

**SEMINARIO DE
FIBRAS OPTICAS UTA
2008**

**Mediciones en fibra
optica**

Victor Hugo Ulloa Duque

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.1.-Continuidad de la Fibra Optica

- La mayor preocupación en la instalación y mantenimiento de los cables de fibra óptica es la continuidad del sistema.
- Si algo ha ido mal con el sistema, es necesario chequear si el cables están habilitados para transmitir las señales. Si lo están, sabremos que hay otros problemas no relativos a las líneas. Si no lo están, es necesario encontrar el sitio de la posible rotura del cable, o de la desconexión de alguno de sus elementos. Sin embargo esos daños no son tan obvios, y a veces la ruta del cable no es tan accesible.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.1.-Continuidad de la Fibra Optica(cont)

- Las primeras soluciones que se dieron a este problema eran pruebas rápidas y no muy convenientes que verificaban la continuidad de la fibra enviando una señal tipo flash a través de ella, y al otro extremo, ver si la luz llegaba. Sin embargo, este tipo de prueba tenía algunos problemas, ya que los rayos de luz tipo flash no se acoplaban eficientemente a la fibra, especialmente a la tipo monomodo, y la poca luz que llegaba a veces no era muy bien distinguida por los técnicos, especialmente en sitios donde había mucha iluminación. Este tipo de prueba puede servir, sin embargo, como una medida emergente, aunque no sea cuantificable. El problema principal es que requiere de al menos dos personas, una en cada extremo.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.1.-Continuidad de la Fibra Optica(cont)

- Hay otros instrumentos disponibles para realizar más técnicamente este trabajo, y algunos sin requerir la presencia de un técnico a cada extremo de la fibra:
- Los indicadores de fallas ópticas envían pulsos de luz a través de la fibra y miden la reflexión que indica una falla. Estos equipos trabajan de forma similar a los OTDRs (Optical Time Domain Reflectometers) descritos en los siguientes capítulos, que pueden localizar fallas.
- Los equipos de medición de Potencia Optica.
- Los identificadores de fibras que indican si una fibra está llevando señal. Trabajan torciendo la fibra y observado la luz que sale fuera de la curva. Un identificador de fallas visibles envía luz visible (roja) a través de la fibra, y mediante inspección visual se aprecia si hay fugas de luz.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.1.-Continuidad de la Fibra Optica(cont)

- En la práctica estos instrumentos pueden usarse en diferentes partes. Los indicadores de luz visible son los más recomendables para fibras en sitios pequeños (como los pozos de revisión), pero son limitados para la búsqueda de fallas en cables externos. Los indicadores de fallas y los OTDRs sobresalen en la detección de fallas de cables aéreos, subterráneos y submarinos.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.2.- Potencia Optica

- es la cantidad más medida en los sistemas de fibra óptica
- La potencia puede ser de salida de una fuente de luz, de salida de un largo cable de fibra, o en cualquier parte de un sistema. La longitud de onda debe ser conocida para que el detector pueda ser calibrado para ese valor.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.2.- Potencia Optica (cont)

- El ciclo de trabajo, o fracción del tiempo en el que la luz se está enviando, debería también ser conocido para interpretar apropiadamente las mediciones del promedio de la potencia. La presunción inicial es que el ciclo de trabajo sea del 50% (mitad prendido, mitad apagado) para modulación digital, pero bajo ciertas condiciones puede ser mayor (por ejemplo, si una serie de unos está siendo enviada con codificación NRZ al transmisor, estaría enviando continuamente a nivel alto).

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.2.- Potencia Optica (cont)

- Normalmente, la potencia es medida donde la luz emerge de una fuente de luz o de una fibra. Los medidores de potencia de fibras ópticas recogen la luz de la fibra a través de un conector óptico, el cual dirige la luz hacia el detector del medidor de potencia.
- La salida del detector se procesa electrónicamente y maneja un display digital que muestra el nivel de potencia en unidades lineales (nanowatios a miliwatios) ó en dB referidos a 1 mW ó a un μW . Los rangos de medición, en la mayoría de equipos, son automáticamente conmutados dentro de su rango dinámico, que tienen un factor típico de 106 y una exactitud de $\pm 5\%$.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.2.- Potencia Optica (cont)

- La medición de la potencia óptica detiene el haz de luz, debido a que es absorbida por el detector. Si se quiere una muestra del nivel de la potencia en una señal transmitida, se necesita incluir un divisor de señal (beamsplitter) que dirigirá una fracción calibrada de la luz al detector y transmitirá el resto.
- Es importante mantener la potencia de entrada dentro del rango dinámico del medidor de potencia. Una potencia excesiva no permitirá una medida correcta y dañará los detectores si es expuesta por largo tiempo. Mientras que una potencia por debajo del rango dinámico no permitirá realizar ninguna medición.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.3.- Atenuacion

- es la más importante de las propiedades de los componentes ópticos pasivos, ya que determina qué porción de la señal óptica se pierde en los componentes y cuanto pasa a través del sistema. Generalmente depende de la longitud de onda, aunque la sensibilidad a la longitud de onda varía mucho entre los componentes de un sistema. En las fibras la variación con la longitud de onda es mayor, en otros componentes es despreciable.
- La atenuación es medida comparando los niveles de entrada y salida (P_{in} y P_{out}) expresada en decibeles:

$$\text{Atenuación} = - 10 \log (P_{out}/P_{in})$$

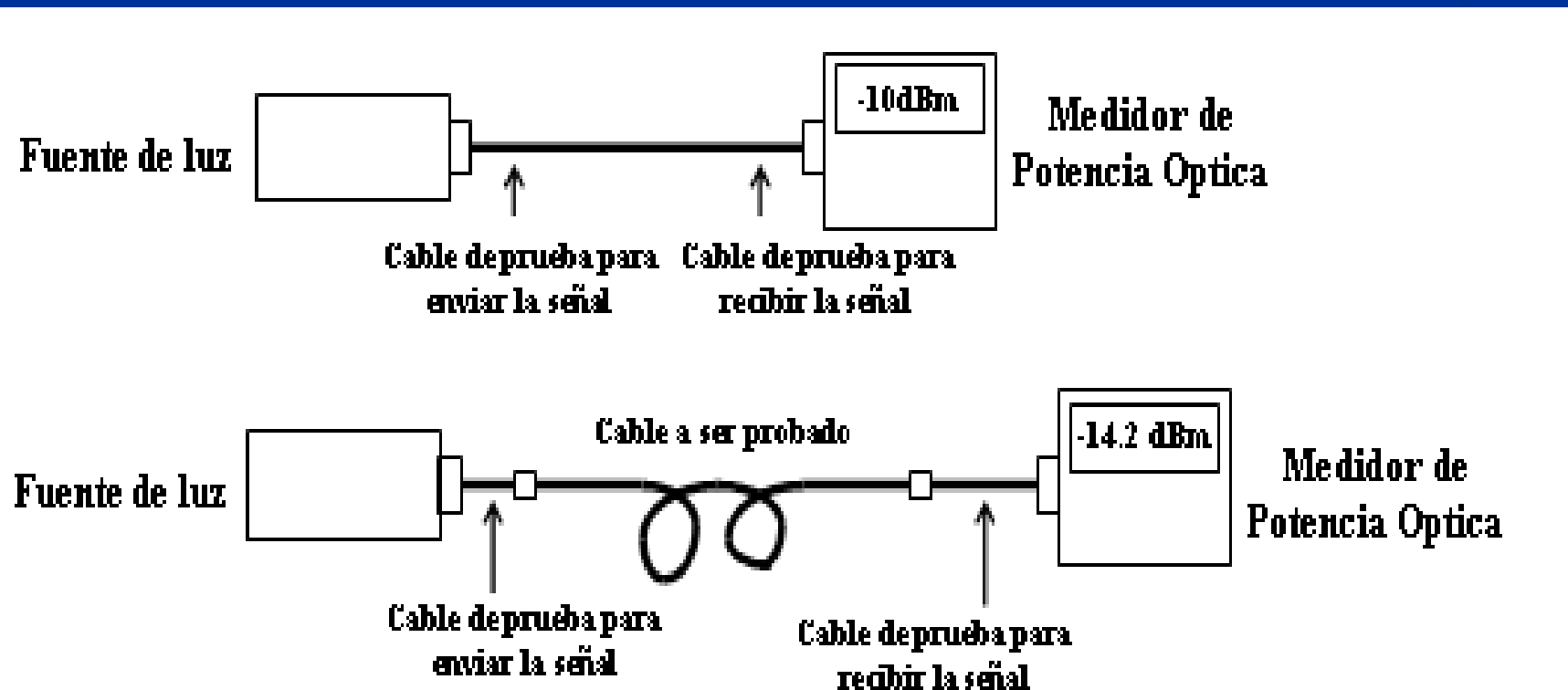
Se agrega el signo negativo para indicar el verdadero valor de la atenuación (que va a disminuir nuestra señal).

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.3.- Atenuacion

- La forma normalizada para medir las pérdidas (ó atenuación) del cable, con un medidor de pérdidas (medidor de potencia óptica) se muestra en la figura:

Calibración:



1.- Mediciones en Fibra Optica

1.3.- Atenuacion

- Primero se conecta la fuente de luz con el medidor, mediante un pequeño cable de fibra óptica de prueba, y la potencia se ajusta a un nivel conveniente (- 10 dBm en este caso). Entonces se añade un corto cable de recepción entre el medidor de potencia y el cable de envío de la señal; se debe verificar un cambio no mayor de 0,5 dB que verifica que el cable de recepción está bien.
- El cable a ser probado se conecta entre los cables de envío y de recepción, y la potencia que se mide (- 14,2 dBm). La diferencia (4,2 dBm) indicará la pérdida total (o la atenuación) producida por el cable sometido a prueba, los conectores, el cable de recepción y los empalmes.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.3.- Atenuacion

- Para requerimientos más precisos, se debe medir la pérdida en ambas direcciones. Pueden darse mediciones ligeramente diferentes en las dos direcciones del cable, debido a las diferencias de acoplamiento entre los conectores.
- Los mismos principios pueden ser usados para medir la atenuación de otros componentes, tales como acopladores, o segmentos de cable instalados en el sistema. Si los terminales de cable están ubicados en lugares distantes, las pruebas pueden ser hechas por los técnicos en ambos extremos, uno con la fuente de luz y otro con el medidor de potencia, ó instalar temporalmente un lazo de cable para enviar la señal de retorno al punto de origen por medio de una segunda fibra. Este método del lazo es mucho menos preciso, ya que se tiene que dividir para dos el valor de la pérdida total.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.3.- Atenuacion

- El instrumento más preciso y conveniente para medir la atenuación del cable y de cada componente, por separado, en una misma medición es el OTDR, cuya descripción se detalla en los capítulos siguientes.
- La técnica del medidor de potencia es adecuada para muchos propósitos, pero no mide precisamente sólo la pérdida de la fibra ya que incluye las pérdidas de los conectores de cada extremo.
- Mediciones más precisas de las pérdidas de la fibra requieren de la técnica llamada “cut-back”, que mide la atenuación de la fibra mediante dos mediciones. La una a la salida de la fibra completa y la otra a 1 ó 3 metros de la entrada (cortando la fibra), sin alterar el acoplamiento fuente-fibra, o sea retirando el resto de la fibra (cutting back), con la misma fuente y con el mismo medidor de potencia.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.3.- Atenuacion

- El método “cut-back” puede ser más exacto para las fibras monomodo, ya que no cambian el modo de distribución a lo largo de la fibra. Para medir con exactitud largos cables de fibra multimodo se usan los filtros modales para eliminar los modos que pueden alterar la medición (modos de orden superior). Sin embargo, no permite medir con exactitud la pérdida de fibras multimodo cortas, que dependen de la propagación de los modos de orden superior.
- Un problema relacionado con las mediciones de atenuación en las fibra monomodo es que la luz puede propagarse cortas distancias en el revestimiento, alterando los resultados en la medición porque se pueden subestimar las pérdidas en el acoplamiento de entrada. Para medir un verdadero valor en la transmisión monomodo y con el acoplamiento, la fibra debe tener al menos 20 ó 30 m.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.4.-Dispersion

- la dispersión de pulso es una característica muy importante de las fibras, que puede limitar el ancho de banda y la tasa de datos
- La dispersion es la suma de la dispersión modal (presente sólo en las fibras multimodo), más la dispersión del material (dependiente del material de la fibra), y más la dispersión de la guía de onda (dependiente del perfil del índice de refracción). Estas tres cantidades dependen a su vez de la longitud de onda, aunque su dependencia es muy débil e indirecta para la dispersión modal.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.4.-Dispersion

- Solamente las dispersiones del material y de la guía de onda están presentes en las fibras monomodo, donde provocan la dispersión cromática que no depende propiamente de de la longitud de onda de operación pero sí del rango de las longitudes de onda a ser transmitidas.
- Algunos instrumentos sofisticados de laboratorio pueden aislar los componentes de la dispersión de la fibra. Sin embargo, en la práctica la principal preocupación está en la dispersión total.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.4.-Dispersion

- La dispersion total puede ser medida directamente en el dominio del tiempo, enviando un pulso corto de señal óptica a través de la fibra y midiendo cuanto se ha ensanchado a la salida. Para esto es muy importante saber la longitud de onda central y el rango de longitudes de onda.
- Para fibras multimodo, es importante saber la distribución modal que ingresa a la fibra.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.5.-Ancho de Banda y Tasa de datos

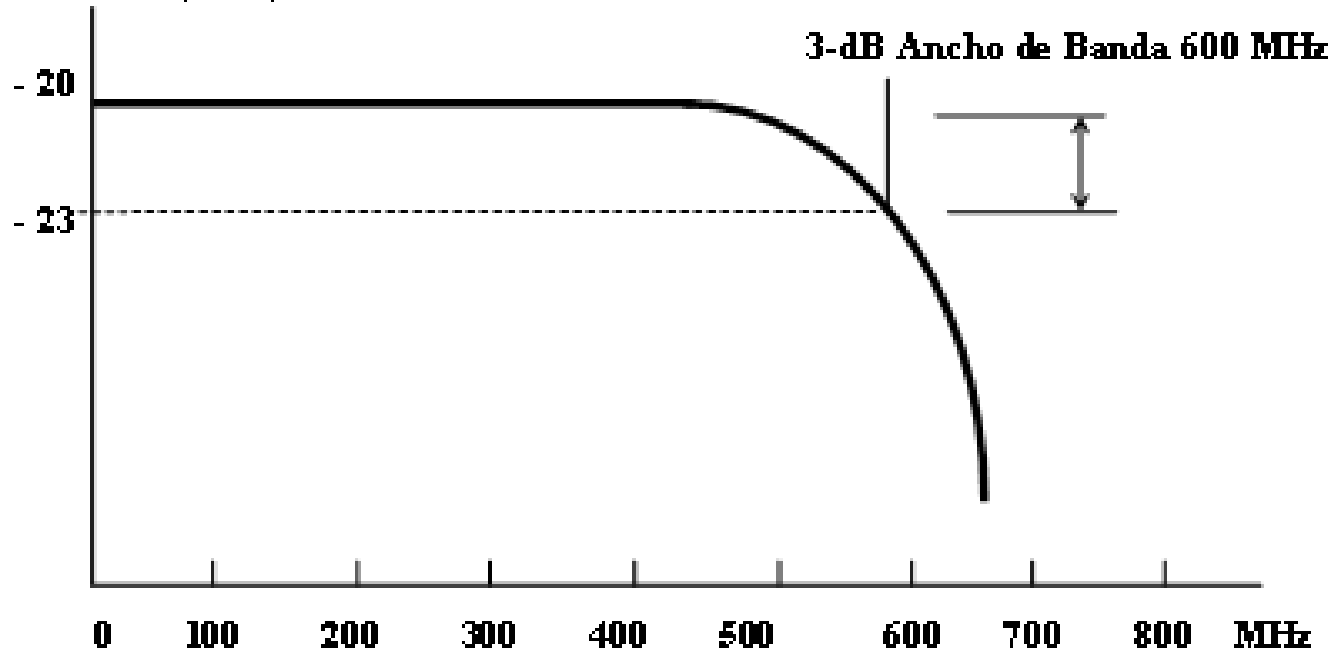
- el ancho de banda en los sistemas analógicos y la tasa de datos en los sistemas digitales son esencialmente la inversa del ancho de pulso. Aunque estas cantidades pueden ser medidas indirectamente como dispersión, también pueden medirse en forma directa.
- Las mediciones de frecuencia pueden ser hechas comparando los niveles de señal a varias frecuencias.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.5.-Ancho de Banda y Tasa de datos

- El resultado es una gráfica del nivel de señal vs. frecuencia, como se muestra en la figura siguiente:

**POTENCIA
RECIBIDA (dBm)**



1.- Mediciones en Fibra Optica

1.5.-Ancho de Banda y Tasa de datos

- Esta gráfica, con el nivel de respuesta sobre un amplio rango de frecuencias decae rápidamente a cierto nivel, característico de los sistemas de fibra óptica. El límite superior del ancho de banda se especifica en el punto en el cual el nivel de la señal ha caído 3 dB.
- La tasa de datos máxima puede ser extrapolada del ancho de banda analógico ó de las características de la dispersión de pulso, ó de otras formas. Un método es estudiar las formas de los pulsos en el diagrama de ojo que se describirá luego. Otra forma de definir la tasa de datos máxima es con la tasa de errores de bits BER dentro de un nivel aceptable, que se describe a continuación.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.6.- Tasa de errores de bits

- ó BER (Bit Error Rate) es un concepto directamente relacionado con el desempeño de muchos sistemas digitales, incluyendo la fibra óptica. La medición del BER está basada en generar una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) de longitud variable para enviarla a través de la fibra, recibirla en un lazo al extremo de la fibra y compararla con la señal enviada.
- Contando todos los bits transmitidos y los errores detectados se obtiene el BER ó los bits recibidos incorrectamente. Este valor nos da una conveniente medida de la calidad del enlace óptico.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.6.- Tasa de errores de bits

- Como podría esperarse, el BER se incrementa si la señal recibida cae, así como cuando el sistema se acerca al límite de su rendimiento, como la tasa de transmisión máxima. La caída del BER es en una proporción de 100 para una subida del nivel de recepción en 1 dBm en ciertos rangos de potencia. Otros factores determinan un mínimo de BER cuando la señal en el receptor es de un nivel adecuado.
- Si llega demasiada potencia al detector, el BER se incrementa nuevamente por la saturación del detector.

1.- Mediciones en Fibra Optica

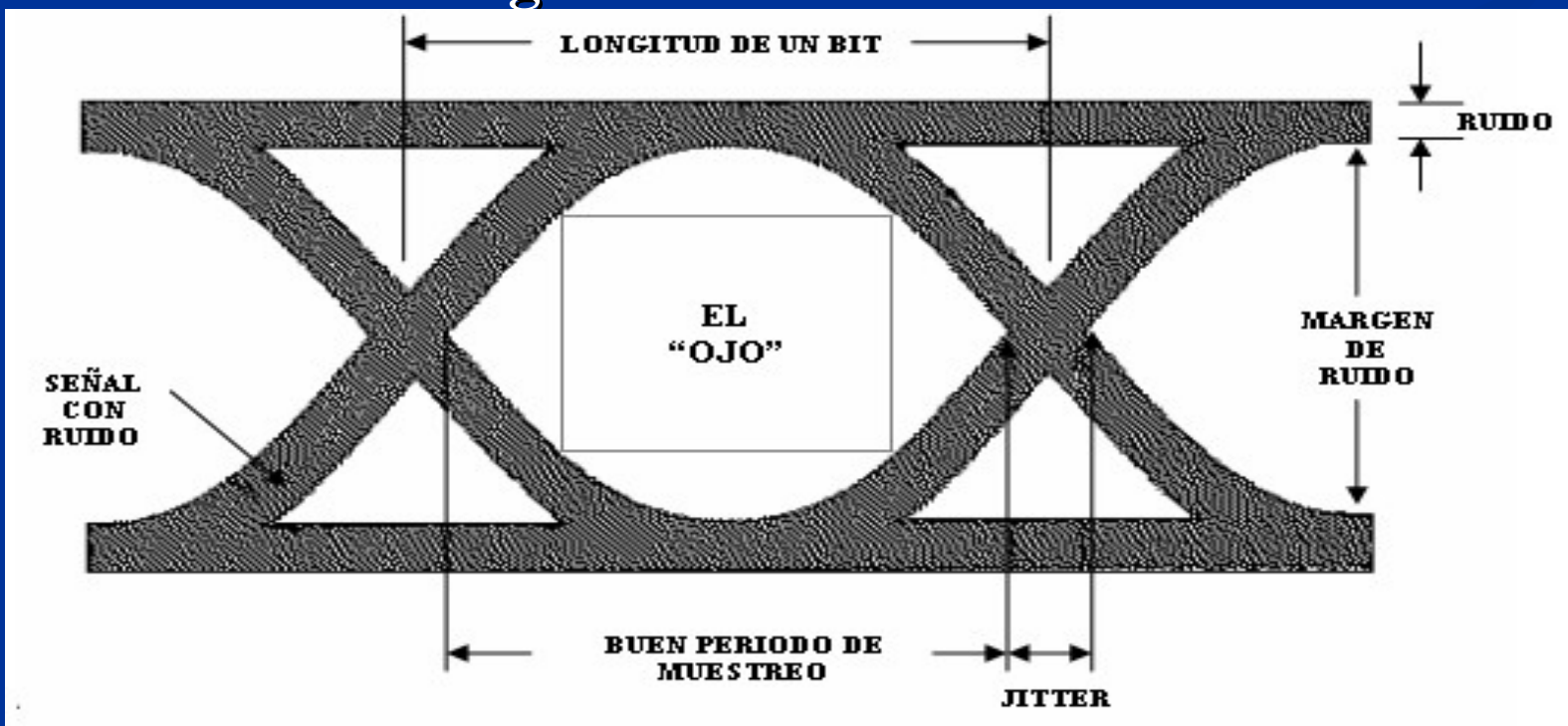
1.6.- Tasa de errores de bits

- Como podría esperarse, el BER se incrementa si la señal recibida cae, así como cuando el sistema se acerca al límite de su rendimiento, como la tasa de transmisión máxima. La caída del BER es en una proporción de 100 para una subida del nivel de recepción en 1 dBm en ciertos rangos de potencia. Otros factores determinan un mínimo de BER cuando la señal en el receptor es de un nivel adecuado.
- Si llega demasiada potencia al detector, el BER se incrementa nuevamente por la saturación del detector.
- Hay diferentes BERs para los distintos usuarios. El límite es típicamente de 1 bit errado en mil millones de bits transmitidos (10^{-9}) para un sistema telefónico de voz, y de 10^{-11} ó 10^{-12} para transmisión de datos.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.7.- Analisis de Diagrama de Ojo

- una forma popular de calcular el desempeño de un enlace digital de fibra óptica en el laboratorio es superponer las formas de onda de una serie de pulsos en un osciloscopio. Esto produce el “Diagrama de Ojo” (Eye Pattern) como se muestra en la figura:



1.- Mediciones en Fibra Optica

1.7.- Analisis de Diagrama de Ojo

- Cada trazo de de pulso dibuja su propio patrón en la pantalla, con el ruido añadido a la señal. Si no hubo ruido, cada trazo seguiría exactamente la misma línea. Mientras hay más ruido, más varía la señal, y el grueso de la línea crece verticalmente. Si el jitter aumenta, el grueso de la línea crece horizontalmente.
- En resumen, el diagrama de ojo mide la repetibilidad de los pulsos que llegan al instrumento. La mejor calidad de transmisión y la señal recibida más uniforme corresponden a la apertura del ojo, mientras más abierto está el ojo, mejor es la calidad de la transmisión. Si el ojo empieza a cerrarse, indica que hay errores de transmisión, y los bits sucesivos empiezan a interferirse.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.8.- Campo modal y diametro del nucleo

- los diámetros del núcleo pueden variar según las tolerancias del fabricante.
- Adicionalmente, el diámetro del campo modal ó diámetro de la región ocupada por la propagación de la luz en la fibra monomodo, es un poco mayor que el diámetro del núcleo. Estas cantidades pueden ser medidas.
- El campo modal y el diámetro del núcleo, en la práctica, dependen de la distribución de la luz, y las mediciones se basan en esa variable.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.8.- Campo modal y diametro del nucleo

- Una aproximación consiste en observar la distribución espacial de la luz cerca y lejos de la fibra (patrones de intensidad de campo cercano y de campo lejano). Estas distribuciones de la potencia óptica pueden ser usadas para calcular el diámetro del núcleo.
- Una cantidad importante, relacionada las fibras monomodo y multimodo es el perfil del índice de refracción ó el cambio de índice con la distancia del eje central del núcleo. Este se mide en la misma forma que para los diámetros del campo modal y del diámetro del núcleo.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.9.- Apertura numerica y angulo de aceptacion

- la AN (Apertura Numérica) mide cómo la luz es recogida por una fibra óptica y cómo se ensancha luego de salir de la fibra. La AN mide el ángulo, pero no directamente en grados o radianes. Aunque la AN es ampliamente usada para caracterizar la fibra, no es medida exactamente como AN, pero el ángulo de aceptación para cada AN puede ser deducido.
- Estos dos valores son muy importantes para las fibras multimodo. La medida de la AN depende de la distancia de fibra que ha atravesado la luz, debido a que los modos de transmisión altos incluyen pérdidas. La medida de la AN puede ser mayor para fibras más cortas, que acarrean el complemento de los modos altos. Las mediciones son hechas observando la luz que sale de la fibra.

1.- Mediciones en Fibra Optica

1.10.- Longitud de onda de corte

- es la longitud de onda en la cual la fibra empieza a acarrear un segundo modo de guía de onda, es una importante característica de las fibras monomodo. La medida efectiva de la longitud de onda de corte difiere ligeramente de la teórica calculada del diámetro de la fibra y del perfil de índice de refracción. Como en el diámetro del núcleo y del campo modal, es una medición de laboratorio más que de campo.