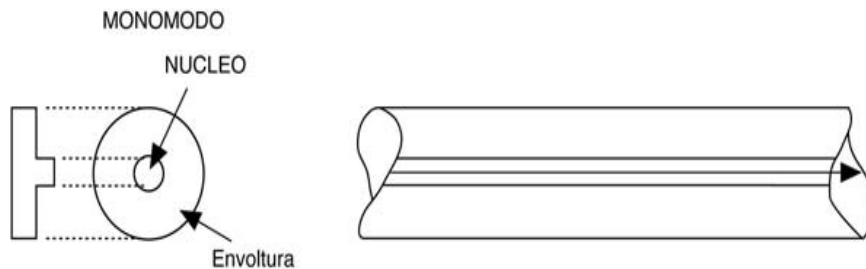
**Reflectómetro Óptico en el Dominio del  
Tiempo - OTDR**

**Ing. Juan C. Colombo  
Año 2011**

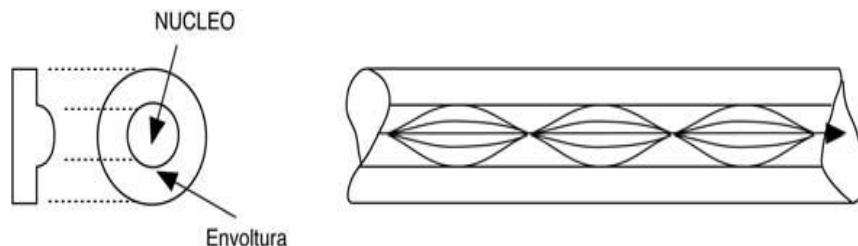
## **1.- Introducción a las fibras ópticas**

### **1.1.- Fibras ópticas monomodo y multimodo**

Según el número de modos que se propagan, hay fibras monomodo y fibras multimodo, dependiendo si se transmite un único modo a través de ellas o dos o más modos. La **Figura 1**, representa una fibra monomodo y la **Figura 2** una fibra multimodo, con una representación del trazado de rayos de propagación de la luz dentro de ellas.

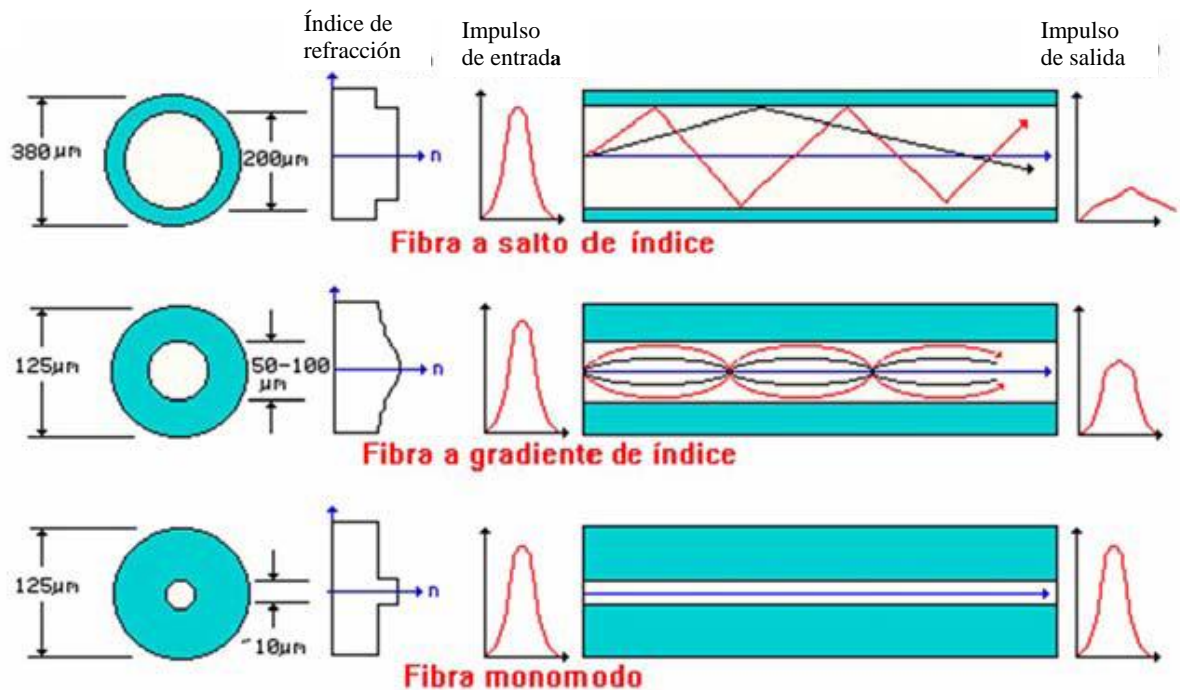


**Figura 1. - Fibra óptica monomodo**



**Figura 2. - Fibra óptica multimodo**

Según el perfil de índice de refracción de las fibras  $n$ , pueden controlarse el número de modos que se propagan en las fibras multimodo y la dispersión en el caso de las fibras multimodo. El número de modos propagados en una fibra óptica determina el ancho de banda (o máxima velocidad de transmisión de datos) de la fibra multimodo, siendo menor el ancho de banda en el caso de las fibras salto de índice que en el caso de las de índice gradual. El primer caso es en el que existe un cambio brusco de índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento. Por el contrario, en el segundo caso existe una variación gradual del índice de refracción desde el centro de la fibra hasta el revestimiento. El efecto que esta estructura de índice de refracción hace sobre la información guiada en las fibras es el ensanchamiento del pulso de entrada con la propagación de la luz. La **Figura 3** y **Figura 4** muestran esquemáticamente este efecto.



**Figura 3.- Índice de refracción y modos en una fibra óptica**

En una fibra óptica no hay circulación de corriente eléctrica sino propagación de luz, cada pulso de luz es un campo electromagnético en propagación o MODO. Ese pulso de luz proviene de dos fuentes principales transmisor electro-óptico con diodo LED o diodo Láser, si la fibra es multimodo o monomodo respectivamente, que se transmite por una fibra óptica vía un acoplador direccional óptico que posibilita por un lado que la luz se propague hacia la carga y al mismo tiempo permite que las reflexiones presentes en la fibra vayan hacia un receptor electro – óptico que utiliza un Fotodiodo como sensor. La unión de la fibra óptica con el transmisor y receptor se hace a través de un conector de fibra óptica.

Las longitudes de onda de cada tipo de elemento son:

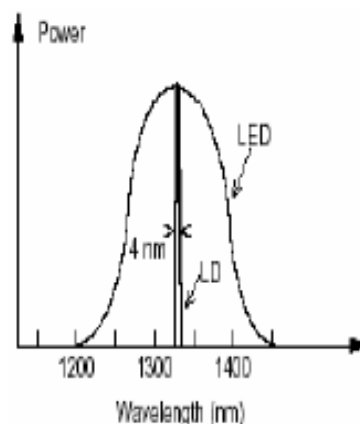
LED	Diodo láser	Ventanas de transmisión: 850 nm (1eraV); 1310 nm (2daV), 1550 nm (3eraV) y 1625nm (4taV)
850 nm	1310 nm	
1310 nm	1550 nm	

Las longitudes de onda de las fibras ópticas más comúnmente utilizadas en comunicaciones son : 850 y 1310 nm, en fibras multimodo; 1310, 1490, 1550 y 1625 nm, en fibras monomodo. Estas son las llamadas ventanas, deben seleccionarse de acuerdo a la aplicación puesto que no todas responden de manera idéntica, tal es así que las pérdidas por doblado tienen una gran dependencia con la longitud de onda: debido a este fenómeno, pérdidas admisibles a 1550 nm pueden no serlo a 1625 nm

y el ancho espectral :

LED	Diodo láser
40-80 nm	1-2 nm

pulso de entrada ensanchado a la salida	pulso de entrada mantiene el ancho a la salida
---	--



**Figura 4.- Pulso de salida de fibra multimodo y monomodo**

El LED genera luz normal no coherente, es decir cada pulso de luz genera múltiples rayos de luz que se propagan en diferentes modos con dispersión -por lo que no se puede usar en grandes distancias- y se utilizan con fibras multimodo.

En cambio el equipamiento basado en fibra multimodo y LED resulta más económico y sencillo de implantar.

En redes locales se utilizan principalmente fibras multimodo con emisores LED de primera o segunda ventana. Estos equipos son más baratos que los basados en diodo láser, tienen una vida más larga, son menos sensibles a los cambios de temperatura y más seguros. A muy altas velocidades es necesario utilizar emisores láser ya que los emisores de luz normal no pueden reaccionar con la rapidez suficiente, por eso en algunas redes locales (Gigabit Ethernet, Fibre Channel y ATM) se utilizan emisores láser de primera ventana cuando se quiere gran velocidad pero no se requiere gran alcance.

El Láser emite luz coherente, o sea un único rayo de luz, por lo tanto cada pulso de luz se propaga a través de la fibra en un solo modo, sin dispersión, y por esa razón se utilizan en fibras monomodo. El equipamiento basado en fibra monomodo y diodo Láser proporciona un gran ancho de banda y una baja atenuación con la distancia, por lo que se utiliza para transmitir a grandes velocidades y/o a grandes distancias. Las últimas tecnologías permiten enviar hasta 100 haces de luz en diferentes longitudes de onda sobre fibra monomodo para multiplicar la capacidad de transferencia: Multiplexación por división de frecuencias (X-WDM).

En redes de área extensa siempre se utiliza fibra monomodo y emisores láser. Actualmente en segunda ventana se puede llegar a distancias de 40 Km y en tercera hasta 160 Km sin amplificadores intermedios. El mayor costo de los emisores se ve en este caso sobradamente compensado por la reducción en equipos intermedios (amplificadores y regeneradores de la señal). La atenuación es menor conforme aumenta la longitud de onda.

## **1.2. Longitud de onda ( $\lambda$ ) – Índice de refracción (n)**

La **longitud de una onda  $\lambda$**  (lambda), es el período espacial de la misma, es decir, la distancia a la que se repite la forma de la onda. Normalmente se consideran dos puntos consecutivos que poseen la misma fase: dos máximos, dos mínimos, dos cruces por cero en el mismo sentido, como se indica en la **Figura 5**.

La longitud de onda es una distancia real recorrida por la onda, lo que no es necesariamente la distancia recorrida por las partículas o el medio que propaga la onda, como en el caso de las olas del mar, en las que la onda avanza horizontalmente y las partículas se mueven verticalmente.

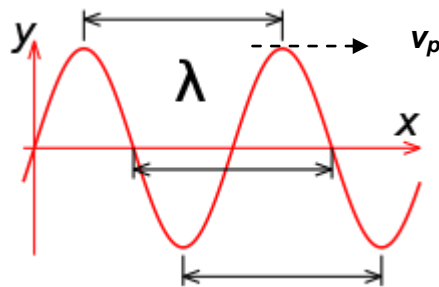
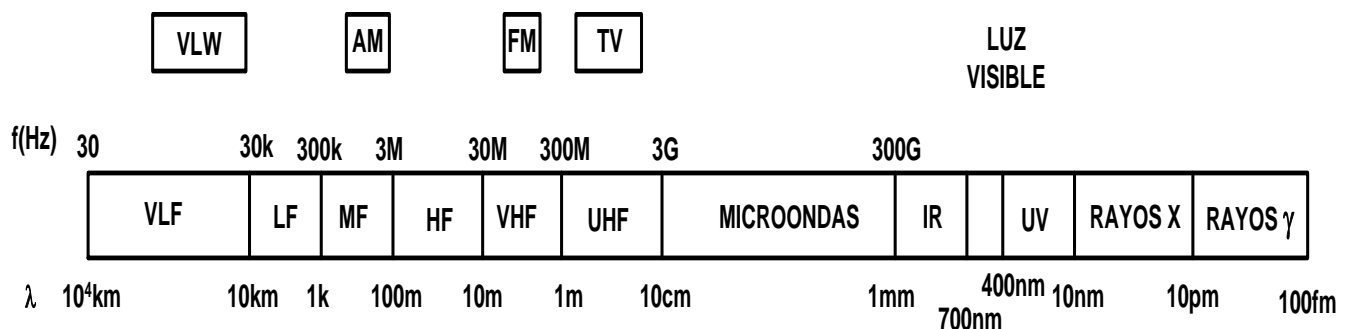


Figura 5.- Longitud de onda en una senoide

La velocidad a la que se desplaza o propaga una onda electromagnética es la velocidad de propagación ( $v_p$ ), la cual es constante en un medio homogéneo y se encuentra tabulada según el medio material por el que viajará. La longitud de onda  $\lambda$  es inversamente proporcional a la frecuencia  $f$  como se indica en la ecuación (1). Si  $f$  baja,  $\lambda$  aumenta y a la inversa si  $f$  sube,  $\lambda$  baja. Para bajas frecuencias la longitud de onda es grande y para frecuencias elevadas la longitud de onda es pequeña, como se observa en la **Figura 6** siguiente.

$$\downarrow \uparrow \lambda = \frac{v}{f} \quad \downarrow \uparrow \quad (1)$$



VLW: Very Large Wave (Ondas muy largas)  
 AM: Ondas de Amplitud Modulada.  
 FM: Ondas de Frecuencia Modulada.  
 TV: Ondas de Televisión.

Figura 6.- Relación entre  $\lambda$  y  $f$

### 1.3.- Índice de Refracción

La refracción tiene que ver con el cambio de velocidad, dirección y sentido que sufre una onda de luz al incidir sobre otro medio. La propagación de la onda **prosigue por el segundo medio**.

**La reflexión se manifiesta en cambio de dirección y sentido** que sufre una onda de luz al incidir sobre otro medio con **n** menor. La propagación de la onda prosigue por el medio inicial, esto es justamente es la base sobre la que se miden las reflexiones en una fibra óptica. Observar las **Figuras 8 y 10** ) siguientes.

La longitud de onda es  $\lambda = c/f$ , donde **c** es la velocidad de la luz en el vacío,  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ , y **f**, la frecuencia de la señal que se quiere transmitir. Cuando el medio en que se propaga una señal es distinto al vacío,  $\lambda$ , la longitud de onda de la señal es afectada inversamente proporcional al índice de refracción de dicho medio (**n**):

$$\lambda' = \frac{\lambda_0}{n} \quad (2)$$

Donde  $\lambda_0$  es la longitud de onda en el vacío, y **n** es el índice de refracción del material, según la **Tabla 1** cada medio tiene su propio índice de refracción, y cuando son utilizados tienen como referencia al vacío. En dicha Tabla se observa que el índice de refracción de cualquier medio o material distinto al vacío es mayor que éste. Es por eso que el **índice de refracción** es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo y toma como referencia al vacío

En consecuencia la velocidad de propagación de la luz en un medio distinto al vacío ( $v_p$ ) es menor a la velocidad de la luz en el vacío (**c**), mientras que **su frecuencia no varía,  $v_p < c$** .

El índice de refracción (**n**) está definido como el cociente de la velocidad (**c**) de un fenómeno ondulatorio como luz o sonido en un medio de referencia respecto a la velocidad de fase ( $v_p$ ) en dicho medio o velocidad de propagación en el medio

$$n = \frac{c}{v_p} \longrightarrow \uparrow \downarrow v_p = \frac{c}{n} \quad (3)$$

Cada medio tiene su índice de refracción propio. El índice de refracción es adimensional.

**Tabla 1**

Materia	Índice de refracción
Vacío	1
Aire (*)	1,0002926
Agua	1,3330
Acetaldehído	1,35
Solución de azúcar (30%)	1,38
1-butanol (a 20 °C)	1,399
Glicerina	1,473
Heptanol (a 25 °C)	1,423
Solución de azúcar (80%)	1,52
Benceno (a 20 °C)	1,501
Metanol (a 20 °C)	1,329
Cuarzo	1,544
Vidrio (corriente)	1,52
Disulfuro de carbono	1,6295
Cloruro de sodio	1,544
Diamante	2,42

(\*) En condiciones normales de presión y temperatura (1 bar y 0 °C)

## 2.- Principios de operación de un OTDR

Un OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) es un reflectómetro óptico en el dominio tiempo que realiza mediciones utilizando pulsos de luz que envía por una fibra óptica, a la  $\lambda$  deseada (ejemplo 3ra ventana: 1550 nm), para luego medir sus “ecos”, o el tiempo que tarda en recibir una reflexión producida a lo largo de la Fibra Óptica por eventos originados en distintos puntos de la misma.

El OTDR envía un pulso de luz de corta duración al dispositivo bajo prueba y mide, en función del tiempo, la señal óptica retrodispersada. A medida que el pulso óptico se propaga a lo largo de la fibra, parte de su energía es retro-reflejada (reflejada en la dirección opuesta a la del haz incidente) debido en gran medida a la dispersión de Rayleigh y a las reflexiones de Fresnel. Las características del haz retrodispersado permiten determinar la magnitud y localización de eventuales zonas de pérdidas a lo largo de la fibra.

Una de las aplicaciones del OTDR es determinar la distancia a la que se producen dichos eventos y la naturaleza de los mismos. En realidad un OTDR mide los tiempos que tarda en llegar un pulso reflejado desde el punto donde produce la reflexión a la entrada del instrumento, luego este tiempo se convierte a distancia, según lo que se observa en el display del OTDR a partir de la **relación (4)** del ejemplo dado a continuación.

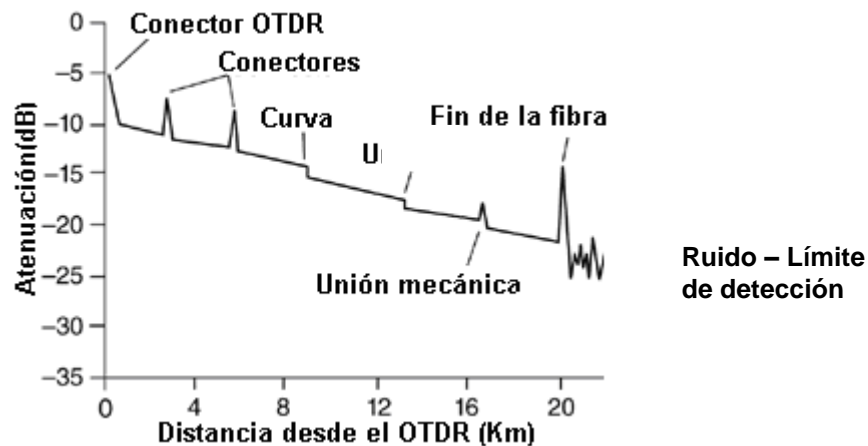
Conectado a un extremo de la fibra a examinar, el OTDR emite **pulsos luminosos**, procedentes de un diodo láser o de un LED, según el tipo de fibra de vidrio, y detecta, con una **alta resolución temporal**, las señales luminosas que devuelve la fibra. El instrumento calcula entonces la **distancia** a la que se encuentra la causa de esa señal devuelta o reflexiones, según el **tiempo** que ha tardado en realizar el viaje de **ida y vuelta donde se ha producido algún evento**.

Al conocer el tiempo se puede medir la distancia a la que se produjo un corte, o la distancia total de un enlace, o la distancia en la se produjo algún evento, como atenuaciones de diferentes tramos, atenuación de empalmes y conectores, atenuación entre dos puntos, etc

Cuando el pulso de prueba inyectado en la fibra de vidrio se encuentra con un conector incorrectamente alineado se produce una reflexión y puede determinarse la distancia **d** a la que ocurrió este evento y que causó la reflexión:

$$n = \frac{c}{V_p} = \frac{c}{\lambda f} \rightarrow \lambda = \frac{c}{n f} \rightarrow d = \frac{c T}{2 n} \quad (4)$$

En la pantalla típica de un OTDR que evalúa una fibra óptica, Figura 7, se visualizan rectas con pendientes negativa producto de la dispersión de Rayleigh, y por saltos generados por conectores, empalmes (unión por fusión), doblados o rupturas, la distancia a la que sucede cada uno de dichos eventos se calcula por la **relación (4)** a partir del tiempo que tarda en ir y volver el pulso incidente para cada evento.



**Figura 7.- Curva de atenuación para un cable de fibra óptica**

Una curva de atenuación típica de un cable de fibra óptica como el que se observa en la **Figura 7**, presenta tres tipos de características: líneas rectas causadas por el efecto de dispersión de Rayleigh, picos causados por reflexiones discretas, Reflexiones de Fresnel, causadas por conectores y empalmes, y por último escalones que pueden ser positivos o negativos por curvatura o doblados. Conectores y cortes, producen un cambio en el índice de refracción en el cable de fibra, y se denominan eventos reflectivos. Éste fenómeno se observa en la curva de atenuación, a manera de picos sobreimpuestos a la señal dispersada. Los eventos no reflectivos, como curvaturas o uniones por fusión, solo presentan pérdidas por inserción, donde parte de la potencia óptica se refleja a través del revestimiento de la fibra.

De manera que el principio de funcionamiento del OTDR se basa en que aprovecha 2 cualidades de la fibra: Esparcimiento de Rayleigh y Reflexión de Fresnel

### **Dispersión o Esparcimiento de Rayleigh:**

Debido a que el material de las fibras no es homogéneo y al estar sus partículas distribuidas aleatoriamente la luz tiende a dispersarse en todas direcciones. El **esparcimiento o dispersión de Rayleigh** se debe a fluctuaciones de concentración y densidad, burbujas en el material, inhomogeneidades y fisuras o imperfecciones de la guía de ondas por irregularidades del núcleo y revestimiento. En este caso se produce una dispersión de la onda electromagnética (como en el caso de las ondas de agua chocando con un obstáculo) que se traduce en una atenuación de la onda incidente.

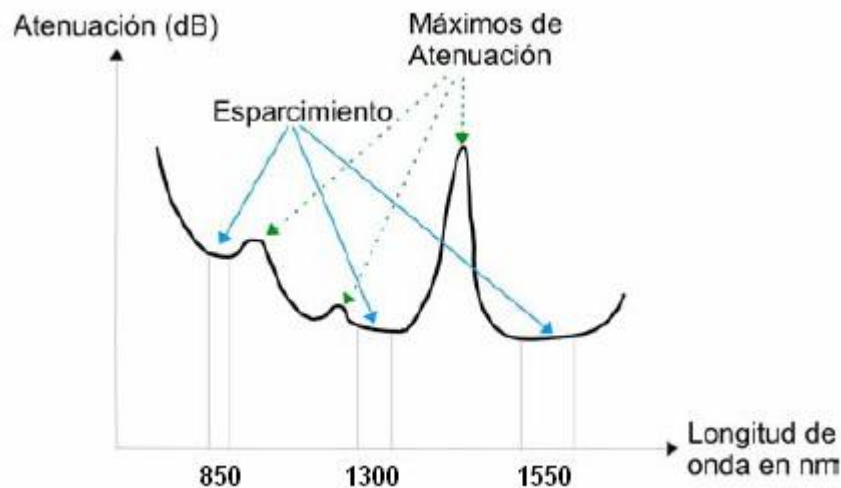


**Figura 8.- Dispersión de Rayleigh**

La dispersión de Rayleigh es un fenómeno que se manifiesta en la naturaleza cuando un haz de luz choca contra una molécula del aire o en otro medio y este se dispersa en todas las direcciones alrededor de dicha molécula.



Es importante el largo de onda a utilizar en el momento de la exploración; ya que se obtendrán resultados diferentes en cada ventana de operación, debido a las distintas atenuaciones en cada una de ellas.

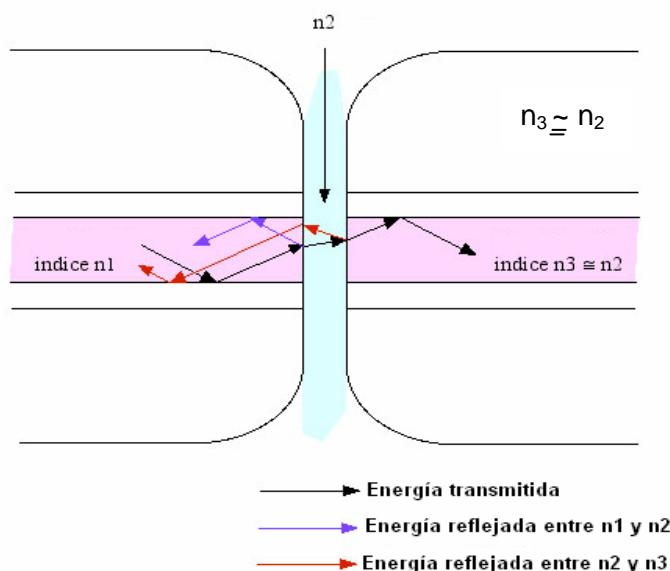


**Figura 9.- Atenuación por Dispersión de Rayleigh a distintas  $\lambda$**

### Reflexión de Fresnel

Son las reflexiones producidas al pasar la luz de un medio a otro, por ejemplo, en conectores y empalmes.

Se produce en los extremos de las FO debido al salto de índice de refracción entre el exterior y el núcleo. Se tiene un valor de reflexión del 3,7%, es decir que la potencia reflejada está 14 dB por debajo de la potencia incidente. Es válido cuando el corte del extremo de la FO es perfectamente perpendicular. De lo contrario, la reflexión disminuye casi a 0% cuando el ángulo llega a 6°. Para disminuir esta reflexión se suele colocar un medio adaptador de índice de refracción. Muchas veces se usan materiales epoxi de idénticas características para unir sólidamente los elementos.



- Sucede cuando hay un cambio de índice de refracción en la fibra.
- La potencia reflejada está dada por

$$P_{\text{REF}} = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$$

**Figura 10. – Reflexión de Fresnel**

## Atenuación

La atenuación de una fibra óptica depende de la longitud de onda  $\lambda$  de la señal y del tipo de fibra.

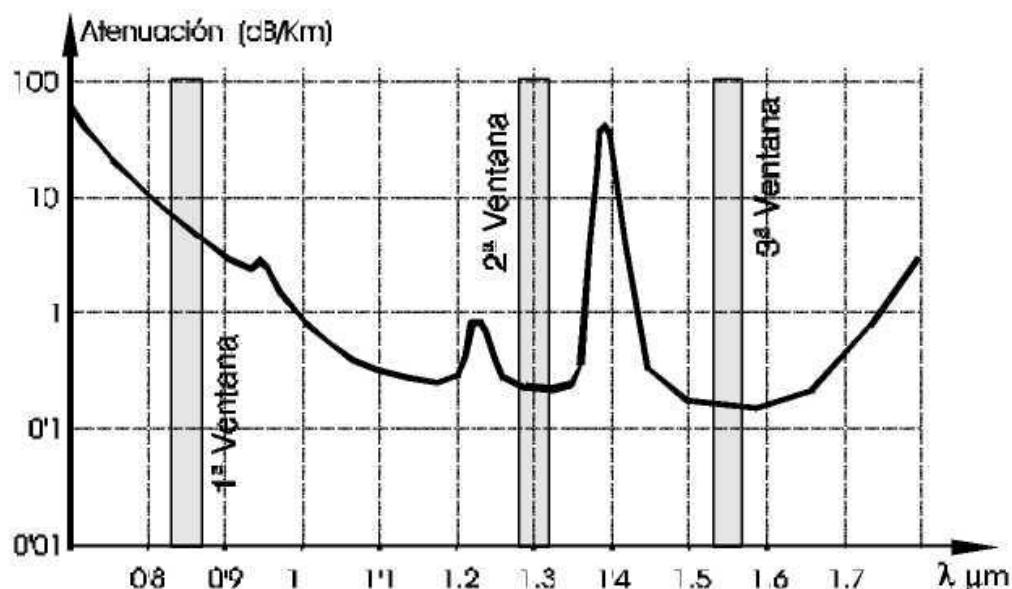


Figura 11.- Atenuación en una fibra óptica en función de la longitud de onda  $\lambda$

En la **Figura 11** se observan las distintas ventanas de transmisión, que son las tres zonas del espectro seleccionadas por presentar condiciones apropiadas para establecer en ellas comunicaciones por fibra óptica en correspondencia con la primera, segunda y tercera ventana.

En la zona correspondiente a  $\lambda = 1550\text{nm}$  (1,55 $\mu\text{m}$ ), las pérdidas son mínimas, entorno a 0.2 dB/km (valor muy próximo al teórico correspondiente a **fibras de sílice** (0.18 dB/km)). Esta zona es la que se conoce como tercera ventana de transmisión o ventana de mínimas pérdidas, teniendo una anchura de aproximadamente 15 THz.

En torno a  $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$  (1310 nm) se observa un mínimo secundario con pérdidas del orden de 0.4 dB/km. Esta banda de longitudes se las conoce como segunda ventana de transmisión o ventana de mínima dispersión, ya que a 1.3  $\mu\text{m}$ , la dispersión en las fibras de sílice es mínima.

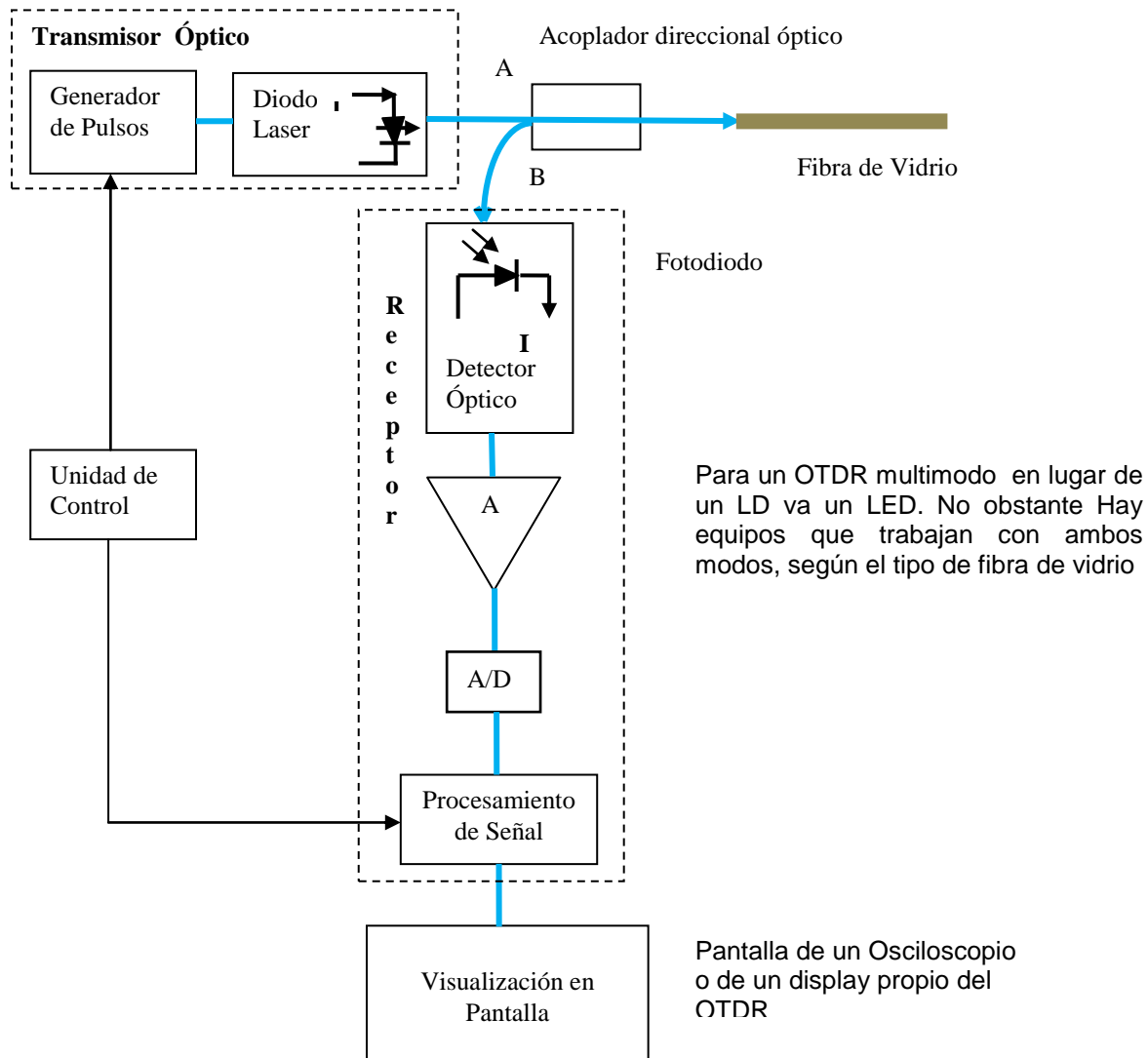
La zona en torno a  $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$  (850nm) es conocida como primera ventana de transmisión, en ella se encuentran pérdidas superiores a las de las otras dos ventanas, del orden de 3-5 dB/km. Fue esta la primera ventana que se empleó en las comunicaciones ópticas debido principalmente a la disponibilidad de fuentes y detectores ópticos sensibles a estas longitudes de onda, si bien en esta zona la mayoría de las fibras convencionales son multimodo y la atenuación medida es para todos los modos.

### 3.- Diagrama en bloques - Esquema de funcionamiento de un OTDR

Se utiliza un generador de pulsos activado por la unidad de control para modular la intensidad de un láser. La señal de prueba convencional es un **pulso cuadrado** con

duración de **entre 5ns y 10µs** que depende de la resolución espacial y la sensibilidad requerida para la medición.

Está equipado con uno o dos láseres de diferentes longitudes de onda (típicamente de 1,310 nm y 1,550 nm) que combina en un solo haz mediante un acoplador para la multicanalización por división en longitud de onda.



**Figura 12.- Diagrama en bloque funcional de un OTDR monomodo**

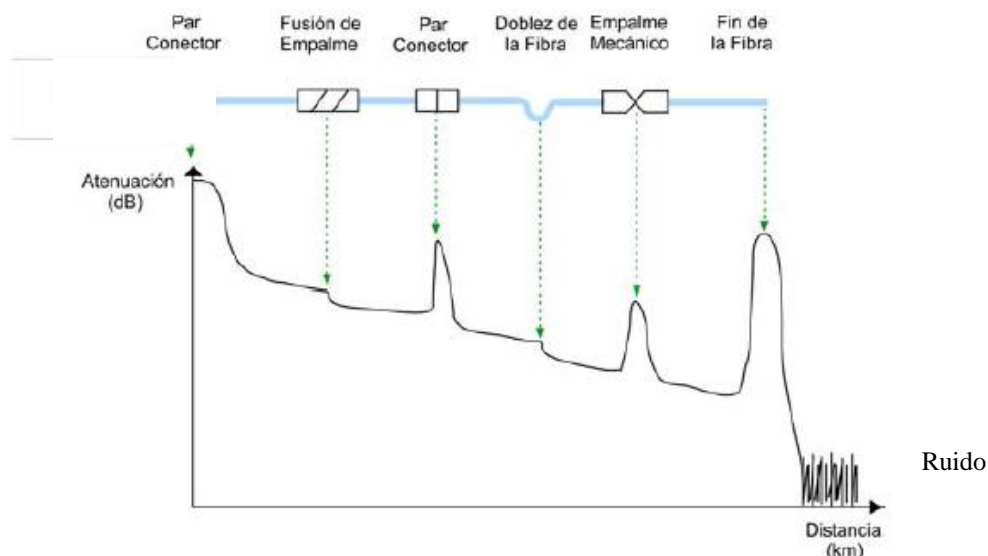
Una forma básica de representar un OTDR es un esquema donde se pueden identificar 5 partes diferenciadas según la función que cumplen, como se indica en la **Figura 12**. La sección de transmisor envía un pulso de luz angosto, previamente seleccionado en la unidad de control según el tipo de fibra de vidrio a estudiar, ese pulso se inyecta sobre un diodo Laser si la fibra a estudiar es monomodo, luego pasa por un acoplador direccional óptico y entra a la fibra de vidrio. Este acoplador evita que la luz potente del transmisor llegue al receptor, mediante un aislamiento adecuado, y al mismo tiempo deja pasar el pulso reflejado en el interior de la fibra. El receptor de luz, vía el detector óptico convierte el pulso de luz en una señal eléctrica la que pasa por un amplificador para darle los valores que pueden ser tratados de manera adecuada por la sección de procesamiento de la señal, en especial para rescatar los niveles de ruido que son de bajo nivel. El procesador, entre otras acciones, convierte la señal de analógica a digital, la almacena en una memoria la convierte de digital a analógica si es necesario por el

tipo de pantalla a utilizar, y según la orden de la unidad de control la presenta en la pantalla. La señal se visualiza en dB/Km en la pantalla de manera similar a la presentada en la **Figura 7)** anterior y en la **Figura 13 )** siguiente.

Para prevenir la saturación del láser por la señal reflejada, la fuente es inyectada a la fibra bajo prueba mediante un acoplador direccional con suficiente aislamiento entre los puertos A y B. El tipo de acoplador más común es el de tipo de fusión a 3 dB con baja sensibilidad en la polaridad y una razón de separación cercana al 50 / 50% a para las longitudes de onda de interés. Así, las pérdidas por el viaje de la fuente al receptor serán de 6dB como mínimo.

La señal de regreso es guiada por el acoplador direccional al fotodiodo o foto detector que puede ser un diodo PIN o un fotodiodo de avalancha (APD) y que actúa como una fuente de corriente para un amplificador de transimpedancia de bajo ruido y con alta linealidad.

Esto requiere que el receptor tenga un alto alcance dinámico junto con una alta sensibilidad. Un convertidor analógico / digital (AD) forma la interfase para el mundo digital en donde los datos medidos son procesados y se calculan los parámetros de la fibra.



**Figura 13.- Gráfico de Interpretación de un OTDR**

Pantalla en la que muestran las distintas atenuaciones que sufre la fibra a lo largo de su recorrido según los eventos que se presentan en la red.

Para el caso de fibra de vidrio del tipo multimodo se debe cambiar el diodo Láser por un diodo LED. No obstante, hay algunos OTDR avanzados que tienen la posibilidad de trabajar de manera dual para fibras monomodo y multimodo. Un caso es el OTDR modelo **KI 6700 HAND HELD OTDR** de Kingfisher International.

En la **Figura 14**, se presenta un esquema de medio de enlace con fibra óptica para la transmisión y recepción de información por dicho medio. Si bien tiene un gran parecido con el esquema de funcionamiento de un OTDR, la diferencia está en que para conocer como se comporta la fibra el transmisor y receptor se encuentran en un mismo lugar.

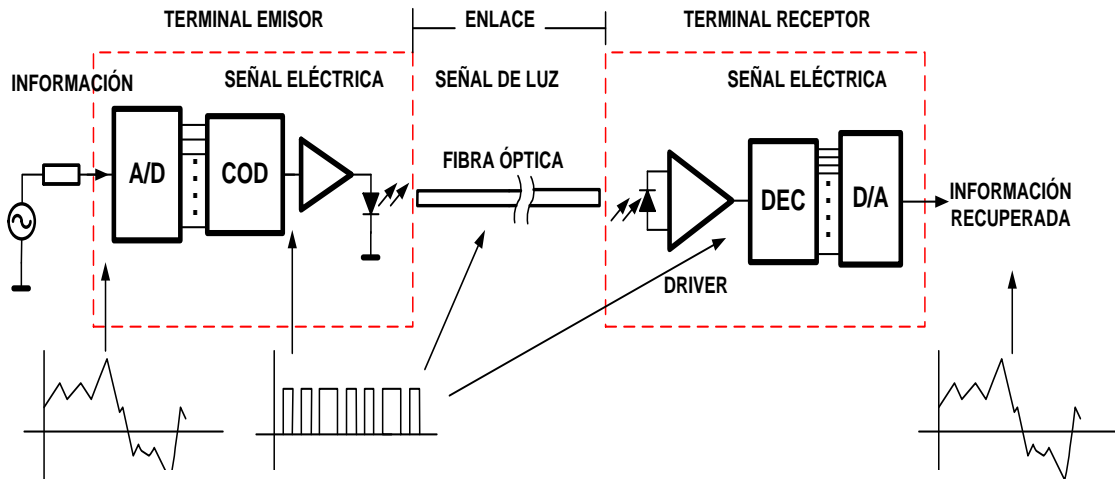


Figura 14.- Esquema de un medio de enlace con fibra óptica

Por último corresponde mencionar que a partir de la potencia generada por un transmisor y entregada a la red de enlace comienzan a surgir pérdidas de potencia debido a diferentes factores antes de llegar al terminal receptor, como se indica en la **Figura 15** siguiente. Por eso es conveniente utilizar un OTDR para el análisis de una red con fibra óptica en forma conjunta con vatímetros que miden la potencia lumínica de una red en funcionamiento.

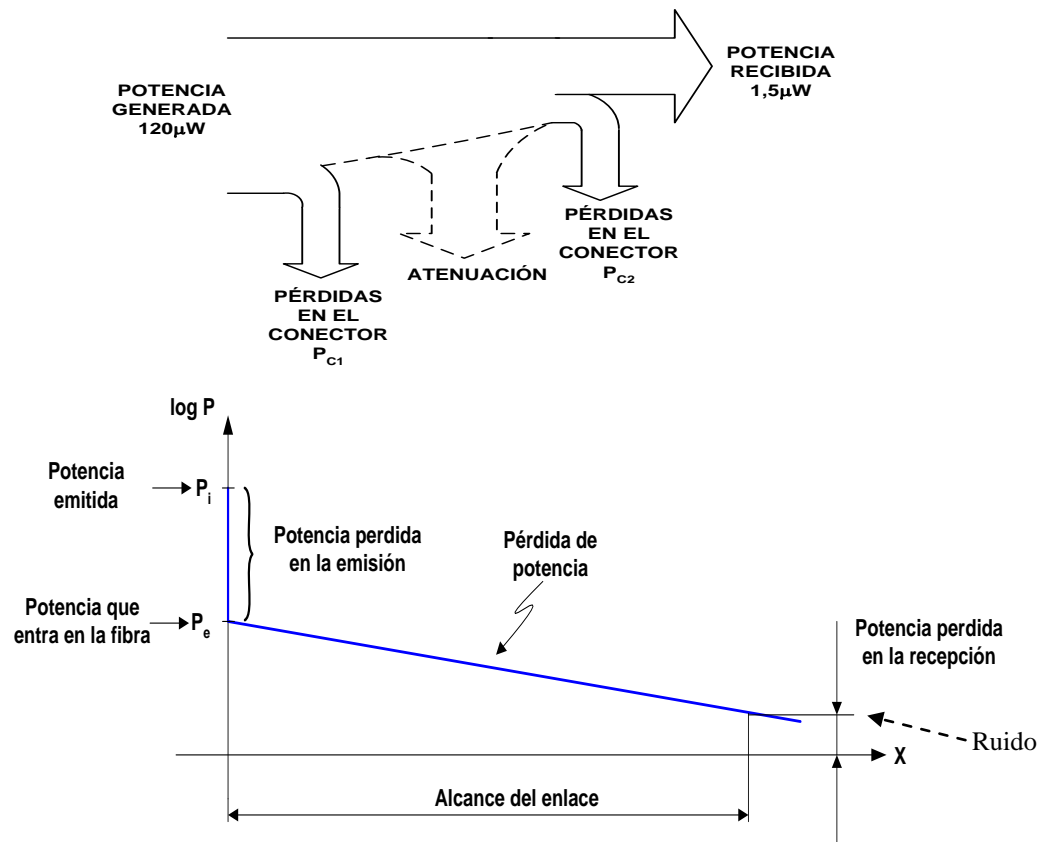


Figura 15.- Gráficos de potencia – atenuación en un enlace con fibra óptica

## 4.- Especificaciones de un OTDR

### Zona Muerta

Es la capacidad de un OTDR para detectar eventos reflexivos espaciados una corta distancia, de manera que si se tienen dos eventos reflexivos muy cercanos, a una distancia crítica inferior a la de Resolución del OTDR, puede que la señal causada por el primer evento no haya finalizado cuando la del segundo empieza a ser significativa. El resultado es que ambos eventos se confunden.

Se denomina Zona Muerta (**Dead Zone, DZ**) o “Resolución de eventos” a la distancia a partir de la cual se comienza a distinguir entre dos eventos próximos.

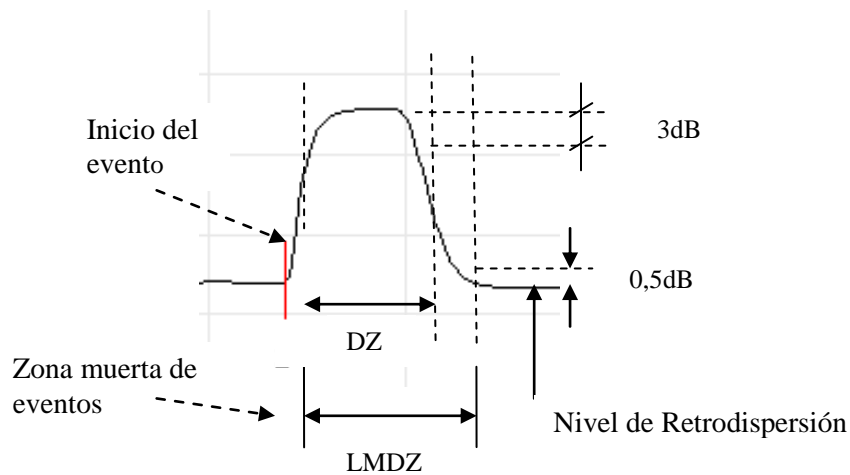
Hay que tener presente este parámetro ya que si se desea medir y caracterizar una red de fibra óptica en una oficina, donde las distancias entre conexiones pueden ser muy cortas, será necesario un instrumento con una DZ muy pequeño.

Por el contrario, si la red que se desea medir es un enlace de larga distancia, donde los empalmes o conexiones se sitúan a varios kilómetros unos de otros, el parámetro será de poca importancia.

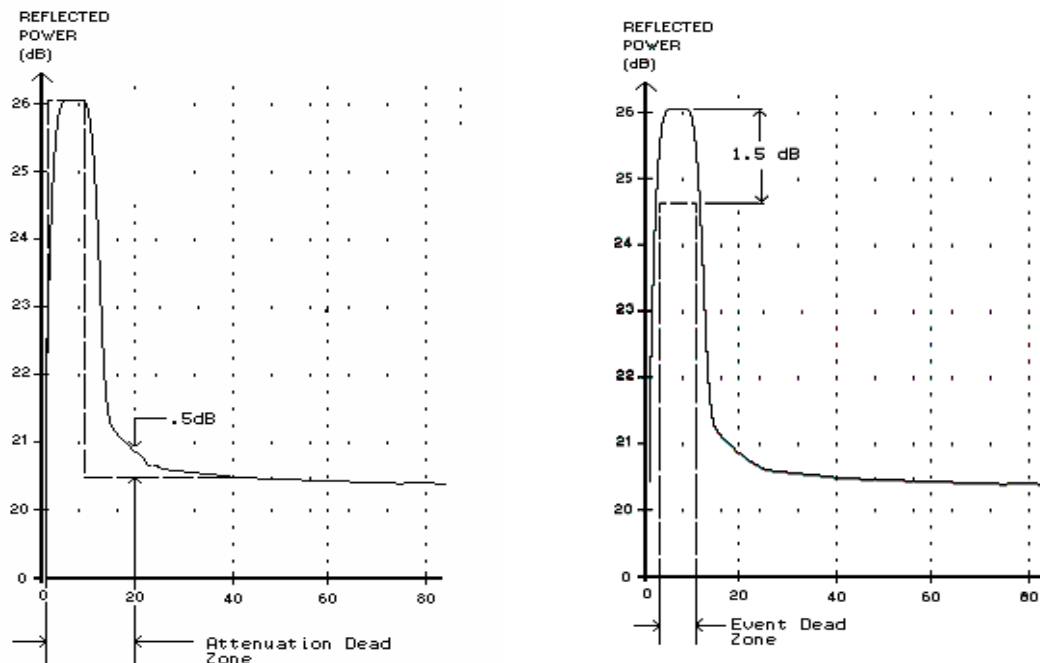
O sea que hay una llamada **zona muerta** donde no se pueden hacer mediciones, debido al ancho de los pulsos transmitidos y al índice de refracción de la fibra. Si una fibra de vidrio tiene  $n=1.5$  y se inyecta un pulso, éste viaja a una velocidad de propagación que surge de afectar por un  $1/n$  a la velocidad de luz. Por lo tanto,  $V_p = C/n = 3 \cdot 10^8 / 1.5 = 2 \cdot 10^8$  m/s, cumpliéndose que la velocidad de propagación es menor que la velocidad de la luz. Ahora bien, en 1 ns, el pulso se propaga  $\lambda = c/n \cdot t = 2 \cdot 10^8 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 20 \text{ cm}$ , por lo que si el ancho del pulso fuera del orden del ns, se enmascararía el pulso reflejado y el OTDR no sería capaz de detectar reflexiones de ese tipo en la zona muerta.

Por otra parte el fotodiodo al recibir un pulso requiere un tiempo para recuperarse de la saturación y esto debe tenerse en cuenta.

Asociado a la zona muerta o de no medición por estar los eventos muy cercanos uno del otro, existe la llamada “Zona muerta de pérdida de medición” (Loss Measurement Dead Zone, LMDZ). Se define como la distancia tras un evento durante la cual no se puede obtener información de la señal del OTDR, debido a limitaciones en el ancho de banda o a saturación del receptor. El parámetro está relacionado con el anterior, aunque aquí se hace referencia a la **medición del segundo evento**, no ya a su simple detección. Es por ello un criterio más restrictivo que la zona muerta. Este fenómeno se observa en la **Figura 16 y Figura 17**.



**Figura 16.- Caracterización de zonas muertas**



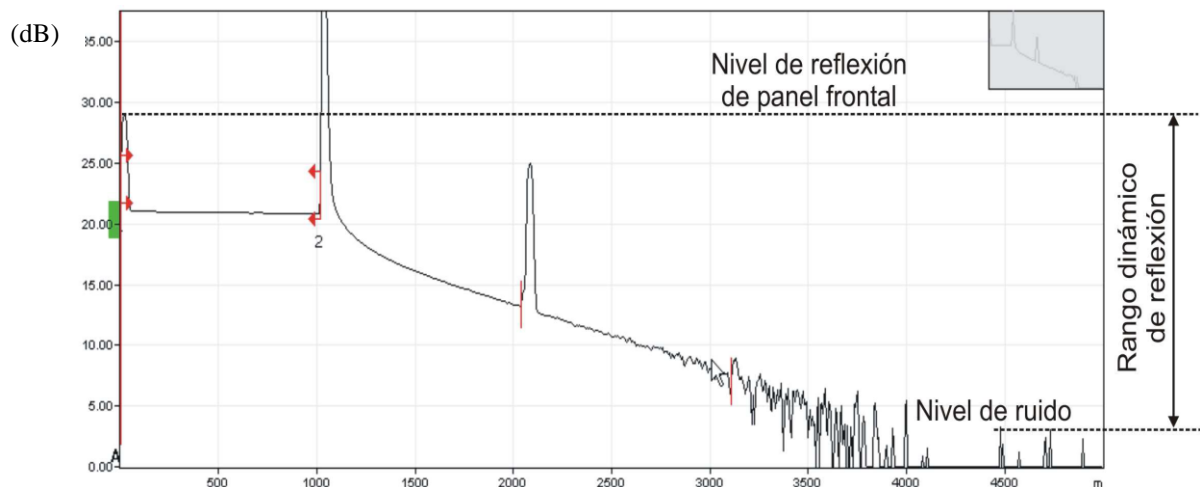
**Figura 17.- El fotodiodo al recibir un pulso requiere un tiempo para recuperarse de la saturación**

La LMDZ puede ser notable si se producen eventos muy reflexivos, ya que el pico de potencia que retorna al OTDR puede ser muy elevado comparado con la potencia detectada por scattering Rayleigh (dispersión de Rayleigh). De esta forma, el detector óptico o el preamplificador se pueden saturar temporalmente y será necesario un tiempo, distancia equivalente en la pantalla del OTDR, para que el detector se recupere.

### **Rango dinámico**

Los eventos que detecta un OTDR son reflexivos, o sea que reenvían o reflejan una parte del pulso luminoso en sentido contrario, hacia el emisor o transmisor. Estos eventos se detectan como un brusco aumento de la potencia recibida (mayor cuanto

mayor sea la reflexión), seguido de una caída (porque la potencia transmitida a partir de ese punto es menor). Como algunos OTDRs presentan problemas de saturación en el detector cuando les llega un exceso de señal procedente de un evento muy reflexivo, hay que tener especial cuidado porque el problema es grave cuando el evento está próximo a la fuente como se indica en la **Figura 18**.



**Figura 18.- Rango dinámico de reflexión ( RDR)**

El Rango Dinámico de Reflexión ( RDR) determina la longitud máxima observable de la fibra y por lo tanto la capacidad del OTDR para analizar alguna conexión en dicha longitud..

El Rango Dinámico de Reflexión (Reflective Dynamic Range, **RDR**) se define como la relación entre la potencia reflejada en un evento reflexivo, cercano al conector del panel frontal del OTDR, y la potencia de ruido del sistema.

Este parámetro determina el rango sobre el cual el OTDR puede realizar medidas de la reflexión producida en ciertos elementos reflexivos como pueden ser los conectores, acoples mecánicos etc.

La medida del RDR ayuda a determinar si el instrumento es capaz de realizar capturas precisas en unas condiciones determinadas. En sistemas de fibra que sean muy sensibles a las reflexiones, será necesario utilizar OTDR con RDR elevado, para asegurar que la reflexión de los diferentes eventos se encuentre por debajo del nivel umbral deseado. En la **Tabla 2** se muestran los valores correspondientes a RDR.

Una definición simple consiste en que la diferencia entre los niveles máximo y mínimo de potencia (en el caso de un OTDR con retrodispersión) es el Rango Dinámico.

### **Resolución de muestreo o espacio mínimo entre muestras**

La resolución es la distancia mínima entre 2 puntos de muestreo adquiridos por el OTDR. Cuanto menor sea dicho espacio, mayor es la resolución y mayor será la precisión, y con ella, la capacidad de descubrir fallas de un OTDR.

Si bien el muestreo, es temporal, se especifica este parámetro como una distancia y no como un tiempo porque ambos están relacionados mediante la velocidad de propagación de la luz en el medio y el índice de refracción del mismo como se indica en la **relación (4)**.



Es la distancia mínima entre dos puntos de adquisición, mientras menor es esta distancia mayor el número de puntos de adquisición entonces mayor exactitud en la información obtenida. Depende del ancho del pulso.

De la relación (4), una resolución de 5 cm, distancia entre muestras, corresponde a un tiempo de muestreo del orden de los microsegundos ( 5  $\mu$ s), para una fibra de vidrio de  $n=1.5$  y  $c= 3 \cdot 10^8$  m/s.

### Precisión

Es la capacidad de la medición de ser comparada con un valor de referencia.

- **Linealidad (Precisión de Atenuación)**

La linealidad del circuito de adquisición determina que tan cercana es la correspondencia entre un nivel óptico y un nivel eléctrico, a través de todo el rango.

- **Precisión de distancia**

La precisión de medición de distancia depende de los siguientes parámetros:

**Índice de grupo:** El índice de refracción se refiere a un único rayo en la fibra, el índice de grupo se refiere a la velocidad de propagación de todos los pulsos de luz en la fibra.

**Error de tiempo base:** Este se debe a la imprecisión del cuarzo, el que puede variar desde 0.0001 hasta 0.00001. Para tener una idea del error de distancia, se tiene que multiplicar este valor incierto por la distancia medida.

### Longitud de onda

La atenuación de fibras ópticas varía con la longitud de onda, y cualquier medición debe ser corregida a la longitud de onda de transmisión o a la longitud de onda central (850, 1310 o 1550 nm). **Ver la Figura 11.**

## 5.- Especificaciones técnicas

**Tabla 2**

Especificaciones	Valores
Longitudes de onda del OTDR monomodo	1310 $\pm$ 20 nm, 1490 $\pm$ 20 nm, 1550 $\pm$ 20 nm and 1625 $\pm$ 20 nm
Longitudes de onda del OTDR multimodo	850 $\pm$ 20 nm and 1300 $\pm$ 20 nm.
Rangos de distancia para el OTDR monomodo	2; 5; 10; 20; 40; 80; 120; 160 and 240 km
Rangos de distancia para el OTDR multimodo	2; 5; 10; 20; 40 and 80 km
Ancho de pulso óptico para el OTDR monomodo	6, 12, 25, 100, 300, 1000, 3000, 10000 and 20000 ns
Ancho de pulso óptico para el OTDR multimodo	6, 12, 25, 100, 300 and 1000 ns
Precisión en la distancia a temperatura de (20 $\pm$ 5) °C	$\Delta L = \pm (0.5 + dL + 3 \cdot 10^{-5} L)$ , m <ul style="list-style-type: none"> <li>• donde dL – resolución de distancia (0.16; 0.32; 0.64; 1.3; 2.5; 5.1; 3.8 y 7.6 m);</li> <li>• L – distancia medible</li> </ul>
Exactitud en la distancia en el rango de temperatura de -10°C a 50°C	$\Delta L = \pm (0.5 + dL + 3 \cdot 10^{-5} L)$ , m <ul style="list-style-type: none"> <li>• donde dL – resolución de distancia (0.16; 0.32; 0.64; 1.3; 2.5; 5.1; 3.8 y 7.6</li> </ul>

	m); • L – distancia medible
--	--------------------------------

## **6.- Tema de Trabajo práctico integrador**

Realizar una comparación de las características técnicas y de prestación de distintos OTDR para fibra monomodo y multimodo. En especial analizar longitud de onda, atenuación, rango dinámico, zona muerta, resolución y precisión. Estudiar distintos acopladores ópticos direccionales, ventajas y desventajas. Diagrama en bloque de OTDR avanzados.

## **7.- Bibliografía**

Escuela Politécnica Superior. Universidad Autónoma de Madrid. Banco 4: Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR): Caracterización de una Línea de Transmisión Monomodo.2010. *Disponible en* <http://www.google.com.ar/B4.pdf>.

Fluke Networks. Ventajas de la comprobación OTDR de redes LAN utilizando bobinas de lanzamiento.2003. *Disponible en* <http://www.google.com.ar/2118503A150.pdf>.

Martín López, Ana Belén. Optimización de un banco de medida de atenuación espectral para fibras monomodo y multimodo. Universidad Politécnica de Madrid. 2007. *Disponible en* <http://www.google.com.ar/memoria.pdf>.

Pérez García, Miguel A. y otros. Instrumentación Electrónica. Editorial THOMSON.2008.

Urrea Duque, Juan Pablo y otros. Técnica no paramétrica para la detección de eventos de atenuación en fibra óptica.2008. **Redalyc Sistema de Información Científica.** Universidad Tecnológica de Pereira Colombia. *Disponible en* <http://www.google.com.ar/84903818.pdf>.

USER MANUAL KI 6700 HAND HELD OTDR. Kingfisher International.2010. *Disponible en* [http://www.google.com.ar/6700\\_User\\_Manual.pdf](http://www.google.com.ar/6700_User_Manual.pdf)

Yokogawa. La importancia de la hoja de especificaciones de un OTDR.2008. *Disponible en* <http://www.google.com.ar/98.pdf>.

Ing. Juan Carlos Colombo  
Prof. Tit. Medidas Electrónicas II  
FRT-UTN  
28/03/2011