



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGON**

**“CONFIGURACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE EQUIPO OTDR JDSU  
EN REDES GPON”**

# **TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
PRESENTA:**

**VAZQUEZ MENA LETICIA IVON**

**ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS**

**San Juan de Aragón, Estado de México, Febrero de 2013**





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.



<b>ÍNDICE</b>	<b>I</b>	
<b>OBJETIVO</b>	<b>IV</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>VI</b>	
<b>CAPITULO 1 : ESTRUCTURA, GENERALIDADES Y FUNCIONAMIENTO DE UNA RED GPON</b>	<b>1</b>	
1.1	CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA OPTICA	3
1.2	TIPOS DE FIBRA OPTICA	7
1.3	ÁNGULO DE ACEPTACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA, INDICE DE REFRACCIÓN, INDICE DE REFLEXIÓN.	18
1.4	MODELOS MATEMATICOS.	22
1.5	ANCHO DE BANDA Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	37
1.6	ESTRUCTURA DE UNA RED PON	44
1.6.1	MODULO OLT (Óptica Line Terminal – Línea Óptica Terminal)	47
1.6.2	DIVISOR ÓPTICO (Splitter)	49
1.6.3	ONU (Optical Network Unit – Unidad Óptica de Usuario)	50
1.6.4	CANAL DESCENDENTE DE UNA RED PON	53
1.6.5	CANAL ASCENDENTE DE UNA RED PON	53
1.6.6	VENTAJAS DE LAS REDES ÓPTICAS PASIVAS PON	54
1.6.7	ESTÁNDARES DE UNA RED PON	56
1.7	TIPOS DE REDES DE FIBRA ÓPTICA DEL OPERADOR TELEFÓNICO PROPUESTO	58
1.8	RED ÓPTICA SECUNDARIA	60
1.9	DISEÑO DE LA RED ÓPTICA SECUNDARIA.	61
1.10	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE DISPERSIÓN	63



<b>CAPÍTULO 2: EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS EN REDES GPON</b>	<b>65</b>
2.1 EQUIPO OTDR-EXFO	70
2.2 OTDR OPTIFIBER PRO DE FLUKE NETWORKS.	74
2.3 FUENTES DE LUZ	76
2.3.1 FUENTE DE LUZ ESTABILIZADA	76
2.4 MEDIDOR DE POTENCIA ÓPTICA	77
2.5 MICROSCOPIO ELECTRONICO	79
2.6 IDENTIFICADOR DE FIBRA ÓPTICA	86
<b>CAPÍTULO 3 CONFIGURACIÓN DE EQUIPO OTDR-JDSU DE ACUERDO A LAS NORMAS G652 Y G657</b>	<b>89</b>
3.1 OTDR (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo)	90
3.1.1 MÉTODO DE RETRODISPERSIÓN	92
3.1.2 BOBINA DE PRUEBA O DE LANZAMIENTO	92
3.1.3 EVENTOS DE LA RED ÓPTICA PASIVA EN EL OTDR	95
3.1.4 CONFIGURACIÓN DE RANGO	95
3.1.5 ANCHO DE PULSO & RANGO DINÁMICO	98
3.1.6 ZONA MUERTA	99
3.2 VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA RED ÓPTICA PASIVA	100
3.3 DIAGNÓSTICO DE TRAZO	105
3.4 OBRAS CON FIBRA OPTICA	106
3.4.1 CABLES	106
3.5 PRUEBAS OPTICAS	109
3.5.1 PRUEBAS PUNTO A PUNTO	109



3.6	PRESUPUESTO DE PÉRDIDA	112
3.7	PRUEBAS DE RETRODIFUSIÓN	113
3.8	PRUEBAS POR INSERCIÓN	114
3.8.1	EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS	116
3.9	CONFIGURACIÓN Y PRUEBA A LAS FIBRAS DEL CABLE PRINCIPAL	117
3.10	PANTALLAS DE CONFIGURACIÓN DEL OTDR-JDSU	121
<b>CONCLUSIÓN</b>		<b>150</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>152</b>
<b>GLOSARIO</b>		<b>153</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>156</b>



**OBJETIVO:**

**"CONFIGURACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO  
OTDR JDSU EMPLEADO EN REDES PASIVAS  
OPTICAS CON CAPACIDAD DE GIGABITE (GPON)"**



## Justificación

El siguiente trabajo de tesis tiene como objetivo tomar en cuenta temas y conceptos fundamentales que nos permitirán conocer las fibras ópticas ya que son el elemento principal en un sistema de transmisión que haya sido implementado y utilizando la tecnología PON (Passive Optical Network, Red Óptica Pasiva), este tipo de red les permite a los usuarios contar con un mayor ancho de banda y mejores servicios al poseer un acceso por medio de Fibra Óptica.

Además se puntualizaran las ventajas que se tiene en este tipo de redes, como el por que esta red permiten remplazar los elementos activos en una red por elementos pasivos, lo que permite que los costos de la red se reduzcan en un gran porcentaje. Las redes PON son usadas preponderantemente para redes FTTH (Fibra hasta la Casa).

Así mismo se abarcaran las características de los equipos que se están implementando en la actualidad para detección de fallas en redes de fibra óptica, tales como el OTDR (Optical Time Domain Reflectometer, Reflectometro Óptico en el Dominio del Tiempo), así como la configuración de este mismo, que nos ayudara a saber si una red de fibra óptica cuenta con la calidad necesaria para estar en funcionamiento, o bien si ya esta hecho el enlace de fibra óptica identificar las fallas de manera rápida y saber en que parte de la red con la mayor precisión se encuentra.

## Planteamiento del problema

El interés de hacer este trabajo de tesis, se presenta como inquietud en tener un documento de apoyo que muestre el funcionamiento del equipo OTDR-JDSU que por ser un equipo con tecnología relativamente nueva, no se cuenta con referencias, el problema en si se presenta cuando se tiene que utilizar el equipo OTDR-JDSU por primera vez contando solamente con copias de integración del proveedor y con la



experiencia por parte del personal dedicado a la utilización de este equipo en trabajo de campo.

### **Hipótesis**

Este trabajo servirá como un apoyo referencia en el manejo del equipo OTDR-JDSU para redes GPON, ya que se pretende que sea un soporte para el lector de tal manera que cuando lo llegue a utilizar pueda saber su funcionamiento y como configurarlo de acuerdo a los lineamientos del carrier que solicite su utilización.



## INTRODUCCIÓN

En el desarrollo del presente Trabajo de Tesis, se tocarán temas y conceptos fundamentales de las fibras ópticas que son elementos principales en una red de fibra óptica, así como las características y elementos de un sistema de Fibra Óptica, lo cual nos permitirá tener un panorama más amplio de lo que es la fibra óptica.

Como sabemos las redes ópticas han evolucionado en los últimos años. Esto se debe principalmente a la inversión en nuevas tecnologías de fibra óptica y la optimización de la infraestructura con la que se transportan los datos.

Por lo que las redes de fibra óptica surgen como la gran solución al problema de la velocidad de transmisión debido a tres aspectos en concreto:

- Un ancho de banda mucho más grande por parte de los clientes.
- El descenso continuo de los precios de los láseres.
- Calidad de servicio

Las Redes Pasivas Ópticas Gigabit (GPON), por su estructura parecen ser la perfecta solución tecnológica para satisfacer la demanda de ancho de banda que el cliente requiere para que se les proporcione servicios de Triple Play, hasta su domicilio.



Las empresas NTT, en Japón, Verizon y AT&T en EU, han demostrado que esta solución permite bajar los costos de mantenimiento de la red así como permitir un crecimiento de la misma en cuanto a la demanda de ancho de banda que el cliente requiere día a día.

La conexión de los clientes a su red es más fácil y económica que las opciones tradicionales de cobre.

La Red Óptica Pasiva Gigabit (GPON o Gigabit-Passive Optical Network en inglés) fue aprobada en los años 2003-2004 por UIT-T en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.984.5. Todos los fabricantes de equipos deben cumplirla para garantizar la interoperabilidad. Se trata de las estandarizaciones de las redes PON a velocidades superiores a 1 Gbps.

Una red PON permite eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente introduciendo en su lugar componentes ópticos pasivos (divisores ópticos pasivos) para guiar el tráfico por la red, cuyo elemento principal es el dispositivo divisor óptico (conocido como Splitter). La utilización de estos sistemas pasivos reduce considerablemente los costos y son utilizados en las redes FTTH (Fiber To The Home).

De manera análoga se puede observar cómo ha evolucionado la conexión desde la central hasta el cliente.



Esta evolución ha sido:

- 1.- Desde la central hasta el domicilio del cliente con par de cobre.
- 2- Desde la central hasta un distrito cercano al domicilio del cliente con FO, y al cliente con cobre.
- 3.- Desde la central hasta el domicilio del cliente con FO.

En la construcción, operación y mantenimiento de enlaces de fibra óptica se requieren de mediciones técnicas para verificar las características de los mismos, desde cada uno de sus componentes, hasta la transmisión de la información a través del cable de fibra óptica.

Por lo cual es necesario contar con Equipos adecuados como lo es el OTDR-JDSU (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo), que nos permitan realizar las mediciones necesarias para verificar de manera correcta la calidad de los enlaces de Fibra Óptica, entre las cuales esta la medición de distancias y eventos en las fibras ópticas desde uno de sus extremos.

El funcionamiento del OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) consiste básicamente, en inyectar un pulso de luz láser a una fibra bajo prueba.

En el **Capítulo 1** veremos la estructura de la fibra óptica así como las partes que la componen y la importancia de estas para su funcionamiento óptimo, conoceremos de manera más específica cada una de estas y se abordarán las características básicas



de la fibra óptica como un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos, por lo que se describirá el tema de las nuevas redes en telecomunicaciones llamadas GPON, también veremos las cualidades que estas redes nos proporcionan al usarse para la transmisión de datos, analizaremos cuales son sus ventajas y desventajas en cuanto al sistema de transmisión de esta.

Además analizaremos algunas de las leyes que rigen la transmisión de datos efectuada por GPON (Gigabit Passive Optical Network) como lo son:

La ley de Snell que es una relación trigonométrica que nos permite evaluar el ángulo de entrada adecuado, en función de los índices de refracción, para lograr la refracción y la reflexión total interna del rayo de luz que incide en la fibra óptica.

El teorema de muestreo es una operación básica para diseñar todos los sistemas de modulación de pulsos es el proceso de muestreo, donde una señal analógica se convierte en una secuencia de números que normalmente están uniformemente espaciados en el tiempo. Para dicho proceso es necesario elegir la tasa de muestreo adecuadamente de modo que esa secuencia de números identifique de forma única a la señal analógica original

En el **Capítulo 2** veremos algunos de los principales equipos de medición empleados en las redes de comunicaciones por fibra óptica, como lo es el Microscopio óptico digital es cual es una de las herramientas primordiales para la construcción de una red de transmisión de datos por GPON, ya que esta nos permitirá analizar a detalle la limpieza de nuestra fibra óptica, siendo así la limpieza una de los aspectos mas significativos que tendremos que cuidar con este tipo de redes, veremos las



diferencias entre los mejores microscopios que actualmente se encuentran en el mercado y cuales son las características que ofrece cada uno de ellos.

De igual forma conoceremos el medidor de potencia el cual nos permite realizar mediciones absolutas, que son las que se hacen directamente en amplificadores y receptores, y las relativas las cuales miden atenuación, pérdidas o ganancias en una red de fibra óptica.

También veremos uno de los equipos mas completos utilizados para la construcción de redes de fibra óptica así como para su reparación de estas el cual es el OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), de igual forma que se analizaron los microscopios veremos el funcionamiento del OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), y cuales son las bondades de este al utilizarlo para la detección de fallas dentro de las líneas de transmisión y construcción de redes GPON (Optical Time Domain Reflectometer), ya que este equipo contiene un microscopio óptico digital incluido, y un medidor de potencia.

En el **Capítulo 3** se dará una introducción de lo que es un equipo OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), como sabemos en la construcción, operación y mantenimiento de enlaces de fibra óptica se requieren de mediciones técnicas para verificar las características de los mismos así como su funcionamiento, para poder optimizar de manera mas amplia los enlaces de fibra óptica, por lo cual es importante que el personal que va a utilizar este equipo tenga los conocimientos necesarios para configurarlo de tal manera que pueda localizar de forma mas rápida y eficiente las fallas dentro de la red de fibra óptica por lo que se ejemplificará con algunas configuraciones del equipo OTDR-JDSU de manera mas especifica, lo que ayudara a entender la forma mas adecuada y rápida el funcionamiento del equipo OTDR-JDSU.



## **CAPÍTULO 1: ESTRUCTURA, GENERALIDADES Y FUNCIONAMIENTO DE UNA RED GPON**

El presente capítulo tiene como objetivo introducir al lector en el Tema de Comunicaciones empleando como medio de transmisión la Fibra Óptica, contemplando la estructura de esta, así como las partes que la componen y la importancia de estas para su funcionamiento óptimo.

Hablaremos de manera específica de cada una de las características básicas de la Fibra óptica ya que estas son primordiales para llevarse a cabo una óptima transmisión de datos. Se realizará un análisis de las cualidades que nos proporcionan estas redes, para así tener en cuenta cuales son las ventajas y desventajas de trabajar con una red de transmisión de datos de alta velocidad por medio de fibra Óptica.

A su vez se describirá el tema de las nuevas redes en telecomunicaciones llamadas GPON (Gigabit Passive Optical Network), ya que al ser un tema de nueva tecnología no hay información en el mercado la cual pueda ayudar al lector a comprender mejor el funcionamiento de este tipo de Redes.

Además al ser una Tesis de Nivel Ingeniería es necesario dar un sustento matemático y proporcionar al lector las leyes físicas que rigen la transmisión de datos por fibra óptica, para que de esa manera cualquier lector tenga mayor facilidad de comprender algunos criterios que se analizaran en los capítulos siguientes.



De esta manera al llevarse a cabo un análisis matemático se sustenta porque son necesarias estas bases para poder desarrollar debidamente los capítulos sucesivos a este, algunas Leyes que analizaremos son las siguientes:

La ley de Snell, la cual es una relación trigonométrica que permite evaluar el ángulo de entrada adecuado de un rayo incidente, en función de los índices de refracción de los materiales por los que este fluya, para así lograr la refracción y la reflexión total interna del rayo de luz que incide en la fibra óptica.

El teorema de muestreo, ya que al ser una tesis basada en un tipo de tecnología para la transmisión de datos es importante analizar los sistemas de modulación de pulsos, que es el proceso de muestreo, donde una señal analógica se convierte en una secuencia de números que normalmente están uniformemente espaciados en el tiempo. Para dicho proceso es necesario elegir la tasa de muestreo adecuadamente de modo que esa secuencia de números identifique de forma única a la señal analógica original.

Al concluir este capítulo el lector comprenderá las bases para la transmisión de datos por Fibra Óptica en una Red GPON (Gigabit Passive Optical Network).



## 1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA OPTICA

La fibra óptica es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; es un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total.

Ahora bien una fibra óptica puede definirse de forma simple como una guía de onda compuesta por un núcleo, un revestimiento y rodeada de una cubierta protectora como se muestra en la figura 1.1.

Cada filamento consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de Silicio y Germanio) con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor.

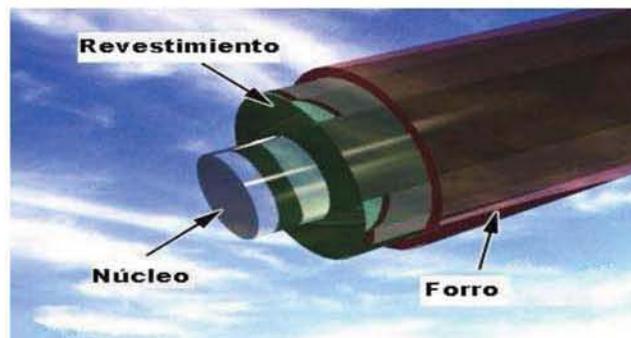


Figura 1.1 Fibra Óptica.



- Núcleo: Es la sección central y principal, en la que viaja la señal lumínica óptica. De acuerdo a la colocación de los materiales en el núcleo, se tienen dos tipos de “perfil de índice de refracción” principal: escalonado y gradual.
- Revestimiento: Es la capa que rodea al núcleo, y su objeto es el de actuar como una pantalla reflejante que atrapa los rayos de luz en el núcleo. Para lograrse este objetivo, el índice de refracción del revestimiento es ligeramente menor que el del núcleo.
- Anillo: Existe, en algunos tipos de fibra óptica, entre el núcleo y el revestimiento. Por ejemplo, en fibras de perfil de índice de refracción segmentado.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio y superiores a las de un cable convencional. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.

La función de la fibra óptica es la conducción de una señal luminosa generada por un láser o un Led.



TABLA 1.1 VENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA.

Ventajas	Descripción
<b>Alta capacidad de transmisión</b>	<p>Las fibras ópticas pueden transmitir grandes volúmenes de información a altas velocidades y permitir la utilización simultánea de gran número de usuarios. La capacidad de transmisión de las fibras está directamente relacionada con las características intrínsecas de la fibra y del equipo terminal al que se conecte.</p> <p>En algunos sistemas de comunicación se utiliza a velocidades de 140 Mb/s y 565 Mb/s; para tecnología síncrona SDH a velocidades de 155 Mb/s, 622 Mb/s y 2.5 Gb/s.</p>
<b>Dimensiones</b>	<p>Un cable de 2400 pares (TAP), con diámetro externo de 80 mm, puede ser substituido por un cable de fibra óptica con un diámetro de 15 mm.</p>
<b>Peso y Tiempo de Instalación</b>	<p>Un cable multipar de 3.5 km de largo pesa aproximadamente 20,650 kg y requiere de 800 horas-hombre para instalarlo; un cable coaxial para la misma capacidad y longitud, pesa aproximadamente 118,620 kg y requiere de 400 horas-hombre; en cambio un cable de fibras ópticas pesa 350 kg y necesita de 88 horas-hombre (Dependiendo de la estructura del cable)</p>



<p><b>Atenuación</b></p>	<p>Conforme se desarrolla la técnica de Fabricación de fibras ópticas se obtienen atenuaciones cada vez más bajas, actualmente del orden de 0.4 dB/km a 0.25 dB/km, mientras que los cables coaxiales tienen una atenuación del orden de 33 dB/km.</p>
<p><b>Distancia entre Repetidores</b></p>	<p>En los enlaces de fibra óptica los repetidores se hacen menos frecuentes. Utilizándose a una distancia promedio de 80 km. (Dependiendo del tipo de fibra óptica y velocidad de transmisión) y manteniendo una señal de alta velocidad.</p> <p>Debido a los avances respecto a las características de las fibras ópticas actualmente la fibra óptica edfa (Tecnología de fibra Amplificadora Dopada con Erblio) promete la eliminación de los regeneradores intermedios y la utilización con equipo multiplexor por división de longitud de onda.</p>
<p><b>Costos</b></p>	<p>Mientras el costo de los cables de cobre se incrementa año con año, el costo de los cables de fibra óptica disminuye, debido al perfeccionamiento de las técnicas para producirlas.</p> <p>Si consideramos el costo total del sistema de comunicación, resultará siempre más económico usar fibras ópticas que cualquier otro tipo de cable cuando se necesita transmitir</p>



	gran cantidad de información entre dos puntos y además se requiere garantizar la calidad del enlace y proteger de cualquier posible interferencia.
<b>Otras ventajas de las Fibras Ópticas</b>	Las fibras ópticas son flexibles, de bajo peso y permiten la propagación a muy altas frecuencias; también son inmunes al ruido, energía, son altamente resistentes e inmunes a interferencias de campos electromagnéticos externos.

Las desventajas son realmente pocas y se refiere principalmente a pérdidas por acoplamiento, debido a su pequeño tamaño, además de que se requiere de equipo y personal especializado para su mantenimiento.

## 1.2 TIPOS DE FIBRA OPTICA

Existen 2 Tipos de Fibra Óptica, Monomodo y Multimodo.

Por lo que la teoría de los modos deriva de las ecuaciones de James Clerk Maxwell (Físico escocés del siglo pasado, en el año de 1873). Un modo es una solución válida de las ecuaciones de Maxwell. Se puede considerar por simplicidad que un modo es una trayectoria que puede seguir un rayo de luz viajando por la fibra. El número de modos soportados por una fibra de 1 hasta 100,000.



Una fibra proporciona un camino de trayectorias para uno o miles de rayos de luz, dependiendo de su medida y propiedades.

Además cada modo porta una cantidad específica de energía. La mayoría de las fibras soportan actualmente muchos modos. Sobre la distancia la energía se transfiere entre modos hasta que todos los modos conducen su energía característica, cuando esto ocurre se dice que se ha llegado al punto de “distribución de modo de equilibrio” (EMD). Las fibras ópticas de alta calidad a menudo requieren decenas de kilómetros para llegar al EMD.

### **Fibra Monomodo**

La fibra monomodo (Figura 1.2), es aquella que por su diseño puede guiar y transmitir una sola señal de luz (un modo de propagación) tiene las siguientes características:

- Ancho de banda elevadísimo
- Cuando se aplica el emisor de luz, el aprovechamiento es mínimo
- Costo es más elevado
- Fabricación difícil
- Los acoples deben ser perfectos.
- Núcleo mucho menor que el de la fibra Multimodo, (para evitar la dispersión multimodal)
- Los diámetros de núcleo y cubierta típicos para estas fibras son de  $n=9\mu\text{m}$ ,  $r=125\mu\text{m}$



- Menor atenuación que las fibras Multimodo
- Acoplamiento de la luz complicado
- Tolerancias de los conectores y empalmes más estrictas
- Se alcanzan grandes distancias
- Transmisión de elevadas tasas de bit, (limitadas principalmente por la dispersión cromática y los efectos no lineales).

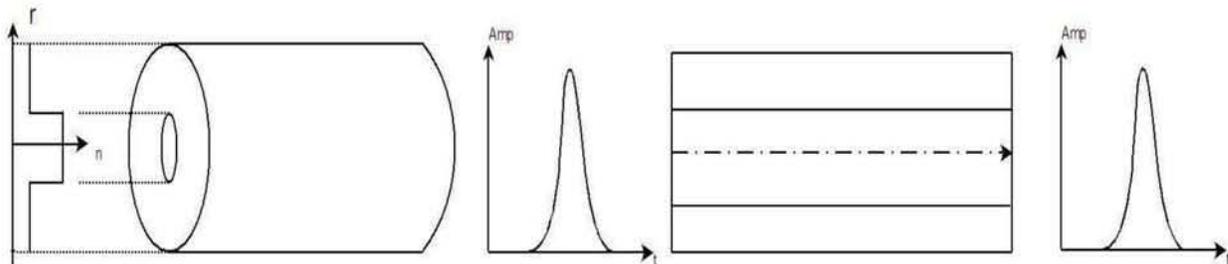


Figura 1.2 Fibra Óptica Monomodo

## FIBRA MULTIMODO.

La fibra Multimodo es aquella que puede guiar y transmitir varias señales de luz por sucesivas reflexiones (modos de propagación).

Su nombre se debe a que transporta múltiples modos de propagación de forma simultánea, ya que éste tipo de fibra se caracteriza por tener un diámetro del núcleo mucho mayor que las fibras monomodo. Existe la Fibra Óptica Multimodo con “n” escalonada (Figura 1.3), y la Fibra Óptica Multimodo con “n” gradual (Figura 1.4).



El número de modos que se propagan por una fibra óptica depende de su apertura numérica o cono de aceptación de señales de luz a la entrada.

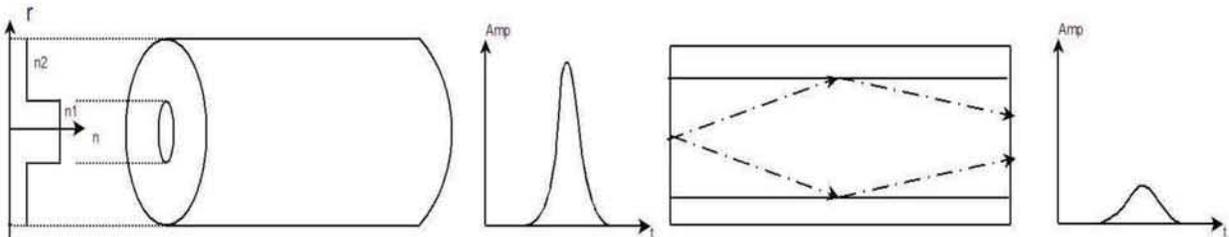


Figura 1.3 Fibra Óptica Multimodo con “n” escalonada

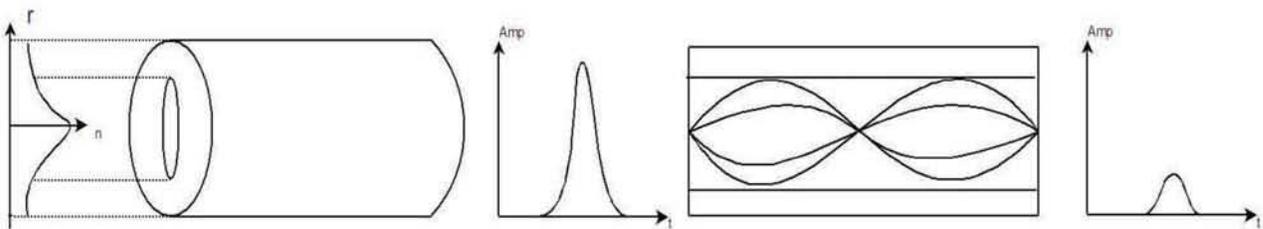


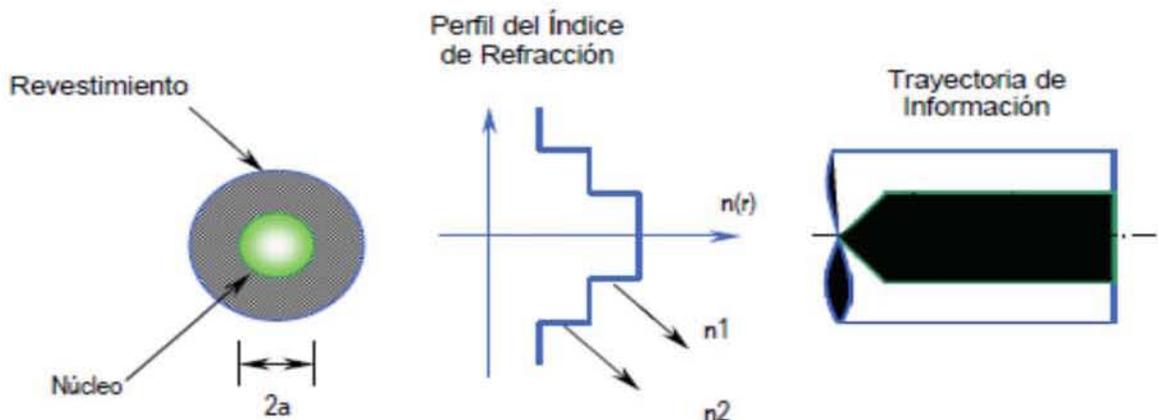
Figura 1.4 Fibra Multimodo con n gradual

Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra Multimodo:

- Fibras de índice escalonado: El núcleo de estas fibras está constituido de un índice de refracción constante, rodeado por un revestimiento. El índice del revestimiento siempre es menor que el del núcleo con el que hace frontera; en



este caso sí ocurre dispersión modal., tal como se muestra en la figura 1.5, donde  $a$  es el radio del núcleo.



**Figura 1.5 Fibra Multimodo de índice escalonado.**

En la figura 1.6 se observa la estructura de una fibra de índice escalonado, que consiste, como ya lo hemos visto, de un núcleo (core) homogéneo – en este caso con un diámetro  $2a$  e índice de refracción  $n_1$  y de un revestimiento (cladding) que rodea al núcleo y tiene un índice de refracción  $n_2$  ligeramente menor que el núcleo:

$$n_2 = n_1 (1 - \Delta) \quad (1.1)$$

En esta ecuación,  $\Delta$  es la diferencia fraccional del índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento:



$$\Delta = (n_1 - n_2) / n_1 \quad (1.2)$$

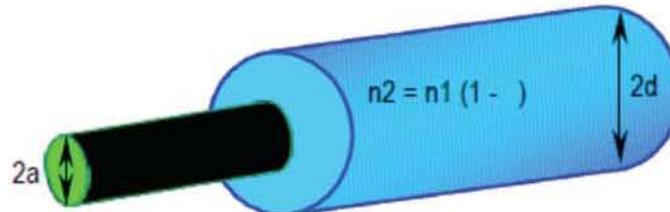


Figura 1.6 Estructura de una fibra óptica de índice escalonado.

En la frontera entre el núcleo y el revestimiento se produce una reflexión total interna debido a la diferencia entre los índices de refracción; el ángulo crítico en este caso será:

$$\text{Sen } \theta_c = n_2 / n_1 = 1 - \Delta \quad (1.3)$$

En la fibra de índice escalonado se presentan dos tipos de rayos, los meridionales (Meridional Rays) y los rayos oblicuos (Skew Rays). Los primeros entran a través del eje de la fibra, se reflejan internamente y se propagan en un plano (figura 1.7). Los segundos no entran a través del eje, ni son paralelos a él, sino que se reflejan internamente siguiendo una trayectoria helicoidal (figura 1.8).

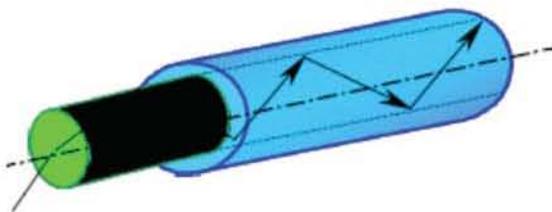


Figura 1.7 Rayos meridionales

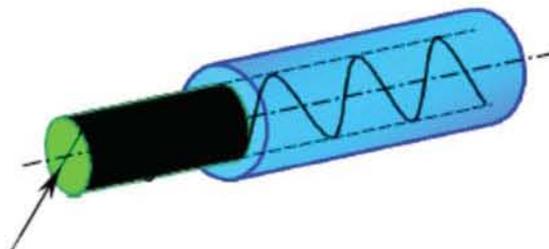


Figura 1.8 Rayos oblicuos

**Rayos meridionales:** Estos rayos inciden primeramente en el núcleo de la fibra y quedan contenidos en un plano perpendicular a su sección transversal. Luego que han entrado al núcleo, deben incidir en la frontera entre el núcleo y el revestimiento y reflejarse con un ángulo  $\geq \theta_c$  (ángulo crítico) o ángulos mayores, para que la reflexión sea total y el rayo quede confinado dentro del núcleo de la fibra.

Veamos un ejemplo de ello; para el común de las fibras usadas en comunicaciones, la diferencia de los índices de refracción oscila entre 0.007 y 0.02. Supongamos una  $\Delta = 0.01$ ; entonces el ángulo crítico sería:

$$\theta_c = \text{Sen}^{-1} (1 - \Delta) \quad (1.9)$$

$$\theta_c = \text{Sen}^{-1} (1 - 0.01) = 81.890$$

La longitud  $L$  que recorre el rayo es:

$$L(\theta) = L / \text{Cos } \theta \quad (1.4)$$



El objetivo de procurar diferencias pequeñas entre los índices de refracción es obtener ángulos críticos grandes que vayan casi paralelos al eje y evitar con ello pérdidas en la capacidad de información de la fibra, ya que de esta manera, el rayo que va por el eje de la fibra y los rayos meridionales sólo se desfazan ligeramente. En el caso de los rayos que inciden en la frontera núcleo-revestimiento con ángulos menores al crítico, pasan a través de ella refractándose en el revestimiento y se pierden en él por absorción, difusión o dispersión.

**Rayos oblicuos:** A diferencia de los rayos meridionales, estos rayos siguen una trayectoria de forma helicoidal poligonal dentro del núcleo de la fibra, reflejándose también internamente. En la figura 1.9 se muestra un esquema de la trayectoria de los rayos oblicuos. Como puede observarse, definimos  $\theta$  como el ángulo entre BAC,  $\alpha$  es el ángulo entre OBC, y  $\phi$  que es el ángulo de incidencia entre ABO.

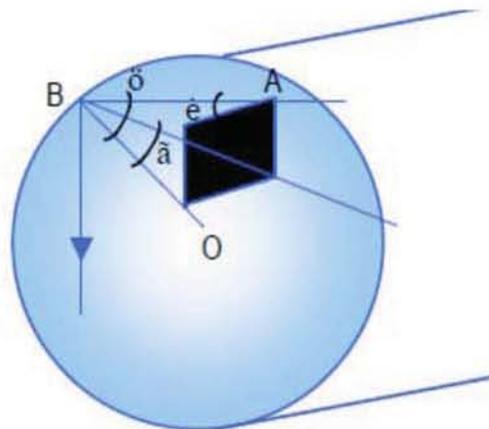


Figura 1.9 Rayos oblicuos



La ecuación que relaciona a estos ángulos está dada por:

$$\cos \theta = \sin \epsilon \cos \alpha \quad (1.5)$$

Que describe el mismo comportamiento para el rayo en cualquier punto de la fibra.

Para que ocurra una reflexión total interna se debe cumplir que:

$$\sin \theta \geq \sin \alpha_c \quad (1.6)$$

$$\sin \theta \geq n_2 / n_1 \quad (1.7)$$

Utilizando la misma desigualdad trigonométrica e introduciendo (1.6) en (1.7) obtenemos:

$$n_1 \sin \epsilon \cos \alpha \geq (n_2^2 - n_1^2)^{1/2} \quad (1.8)$$

La relación con la Ley de Snell es la misma que para el caso de rayos meridionales; por lo tanto, de la ecuación (1.8) se obtiene:

$$n_0 \sin \epsilon_0 = n_1 \sin \epsilon \quad (1.9)$$



Y sustituyendo en (1.9), el resultado es:

$$\begin{aligned} n_0 \operatorname{Sen} \theta &= \operatorname{Cos} \alpha (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \\ \operatorname{Sen} \theta &= \operatorname{Cos} \alpha (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} / n_0 \end{aligned} \quad (1.10)$$

En este tipo de rayos, el ángulo  $\theta$  depende de la condición de refracción de entrada, y su valor límite es cuando  $\theta = 90^\circ$ .

Así, para valores de  $0 \leq \theta_c$ ,  $\alpha$  puede tomar valores entre  $0 < \alpha < \delta/2$ , ya que si  $\alpha = 0$  se convierte en un rayo meridional, y si  $\alpha = \delta/2$  entonces el rayo viaja a lo largo de la frontera entre el núcleo y el revestimiento; de esta manera se cumplirá que:

$$\operatorname{Cos} \alpha_{\min} = \operatorname{Sen} \theta_c / \operatorname{Sen} \theta \quad (1.11)$$

La siguiente figura nos es útil para encontrar la relación entre la distancia del plano donde está contenido el rayo hasta el eje de la fibra, y el radio de la misma fibra.

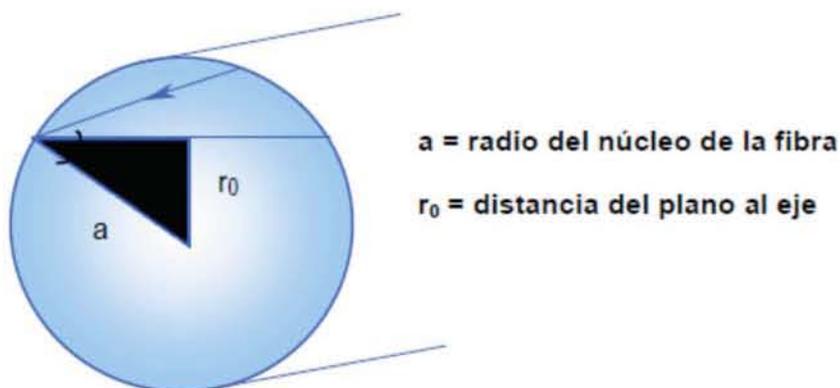


Figura 1.10 Relación entre la distancia del plano al eje y el radio del núcleo de la fibra.

La relación que encontramos es  $\tilde{a} = a/r_0$ ; partiendo de esta relación, podemos combinar (1.10) y (1.11) para encontrar una ecuación que defina más claramente el ángulo crítico en rayos oblicuos;

Esto es:

$$\text{Sen } \tilde{c} (1 - (r_0/a)^2)^{1/2} = 1/n_1 (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (1.12)$$

**Fibras de índice gradual:** En esta fibra, el índice de refracción del núcleo va decreciendo gradualmente en función del radio, hasta llegar al revestimiento. Debido a que el índice de refracción del núcleo decrece, los rayos de luz se van flexionando gradualmente regresando al centro del núcleo como se observa en la figura 1.11, donde  $a$  es el radio del núcleo.



Esto explica la razón por la que en este tipo de fibra la atenuación es menor, comparada con la fibra escalonada, donde el cambio en el índice de refracción es mucho más brusco.

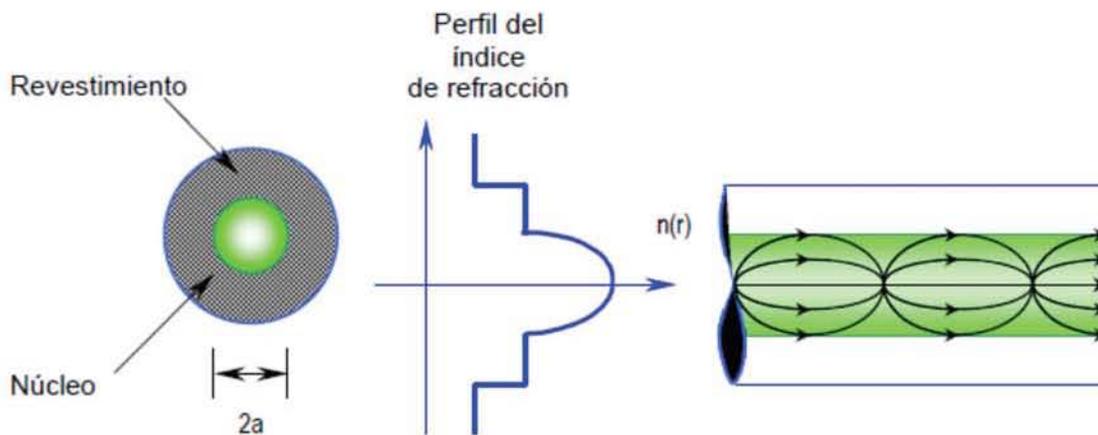


Figura 1.11 Fibra de índice gradual.

### 1.3 ÁNGULO DE ACEPTACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA, INDICE DE REFRACCIÓN, INDICE DE REFLEXIÓN.

#### ÁNGULO DE ACEPTACIÓN.

Es el ángulo máximo medido desde el eje de la fibra para el cual la señal luminosa incidente experimenta reflexión total.

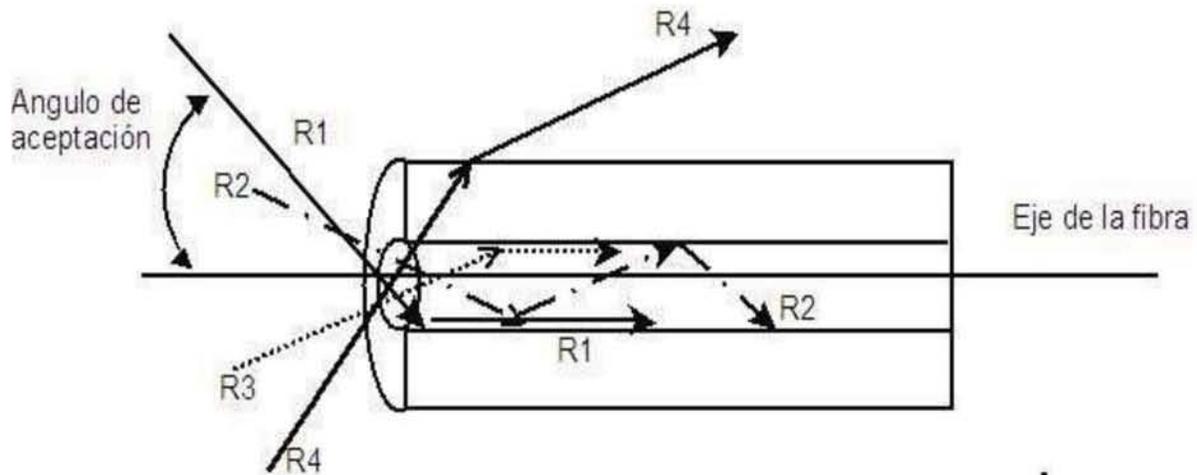


Figura 1.12 Ángulo de Aceptación

## INDICE DE REFRACCIÓN.

El índice de refracción de un medio homogéneo es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio.

Y es el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio cuyos índices se calcula.

Se simboliza con la letra  $n$  y se trata de un valor a dimensionar.

$$n = c/v \quad (1.13)$$



Donde:  $c$  = la velocidad de la luz en el vacío

$v$  = velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula

En la actualidad, sabemos que la velocidad de fase de la luz en el espacio libre es de:  $C = 3 \times 10^8$  m/s Por lo tanto podemos definir el índice de refracción ( $\eta$ ) como la relación que existe entre las velocidades de la luz, al desplazarse en el vacío y en la materia.

**TABLA 1.2 INDICES DE REFRACCIÓN.**

Indices de refracción	Descripción
$\therefore \eta_0 \eta_1 \eta_2$	Son los índices de refracción del aire, núcleo y revestimiento de la fibra, respectivamente.
$\theta_i \theta_R$	Son los ángulos de entrada y refracción de rayo, respectivamente.
Sen	Función trigonométrica tomada con respecto al eje ficticio de la Fibra Óptica.



## INDICE DE REFLEXIÓN.

El funcionamiento de la fibra óptica consiste en que el haz de luz siempre será reflejado en la superficie de separación entre el núcleo y el revestimiento.

De esta manera se puede guiar la luz de forma controlada; cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, mayor será la reflexión interna.

En la figura 1.13 mostramos la reflexión a la entrada de la Fibra Óptica, donde  $\theta_i$  (ángulo de incidencia) es igual a  $\theta_r$  (ángulo de reflexión).

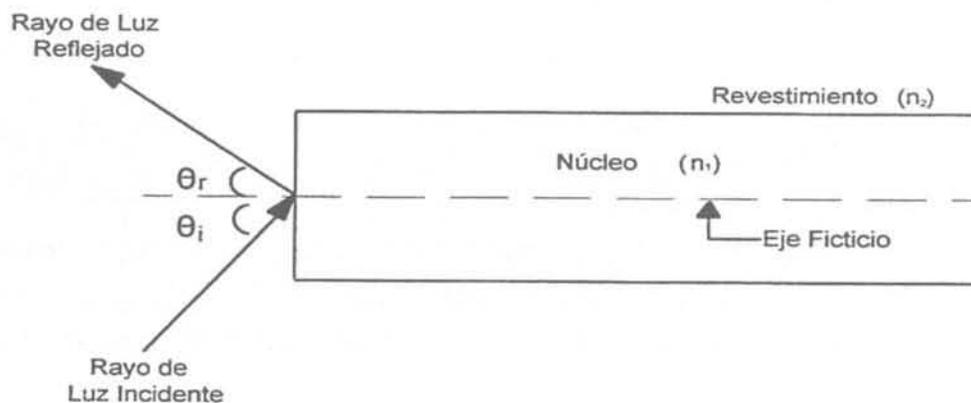


Figura 1.13 Reflexión de la fibra óptica



Como se podrá observar este fenómeno causa que la mayor cantidad de luz sea lanzada fuera del núcleo de la Fibra Óptica, el cual no es el objetivo.

Los ángulos que forman el rayo incidente y el reflejado con la normal a la superficie de separación de los dos medios son iguales.

#### 1.4 MODELOS MATEMATICOS.

##### LEY DE SNELL

La ley de Snell es una relación trigonométrica que nos permite evaluar el ángulo de entrada adecuado, en función de los índices de refracción ( $\eta_0, \eta_1, \eta_2$ ) para lograr la refracción y la reflexión total interna del rayo de luz.

A continuación mostramos la ley de Snell:

$$\eta_0 \text{ Sen } \theta_1 = \eta_1 \text{ Sen } \theta_2 \quad (1.14)$$

**Diagrama:** El fenómeno de reflexión total se repite si el índice de refracción en todo el núcleo de la fibra es el mismo. De este modo el rayo llegará al final de la fibra con el mismo ángulo con que incidió en ella.

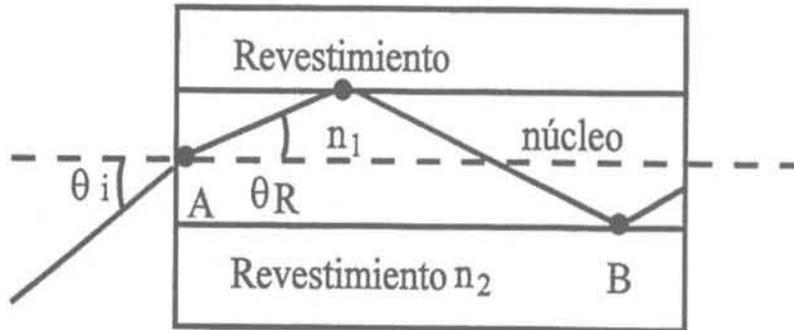


Figura 1.14 Reflexión total en la fibra óptica.

A.) Punto de refracción

B.) Puntos de reflexión total

Reflejancia: Por otra parte si existe un ángulo grande de incidencia, tendremos un rebote total del rayo de luz conocido como reflejancia  $R$ , dado ésta por la siguiente expresión:

$$R = \left( \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0} \right)^2 \quad (1.15)$$

Existe una condición práctica a considerar,  $R$  deberá ser menor o igual al 4% del 100% del rayo de la luz de entrada.

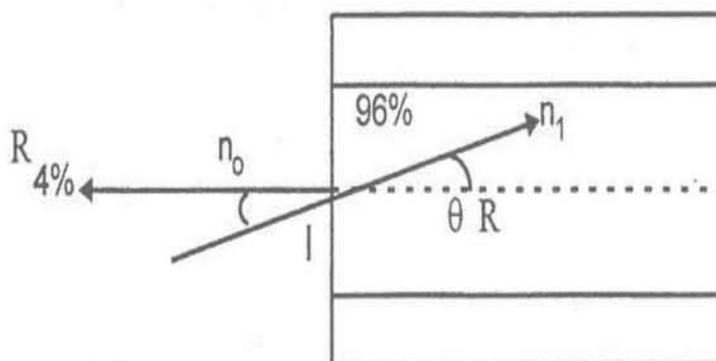


Figura 1.15 Efecto de reflejancia.

## MUESTREO.

Una operación que es básica para diseñar todos los sistemas de modulación de pulsos es el proceso de muestreo, donde una señal analógica se convierte en una secuencia de números que normalmente están uniformemente espaciados en el tiempo. Para que dicho proceso funcione es necesario elegir la tasa de muestreo adecuadamente de modo que esa secuencia de números identifique de forma única a la señal analógica original. Esta es la esencia del teorema de muestreo.

Consideremos una señal arbitraria  $g(t)$  de energía finita. Supongamos que muestreemos la señal  $g(t)$  de forma instantánea a una tasa uniforme cada  $T_s$  segundos. Como resultado de este proceso se obtiene una secuencia de números espaciados  $T_s$  y que podemos denotar mediante  $\{g(nT_s)\}$ , donde  $n$  puede tomar cualquier valor entero,  $T_s$  es el periodo de muestreo y  $f_s = 1/T_s$  es la frecuencia de muestreo. Esta forma ideal de muestreo recibe el nombre de muestreo instantáneo.



Sea  $g_{\delta}(t)$  la señal obtenida multiplicando la secuencia de números  $\{g(nT_s)\}$  por un tren de deltas espaciados  $T_s$ , entonces se puede expresar según la ecuación (1.16).

$$g_{\delta}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(nT_s)\delta(t - nT_s) \quad (1.16)$$

A  $g_{\delta}(t)$  se la denomina señal muestreada ideal. En la figura 1.16 se puede ver el resultado de este tipo de muestreo aplicado a la señal de la figura 1.17. De forma equivalente se puede expresar  $g_{\delta}(t)$  como el producto de la señal original  $g(t)$  por la función de muestreo ideal  $\delta_{T_s}(t)$  con periodo  $T_s$  según la ecuación (1.17).

$$g_{\delta}(t) = g(t)\delta_{T_s}(t) = g(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) \quad 1.17$$

Se puede determinar la transformada de Fourier de la señal muestreada  $g_{\delta}(t)$  convolucionando la transformada de Fourier de  $g(t)$  con la transformada de Fourier de la función de muestreo ideal  $\delta_{T_s}(t)$  que viene dada por la ecuación (1.18). Entonces si  $G(f)$  es la transformada de Fourier de  $g(t)$ , la transformada de Fourier  $G_{\delta}(f)$  de la señal muestreada  $g_{\delta}(t)$  viene dada por la ecuación (1.19). Si intercambiamos el orden del sumatorio y la convolución se obtiene la ecuación (1.20). La convolución de una señal cualquiera con una delta desplazada, desplaza la señal según la ecuación (1.21), por lo que se tiene finalmente la ecuación (1.22).



$$\delta_{T_s}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) \iff \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(f - \frac{n}{T_s}\right) \quad 1.18$$

$$G_{\delta}(f) = G(f) * \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(f - \frac{n}{T_s}\right) \quad 1.19$$

$$G_{\delta}(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(f) * \delta\left(f - \frac{n}{T_s}\right) \quad 1.20$$

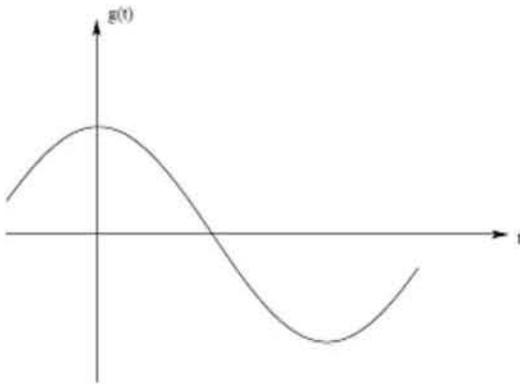


Figura 1.16 Señal Arbitraria de energía finita.

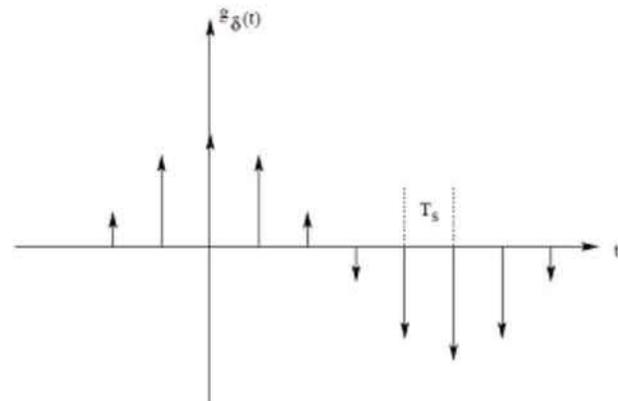


Figura 1.17 la Señal muestreada idealmente.

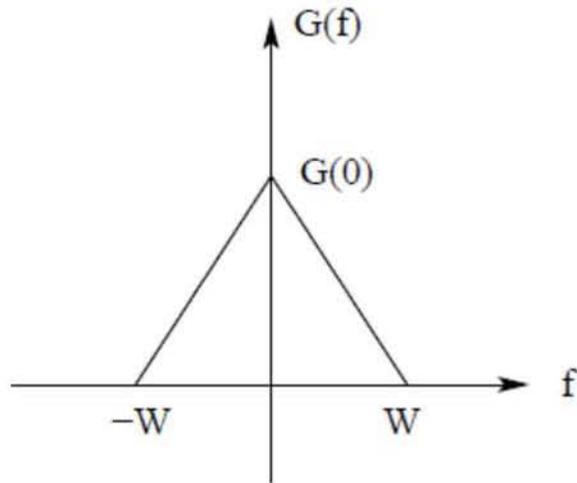


Figura 1.18 Espectro de la señal a muestrear limitado a la banda W.

$$G(f) * \delta\left(f - \frac{n}{T_s}\right) = G\left(f - \frac{n}{T_s}\right) \quad 1.21$$

$$G_{\delta}(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G\left(f - \frac{n}{T_s}\right) \quad 1.22$$

$G_{\delta}(f)$  representa un espectro continuo periódico con periodo  $f_s = 1/T_s$ . Se puede decir entonces que el proceso de muestreo uniforme de una señal en el dominio del tiempo da lugar a un espectro periódico en el dominio de la frecuencia con periodo igual a la frecuencia de muestreo.

A partir de la ecuación (1.16) tomando transformada de Fourier en ambos lados se obtiene la ecuación (1.23). Esta ecuación se puede ver como una representación en serie compleja de Fourier de la señal periódica en la frecuencia  $G_{\delta}(f)$ , siendo los



coeficientes complejos de la expansión la secuencia de muestras  $\{g(nT_s)\}$ , por lo que se tiene la ecuación (1.24), que es la ecuación análisis de la expansión en serie compleja de Fourier de una señal. Hay que tener en cuenta que en las ecuaciones (1.23) y (1.24) se han intercambiado el papel habitual del tiempo y de la frecuencia.

$$G_\delta(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(nT_s) \exp(-j2\pi n f T_s) \quad 1.23$$

$$g(nT_s) = T_s \int_0^{f_s} G_\delta(f) \exp(j2\pi n f T_s) df \quad 1.24$$

Todas las relaciones anteriores se pueden aplicar a cualquier señal continua  $g(t)$  de energía finita y de duración finita.

Vamos a suponer ahora que la señal es estrictamente limitada a la banda  $W$ , es decir, la transformada de Fourier  $G(f)$  de la señal  $g(t)$  no tiene componentes frecuenciales fuera de  $|f| < W$ . En la figura 1.10 podemos ver el espectro  $G(f)$  limitado a la banda  $W$ . La forma de este espectro se considera triangular para simplificar las figuras, pero en la práctica puede tener cualquier otra forma.

Vamos a suponer que se elige un periodo de muestreo  $T_s = \frac{1}{2W}$  o lo que es lo mismo, una tasa de muestreo  $f_s = 2W$ . En este caso se puede ver el espectro de  $G_\delta(f)$  en la figura 1.11.

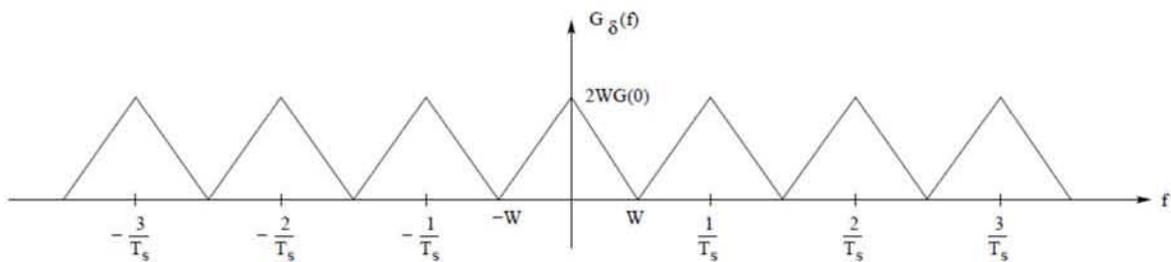


En este caso la ecuación (1.23) se puede volver a escribir según la ecuación (1.25).

$$G_{\delta}(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \exp\left(-\frac{j\pi n f}{W}\right) \quad 1.25$$

Comparando las figuras 1.18 y 1.19 se puede comprobar que se puede recuperar el espectro original  $G(f)$  a partir del espectro de la señal muestreada  $G_{\delta}(f)$  según la ecuación (1.18).

Juntando las ecuaciones (1.25) y (1.26) se tiene la ecuación (1.27)



**Figura 1.19 Espectro de la señal a muestreada para el caso  $f_s = 2W$ .**



$$G(f) = \frac{1}{2W} G_{\delta}(f) \quad -W \leq f \leq W \quad 1.26$$

$$G(f) = \frac{1}{2W} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \exp\left(-\frac{j\pi n f}{W}\right) \quad -W \leq f \leq W \quad 1.27$$

Si se conoce el valor de todas las muestras  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$  de la señal  $g(t)$ , entonces la transformada de Fourier  $G(f)$  de la señal  $g(t)$  está unívocamente determinada por la representación en serie de Fourier de la ecuación (1.27). Además puesto que  $g(t)$  se puede determinar a partir de su espectro  $G(f)$  utilizando la transformada inversa de Fourier, la señal original  $g(t)$  está también unívocamente determinada por las muestras  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$ .

En otras palabras, la secuencia  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$  contiene toda la información de la señal  $g(t)$ .

Vamos a considerar ahora el problema de recuperar la señal  $g(t)$  a partir de las muestras  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$ . Usando la ecuación (1.27) y la expresión de la transformada inversa de Fourier se puede escribir el desarrollo de la ecuación (1.28). Si intercambiamos el orden del sumatorio y la integral en la ecuación anterior se puede escribir la ecuación (1.29). La integral de la derecha de esta ecuación es inmediata y se puede calcular directamente obteniéndose finalmente la ecuación (1.30).



$$g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G(f) \exp(j2\pi ft) df = \int_{-W}^W \frac{1}{2W} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \exp\left(-\frac{j\pi n f}{W}\right) \exp(j2\pi ft) df \quad 1.28$$

$$g(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \frac{1}{2W} \int_{-W}^W \exp\left[j2\pi f\left(f - \frac{n}{2W}\right)\right] df \quad 1.29$$

$$g(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \frac{\sin(2\pi Wt - n\pi)}{2\pi Wt - n\pi} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(\frac{n}{2W}\right) \text{sinc}(2Wt - n) \quad 1.30$$

La ecuación (1.30) se conoce como fórmula de interpolación para reconstruir la señal original  $g(t)$  a partir de las muestras  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$  siendo la función  $\text{sinc}(2Wt)$  la **función interpoladora**. Cada muestra se multiplica por una versión retardada de la función interpoladora y el resultado se suma para obtener la señal original  $g(t)$ . Se puede ver que esta ecuación representa la respuesta de un filtro paso bajo ideal de ancho de banda  $W$ , con retardo cero y cuya entrada es la señal muestreada  $g\delta(t)$ .

Esto se puede comprobar de forma intuitiva viendo los espectros  $G\delta(f)$  y  $G(f)$  en las figuras 1.18 y 1.19 ó a partir de la ecuación (1.26). En la figura 1.20 se puede ver la función de transferencia del filtro de reconstrucción. En la figura 1.21 se puede ver esquemáticamente el proceso de recuperación de la señal original  $g(t)$  a partir de las secuencia de muestras  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$

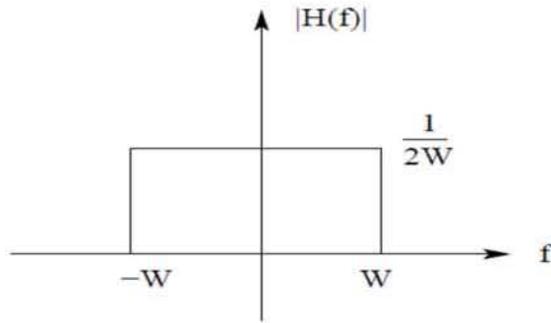


Figura.1.20 Filtro ideal de reconstrucción.

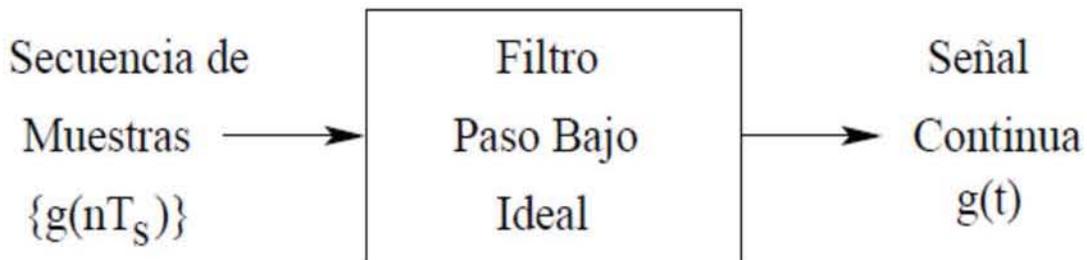


Figura 1.21 Esquema del proceso de recuperación de la señal a partir de las muestras.

Otra interpretación de la fórmula de interpolación dada por la ecuación (1.30) utilizando la propiedad de que la función interpoladora desplazada  $\text{sinc}(2Wt - n)$  forma una familia de funciones mutuamente ortogonales. Vamos a comenzar probando esta última afirmación en primer lugar. Vamos a considerar una versión generalizada del teorema de energía de Rayleigh dada por la ecuación (1.31), siendo  $g_1(t)$  y  $g_2(t)$  dos señales de energía cualesquiera y  $G_1(f)$  y  $G_2(f)$  sus transformadas de Fourier, respectivamente.

Vamos a aplicar este teorema a las señales que nos interesan según las ecuaciones (1.32) y (1.33) siendo  $n$  y  $m$  dos enteros cualesquiera. Utilizando la transformada



inmediata dada por la ecuación (1.34) y la propiedad de la transformada de Fourier de desplazamiento temporal se puede llegar a las ecuaciones (1.37) y (1.38).

$$\int_{-\infty}^{\infty} g_1(t)g_2^*(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} G_1(f)G_2^*(f)df \quad 1.31$$

$$g_1(t) = \text{sinc}(2Wt - n) = \sin \left[ 2W \left( t - \frac{n}{2W} \right) \right] \quad 1.32$$

$$g_2(t) = \text{sinc}(2Wt - m) = \sin \left[ 2W \left( t - \frac{m}{2W} \right) \right] \quad 1.33$$

$$\sin (2Wt) \iff \frac{1}{2W} \Pi \left( \frac{f}{2W} \right) \quad 1.34$$

$$G_1(t) = \frac{1}{2W} \Pi \left( \frac{f}{2W} \right) \exp \left( -\frac{j\pi n f}{W} \right) \quad 1.35$$

$$G_2(t) = \frac{1}{2W} \Pi \left( \frac{f}{2W} \right) \exp \left( -\frac{j\pi m f}{W} \right) \quad 1.36$$

Usando ahora la relación dada por la ecuación (1.31) se obtiene la ecuación (1.37). El resultado de esta ecuación es  $\frac{1}{2W}$  para  $n = m$  y cero en el resto, es decir, se tiene finalmente la ecuación (1.38), con lo que queda demostrado que la familia de funciones  $\text{sinc}(2W t - n)$  es ortogonal.



$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \text{sinc}(2Wt - n)\text{sinc}(2Wt - m)dt &= \left(\frac{1}{2W}\right)^2 \int_{-W}^W \exp\left[-\frac{j\pi f}{W}(n - m)\right] df \\ &= \frac{\sin[\pi(n - m)]}{2W\pi(n - m)} = \frac{1}{2W}\text{sinc}(n - m) \end{aligned} \quad 1.37$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \text{sinc}(2Wt - n)\text{sinc}(2Wt - m)dt = \begin{cases} \frac{1}{2W} & n = m \\ 0 & n \neq m \end{cases} \quad 1.38$$

La ecuación (1.30) representa entonces la expansión de la señal  $g(t)$  como la suma infinita de funciones ortogonales cuyos coeficientes son las muestras de la señal.  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$

Utilizando la propiedad de ortogonalidad de estas funciones dada por la ecuación (1.38) se puede llegar a la expresión dada por la ecuación (1.29) para las muestras de la señal. Los coeficientes de esta expansión  $\left\{g\left(\frac{n}{2W}\right)\right\}$  se pueden ver como una coordenada en un espacio de señal de dimensión infinita cuyos ejes son ortogonales y corresponden a las funciones  $\text{sinc}(2Wt - n)$ . Cada punto de este espacio corresponde a una señal  $g(t)$  y cada señal  $g(t)$  a un punto.



$$g\left(\frac{n}{2W}\right) = 2W \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \text{sinc}(2Wt - n) dt \quad 1.39$$

Se puede enunciar el teorema de muestreo o teorema de Nyquist para señales limitadas en banda de energía finita de dos modos:

Una señal limitada en banda de energía que no tiene componentes a frecuencias mayores que  $W$  Hz se puede representar de forma exacta especificando los valores de la señal en instantes de tiempo separados  $T_s = \frac{1}{2W}$  segundos.

Una señal limitada en banda de energía sin componentes frecuenciales superiores a  $W$  Hz se puede recuperar de forma exacta a partir de sus muestras tomadas a una tasa de  $f_s = 2W$  muestras por segundo.

La tasa de muestreo  $f_s = 2W$  definida para una señal con ancho de banda  $W$  se denomina tasa de Nyquist. El teorema de muestreo es la base de la equivalencia entre señales analógicas y digitales.

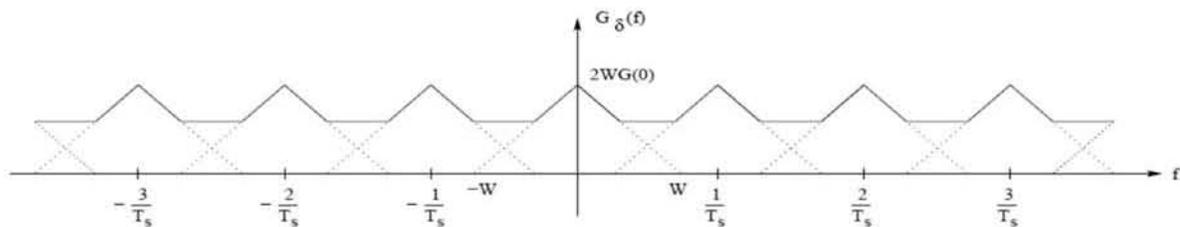
El teorema de muestreo se basa en la suposición de que la señal  $g(t)$  sea estrictamente limitada en banda. Esto solo se satisface si  $g(t)$  tiene duración infinita. Es decir, una señal estrictamente limitada en banda no puede ser simultáneamente estrictamente limitada en tiempo y viceversa. Sin embargo, se va a poder aplicar en la practico el teorema de muestreo a señales limitadas temporalmente cuando estas sean esencialmente limitadas en banda en el sentido de que fuera de la banda de



interés el valor que toma el espectro no es relevante. Esto justifica la aplicación práctica del teorema de muestreo.

Cuando la tasa de muestreo  $f_s$  excede a la de Nyquist  $2W$ , las replicas de  $g(f)$  requeridas para la construcción de  $G_{\delta}(f)$  están más separadas por lo que no existe ningún problema a la hora de recuperar la señal original  $g(t)$  a partir de la señal muestreada  $g_{\delta}(t)$  con el procedimiento descrito. Sin embargo, cuando la tasa de muestreo  $f_s$  es menor que  $2W$ , se puede ver que al construir la señal  $G_{\delta}(f)$ , las replicas de  $G(f)$  aparecen solapadas.

En este caso el espectro  $G_{\delta}(f)$  pasaría a ser el de la figura 1.22. Las altas frecuencias de  $G(f)$  se ven reflejadas hacia las bajas frecuencias en  $G_{\delta}(f)$ . Este fenómeno se denomina aliasing. Es evidente que comprobar que si la tasa de muestreo  $f_s$  es menor que la de Nyquist  $2W$ , la señal original  $g(t)$  no se puede recuperar de forma exacta a partir de las muestras y, por lo tanto, se pierde información en el proceso de muestreo.



**Figura 1.22** Espectro de la señal a muestreada para el caso  $f_s < 2W$ .



Debido a que una señal, como ya hemos dicho, no puede ser estrictamente limitada en tiempo y frecuencia, si la señal es finita en el tiempo, siempre existirá algo de aliasing y se perderá parte de la información en el proceso de muestreo. Sin embargo, este efecto suele ser en general despreciable. Para que así sea:

- Antes de muestrear la señal pasarla por un filtro paso bajo anti-aliasing para atenuar las componentes a alta frecuencia de la señal (o del ruido) fuera de la banda de interés.
- Muestrear la señal filtrada ligeramente por encima del límite de Nyquist.

## 1.5 ANCHO DE BANDA Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

### Ancho de banda de un canal

Cuando transmitimos una señal por un canal de comunicación, esta sufre una pérdida de energía y las amplitudes de cada uno de sus armónicos disminuyen. Si todos los coeficientes del desarrollo de Fourier ( $a_n$ ,  $b_n$ ) fueran disminuidos igualmente, la señal estaría disminuida en amplitud, pero no distorsionada, la señal estaría atenuada.

Llamaremos ancho de banda de un canal, al rango de frecuencias entre las cuales los armónicos sufren la misma atenuación durante la transmisión, de forma que se puede aplicar la misma escala de amplificación para ese rango de frecuencias sin que se produzca una distorsión. El ancho de banda sería pues, la diferencia entre la



frecuencia superior e inferior que se puede transmitir con atenuación pero sin distorsión por un medio físico empleado como canal de comunicación.

El ancho de banda de un canal no solamente está limitado por el medio de transmisión, también lo está por los dispositivos conectados a él. Del mismo modo, la respuesta en frecuencias del medio no es la única causa de distorsión de una señal, pueden influir muchos otros factores.

Ningún medio de transmisión puede transportar señales sin causar pérdida de energía en la señal transportada. Cada armónico de la señal tiene asociado un valor de energía. El valor:

$$d_n^2 = (a_n^2 + b_n^2) \quad (1.40)$$

Es de especial interés, ya que es proporcional a la energía transmitida a la frecuencia o armónico correspondiente. Proporciona una medida de la energía de la señal que corresponde al enésimo armónico.

Como se ha mencionado anteriormente, el medio, dependiendo de su respuesta en frecuencias característica, va a atenuar de forma desigual las amplitudes de los diferentes armónicos de la señal transportada, dando lugar a que la pérdida de energía no sea proporcional para cada armónico. Por lo tanto, la señal va a ser distorsionada. En general las amplitudes se transmiten sin degradación (es decir, con un mismo factor de atenuación) para un rango de frecuencias que suele ser  $f=0$  hasta



$f=f_c$ , siendo  $f_c$  la frecuencia de corte característica del medio, medida en ciclos/segundo o Hertz (Hz). Todas las frecuencias superiores a dicha frecuencia de corte sufren fuertes atenuaciones. Este rango de frecuencias es lo que hemos denominado anteriormente como ancho de banda, es una propiedad del medio de transmisión. Es posible limitar el ancho de banda de un medio colocando filtros que disminuyan el rango de frecuencias que puede transportar, pero no es posible ampliarlo, ya que depende intrínsecamente de las propiedades físicas del medio.

Del mismo modo que hemos definido el concepto de ancho de banda de un medio, también se puede definir el ancho de banda de la señal que va a ser transmitida por dicho medio. También se le denomina anchura espectral de la señal, se define como la banda de frecuencias que contiene la mayor parte de la energía de la señal. Se considera despreciable la energía contenida en las frecuencias fuera de este margen (un criterio a seguir sería considerar aquella banda de frecuencias que transporte un 90% de la energía total de la señal).

## VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

La información puede ser transmitida por un cable variando alguna propiedad de la corriente eléctrica que circula por él, por ejemplo su voltaje. Nuestro propósito es transmitir información digital, por lo tanto nos interesa poder representar los estados lógicos 0 y 1 de una forma sencilla y fácilmente reconocible. Un convenio podría ser emplear un nivel de tensión de 0 voltios para representar el estado lógico 0, y 5 voltios para representar el estado lógico 1.

Se considera estados significativos de una línea a todos aquellos niveles de tensión que representen informaciones distintas. Si disponemos de dos niveles de tensión



para representar la información, entonces sólo podremos señalar un bit en cada estado. Si en lugar de dos, utilizáramos cuatro niveles de tensión, podemos agrupar la información a transmitir de modo que cada nivel de tensión represente dos bits. En este caso se pueden transmitir dos bits de información por cada intervalo significativo de tiempo.

Podemos definir la velocidad de modulación como el número de veces por segundo que la señal cambia su valor en la línea o medio de transmisión. Esta velocidad se mide en baudios. El número de baudios determina la cantidad de cambios de estado por segundo que se producen en una transmisión. Cuantos más estados, más cantidad de bits por segundo se podrán transmitir. La expresión matemática que define la velocidad de modulación vendría dada por:

$$V_m = \frac{1}{T} \quad (1.41)$$

Siendo T el intervalo de tiempo consumido por un estado.

Como hemos visto, un cambio de estado puede implicar la transmisión de más de un bit de información. Por lo tanto, el concepto de baudio está ligado directamente a las características del medio de transmisión y se corresponde con la cantidad de veces que la señal portadora oscila (cambia de estado) por unidad de tiempo.



Definiremos ahora la velocidad de transmisión como el número de bits transmitidos por segundo. Su unidad es el bps (bits por segundo). En general, si el número de estados posibles de la línea de comunicación es  $n$ , a cada estado le corresponderán  $\log_2 n$  bits de información, por lo tanto la velocidad de transmisión será:

$$V_t = \frac{1}{T} (\log_2 n) = V_m (\log_2 n) \quad (1.42)$$

Solo en el caso de tener dos estados significativos ( $n=2$ ), el número de baudios coincidirá con la cantidad de bits por segundo que se pueden transmitir por la línea.

El tiempo necesario para transmitir un carácter depende del método de codificación y de la velocidad de transmisión. Supongamos por ejemplo que tenemos caracteres codificados con 8 bits, que vamos a emplear dos estados significativos y que la velocidad de transmisión es  $v$  bps. El tiempo necesario para enviar el carácter sería:

$$t_{\text{caracter}} = 8 \cdot t_{\text{bit}} = 8 \cdot \frac{T}{\log_2 n} = 8 \cdot \frac{T}{1} = \frac{8}{v} \quad (1.43)$$

En la transmisión de un conjunto de caracteres se puede considerar que el carácter va a repetirse indefinidamente a partir del último bit, por lo tanto el tiempo carácter podría concebirse como el periodo de la señal. En tal caso, la frecuencia del primer armónico de la serie de Fourier será:



$$f_1 = \frac{1}{t_{\text{character}}} = \frac{v}{8} \quad (1.44)$$

Si para enviar la señal se emplea como medio físico de transmisión, por ejemplo, una línea telefónica común, cuyo ancho de banda es aproximadamente 3 KHz, limitaremos las frecuencias más altas que pueden pasar a través del medio, de modo que la frecuencia del último armónico que podrá transmitirse sin distorsión será menor o igual a 3000 Hz:

$$f_N \leq 3000 \text{ Hz}$$

Como la frecuencia del N-ésimo armónico es N veces la frecuencia del primer armónico:

$$f_N = N \cdot f_1 \quad (1.45)$$

Podemos deducir que el número máximo de armónicos que se podrá transmitir por el medio físico vendrá dado por la expresión:

$$N = \frac{f_N}{f_1} \leq \frac{3000}{\left(\frac{v}{8}\right)} = \frac{24000}{v} \quad (1.46)$$



En general, la cantidad de armónicos N para una velocidad de transmisión v y un ancho de banda de 3KHz corresponde a la parte entera de la expresión anterior. Se puede deducir de dicha expresión que si se aumenta la velocidad de transmisión se reduce el número de armónicos que pueden pasar a través del canal sin distorsión.

Para el ancho de banda que presenta el medio físico utilizado en la red telefónica, si queremos obtener velocidades de transmisión superiores a 2400 bps es necesario recurrir a sistemas con varios estados, utilizando para ello varios niveles de voltaje.

En la transmisión de información digital entre computadoras es fundamental que aseguremos intercambios de datos libres de errores. El coste de esto estriba en que a la propia información a transmitir se le deben añadir otras informaciones adicionales para detección/corrección de errores, para establecer y controlar la comunicación, etc. Aparece aquí un nuevo concepto de velocidad que llamaremos velocidad de transferencia de datos, y que representa la cantidad de información útil que puede transmitirse por unidad de tiempo1:

$$V_{td} = \frac{\text{NumeroBitsInformacionUtil}}{\text{TiempoParaTransmitirTodosBits}} \quad (1.47)$$



## 1.6 ESTRUCTURA DE UNA RED PON

Los usuarios de telecomunicaciones ya están cansados de tanta competición en ancho de banda entre operadores, lo que demandan es una competición en servicios innovadores (HDTV, vídeo bajo demanda, videoconferencia, etc.). De esta forma, los principales operadores del mundo están definiendo avanzadas redes convergentes de banda ancha basadas en IP, maximizando así el valor de sus activos para atraer nuevos clientes y fidelizar a los existentes ofreciendo más servicios sobre la misma infraestructura a unos precios cada vez más competitivos.

Entre las tecnologías más interesantes que están permitiendo esta convergencia cabe destacar en la parte del bucle de abonado a GPON, la tecnología de acceso mediante fibra óptica con arquitectura punto a multipunto más avanzada en la actualidad. Los servicios que se pueden emplear sobre una red de estas características son además los mismos que se pueden ofrecer sobre la red móvil.

La fibra de óptica es el medio de transmisión más avanzado y el único capaz de soportar los servicios de nueva generación, como televisión de alta definición. Las principales ventajas de tener un bucle de abonado de fibra óptica son muchas: mayores anchos de banda, mayores distancias desde la central hasta el abonado, mayor resistencia a la interferencia electromagnética, mayor seguridad, menor degradación de las señales, etc. Además, la reducción de repetidores y otros dispositivos supondrán menores inversiones iniciales, menor consumo eléctrico, menor espacio, menos puntos de fallo, etc. La obra civil a realizar para el tendido de fibra puede verse reducido a partir de innovadoras alternativas, por ejemplo, NTT en



Japón y Verizon en EEUU han empleado en algunos casos un tendido aéreo en vez de tendido subterráneo.

También cabe destacar la solución de fibra “soplada” (blow fibre), mediante la cual la fibra es tendida sobre canalizaciones existentes a través de pistolas de aire comprimido. Aunque tender fibra hasta el hogar pueda suponer una fuerte inversión inicial (CAPEX) ésta podrá ser rápidamente amortizada a través de la reducción de los gastos de mantenimiento (OPEX) respecto a la infraestructura actual y a los nuevos servicios que se pueden ofrecer.

El remplazo de los componentes activos con los componentes pasivos proporciona un ahorro significativo de costos en mantenimiento y administración de dispositivos fuera de la central telefónica.

Adicionalmente, ya que los elementos pasivos no necesitan energía eléctrica, se tiene un extremadamente alto tiempo medio entre fallas. MTBFs (Mean Time Between Failures) que es la media aritmética del tiempo entre fallos de un sistema. Como el nombre lo implica, una red Óptica Pasiva no contiene elementos ópticos activos en ningún punto a lo largo de la red. La siguiente figura muestra un ejemplo de la arquitectura básica de una red GPON, en la que la red de fibra óptica conecta equipos de conmutación de la central telefónica con los usuarios.

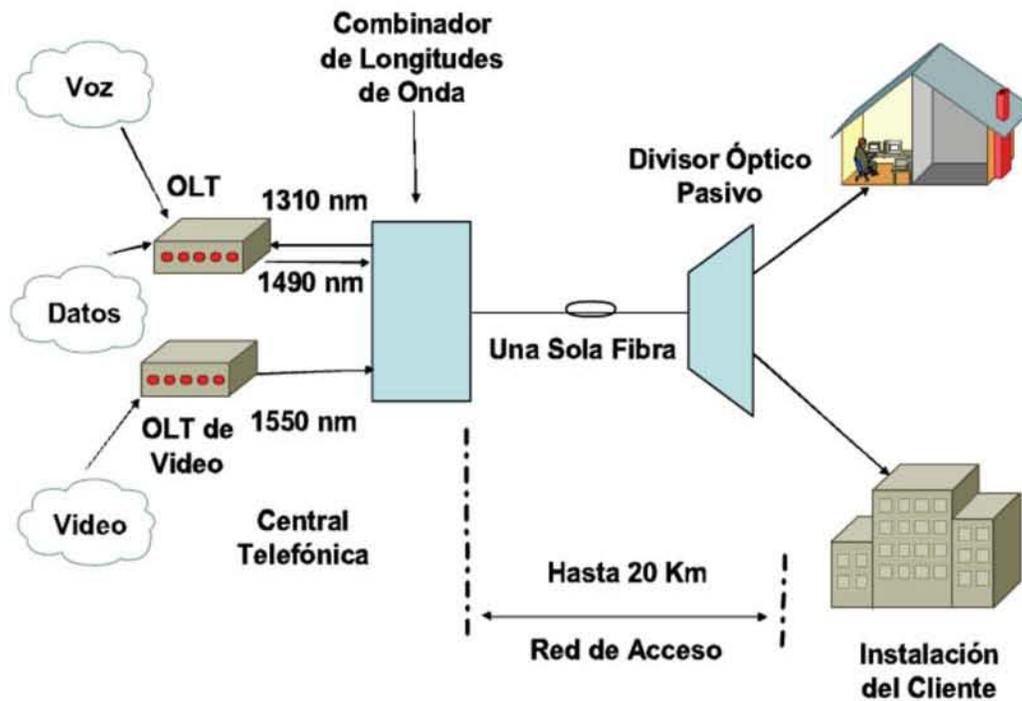


Figura 1.22 Arquitectura Básica de una Red GPON.

Una red óptica pasiva (PON) está formada básicamente por:

- Un modulo OLT (Optical Line Terminal - Unidad Óptica Terminal de Línea)
- Divisor Óptico (Splitter)
- ONU (Optical Network Unit – Unidad Optica de Usuario)



### 1.6.1 MODULO OLT (Óptica Line Terminal – Línea Terminal Óptica)

El OLT se localiza en la central telefónica y controla el flujo bidireccional de información a través del ODN. Debe soportar distancias de transmisión de hasta 20 Km.

En la ruta de bajada, (hacia el cliente), la función del OLT es tomar el tráfico de voz, datos y video de la red metropolitana y transmitirla en modo broadcast hacia todos los ONT de los usuarios. En la dirección opuesta, (del cliente hacia la central telefónica), el OLT acepta y distribuye múltiples tipos de voz y tráfico de datos de la red de los usuarios. Un OLT típico se diseña para controlar más de una Red PON.

La figura 1.23 muestra un ejemplo de una OLT sirviendo a cuatro redes PON

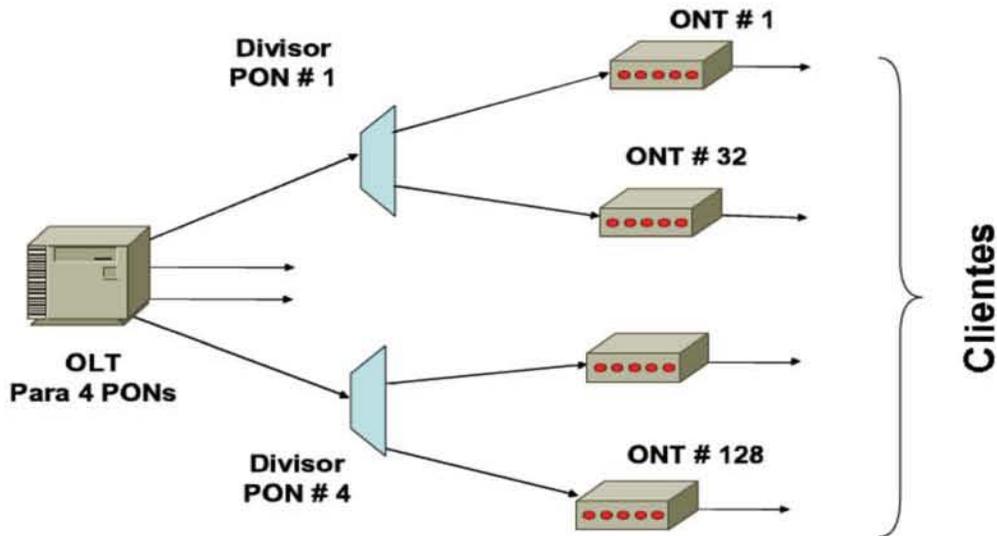


Figura 1.23 Ejemplo de una OLT



Un modulo OLT (Optical Line Terminal - Unidad Óptica Terminal de Línea) que se encuentra en el nodo central, se conecta a la red conmutada mediante interfaces normalizadas. En el lado de la distribución, presenta interfaces de acceso ópticas de conformidad con ésta y otras normas G-PON, en términos de velocidad binaria, balance de potencia, fluctuación de fase, etc.

La OLT consta de tres partes principales:

- Función de interfaz de puerto de servicio.
- Función de conexión cruzada.
- Interfaz de red de distribución óptica (ODN, Optical Distribution Network). (Red de distribución óptica (ODN) Este componente conecta una OLT y una o más ONU mediante un dispositivo óptico pasivo. En la ITU-T 5.6/G.983.1 se describen sus funcionalidades detalladas.)
- 

En la figura 1.24 se observa el diagrama a bloques funcionales de una OLT

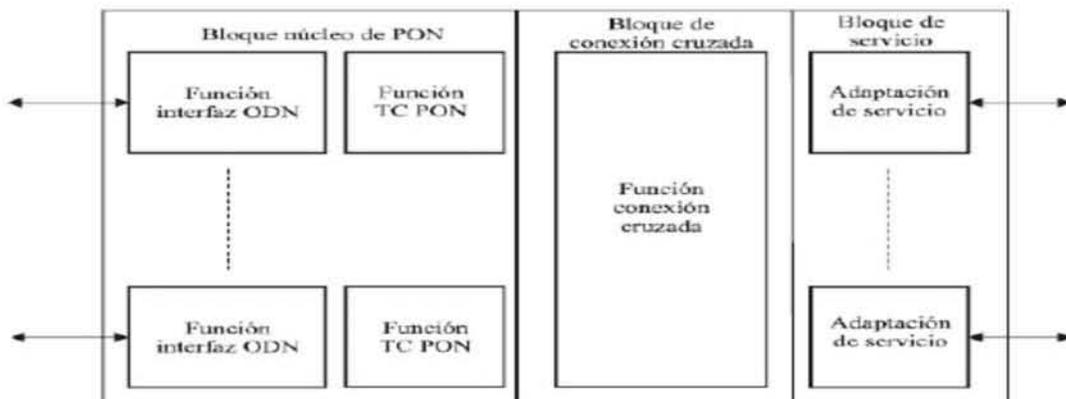


Figura 1.24 Diagrama a Bloques funcionales de una OLT.



## 1.6.2 DIVISOR ÓPTICO (Splitter)

Estos dispositivos se usan para dividir la señal de entrada en N ramas de salida con mínimas pérdidas. La posibilidad de utilizar diferentes arquitecturas para la compartición de señales ópticas, permite al proveedor de servicios configurar su red de la forma más efectiva posible.

Los Acopladores / Divisores para fibra óptica Monomodo constan de una o dos ramas de entrada y varias de salida (2, 4, 8, 16, 32...). Están diseñados para introducir Pérdidas de Inserción aproximadamente iguales en todas sus ramas de salida. La presentación mecánica habitual es sobre bandejas de empalme o casetes para mecánica rack. Los extremos de conexión pueden suministrarse terminados con conectores a requerimiento del cliente, pudiendo ser tanto de pulido angular convexo y altas pérdidas de retorno (FC/APC, SC/APC), como de pulido convexo (FC/PC, SC/PC, ST/PC).

Cada Splitter se suministra caracterizado con las medidas de Pérdida de Inserción (P.I.) y Pérdida de Retorno (PR) de cada una de sus ramas.

Las fibras de las diferentes ramas pueden presentarse tanto en fibra de 250  $\mu\text{m}$ , tubo holgado, protección ajustada de 900 mm o cable monofibra de un diámetro 3 mm.

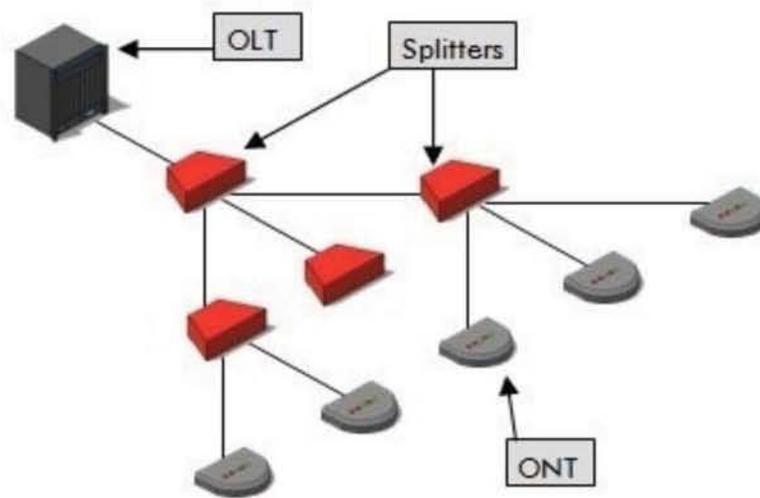


Figura 1.24 Divisor Óptico.

### 1.6.3 ONU (Optical Network Unit – Unidad Óptica de Usuario)

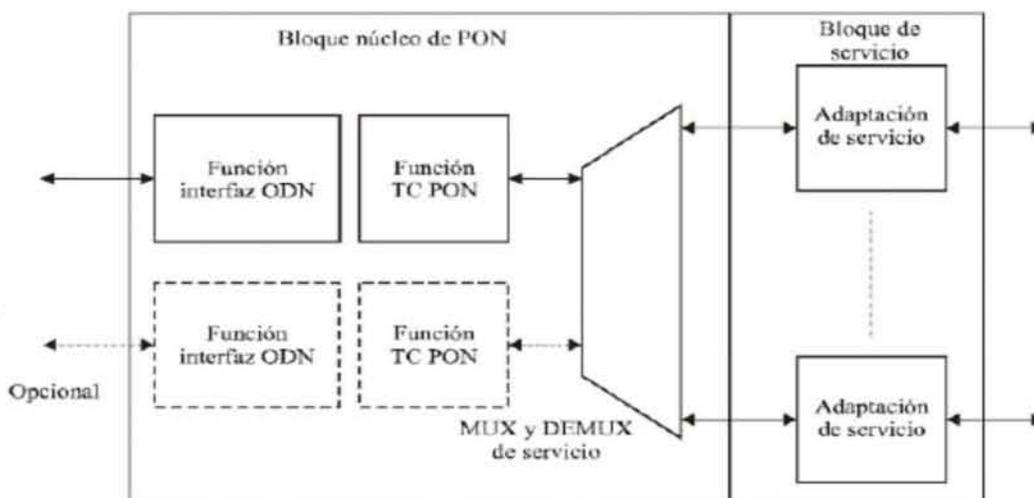
ONU's (Optical Network Unit - Unidad Óptica de Usuario) que están ubicadas en el domicilio del usuario. Los bloques constitutivos funcionales de la ONU GPON son en lo esencial similares a los bloques constitutivos funcionales de la OLT.

Puesto que la ONU funciona con una única interfaz PON (o un máximo de dos interfaces con fines de protección), puede omitirse la función de conexión cruzada.

Sin embargo, para el manejo del tráfico, en lugar de esta función, se especifica la función MUX y DMUX de servicio.



En la figura 1.25 se observa el diagrama a bloques funcionales de una ONU.



**Figura 1.25 Diagrama a Bloques Funcionales de una ONU**

La figura 1.26 muestra la configuración del sistema GPON, que consta de una OLT, varias ONU, un divisor óptico y fibras. La fibra óptica conectada a la OLT se ramifica en el divisor óptico en hasta 64 fibras, conectándose dichas fibras a las ONU. La capa dependiente del medio físico utilizada para GPON se especifica en la Rec. UIT-T G.984.2.

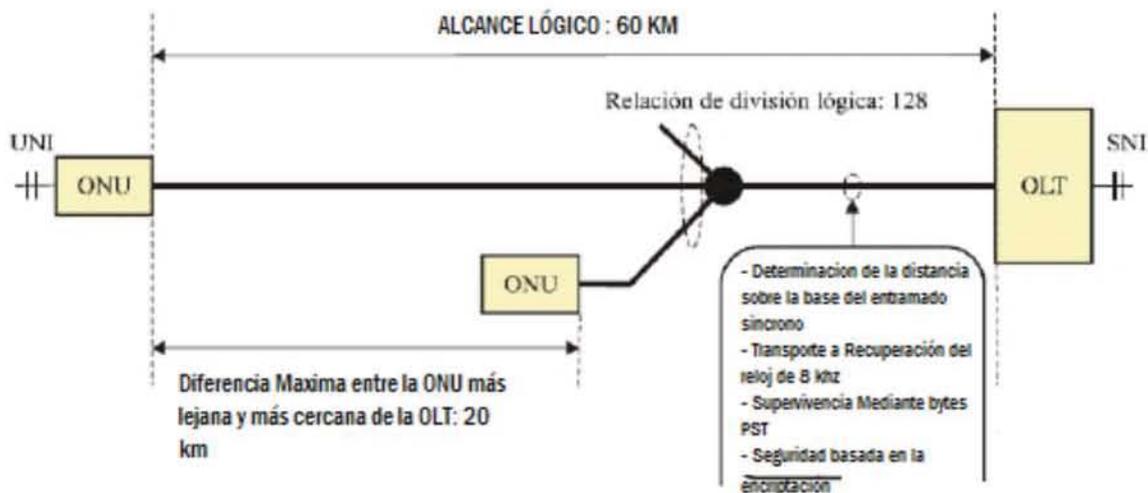


Figura 1.26 Configuración del sistema GPON.

La transmisión se realiza entonces entre la OLT y la ONU que se comunican a través del divisor, cuya función depende de si el canal es ascendente o descendente.

El sistema GPON soporta las siguientes velocidades de transmisión asimétricas:

- 0,15552 Gbit/s ascendente, 1,24416 Gbit/s descendente
- 0,62208 Gbit/s ascendente, 1,24416 Gbit/s descendente
- 1,24416 Gbit/s ascendente, 1,24416 Gbit/s descendente
- 0,15552 Gbit/s ascendente, 2,48832 Gbit/s descendente
- 0,62208 Gbit/s ascendente, 2,48832 Gbit/s descendente
- 1,24416 Gbit/s ascendente, 2,48832 Gbit/s descendente
- 2,48832 Gbit/s ascendente, 2,48832 Gbit/s descendente



GPON trabaja en modo de radiodifusión (Multicast) utilizando Splitters (divisores) ópticos.

#### **1.6.4 CANAL DESCENDENTE DE UNA RED PON**

En canal descendente, una red PON es una red punto-multipunto donde la OLT envía una serie de contenidos que recibe el divisor y que se encarga de repartir a todas las unidades ONU, cuyo objetivo es el de filtrar y sólo enviar al usuario aquellos contenidos que vayan dirigidos a él.

En este procedimiento se utiliza la multiplexación en el tiempo (TDM) para enviar la información en diferentes instantes de tiempo.

#### **1.6.5 CANAL ASCENDENTE DE UNA RED PON**

En canal ascendente una PON es una red punto a punto donde las diferentes ONU's transmiten contenidos a la OLT. Por este motivo también es necesario el uso de TDMA para que cada ONU envíe la información en diferentes instantes de tiempo, controlados por la unidad OLT.

Para que no se produzcan interferencias entre los contenidos en canal descendente y ascendente se utilizan dos longitudes de onda diferentes superpuestas utilizando



técnicas WDM (Wavelength División Multiplexing). Al utilizar longitudes diferentes es necesario, por lo tanto, el uso de filtros ópticos para separarlas después.

Finalmente, las redes ópticas pasivas contemplan el problema de la distancia entre usuario y central; de tal manera, que un usuario cercano a la central necesitará una potencia menor de la ráfaga de contenidos para no saturar su fotodiodo, mientras que un usuario lejano necesitará una potencia más grande.

Esta condición está contemplada dentro de la nueva óptica.

#### **1.6.6 VENTAJAS DE LAS REDES ÓPTICAS PASIVAS PON**

- Aumento de la cobertura hasta los 20 Km. (desde la central). Con tecnologías DSL como máximo se cubre hasta los 5,5 Km.
- Ofrecen mayor ancho de banda para el usuario.
- Mejora en la calidad del servicio y simplificación de la red debido a la inmunidad que presentan a los ruidos electromagnéticos.
- Minimización del despliegue de fibra óptica gracias a su topología.
- Reducción del consumo gracias a la simplificación del equipamiento.
- Más baratas que las punto a punto.



En la figura 1.27 se observa cómo es la migración de la tecnología para ofrecer servicios triple play a través de redes PON.

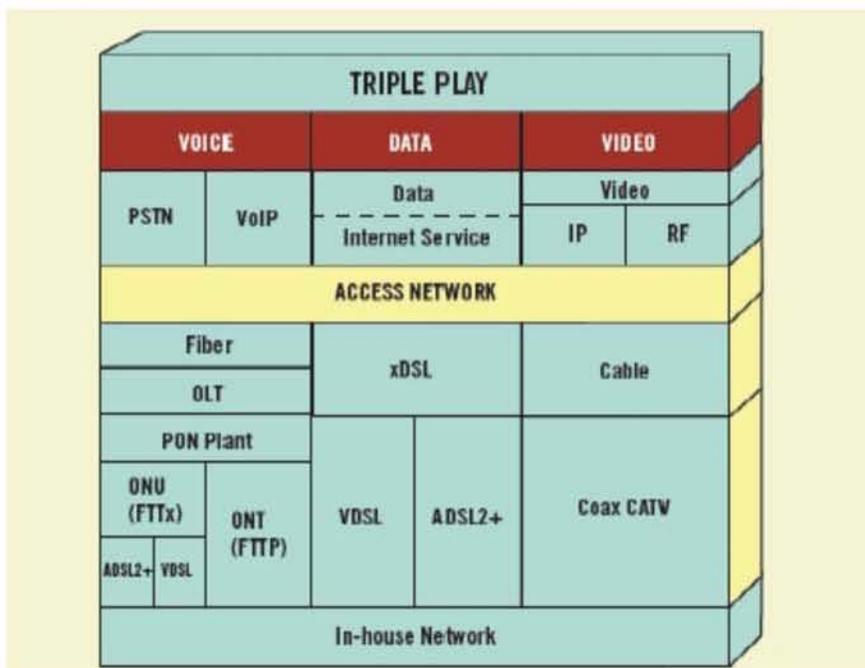


Figura1.27 Servicios Triple Play a través de redes PON



## 1.6.7 ESTÁNDARES DE UNA RED PON

En la Figura 1.20 se observan los estándares que se emplean para las redes GPON.

	B-PON	G-PON	E-PON
Span	20 km	60 km max, 20 km differential	10 km today, 20 km planned
Maximum insertion loss	20/25/30 dB	15/20/25 dB	15/20 dB
Maximum number of branches	32	64	16
Bit rate (Mbps)	Down: 155, 622, 1244 Up: 155, 622	Down: 1244, 2488 Up: 155, 622, 1244, 2488	Down: 1244 Up: 1244
Wavelengths	Down: 1480-1500 nm Video at 1550 nm Up: 1260-1360 nm	Down: 1480-1500 nm Video at 1550 nm Up: 1260-1360 nm	Down: 1490 nm Up: 1300 nm
Traffic mode	ATM	ATM, Ethernet, TDM	Ethernet
Architecture	Asymmetric or Symmetric	Asymmetric or Symmetric	Ethernet
Video overlay	Yes	Yes	No
Applicable standard	ITU-T G.983.x	ITU-T G.984.x	IEEE 802.11
Chipset support	Available	First prototypes	First prototypes
Upstream burst time	Fixed 56 bytes (ATM)	Guard: 25.6 ns Preamble: 35.2 ns (typical) Delimiter: 16.9 ns	Laser turn on/off: 512 ns (max) AGC setting and CDR lock: 400 ns

Figura 1.20 Estándares Para Redes GPON.

ITU-T G.983 APON (ATM ((Asynchronous Transfer Mode) Passive Optical Network): Fue la primera red que definió la FSN, un grupo formado por 7 operadores de telecomunicaciones con el objetivo de unificar las especificaciones para el acceso de banda ancha a las viviendas.

APON basa su transmisión en canal descendente en ráfagas de celdas ATM (Modo de transferencia asíncrona) con una tasa máxima de 155 Mbps que se reparte entre



el número de ONU's que estén conectadas. En canal descendente, a la trama de celdas ATM, se introducen dos celdas PLOAM para indicar el destinatario de cada celda y otra más para información de mantenimiento. Su inconveniente inicial era la limitación de los 155 Mbps que más adelante se aumentó hasta los 622 Mbps.

BPON (Broadband PON - Red Óptica Pasiva de Banda Ancha): Se basan en las redes APON pero con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha. Originalmente estaba definida con una tasa de 155 Mbps fijos tanto en canal ascendente como descendente; pero, más adelante, se modificó para admitir:

1. Tráfico asimétrico: canal descendente -> 622 Mbps // Canal ascendente -> 155 Mbps.
2. Tráfico simétrico: canal descendente y ascendente -> 622 Mbps.

No obstante presentaban un coste elevado y limitaciones técnicas.

ITU-T G.984 GPON (Gigabit Passive Optical Network). Está basada en BPON en cuanto a arquitectura pero, además ofrece:

1. Soporte global multiservicio: voz, Ethernet 10/100, ATM.
2. Cobertura hasta 20 Km.
3. Seguridad a nivel de protocolo.
4. Soporte de tasas de transferencia:
  - Simétrico: 622 Mbps y 1.25 Gbps.
  - Asimétrico: descendente-> 2.5 Gbps // ascendente -> 1.25 Gbps IEEE 802.3AH



EPON (Ethernet PON): Especificación realizada por el grupo de trabajo EFM (Ethernet in the First Mile -Ethernet en la última milla) constituido por la IEEE para aprovechar las características de la tecnología de fibra óptica y aplicarlas a Ethernet.

La arquitectura de una red EPON se basa en el transporte de tráfico Ethernet manteniendo las características de la especificación 802.3. Las ventajas que presenta respecto los anteriores estándares son:

1. Trabaja directamente a velocidades de gigabit (que se tiene que dividir entre el número de usuarios).
2. La interconexión de islas EPON es más simple.
3. La reducción de los costos debido a que no utilizan elementos ATM y SDH.

## **1.7 TIPOS DE REDES DE FIBRA ÓPTICA DEL OPERADOR TELEFÓNICO PROPUESTO**

La planta externa telefónica es toda una infraestructura exterior necesaria para ofrecer servicios de telecomunicaciones, es uno de los objetivos principales del operador telefónico propuesto de mantenerla en óptimas condiciones para poder dar a todos los clientes un buen servicio.

Existen diferentes tipos de redes por las cuales, la topología de la Planta Externa está compuesta.



- Red Troncal: Es la Red que se utiliza entre centrales dentro de una localidad o de larga distancia, el enlace puede ser de cobre o de fibra óptica
- Red Principal: Es el conjunto de cables que inician en el distribuidor general de las centrales y son repartidos en diferentes cajas de distribución, también llamadas distritos, instaladas en diferentes puntos de las zonas a atender.
- Red Secundaria: Es aquella que inicia de las cajas de distribución a través de cables de un determinado número de pares, hasta un punto de contactos receptores, conocidos generalmente como caja terminal o punto de dispersión instaladas en postes, fachadas, interior de inmuebles o azoteas.
- Red Directa: Es el conjunto de cables con cuentas de red principal que inician en el distribuidor general y son repartidos y rematados en terminales, en un radio de 300 m. Alrededor de la central correspondiente.
- Red de Acceso al Cliente: Es el enlace existente entre el punto de dispersión y el equipo terminal del cliente; se divide en dos segmentos: la instalación exterior que contempla el bajante o acometida y la instalación interior o cableado interior, la cual se encuentra dentro del domicilio del cliente, pudiendo ser ocultas y visibles.
- Red óptica Flexible ROF: Esta red es la que está formada por un conjunto de cables de fibra óptica que enlazan a través de fibra óptica grandes usuarios para proporcionar servicios de voz, datos y video.



## 1.8 RED ÓPTICA SECUNDARIA

La topología de la red de la Planta externa, la cual está formada por los cables que salen de la Caja de Distribución Óptica y alimentan a varias terminales ópticas (puntos de dispersión) se le llama Red Óptica Secundaria.

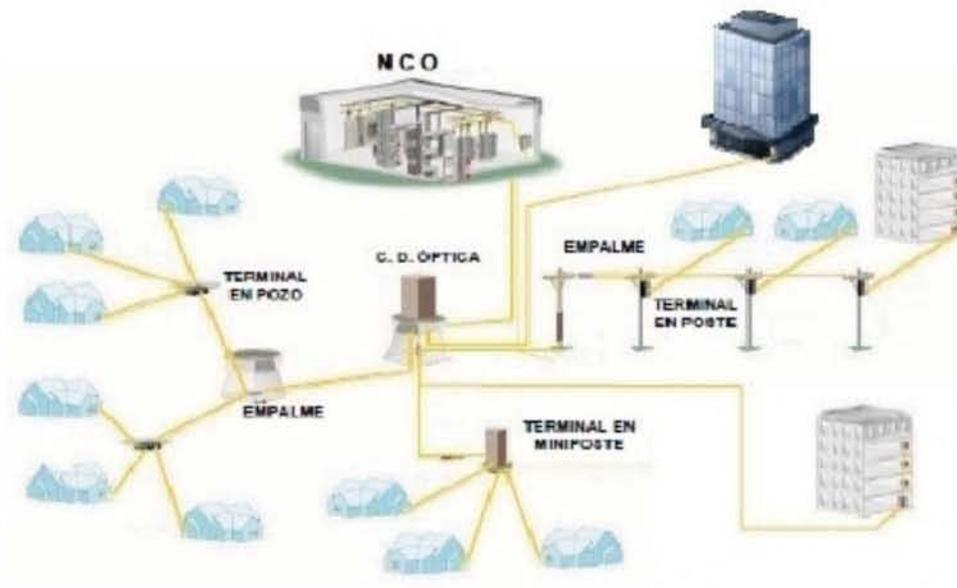


Figura 1.27 Red Óptica Secundaria

Los elementos conforman la Red Óptica Secundaria son:

- Caja de Distribución (CDO): Su función es la de realizar la interconexión entre la Red Principal a través de los divisores (Splitters) y la Red secundaria.
- Interconexión: La interconexión entre ambas redes se realiza a través de los divisores (Splitters) de fibra que reciben una fibra de principal y la dividen en



64 fibras de secundario. El Puente en las Cajas de Distribución permite la asignación de cualquier fibra proveniente de los divisores, a cualquier Cliente que contrate el servicio dentro del área de un Distrito.

- Puntos de dispersión (Terminales): Es el último punto de la Red Secundaria y son dispositivos donde se remata la red como punto de dispersión y del cual se distribuye el servicio a los clientes a través del cable de acometida óptico (bajante). Las terminales tienen capacidad de 6 y 12 fibras y pueden ser instaladas en pozo, poste, fachada, azoteas e interior.

### 1.9 DISEÑO DE LA RED ÓPTICA SECUNDARIA.

Para el diseño de la Red Óptica Secundaria, se deben considerar las siguientes reglas:

- Para los conceptos de medios de distribución, determinación de las áreas de influencia, ubicación de las cajas de distribución y de las terminales, se debe aplicar lo indicado en la Norma de Ingeniería para la Red Secundaria (N/03/003), considerando las características de los materiales y condiciones especificadas en este documento.
- Las fibras, para determinar las áreas de influencia, se calculan de acuerdo a la cantidad de Viviendas, considerando:
  1. Una fibra por vivienda, si la ganancia a 3 años es igual o mayor al 70% de las viviendas.



2. Si la ganancia a 3 años es menor al 70% de las viviendas, las fibras se calculan para la ganancia a 3 años más un 10% para mantenimiento, (para este caso, la etapa siguiente es a saturación).
3. No se debe dimensionar fibras de reserva, ni para los lotes baldíos que así continúen durante los 3 años del proyecto.
4. No se debe dimensionar red secundaria a zonas no maduras que están en el inicio de creación y en 3 años no se alcanza al menos una penetración y construcción de viviendas del 30%.
5. Todas las Terminales se deben dimensionar a una ocupación del 100%.
6. En aquellos desarrollos con instalación oculta, se debe considerar el uso de Terminales Subterráneas (a instalar en pozo).
7. Para el diseño de las áreas de influencia, se deben considerar terminales (puntos de dispersión) de 6 y 12 fibras.
8. Todas las terminales (aéreas o subterráneas) se deben proyectar multiservicio.
9. Los divisores (Splitters) de fibra a proyectar, serán de 1 x 64.
10. Para determinar la cantidad de divisores que se deben considerar en el proyecto, se dividirá el total de viviendas o comercios entre 64, tomando el entero inmediato superior.
11. La simbología a utilizar, en la elaboración de los proyectos, será la misma que se utiliza para la Red secundaria de cobre.
12. La abreviatura a utilizar para identificar la Caja de Distribución Óptica será "CDO" y la nomenclatura para las terminales ópticas será FA1, FC3, etc. (se antepone la letra F a la identificación de la terminal).
13. Para el caso de terminales reducidas la nomenclatura será FA1a, FA1b.



## 1.10 UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE DISPERSIÓN

La ubicación de Puntos de Dispersión en la Red es la labor del proyectista que consiste en determinar el área de terminal, iniciando con una división o selección de áreas de terminal. Dicha propuesta generalmente se debe efectuar de las puntas del distrito hacia la caja de distribución, tomando en consideración el cálculo de fibras por vivienda, las áreas o zonas baldías que se encuentren dentro de un distrito, se considerarán en el anteproyecto del distrito, sumando lote por lote las fibras correspondientes.

Teniendo definidas las áreas de terminal, se procede a la ubicación de éstas, al centro de la misma. Con las áreas de terminal definidas, se efectúa el dimensionamiento del cable necesario para unir estas terminales con la caja de distribución.

Para el dimensionamiento del Distrito se debe de considerar el tamaño o área de cobertura de un distrito, depende básicamente de dos variables:

- a) La capacidad de las cajas de distribución ópticas (CDO's).
- b) La densidad de la Demanda.

Por lo anterior, se toma como base la suma de la demanda del área a atender, considerando el potencial de habitaciones para zonas urbanas ya estabilizadas o el potencial de saturación de viviendas, posteriormente el área total se divide en función



de la capacidad de las Cajas de Distribución Ópticas, por lo tanto, se tendrá que a mayor densidad de clientes, menor será el área de cobertura del distrito.

Una recomendación importante es la realización de estudios técnico-económicos en cada caso, para evitar el cambio de caja en un futuro mediano.



## **CAPÍTULO 2: EQUIPOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS EN REDES GPON**

En el presente capítulo conoceremos de forma general algunos de los principales equipos de medición empleados en las redes de comunicaciones por fibra óptica, los cuales son primordiales para la construcción, mantenimiento y reparación de una red de fibra óptica sobre todo en una Red GPON (Gigabit Passive Optical Network).

Uno de estos equipos es el Microscopio óptico digital el cual es una de las herramientas básicas para la construcción de una red de transmisión de datos por GPON, este nos permite analizar a detalle la limpieza del núcleo de la fibra óptica, siendo así la limpieza una de los aspectos más significativos que tendremos que cuidar con este tipo de redes, conoceremos algunos de los microscopios que actualmente se encuentran en el mercado así como algunas de las características que ofrece cada uno de ellos.

De igual forma indagaremos acerca del medidor de potencia el cual es una herramienta ocupada sobre todo en la reparación y entrega de proyectos de redes con fibra óptica, ya que este nos indicara la potencia que tendremos tanto en el canal de Subida, como en el canal de bajada, indicándonos también la ventana de operación en la cual se está realizando la medición de dicha potencia.

Todo lo anterior nos servirá para empezar con el análisis de uno de los equipos más completos utilizados para la construcción de redes de fibra óptica así como para su reparación de estas el cual es el equipo OTDR (Optical Time Domain



Reflectometer o Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo) se analizara su funcionamiento y cuáles son las bondades de este al utilizarlo para la detección de fallas dentro de las líneas de transmisión de datos.

En el presente capítulo se mencionaran equipos de medición tales como lo son el OTDR del fabricante EXFO, el OTDR del fabricante FLUKE, el Microscopio óptico del fabricante NOYES, los cuales se ocupan como referencia a las características contenidas en el OTDR del fabricante JDSU por tal motivo no se llevara a cabo un análisis para cada uno de estos equipos, solo se destacaran sus más importantes características.

A continuación se muestran los nombres de los equipos, así como el nombre del fabricante y el modelo de cada uno de estos:

1.- Equipo: OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

Fabricante: EXFO

Modelo: FTB-1

Imagen:





2.- Equipo: OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

Fabricante: FLUKE

Modelo: OptiFiber® Pro

Paquete: OFP-100-M

Imagen:



3.- Equipo: Fuente de Luz y Fuente de Luz Estabilizada

Fabricante: EXFO

Modelo: ELS-50

Imagen:





4.- Equipo: Power Meter o Medidor de Potencia

Fabricante: EXFO

Modelo: FPM-600

Imagen:



5.- Equipo: Microscopio Óptico Portátil

Fabricante: NOYES

Modelo: OFS300

Imagen:





6.- Equipo: Microscopio Óptico

Fabricante: JDSU

Modelo: P5000i

Imagen:



7.- Equipo: Microscopio Doble Integrado

Fabricante: JDSU

Modelo: FIT-S105-PRO

Imagen:





8.- Equipo: Identificador de Tráfico

Fabricante: JDSU

Modelo: FI-60

Imagen:



## 2.1 EQUIPO OTDR-EXFO

El OTDR EXFO mostrado en la figura 2.1 es un equipo optimizado para la creación de infraestructuras de red y la solución de problemas mediante sus aplicaciones de pruebas FTTH y Ethernet dedicadas.



- Generador y visor de archivos PDF disponible en la unidad
- Transferencia fácil de archivos y carpetas a un dispositivo de almacenamiento USB
- Actualizaciones fáciles para aplicaciones mediante Administrador de actualizaciones

Parte Frontal del Equipo OTDR-EXFO (Figura 2.2)

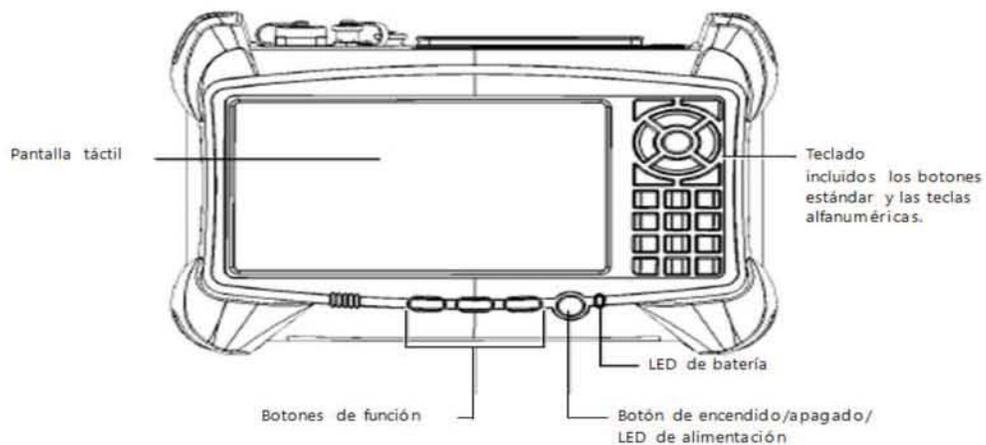


Figura 2.2 Parte Frontal del Equipo OTDR-EXFO

Parte superior del Equipo OTDR-EXFO (Figura 2.3)

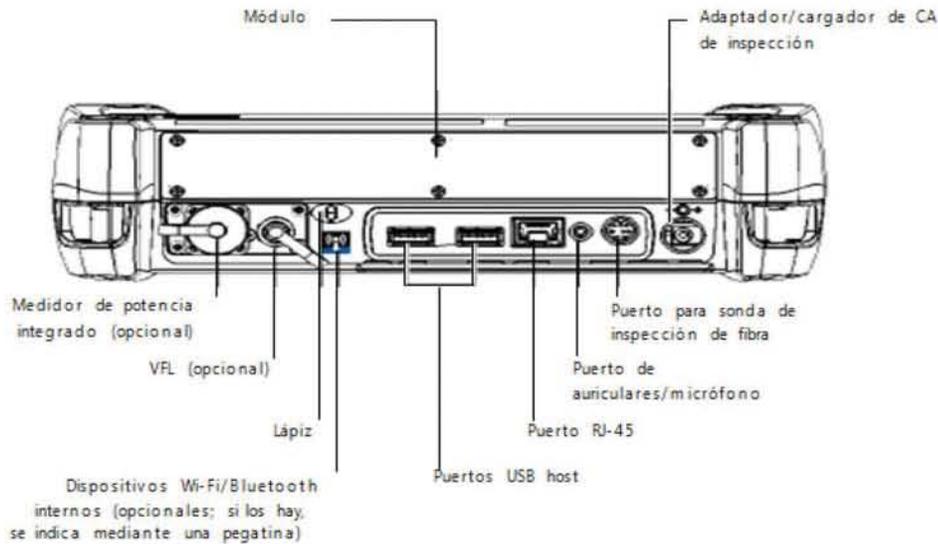


Figura 2.3 Parte Superior del Equipo OTDR-EXFO.

La unidad con VFL integrado, es un instrumento láser de clase 3R conforme a los estándares IEC 60825-1 y 21 CFR 1040.10. Es potencialmente peligroso en caso de exposición directa del ojo al haz de luz.

La siguiente etiqueta o conjunto de ellas (Figura 2.4) indica que el producto contiene una fuente de clase 3R:

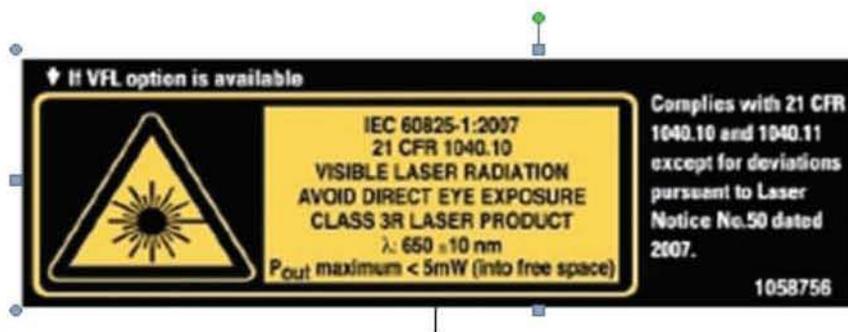


Figura 2.4 Etiqueta de fuente de clase 3R



## 2.2 OTDR OPTI FIBER PRO DE FLUKE NETWORKS.

El OTDR OptiFiber Pro crea un nuevo estándar para el uso con una interfaz de teléfono inteligente que admite control por gestos y ofrece mejoras tecnológicas que simplifican las comprobaciones en entornos de centros de datos.

Las nuevas funciones principales incluyen:

Una interfaz de usuario para teléfono inteligente, minimiza la curva de aprendizaje vinculada generalmente con los OTDR al reducir considerablemente la complejidad, ayudando a los técnicos.

Tiene un manejo de datos simplificado, la automatización del proceso de configuración de parámetros de prueba, como longitudes de onda o algoritmos de detección final, reduce significativamente el tiempo de configuración y la complejidad de aprender cómo solucionar los problemas de los centros de datos.

Las zonas muertas de evento y atenuación más cortas de la industria, prueba de conectores y latiguillos de apenas 0,5 metros. Esto es crítico en entornos de server virtuales, donde las conexiones tienden a ser de menos de un metro y los problemas de rendimiento ocultos pueden reducir considerablemente la fiabilidad de los centros de datos y las redes de área de almacenamiento (SAN).



Figura 2.1 Equipo OTDR-EXFO

El equipo OTDR-EXFO tiene las siguientes características:

- Posibilidades multitarea
- Pantalla táctil en color de siete pulgadas (pantalla táctil y LCD optimizada para uso exterior disponible como opción)
- Dos puertos USB 2.0 (host)
- Puerto Ethernet (10/100/1000 Base-T)
- Dispositivos opcionales internos WiFi y Bluetooth
- Sistema operativo Windows Embedded Standard
- Puerto para sonda de inspección de fibra
- Medidor de potencia y VFL integrados opcionales
- Acceso remoto a la unidad (mediante Tight VNC o Escritorio remoto)
- Acceso directo a Internet desde la unidad
- Posibilidad de hacer capturas de pantalla



Presentación visual de fallos: muestra todos los eventos de fibra Óptica gráficamente, lo que permite que cualquier usuario interprete de forma rápida y fácil los resultados de trazado del OTDR.

Herramientas de gestión de proyectos integradas: facilitan la asignación y el seguimiento de todos los proyectos de comprobación de fibra Óptica para múltiples usuarios, lo que aumenta la eficacia, mejorando así la visibilidad del seguimiento de proyectos y permitiendo compartir el dispositivo y ahorrar en costo.

Contiene un Software de gestión actualizado: elimina la carga de la gestión de trabajo, integra los resultados de las pruebas y mantiene el OTDR actualizado con el software más reciente.



**2.5 OTDR OptiFiber**



## 2.3 FUENTES DE LUZ

Para la realización de la medición de atenuación por el método de inserción se utiliza una fuente estabilizada de luz (Figura 2.6), un medidor de potencia óptica (power meter) y para las terminales ópticas un atenuador óptico.



**Figura 2.6 Fuentes de Luz**

### 2.3.1 FUENTE DE LUZ ESTABILIZADA

La fuente estabilizada (Figura 2.7) de luz está constituida por emisores láser con las longitudes de onda de trabajo de los sistemas de comunicación por fibra óptica (1300 nm y 1550nm).

Existen diferentes marcas homologadas (Siemens, Exfo, Wandel & Goltermann, JDSU). Teniendo los equipos características y formas de operación muy similares.

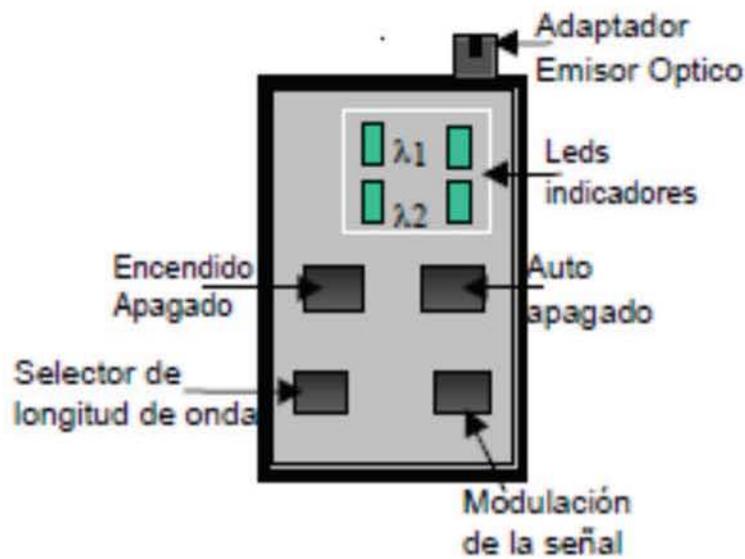


Figura 2.7 Estructura Fuentes de Luz

## 2.4 MEDIDOR DE POTENCIA ÓPTICA

El Medidor de Potencia está constituido por fotoreceptores con las longitudes de onda de trabajo de los equipos utilizados en los sistemas de transmisión por fibra óptica (850, 1300, 1550 y 1625 nm).

Los fotoreceptores (fotodiodos) pueden ser de Germanio o de Arseniuro de Galio e Indio. En la figura 2.8 se ilustra un medidor de potencia en forma genérica, donde se muestran los componentes básicos con que cuentan estos aparatos.

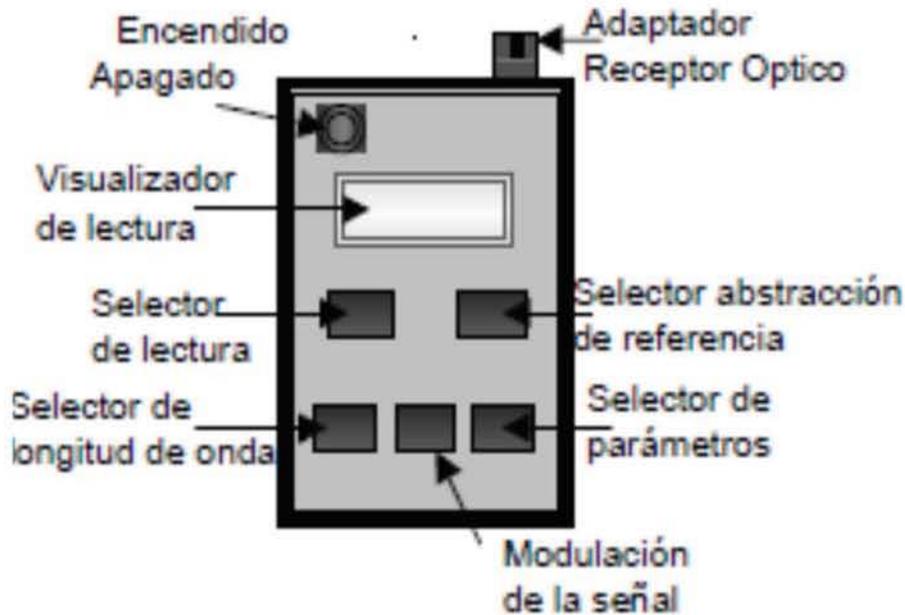


Figura 2.8 Medidor de Potencia.

Existen dos tipos de mediciones de potencia óptica: mediciones de potencia absoluta, y mediciones de potencia relativa. Las absolutas son realizadas cuando se miden directamente fuentes, amplificadores, y receptores, en cambio, en las relativas se miden las pérdidas, atenuaciones, o ganancias en una red de fibra óptica. Las mediciones relativas se expresan habitualmente en decibeles (dB), y las absolutas en dBm (referidas a 1 miliwatt de potencia).

Para realizar una medición de las pérdidas ópticas, primeramente se transmite un nivel de luz conocido con una fuente de luz directamente a un medidor de potencia óptica sin el enlace a medir, este nivel se considera como nivel de referencia. Luego se intercala el sistema a medir y se mide la potencia de la señal recibida, la diferencia entre esta potencia y la de referencia corresponde a las pérdidas del enlace.



En un medidor de potencia óptica, básicamente se convierte el valor de la corriente generada por el fotodiodo en un valor de tensión, por medio de un amplificador. Luego, para evitar eventuales voltajes de ruido para bajas potencias, se coloca un filtro pasa bajo, y por último se inserta este valor en un voltímetro digital.

## 2.5 MICROSCOPIO ELECTRONICO

Un microscopio electrónico mostrado en la figura 2.9, es aquél que utiliza electrones en lugar de fotones o luz visible para formar imágenes de objetos diminutos. Los microscopios electrónicos permiten alcanzar ampliaciones hasta 5000 veces más potentes que los mejores microscopios ópticos, debido a que la longitud de onda de los electrones es mucho menor que la de los fotones "visibles".

En la actualidad existen diferentes marcas que manejan este tipo de equipo para la verificación de la fibra óptica algunos son:

Microscopio Óptico Portátil De Fibra Óptica Noyes OFS 300. Es un microscopio de fibra óptica con precisión de 200 aumentos, es resistente y portátil se utiliza en la inspección de conectores de fibra óptica para los araños, la suciedad u otros problemas normalmente asociados con el bajo rendimiento en la transmisión, dispone de un filtro de seguridad láser que proporciona >40 dB IR de protección para los ojos del personal que lo opere.



El OFS 300 acepta una gran variedad de adaptadores para la inspección de la mayoría de conectores estándar de la industria. Ofrece 60 horas continuas de baterías con indicador LED y es diseñado para uso en campo, con calidad óptica de laboratorio, permite su montaje en cualquier trípode estándar del mercado.



### 2.9 Microscopio Óptico Portátil De Fibra Óptica Noyes OFS 300

Microscopio Digital Para Fibra Óptica Noyes DFS1, soporta video inspección ampliada del extremo del conector de fibra óptica durante la instalación y mantenimiento del conector y el cable de fibra óptica. Ofrece 400 aumentos. La unidad portátil de diseño ergonómico ilumina los extremos de la fibra y ofrece imágenes ampliadas a través del puerto USB a los OTDR's.

El software del microscopio enseña, etiqueta, y archiva las imágenes capturadas como parte de la instalación del conector y / o registros de mantenimiento.

Un botón de ajuste permite facilitar el enfoque con visión en tiempo real. Una vez centrado, un botón de disparo situado convenientemente señala en el panel del dispositivo la captura de la imagen para su análisis y archivo. El equipo ergonómico permite su manejo con una sola mano.



El DFS1 se alimenta a través del puerto USB, eliminando la necesidad de una batería adicional o fuentes de alimentación CA. La inspección electrónica de video elimina todo el peligro de daño a los ojos de las fibras en estado activo (encendido) que lleven longitudes de ondas visibles o infrarrojas.

Microscopio digital para análisis P5000i (Figura 2.10), El P5000i es un microscopio digital portátil que inspecciona y certifica automáticamente las caras del extremo de los conectores de fibra de acuerdo con los estándares y las especificaciones de la industria. Este microscopio digital brinda resultados Pass/Fail instantáneos presionando un botón, lo que elimina las conjeturas subjetivas y que consumen mucho tiempo.

Compatible con múltiples plataformas, como T-BERD®/MTS-2000/4000/5800/6000A y HST-3000, y con computadoras portátiles o PC, el P5000i realiza un análisis rápido y repetible que se integra fácilmente a los procedimientos de prueba existentes. Los fabricantes, instaladores y proveedores de servicios líderes en todo el mundo confían en JDSU para certificar sus conectores de fibra.

El P5000i ofrece a cualquier técnico que trabaja con fibra la misma capacidad en la palma de la mano.

Este equipo de medición cuenta con las siguientes funciones:

- El análisis repetible Pass/Fail elimina las conjeturas subjetivas del proceso de medición.



- Los perfiles de aceptación, que los usuarios pueden seleccionar, permiten la certificación según cualquier criterio de aceptación.
- Incluye el software FiberChekPRO™ para realizar análisis e informes en PC o computadora portátil.
- El centrador automático de imagen garantiza que la fibra esté siempre en el centro de la pantalla.
- La generación de informes detallados permite certificar y documentar los resultados.
- La funcionalidad de la lupa doble (200X y 400X) permite realizar inspecciones y análisis detallados y de alto nivel.
- El botón para alternar la lupa permite cambiar fácilmente tanto en la vista en vivo como en la vista para realizar análisis.
- Acepta las puntas serie FBPT para ser compatible de forma integral con todos los tipos de conector que se utilizan actualmente en la red.
- La rueda de control de enfoque ergonómico permite al usuario optimizar la calidad del enfoque de forma precisa y fácil
- Punta de Video FBP con 200/400X
- Adaptador USB
- Puntas de inspección: Universal 2.5 mm UPC (macho), Universal 1.25 mm UPC (macho), Universal 2.5 mm APC (macho), SC, SC/APC, FC, LC (hembras o bulkheads)
- Maletín de Transporte
- 2 Plumas para limpieza de conectores (2.5mm y 1,25 mm)
- Software Fibercheck para visualización en Laptop



**Figura 2.10 Microscopio digital para análisis P5000i**

Microscopio digital FBP-SM03-C (Figura 2.11) con punta de prueba con pantalla HD-3, tiene las siguientes características:

- Display de video para microscopio
- Punta de inspección para Bulkheads
- Display HD-3
- Punta de Video FBP con 200/400X
- Puntas de inspección: o Universal 2.5 mm UPC (macho) o Universal 1.25 mm UPC (macho) o SC, LC (hembras o bulkheads)
- Maletín de Transporte suave
- 2 Plumas para limpieza de conectores (2.5mm y 1,25 mm) (Figura 2.12)



Figura 2.11 Microscopio digital FBP-SM03-C



Figura 2.12. 2 Plumas para limpieza de conectores

Microscopio Digital FIT-S100-C con punta de Prueba y pantalla con medidor de potencia Integrado (Figura 2.13), cuenta con las siguientes características:

- Medidor de Potencia óptico
- Display de video para microscopio



- Punta de inspección para Bulkheads
- Display HP3-60 con medidor de potencia integrado
- Punta de Video FBP con 200/400X
- Puntas de inspección: o Universal 2.5 mm UPC (macho) o Universal 1.25 mm UPC (macho) o SC, LC (hembras o bulkheads)
- Maletín de Transporte suave
- 2 Plumas para limpieza de conectores (2.5mm y 1,25 mm)



**Figura 2.13 Microscopio Digital FIT-S100-C con punta de Prueba y pantalla con medidor de potencia Integrado**

FIT-S105-PRO Microscopio Doble integrado con Medidor de potencia y Punta de prueba (Figura 2.14) este equipo integra las siguientes funciones:

- Puerto de inspección para patchcords
- Medidor de Potencia óptico
- Display de video para microscopio
- Punta de inspección para Bulkheads
- Display HP3-60-P4



- Punta de Video FBP con 200/400X
- Puntas de inspección: o Universal 2.5 mm UPC (macho) o Universal 1.25 mm UPC (macho) o SC, FC, LC (hembras o bulkheads)
- Maletín de Transporte suave
- 2 Plumas para limpieza de conectores (2.5mm y 1,25mm)
- Localizador de fallas visibles VFL



Figura 2.14 FIT-S105-PRO Microscopio Doble integrado con Medidor de potencia y Punta de prueba.

## 2.6 IDENTIFICADOR DE FIBRA ÓPTICA

El JDSU FI-60 LFI (Identificador de Fibra óptica, mostrado en la figura 2.15) permite a los usuarios detectar fácilmente la señal óptica sin desconectar la fibra o interrumpir el tráfico de la red. La LFI FI-60 también incluye el exclusivo JDSU



SafeChek™ sistema, lo que garantiza la participación segura y repetible con la mayoría de tipos de fibra. El CF-60 también se convierte en un medidor de potencia óptica con todas las funciones con las que cuenta este mismo, almacena, consulta, y da los resultados de las exportaciones a un PC a través de un puerto USB.

Evita el tiempo de inactividad de la red y los daños con sistema de disparo repetibles SafeChek™ de fácil extracción.

Hace el trabajo más rápido con una sola cabeza LFI que es compatible con varios diámetros de cable (250µm a 3mm fibras encamisadas).

Aumento de la fiabilidad y evita lecturas falsas con escudo de luz ambiental integrado.

Cuenta con varias Aplicaciones algunas de ellas son:

- Detecta la señal óptica sin tener que desconectar la fibra.
- Instalación, reparación, mantenimiento y resolución de problemas
- Integración con FiberChek2 para la inspección conjunta y presentación de informes de prueba.



Sus características principales son:

- SafeChek fácil-pull sistema de disparo se asegura la participación repetible con cable de fibra
- Cabeza LFI acepta múltiples diámetros de cable (250µm a 3mm fibras encamisadas)
- Durables adaptadores de entrada de metal (2,5 y 1,25 mm) para el Medidor Óptico.
- Mide tanto en términos absolutos (dBm) como en relativos (dB) Potencia
- Guardar y recuperar hasta 100 lecturas del Medidor de Potencia.
- Provee un ajuste repetible con el cable
- Prevé sobre dobleces
- Adaptador LFI para todos los cables
- No requiere partes extra
- Protección para Luz de ambiente, cubre el cable para prevenir lecturas falsas.
- Múltiples Indicadores de Tráfico, Icono "TRAFFIC" visible aparece en la pantalla, Tono audible al detectar tráfico



Figura 2.15 Identificador de Fibra Óptica.



## **CAPÍTULO 3: CONFIGURACIÓN DE EQUIPO OTDR-JDSU DE ACUERDO A LAS NORMAS G652 Y G657**

En la construcción, operación y mantenimiento de enlaces de fibra óptica se requieren de mediciones técnicas para verificar las características de los mismos, desde cada uno de sus componentes, hasta la transmisión de la información a través del cable de fibra óptica.

Los sistemas de fibra óptica son analizados y probados para optimizar los márgenes de pérdida y verificar el estado físico de los mismos; para mantenerlos con un buen funcionamiento. Para dicho propósito se utiliza el Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR) el cual mide distancias y eventos en las fibras ópticas desde uno de sus extremos.

Para la medición de las características antes mencionadas, de un enlace de fibra óptica se emplean dos métodos de prueba, los cuales se muestran a continuación:

**Método de Inserción:** Se realiza con el Medidor Óptico de Potencia y una Fuente de luz.

**Método Retro dispersión:** Se realiza con un Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR).



En el presente capítulo se pretende ofrecer al lector los conocimientos necesarios para poder configurar el equipo OTDR, ya que en la actualidad no se cuenta con ningún documento, tanto como del proveedor como del operador telefónico, en el cual nos indique como configurarlo para realizar las dos pruebas más importantes en Redes GPON mencionadas anteriormente.

Se ofrecerá al lector una manera más fácil y eficiente de localizar las fallas dentro de la red de fibra óptica por lo que se ejemplificará con algunas configuraciones del equipo OTDR-JDSU, se mencionaran algunas pruebas que se pueden realizar con el equipo OTDR JDSU, mas no se abordara a detalle cómo llevar a cabo cada una de estas pruebas.

### **3.1 OTDR (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo)**

El funcionamiento del OTDR consiste básicamente, en inyectar un pulso de luz láser a una fibra bajo prueba, el cual pasa previamente por un divisor de rayos que evita que dicho pulso interfiera al fotoreceptor.

Una vez dentro del núcleo de la fibra, el rayo de luz viajará a lo largo de la fibra, sufriendo Reflexiones de Fresnel provocadas por cambios abruptos del índice de refracción, empalmes, fisuras, cortes, dobleces, inicio o final de la fibra (llamados eventos) y Reflexiones de Rayleigh (las cuales se producen a lo largo de la fibra, proporcionales al ancho de pulso y de acuerdo a la longitud de onda del láser).

Al llegar el rayo al final de la fibra o al punto donde se encuentre un corte éste regresará (retrodispersión) al OTDR, incidiendo sobre el divisor de rayo, que lo



encamina hacia el foto receptor (evitando interfiera con el emisor láser), donde se convertirá en una señal eléctrica, para ser amplificada y procesada por un microprocesador, el cual muestra en una pantalla los eventos de la fibra, mediante una representación visual (gráfica de una pendiente) como se muestra en la figura 3.1.

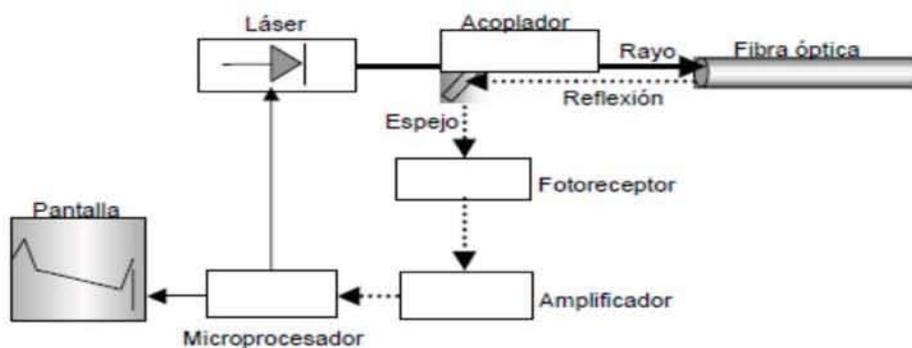


Figura 3.1 Funcionamiento del OTDR

Existen diferentes marcas de OTDR como lo son Tektronix, Exfo, JDSU y Anritzu, lo cuales son muy similares en sus características y forma de operación. Los modelos más usados son:

- OTDR EXFO FTB 300
- OTDR TFP2 TEKTRONIX
- OTDR HP 8146A
- OTDR EXFO FTB 150
- OTDR JDSU



### 3.1.1 MÉTODO DE RETRODISPERSIÓN

Este método de prueba se realiza conectando un medidor OTDR (en la fibra o fibras a probar) en cualquiera de los extremos del enlace, el método de retrodispersión nos permite efectuar las siguientes mediciones:

- Atenuación en empalmes
- Atenuación en conectores
- Atenuación lineal
- Atenuación total
- Pérdida de retorno
- Uniformidad y continuidad de la fibra

Distancia de la fibra en prueba, del punto de inicio al punto final o al punto de corte y de los diferentes eventos de ésta.

### 3.1.2 BOBINA DE PRUEBA O DE LANZAMIENTO

Para efectuar las pruebas por el método de retrodispersión se tiene que utilizar una bobina de prueba o de lanzamiento, la cual sirve para disminuir la potencia reflejada, ejercida por la fibra bajo prueba, y por lo tanto, se disminuye la longitud de la zona muerta en el OTDR. Además la reflexión que se causa en el empalme es la referencia del punto inicial para medir la longitud de la fibra óptica.



La bobina de prueba deberá ser de una longitud  $> 2000$  m del mismo tipo de la fibra a probar. Si se va a utilizar para mediciones en el origen o destino (O-D) en un enlace, deberá contar en ambos extremos con conectores ópticos compatibles con el equipo de medición utilizado en el enlace.

Si se va a utilizar para mediciones de cable en carrete o de tramos de cable, deberá contar en un extremo con un conector óptico compatible con el equipo de medición y en el otro extremo deberá estar la fibra desnuda (para empalmarla a la fibra óptica a medir) como se muestra en la siguiente figura.

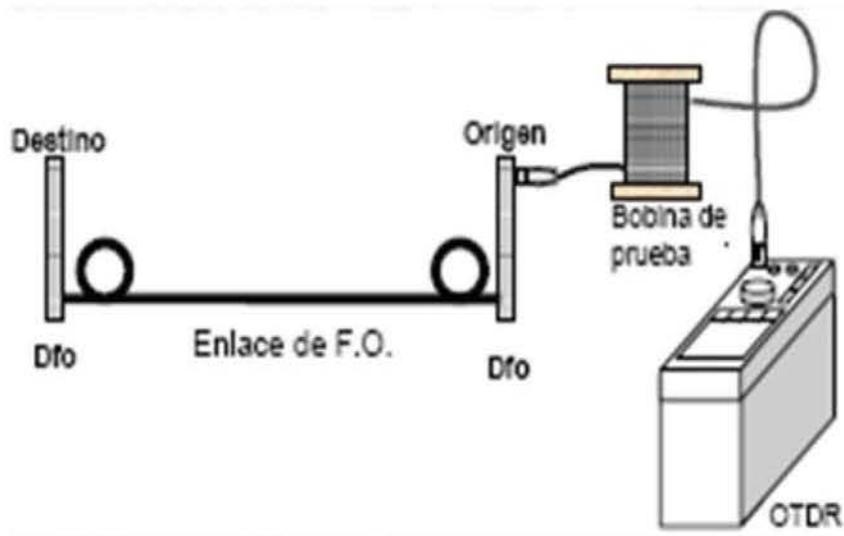


Figura 3.2 Diagrama con Bobina de Lanzamiento

La función de la bobina de lanzamiento GPON es dar longitud al enlace, para poder detectar eventos después de la zona muerta, para así ver la totalidad de los elementos de la red (conectores ópticos en puertos de conexión y cable óptico, etc.).



En la Figura 3.3 se muestra el enlace sin las bobinas de lanzamiento, en donde no se puede ver la pérdida de los puertos de conexión en los extremos. Y en la Figura 3.4 se pueden ver las pérdidas de los puertos de conexión de todo el enlace.

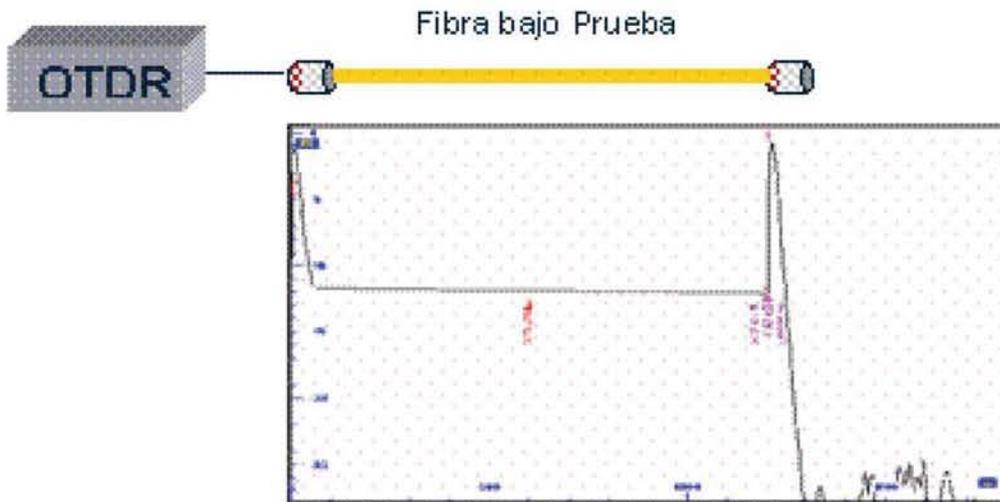


Figura 3.3 Enlace sin Bobinas de Lanzamiento.

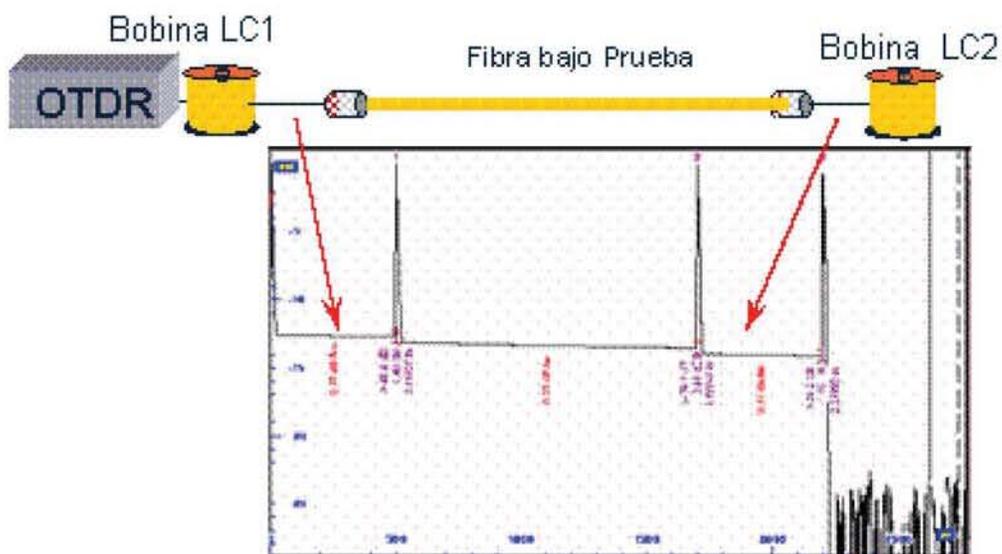


Figura 3.4 Enlace con Bobinas de Lanzamiento



### 3.1.3 EVENTOS DE LA RED ÓPTICA PASIVA EN EL OTDR

Los eventos que se visualizarán en una red óptica pasiva son: Empalme de Fusión, Conector o empalme Mecánico, Ganancia, Macrodoz, Fin de Fibra o Corte y se muestran en la siguiente figura.

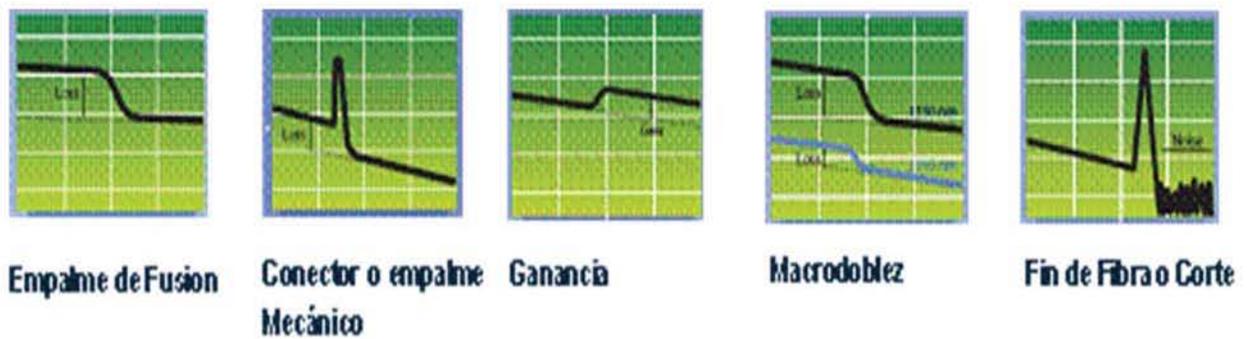


Figura 3.5 Eventos en una Red de Fibra Óptica Pasiva

### 3.1.4 CONFIGURACIÓN DE RANGO

Los pasos necesarios para configurar el rango en una medición con el OTDR son los siguientes, es importante recordar que este rango de medición es independiente al Rango Dinámico del módulo OTDR.

El rango dinámico es un parámetro de fábrica, no configurable, para conocer el rango dinámico, hay que observar las letras detrás del módulo y relacionarlas de esta manera:

**Tabla 3.1 Simbología de Rangos Dinámicos.**

Símbolo	Rango Dinámico (dB)
LM	30/28
MA	37/35
MP	38/40

El módulo que maneja el operador telefónico propuesto es RMP, donde la R significa que el módulo tiene integrado un filtro para la frecuencia de 1625 y 1650. Con este filtro es posible hacer mediciones en redes con servicio sin afectar el mismo.

El rango de la medición es un estimado de la distancia de fibra óptica. Es importante tener este dato para que la medición sea correcta, hay que conocer la distancia del enlace que se está poniendo a prueba.

Para configurar el rango de la medición en el equipo OTDR JDSU hay que seguir estos pasos:

1. Elegir la opción de “Singlemode OTDR” y asegurarse que se encuentra activo (en color amarillo).
2. Una vez que esta opción esta activa, dar clic en el botón “Setup”, como se muestra en la figura 3.6.

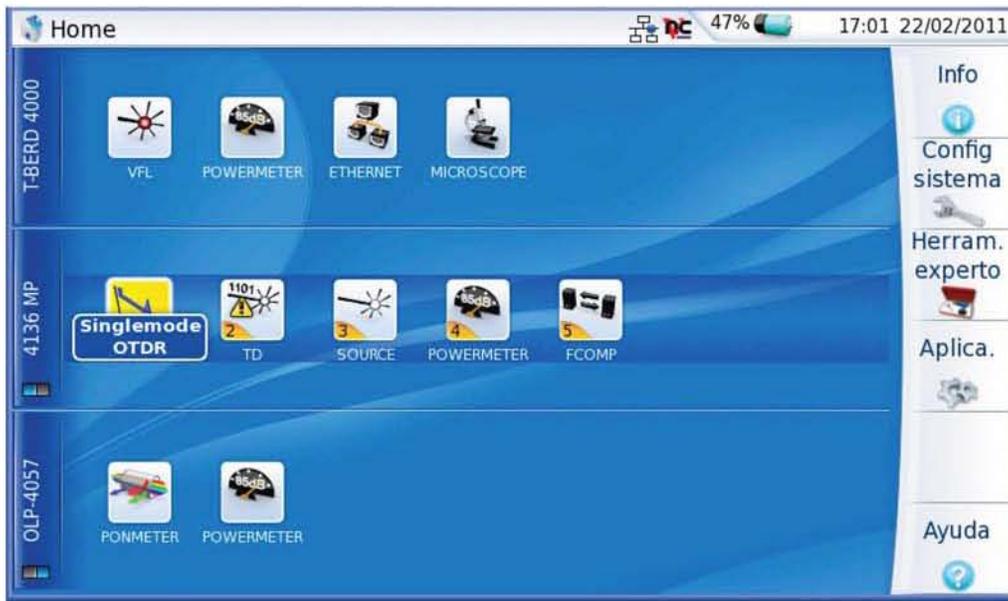


Figura 3.6 Configuración del Rango Dinámico en OTDR JDSU

El rango dinámico determina que tan lejos y que tan preciso puede “ver” un OTDR un cable de fibra en un periodo de muestreo y con un ancho de pulso dado como se puede ver en la figura 3.7.

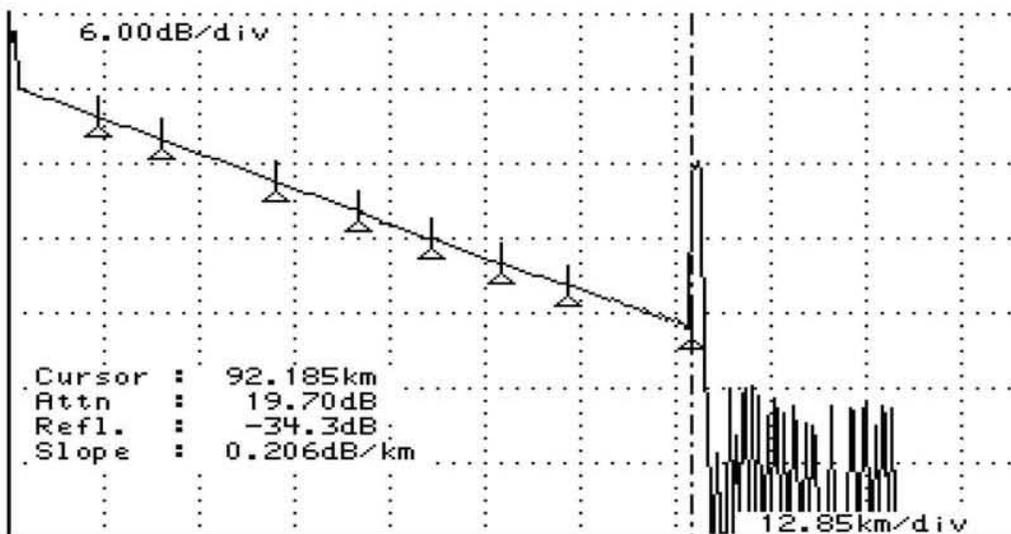


Figura 3.7 Evento con Rango Dinámico Configurado.



### 3.1.5 ANCHO DE PULSO & RANGO DINÁMICO

De acuerdo a la selección del ancho de pulso en el OTDR puede generar las siguientes variaciones:

Pulso largo:

- Menos resolución
- Zonas muertas mayores
- Más rango dinámico
- Menos ruido

Pulsos cortos:

- Más resolución
- Zonas muertas más cortas
- Rango dinámico menor
- Más ruido

Estas variaciones se pueden apreciar de manera grafica en la Figura 3.8.

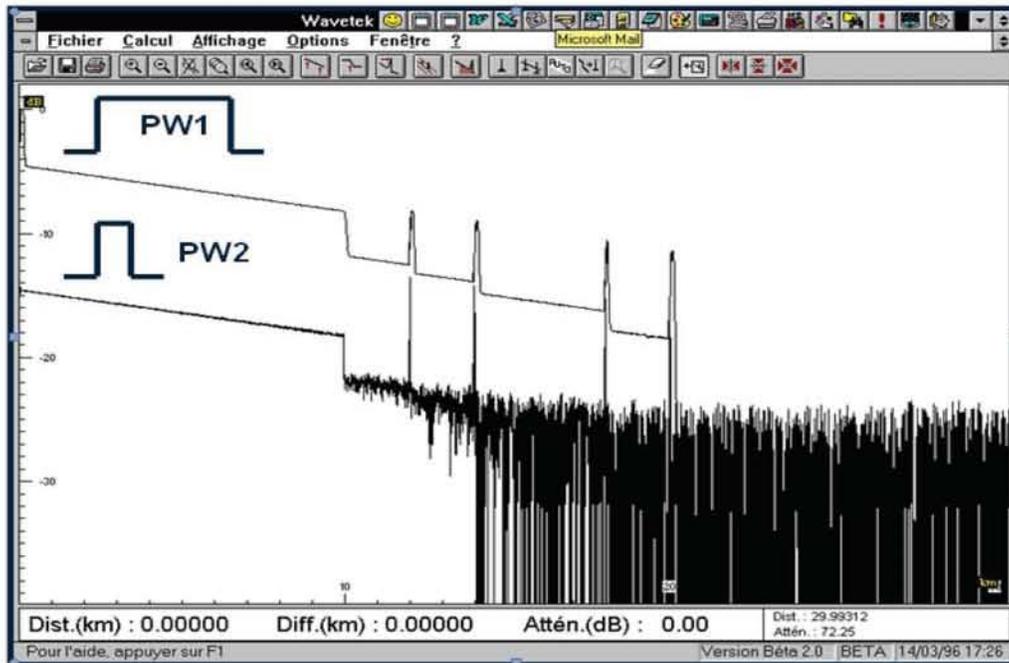


Figura 3.8 Ancho de Pulso y Rango Dinámico.

### 3.1.6 ZONA MUERTA

El fotodiodo al recibir un pulso requiere un tiempo para recuperarse de la saturación.

El largo de la fibra que no es completamente caracterizado durante el tiempo de recuperación es conocido como zona muerta.

La zona muerta se puede presentar por evento o por atenuación como se muestra en las siguientes figuras:

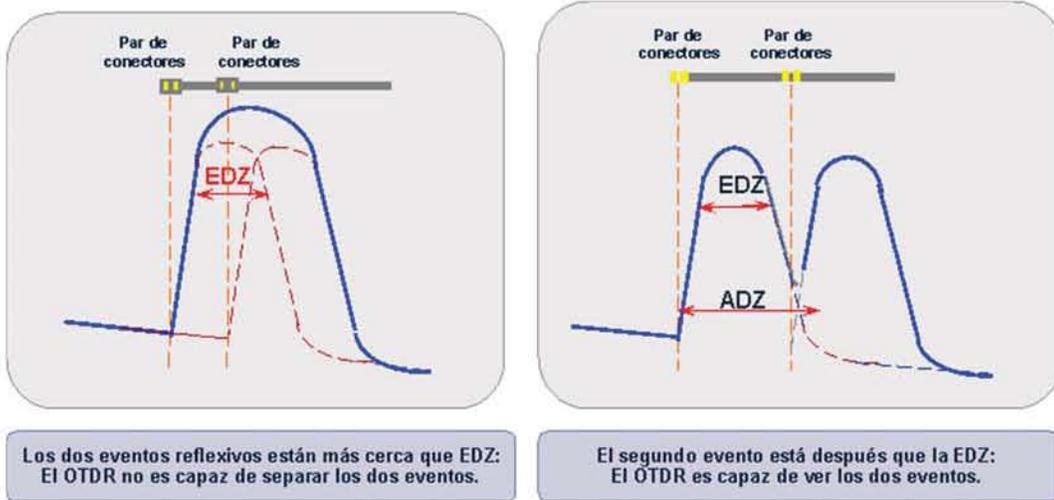


Figura 3.9 Zona muerta de Evento.

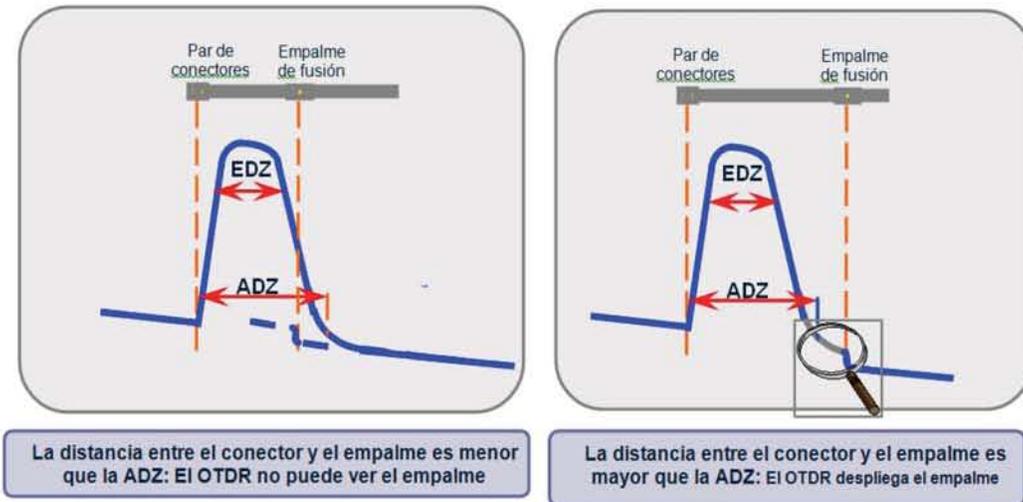
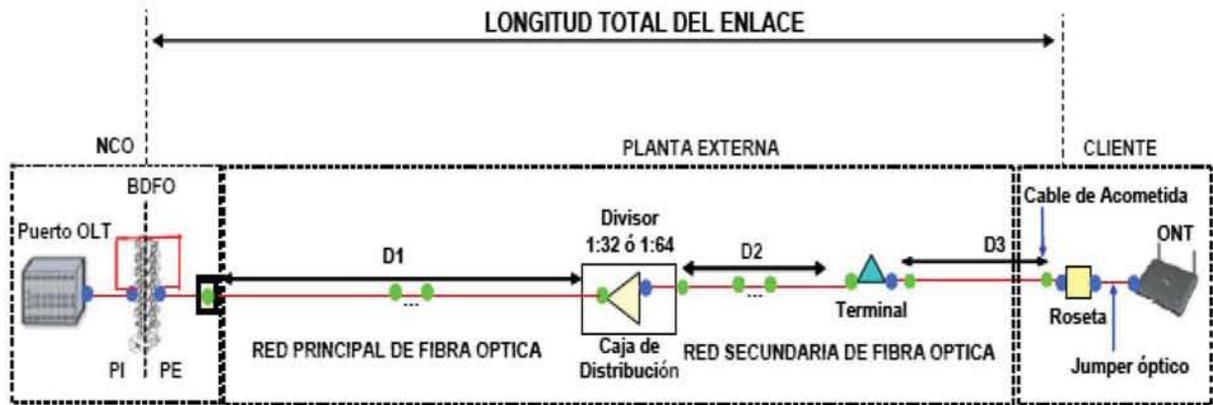


Figura 3.10 Zona muerta por Atenuación.

### 3.2 VERIFICACIÓN DEL ESTADO DE LA RED ÓPTICA PASIVA

En la siguiente Figura 3.11 se muestra el procedimiento y los pasos a seguir para verificar el estado de una red óptica pasiva.



Símbolo	Elemento	Atenuación (dB)
●	Parqueo	0.50
●	Empalme Fusión	0.08
—	Fibra 1310 nm	0.35 x Km.
◁	Divisor 1:32	17.50
◁	Divisor 1:64	21.00

Figura 3.11 Red Optica Pasiva.

Para la ejecución del procedimiento se requieren los siguientes materiales, herramientas y equipos:

- OTDR para mediciones en redes de fibra óptica pasiva
- Microscopio
- Cordón de acometida óptico
- Bobina de lanzamiento GPON
- Pluma de limpieza



Primeramente se tendrá que identificar la Terminal óptica donde se va a realizar la medición.

Posteriormente se verificara la limpieza de conectores (bobina de lanzamiento GPON, cordón de acometida y puerto en terminal óptica). Ya verificados se conecta el cordón de acometida óptico al puerto a probar de la terminal y a la bobina de lanzamiento GPON. Se conecta el otro extremo de la bobina de lanzamiento GPON al OTDR, como se muestra en la Figura 3.12.

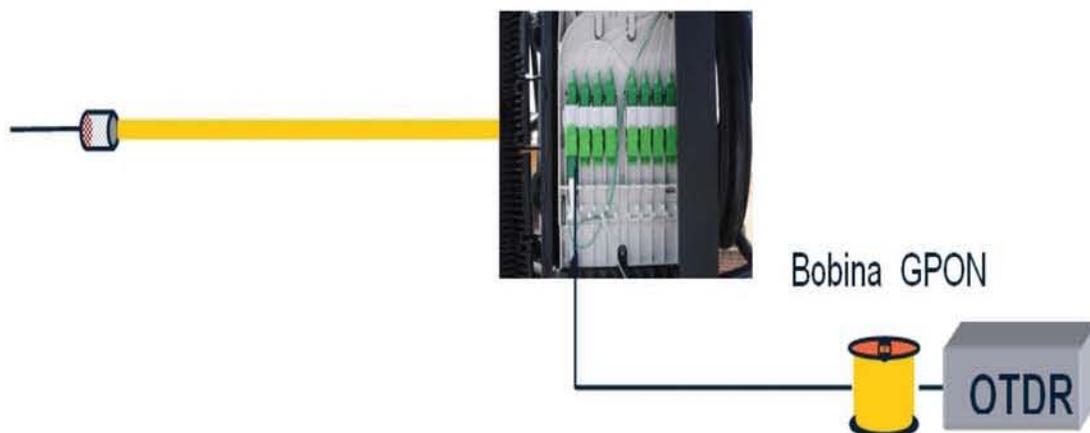


Figura 3.12 Verificación de una red Optica pasiva.

Para el OTDR JDSU se selecciona Home en la Primer Pantalla Figura 3.14.



Figura 3.14 Pantalla Home del OTDR JDSU

Posteriormente Setup y Configuración como se muestra en la figura 3.15

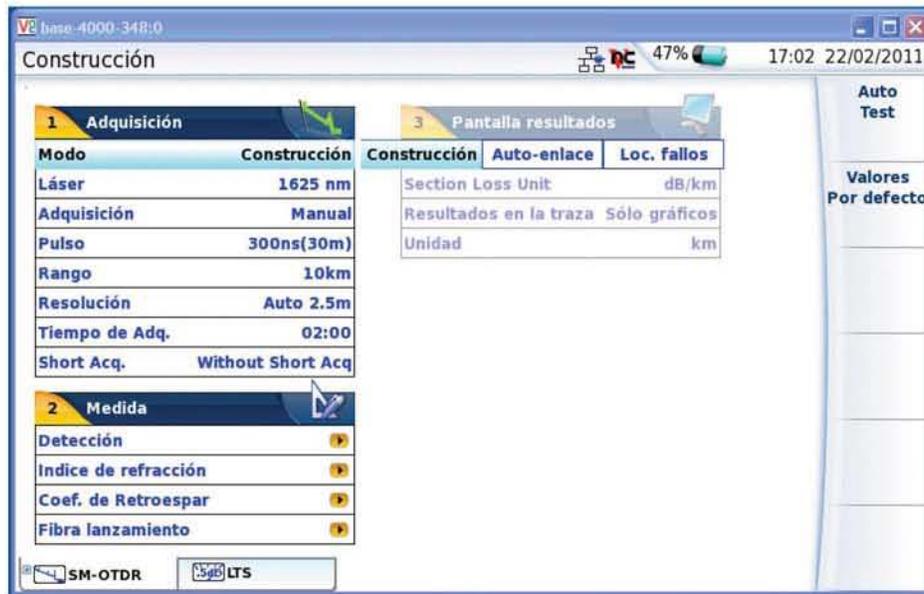


Figura 3.15 Pantalla Setup – Configuración del OTDR JDSU



En el menú de Adquisición se seleccionan los siguientes parámetros para llevar a cabo la verificación de la Red óptica pasiva:

- Modo: Construcción
- Láser: 1625 nm (en servicio)
- Adquisición: Manual
- Pulso: 300 nano segundos para mediar a través de dos divisores ópticos y 100 nano segundos para medir a través de un sólo divisor óptico.
- Rango: poner el doble de la distancia del enlace
- Resolución: Auto
- Tiempo de adquisición: 3 minutos
- Short Acq: "Without Short Acq"

En el menú de Medida/Detección se selecciona los siguientes parámetros:

- OTDR Connector test (prueba del conector de otar): no
- OTDR Connector measurement (medición el conector del otar): no
- Fantasma: no
- Splitter (divisor óptico): >9
- Final de fibra: Auto
- Curva: Auto

Selecciona los siguientes parámetros del menú Pantalla resultados, para obtener los resultados correctos de la prueba realizada.

- Alarmas: off (apagado)
- Section loss unit (unidad de pérdida de la sección): dB/Km
- Resultados de la traza: sólo gráficos
- Unidad: metro



Para finalizar el procedimiento se tendrá que presionar la tecla Start/Stop (iniciar/detener)

Correrá la prueba en un tiempo aproximado de 3 minutos y se mostrará una pantalla semejante a la que se muestra en la figura 3.16.



Figura 3.16 Resultado de la Prueba OTDR JDSU

### 3.3 DIAGNÓSTICO DE TRAZO

Del trazo o grafica 3.16 podemos concluir lo siguiente:

- La escala de la gráfica es distancia (Km) contra potencia óptica (dB)



- La atenuación total del enlace es de: 20.758 dB
- 4 eventos que son:
  - Evento 1 divisor ópticos a .370 Km con una pérdida de 9.198 dB
  - Evento 2 divisor óptico a .702 Km con una pérdida de 9.197 dB
  - Evento 3 evento reflectivo (macro curvatura) a 3.189 Km con una pérdida de 1.432 dB
  - Evento 4 Fin de fibra a una distancia de 4.199 Km y una pérdida total del enlace de 20.758 dB
- Los cursores (A, B) nos ayudan a identificar eventos manualmente, así como ver un segmento del enlace con respecto a distancia y tiempo.
- Se muestran las distancias y atenuaciones entra cada elemento de la red, como se puede observar la distancia total es de 4.199 Kilómetros.

### 3.4 OBRAS CON FIBRA OPTICA

En las obras con cables de F.O. se debe asegurar la calidad de la construcción y de la transmisión en el enlace, lo cual se realiza a través de un recorrido físico y la aplicación de las pruebas y mediciones establecidas en un Protocolo de acuerdo al Operador Telefónico.

#### 3.4.1 CABLES

- Los cables se proveen en carretes cerrados para evitar el maltrato de los cables durante sus traslados.



- Los cables se proveen con capuchones termo contráctiles o en su lugar con los correspondientes dispositivos de tracción.
- Todos los cables cuentan con el marcaje en metros sobre el forro del cable metro a metro.
- Cada carrete cuenta con un reporte de las pruebas ópticas realizadas en fábrica que se identifica con un código en una tarjeta de identificación adherida a la cara del carrete con los datos mostrados en las etiquetas como se muestra en la Figura 3.17 y 3.18.



Figura 3.17 Tarjeta de identificación de carrete de Fibra Óptica

**PKL 3**

CLIENTE: TELEFONOS DE MEXICO,  
BODEGA: ALMACEN PUEBLA (SL20)  
DESCRIPCION: C. OPTICO TM13 ARMA LEAF 012FO  
CATALOGO: 1005691  
PEDIDO: 4500025836  
FECHA: 2001-02-26  
CODIGO: 691891TX  
LOTE: 1973  
PESO BRUTO: 1201 Kg  
GRABADO: P.INT. 0

NORMA: E.B. 4-001 10/2000  
O.FABRIC.: FON0674001000  
REPORTE: 805/02/2001  
METROS: 4711  
TRAMO: 3D1B3649  
PESO NETO: 940 Kg  
P.EXT. 4711

Figura 3.18 Tarjeta de identificación de carrete de Fibra Óptica

Los fabricantes de cables garantizan la calidad de los materiales utilizados, para cumplimiento de las normas de calidad, por lo que los siguientes puntos son responsabilidad de la compañía constructora:

- Garantizar las características de fábrica hasta la recepción del enlace completo.
- Durante la conexión de fibras, se deben comprobar las atenuaciones en los extremos, asegurando que no existan valores de atenuación fuera de norma.
- Comprobar la hermeticidad de los cierres instalados para asegurar su recepción.
- Cumplir con la normatividad de construcción vigente.



### 3.5 PRUEBAS OPTICAS

Durante la ejecución de las pruebas, se verifica que las mediciones cumplan los parámetros establecidos y se identifican aquellos puntos que no cumplen con las especificaciones para que sean corregidos.

Durante la realización de estas pruebas se deben de seguir los procedimientos de limpieza correspondientes.

#### 3.5.1 PRUEBAS PUNTO A PUNTO

Las mediciones Punto a Punto son pruebas Ópticas que deben realizarse después de haber instalado y empalmado el cable en todo el trayecto, sobre todas las fibras del cable.

Antes de efectuar las pruebas, se establecen puntos de identificación Origen y Destino, así como el número de cables y número de fibras.

Los puntos de identificación (Origen – Destino), nos darán las Secciones a las que se aplicarán las mediciones y corresponden.



Enlaces de Larga Distancia, Zonales y Troncales:

- Distribuidor de Fibras Ópticas en Central a Distribuidor de Fibras Ópticas en Central.
- Distribuidor de Fibras Ópticas en Central a Distribuidor de Fibras Ópticas en Regenerador o Amplificador.
- De Distribuidor de Fibras Ópticas en Regenerador o Amplificador a Distribuidor de Fibras Ópticas en Regenerador o Amplificador.

Para enlaces Urbanos:

- Distribuidor de Fibras Ópticas en Central a Fibras Ópticas del cable en puntas.
- Distribuidor de Fibras Ópticas en Central a Distribuidor de Fibras Ópticas en Sitio del Cliente.
- Distribuidor de Fibras Ópticas en Central a Conector del arnés en Gabinete IPDSLAM o TBA.
- Distribuidor de Fibras Ópticas en Central a Distribuidor de Fibras Ópticas en Caja de Distribución Óptica.
- Distribuidor de Fibras Ópticas en Central a Punto de Dispersión Óptico (Terminal Óptica).
- Distribuidor de Fibras Ópticas en Caja de Distribución Óptica a Punto de Dispersión Óptico (Terminal Óptica).

Los puntos antes mencionados en los cuales se pueden llevar a cabo las pruebas de punto a punto se muestran en la Figura 3.19.

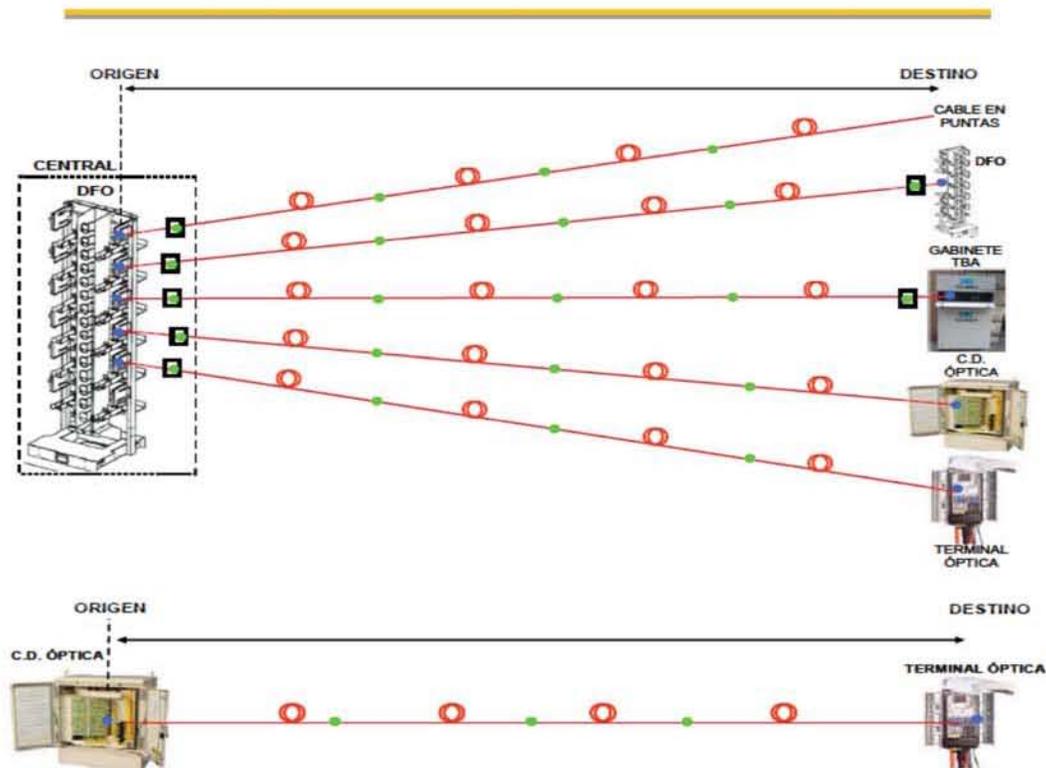


Figura 3.19 Pruebas Punto a Punto.

El uso de las bobinas de lanzamiento se condiciona al equipo que se esté utilizando.

- En algunos equipos se deben utilizar 2 bobinas de lanzamiento con longitud > 2000 m del mismo tipo de la Fibra bajo prueba, (una al origen "O" y la otra al destino "D") para la medición de los conectores terminales.
- En los equipos cuya zona muerta es muy corta, se puede prescindir de la bobina de lanzamiento y realizar los ajustes necesarios en el equipo.

Las bobinas de lanzamiento deben contar con conectores en ambos extremos compatibles con el equipo de medición y el utilizado en el enlace.



### 3.6 PRESUPUESTO DE PÉRDIDA

Con el fin de establecer un parámetro de referencia, que nos permita determinar si el enlace o sección del enlace cumple las condiciones necesarias para su funcionamiento, es necesario calcular la pérdida máxima aceptada, considerando las especificaciones de los equipos Transmisores / Receptores.

El Presupuesto de Pérdida (valor calculado de atenuación), es la suma de los parámetros en los siguientes elementos del enlace o sección:

$$\alpha_c = (\alpha_{fo} \times L) + (N_e \times P_e) + (N_c \times P_c) \quad 3.1$$

Donde:

$\alpha_c$  = Presupuesto de pérdida.

$\alpha_{fo}$  = Atenuación de la F. O. por Km. (de acuerdo al tipo de fibra y ventana de operación)

L = Longitud de la fibra en Km.

$N_e$  = Número de empalmes en el enlace o sección.

$P_e$  = Pérdida máxima por empalme

$N_c$  = Numero de conectores terminales por enlace o sección (considerar par de conectores).

$P_c$  = Pérdida por conector terminal.



### 3.7 PRUEBAS DE RETRODIFUSIÓN

Las pruebas de Retrodifusión permiten evaluar la Continuidad Óptica, la Atenuación Total Destino – Origen, la Atenuación de cada elemento (conectores y empalmes), y la Pérdida por Retorno Óptico (P.R.O.).

Las mediciones deben ser realizadas a cada una de las fibras del cable, en las longitudes de onda de 1310 (para ONT) y 1550 nm para (OLT).

Primero se realizan las pruebas en la Ventana de 1310 nm y posteriormente en la ventana de 1550 nm.

El valor del promedio de un empalme y/o conector, medido a 1550 nm, no debe ser superior al valor promedio medido a 1310 nm.

Para los conectores cuya fibra esté empalmada con la fibra del cable, el valor de la pérdida, es la suma de la pérdida del conector y del empalme. En este caso el valor máximo de atenuación debe considerar la pérdida en los dos divisores y los conectores como se indica en el presupuesto de pérdida.

Las mediciones tienen que ser realizadas con un Reflectómetro óptico (OTDR), provisto para operar en las ventanas indicadas, utilizando el índice de refracción especificado para cada tipo de fibra.



De acuerdo a las especificaciones del equipo, puede ser necesario el utilizar bobinas de lanzamiento GPON debido a la cercanía de los eventos, de otra forma sería suficiente con la longitud del bajante (sin utilizar bobina de lanzamiento GPON), en este caso se deben utilizar 2 bobinas del mismo tipo de la Fibra bajo prueba, (una al origen "O" y la otra al destino "D") para la medición de los conectores terminales. La longitud de las bobinas dependerá de las características del equipo y deben contar con conectores en ambos extremos compatibles con el equipo de medición y el utilizado en el enlace.

Mediciones de la Pérdida por Retorno Óptico (P.R.O.)

Para los enlaces construidos con empalmes por fusión sólo se necesitan medir los conectores de los extremos.

El valor mínimo permitido es de 27 dB.

### **3.8 PRUEBAS POR INSERCIÓN**

Esta prueba permite medir la Atenuación Total del Enlace o la Sección de acuerdo al presupuesto de pérdida descrito anteriormente.

Se realiza con la(s) Longitud(es) de Onda de Operación del Enlace, sobre cada una de las fibras y en ambas direcciones.



El equipo requerido es:

- Fuente de luz de la misma longitud de onda que el enlace utilizará.
- Medidor de potencia óptica.

El principio de esta prueba consiste en medir la Potencia Óptica inyectada al principio del enlace (P0) y la Potencia de Salida (P1).

La atenuación del enlace es el valor siguiente:

$$\begin{aligned}(\text{dB}) &= 10 \times \text{Log} (P0/P1) \text{ (con } P0 \text{ y } P1 \text{ en mW).} \\(\text{dB}) &= P0 - P1 \text{ (con } P0 \text{ y } P1 \text{ en dB).}\end{aligned}$$

El promedio de valores en ambos sentidos, debe cumplir la siguiente condición:

$$\alpha_{ti} < \alpha_c$$

Donde:

$\alpha_{ti}$  =Promedio de los valores de pérdida por inserción.

$\alpha_c$  =Presupuesto de atenuación.



### 3.8.1 EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS

A continuación se presentan las configuraciones y pruebas para los enlaces de Fibra a la Casa, tanto para la Red Principal como para la Red Secundaria.

Las pruebas se deben realizar en la ventana de 1310 nm.

El equipo requerido es:

- Reflectómetro Óptico (OTDR) que opere en la longitud de onda de 1310 nm.
- Bobina de lanzamiento GPON (en caso de no contar con la bobina se puede utilizar un bajante óptico) de 100 mts de longitud, con conector SC/UPC.

En la ejecución de las pruebas se deben de tener las siguientes consideraciones.

Debido a que con los OTDR actualmente homologados, no se pueden visualizar los elementos muy cercanos a un elemento con alta atenuación, se agruparon los elementos cercanos al Divisor Óptico tanto en la Terminal Óptica como en el Cierre de Empalme de División Óptico (CEDO) o Caja de Distribución Óptica (CDO), de tal manera que se crearon las siguientes denominaciones:



- Evento Agrupado Terminal incluye: El Conector de la Bobina de Lanzamiento GPON, el Conector en la Terminal, el Divisor Óptico y, el Empalme entre la Fibra del Divisor Óptico y la Fibra Secundaria.
- Evento Agrupado CEDO / CDO incluye: El Empalme entre la Fibra Saliente del Divisor y la Fibra Secundaria, el Divisor Óptico y el Empalme entre la Fibra del Divisor y la Fibra Principal.

**Tabla 3.2. Los parámetros a cumplir se muestran para ejecución de pruebas**

Parámetros a medir	Unidad	Valor
Pérdida en Empalme por Fusión	dB	< 0.08
Pérdida en Conectores FC/LC/SC (APC, UPC) por conector.	dB	< 0.25
Pérdida en Evento Agrupado Terminal	dB	< 11.08
Pérdida en Evento Agrupado CEDO /CDO con empalme a Red Principal	dB	< 10.66
Pérdida Evento Agrupado CEDO /CDO sin empalme a Red Principal	dB	< 10.58

### 3.9 CONFIGURACIÓN Y PRUEBA A LAS FIBRAS DEL CABLE PRINCIPAL

Cuando no existe aún Red Secundaria en el Distrito, se realiza la Prueba por Reflexión de cada una de las fibras del Cable Principal a utilizar, desde el Conector Óptico en el DFO, en el NCO o Central, hasta la punta del cable en el Distrito.

La medición debe ser muy cercana al presupuesto óptico calculado para el enlace como se muestra en la Figura 3.20.

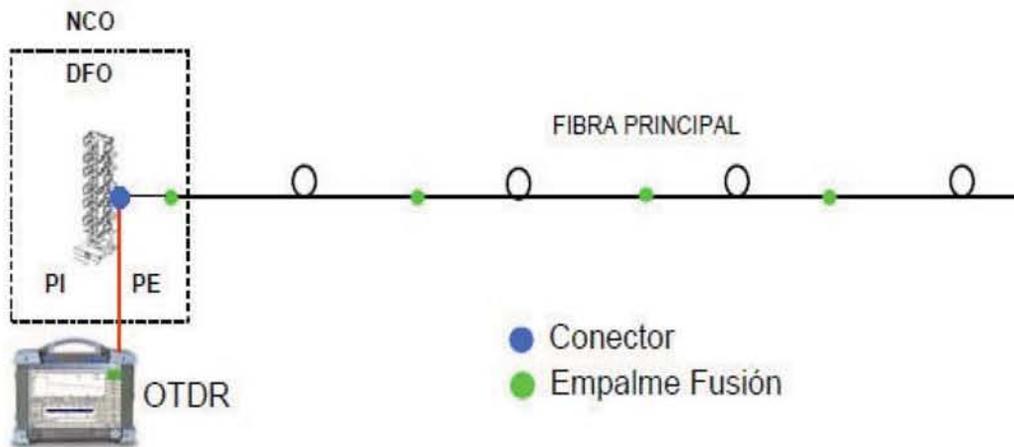


Figura 3.20. Pruebas en Cable Principal

Cuando ya existe Red Secundaria en el Distrito, y después de hacer el empalme de las fibras principales a los Divisores correspondientes, se realiza la Prueba por Reflexión de cada una de las fibras del Cable Principal utilizadas, desde el Conector Óptico en el DFO, en el NCO o Central, hasta el Divisor Óptico correspondiente en el Distrito.

La medición debe ser muy cercana al presupuesto óptico calculado para el enlace, como se muestra en la Figura 3.21.

En ambos casos, la prueba se debe realizar con un ancho de pulso de 5 ns.

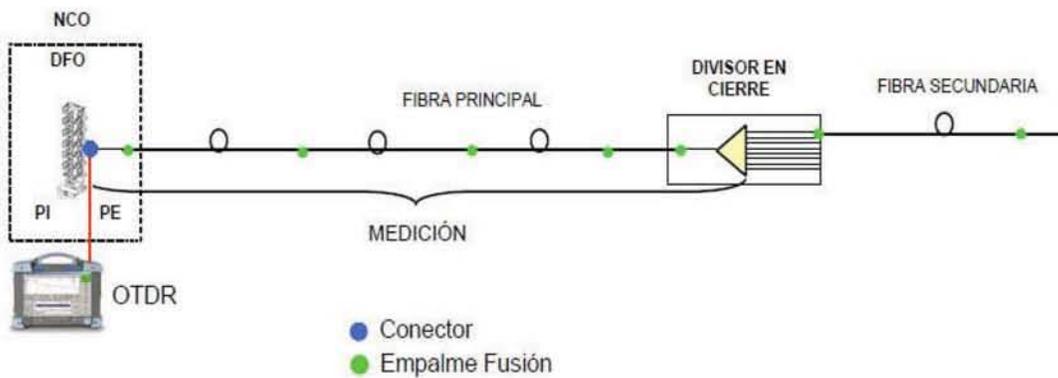


Figura 3.21 Prueba en Principal con Red Secundaria.

Cuando no existe aún Red Principal en el Distrito, se efectúa la Prueba por Reflexión desde el Puerto Uno de cada una de las Terminales, hasta el Divisor Óptico en el Distrito.

La medición debe ser muy cercana al presupuesto óptico calculado para el enlace como se muestra en la Figura 3.22.

La prueba se debe realizar con un ancho de pulso de 275 ns.

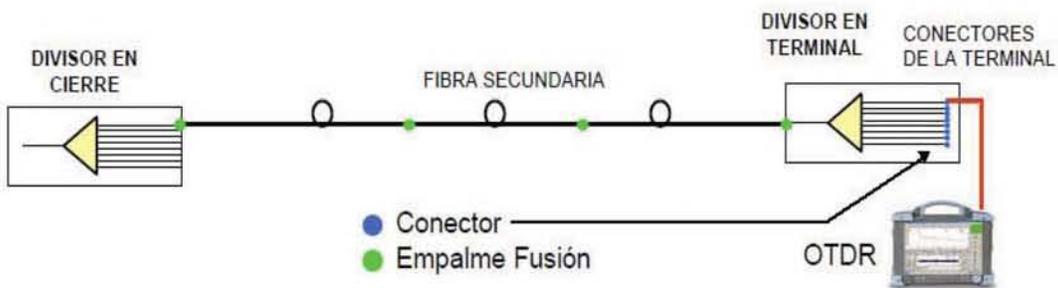


Figura 3.22 Prueba sin Red Principal.



Cuando ya existe Red Principal en el Distrito, y después de hacer el empalme de las fibras principales a los Divisores correspondiente se efectúa la Prueba por Reflexión desde el Puerto Uno de cada una de las Terminales, hasta el Conector Óptico en el DFO, en el NCO o Central.

La medición debe ser muy cercana al presupuesto óptico calculado para el enlace como se muestra con la Figura 3.23.

La prueba se debe realizar con un ancho de pulso de 275 ns.

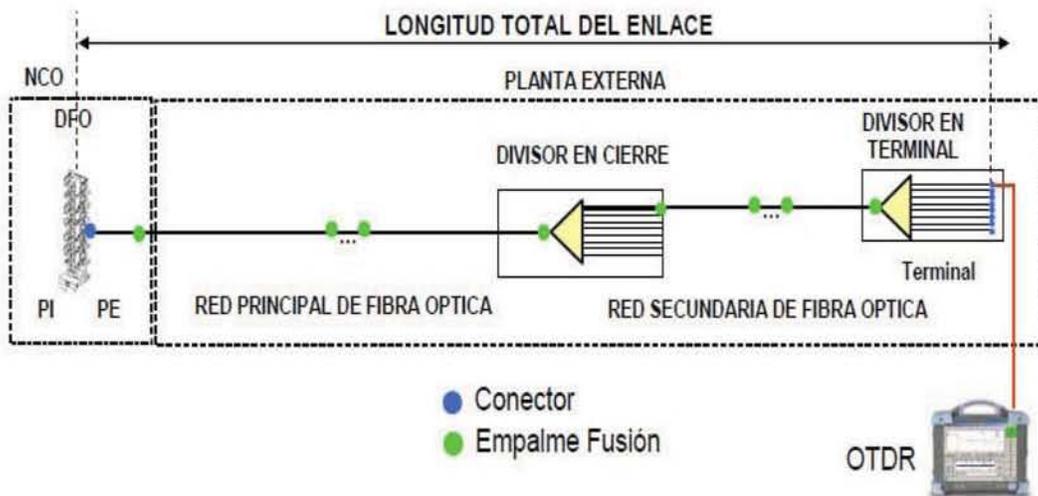


Figura 3.23 Prueba desde el Puerto a cada Terminal.



### 3.10 PANTALLAS DE CONFIGURACIÓN DEL OTDR-JDSU

Las tecnologías de redes de acceso han evolucionado rápidamente debido a la demanda de aplicaciones de alta velocidad a Internet. Como resultado, los operadores de red necesitan equipar al personal con una herramienta de prueba escalable y fácil de usar que realice mediciones rápidas y precisas en cualquier condición como lo es el equipo OTDR JDSU:

El Equipo OTDR-JDSU mostrado en la Figura 3.24 a,b,c, nos brinda una solución multifuncional y escalable para aplicaciones de prueba que permite un rápido diagnóstico en las pruebas a realizar dentro de nuestra red de Fibra Óptica, lo cual permite que el usuario no pierda tiempo en definir la falla en la red, tiene características que ofrecen pruebas de múltiples etapas para reducir el tiempo de instalación y activación. Es fácil de usar, transportar y operar, además es flexible en su interfaz de conectividad que permite hacer pruebas con poca información.



FIGURA 3.24 OTDR-JDSU a) Parte Frontal.



FIGURA 3.24 OTDR-JDSU b) Etiquetas



FIGURA 3.24 OTDR-JDSU c) Módulos

El equipo OTDR JDSU tiene diferentes elementos que lo conforman. En la figura 3.24 se muestran los componentes principales del Equipo OTDR-JDSU.

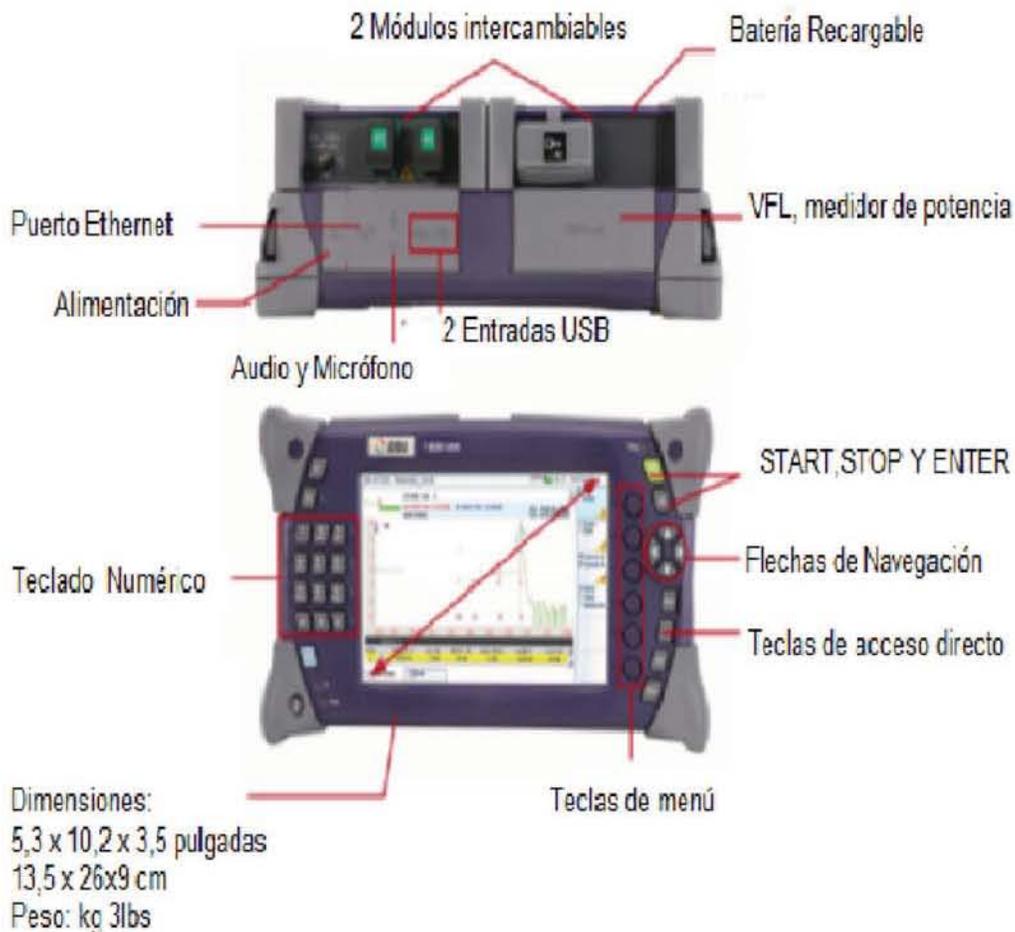


Figura 3.25 Componentes del Equipo OTDR-JDSU.

Como se puede apreciar en la figura 3.25 el equipo OTDR-JDSU esta compuesto primordialmente por 2 módulos intercambiables:

a) **El Modulo 1** mostrado en la Figura 3.26 Consta de:

- 2 Entradas APC una para la OLT y otra para la ONT.



Los conectores tipo APC (Angled Physical Contact - Angular Contacto Físico), generalmente son de color verde, son la última tecnología en contactos ópticos, en el cual las superficies del conector son curvadas y además anguladas en 8, esto mantiene una conexión firme y reduce considerablemente la reflexión.

El **OLT** (Optical Line Terminal- Unidad Óptica Terminal de Línea) es el elemento activo situado en la central del proveedor. De él parte el cable principal de fibra hacia los usuarios y es él mismo el que se encarga de gestionar el tráfico hacia los usuarios o proveniente de ellos, es decir, realiza funciones de router para poder ofrecer todos los servicios demandados por los usuarios. Cada OLT suele tener la suficiente capacidad para proporcionar un servicio a cientos de usuarios.

Además, actúa de puente con el resto de redes externas, permitiendo el tráfico de datos con el exterior.

Algunos de los objetivos de los OLT son:

1. Realizar las funciones de control en la red de distribución como es el control de las potencias emitidas y recibidas, corrección de errores e interleaving.
2. Coordinar la multiplexación de los canales de subida y de bajada.

Cada OLT, adquiere datos de tres fuentes diferentes de información, actuando como concentrador de todas ellas.

Los **ONT** (Optical Network Terminal- Terminador de Red Óptico) son los elementos encargados de recibir y filtrar la información destinada a un usuario determinado procedente de un OLT. Además, de recibir la información y dársela al



usuario en un formato adecuado, cumple la función inversa. Es decir, encapsula la información procedente de un usuario y la envía en dirección al OLT de cabecera, para que éste la re direcciona a la red correspondiente. Normalmente se encuentran instalados en los hogares junto a la roseta óptica correspondiente.

Existen dos tipos de ONT según la función que desempeñen:

- H-OLT: también denominado ONT del hogar (Home ONT), instalado directamente dentro de la vivienda para otorgar servicios a un usuario en particular. Instalado en redes FTTH.
- B-ONT: ONT de edificio (Building ONT), preparado para ser instalado en los R.I.T.I. o cuartos de comunicaciones de los edificios privados o empresas, y que se encuentran capacitados para dar servicio a varios usuarios conectados a él a través de un repartidor. Este tipo de ONT se instala en redes FTTB.
- 2 Entradas USB, Las cuales permiten bajar la información obtenida de las pruebas a una computadora para ser analizadas de mejor forma.
- 1 Entrada para audio.
- 1 Entrada para micrófono.
- 1 Entrada Ethernet. Ethernet es un Protocolo de comunicación para conectar computadoras en una red de área local. Admite distintas velocidades según el tipo de hardware utilizado, siendo las más comunes 10 Mbps y 100 Mbps (comúnmente denominadas Ethernet y Fast Ethernet respectivamente).
- 1 Alimentación, La cual nos permite recargar la pila o bien utilizar el equipo conectándolo a una alimentación externa.



Figura 3.26 Modulo 1 del Equipo OTDR-JDSU

**b) Modulo 2** (Figura 3.27):

- Batería Recargable. La batería Recargable en el OTDR JDSU nos sirve para realizar pruebas en lugares en donde no existe una conexión directa.
- 1 VFL, Medidor de Potencia
- 1 PM



Figura 3.27 Modulo 2 del Equipo OTDR-JDSU.

Para la configuración del equipo OTDR-JDSU, primero es necesario encender el equipo, y verificar que la batería tenga más del 35% para poder realizar las pruebas necesarias (Figura 3.28).

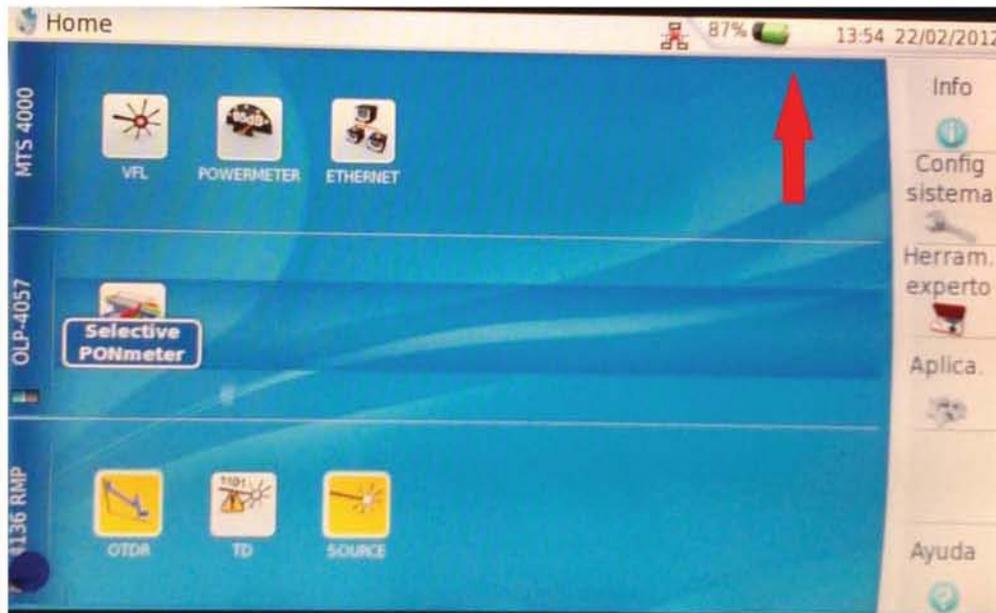
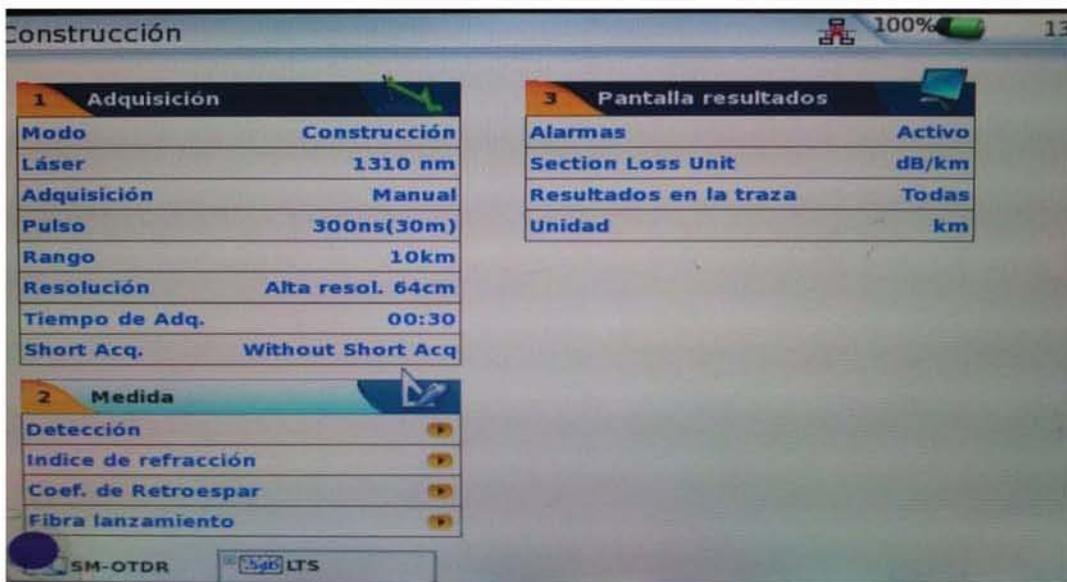


Figura 3.28 Pantalla indicativa del nivel de la Batería

Posteriormente se elige OTDR del menú principal HOME, y se presiona el botón SETUP (Configuración), y aparecerá la Pantalla 3.1:



Pantalla 3.1 "Menú Principal del equipo OTDR JDSU"



En la pantalla 3.1 se pueden observar 3 pestañas que son: Adquisición, Medida y Pantalla de resultados, con sus respectivas opciones, las cuales se analizarán conforme se vaya avanzando en el tema.

En el Menú 1 que es el de **Adquisición**, seleccionaremos **Modo** que a su vez nos abrirá 3 opciones (Pantalla 3.2) más que son:

- **Construcción:** Generalmente se coloca cuando se quiere asegurar la calidad de la construcción del enlace de Fibra Óptica para entregar el proyecto con base a Norma.
- **Auto-Enlace:** Se ocupa cuando se tiene una red de fibra óptica terminada a la cual se le realizan las pruebas determinadas cuando aun no se le está dando el servicio al cliente.
- **Loc. Fallos:** Cuando ya existe la Red de Fibra Óptica y se tiene una falla que generalmente se localiza en empalmes, bajantes, conectores, cajas terminales Ópticas, y rosetas Ópticas.



Pantalla 3.2 Opción Modo del Equipo OTDR JDSU.



La siguiente pantalla nos muestra en el menú la opción Laser la cual esta dada en nm y nos indica la longitud de onda a la cual vamos a realizar nuestra prueba con el OTDR, En esta opción podremos seleccionar los diferentes tipos de onda que soporta nuestro equipo, los cuales son, 1310 nm, 1550 nm, 1625 nm o alguna combinación de estas, como se muestra en la Pantalla 3.3.



Pantalla 3.3 Opción Laser del Equipo OTDR-JDSU.

La siguiente opción es **Adquisición** (Pantalla 3.4), nos permite elegir la forma en que se dará la prueba o bien que tipo de prueba se realizara. De la cual se despliegan las siguientes opciones:

- **Manual**, donde se elegirá como lo dice su nombre, de manera manual el tipo de prueba que se requiere realizar.

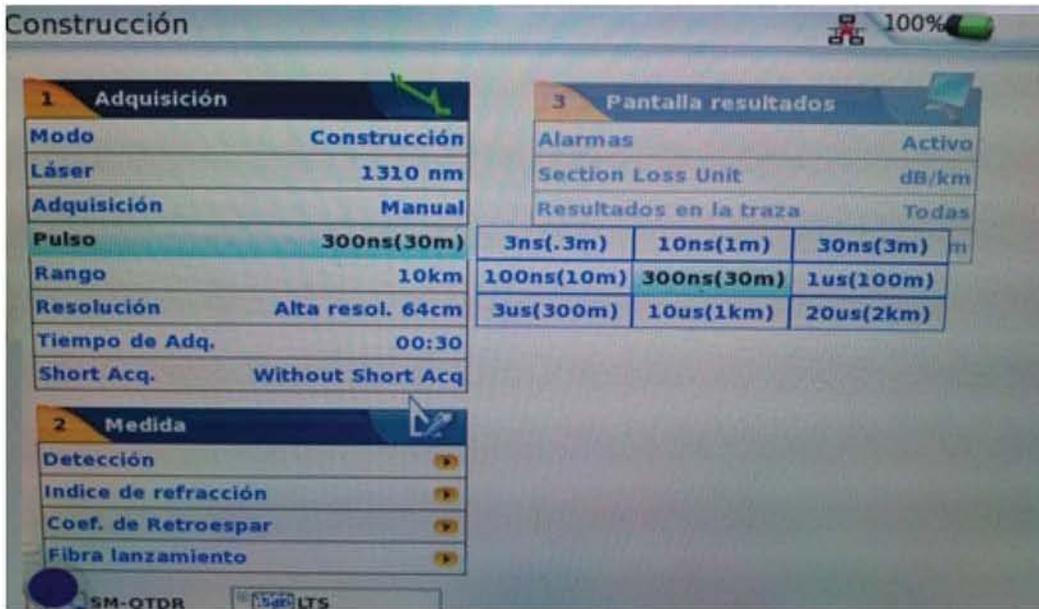


- **Auto**, en esta opción el equipo ya trae predeterminada la forma en que se realizaran las pruebas requeridas.



Pantalla 3.4 Opción Adquisición del Equipo OTDR-JDSU.

La opción “**Pulso**” nos permite dar el tamaño de pulso que se le va a dar al Equipo OTDR-JDSU (Pantalla 3.5). Ejemplo: 300ns sirve para medir a través de dos divisores ópticos y 100ns para medir a través de un solo divisor óptico.



Pantalla 3.5 Opción Pulso del Equipo OTDR-JDSU.

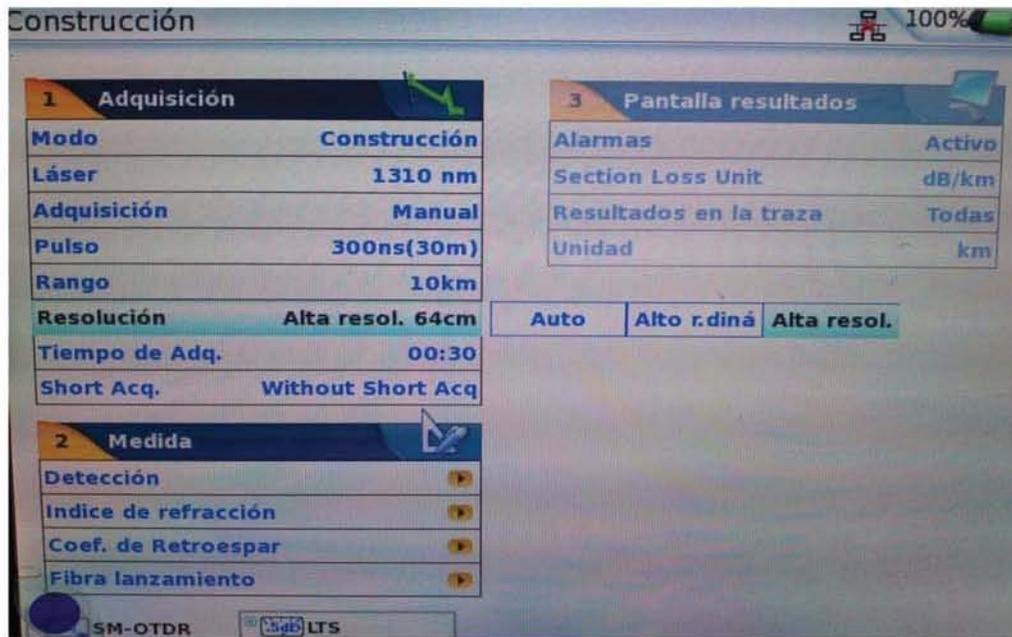
El siguiente punto es el “Rango”, (Pantalla 3.6) El cual nos permite colocar la distancia necesaria para realizar mediciones en el enlace.



Pantalla 3.6 Opción Rango del Equipo OTDR-JDSU.



Ahora veremos la opción **“Resolución”** (Pantalla 3.7), permite ver al usuario que lo está utilizando de mejor forma los datos, y graficas que se obtengan de las pruebas realizadas.



Pantalla 3.7 Opción Resolución del Equipo OTDR-JDSU.

Pasamos a **“Tiempo de adquisición”** (Pantalla 3.8), esta opción, tiene la función de elegir el tiempo que durara el pulso que se envía para obtener los resultados de la prueba que se quiere realizar que nos permitirá saber donde se encuentra la falla.



Pantalla 3.8 Opción Tiempo de Adquisición del Equipo OTDR-JDSU.

El punto “Short Acq” (Pantalla 3.9) tiene 2 opciones:

- Without Short Acq
- With Short Acq



Pantalla 3.9 Opción Short Acq del Equipo OTDR-JDSU.

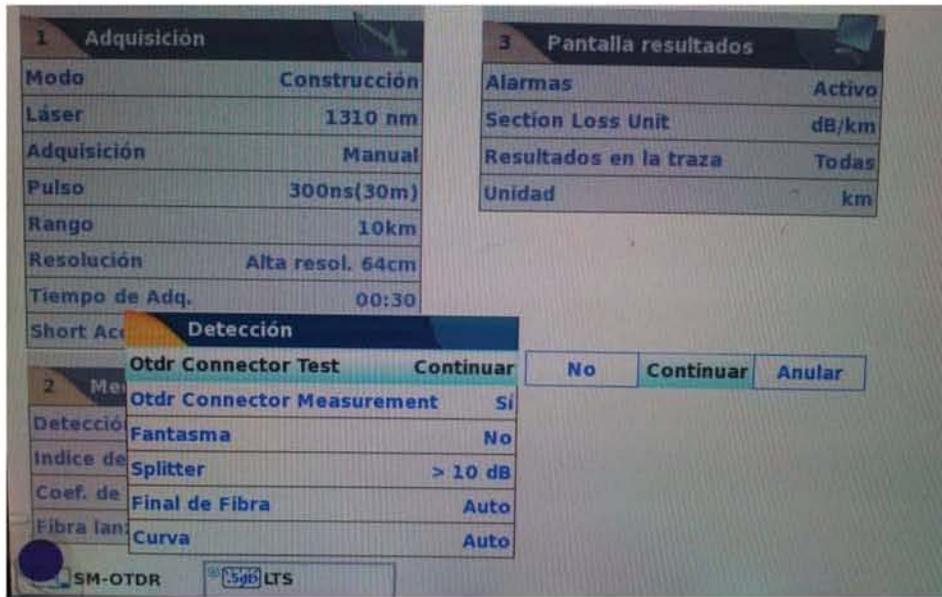


Prosiguiendo con el Menú 2 **Medida** seleccionaremos la opción Detección de este Menú, la cual nos desplegara un submenú (Pantalla 3.9) que contiene las siguientes opciones:



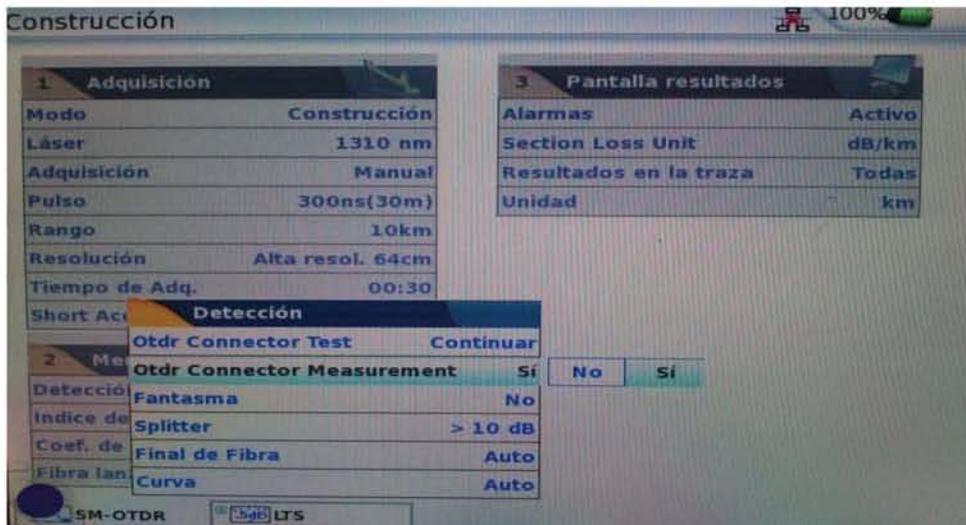
### 3.10 Menú Detección del Equipo OTDR-JDSU.

- OTDR Connector test (prueba del conector OTDR), el cual nos permite decidir si se realiza o no esta prueba en el enlace de Fibra Óptica (Pantalla 3.11).



Pantalla 3.11 Opción OTDR connector Test del Equipo OTDR-JDSU.

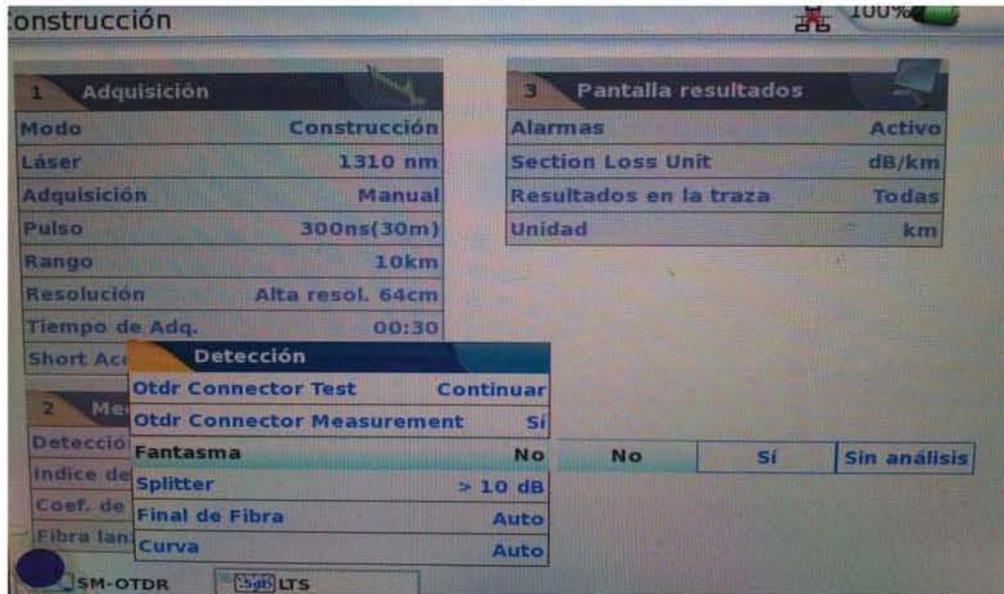
- OTDR Connector measurement (medición del conector del OTDR) (Pantalla 3.12), Esta prueba verifica que los conectores se encuentren funcionando debidamente.



Pantalla 3.12 Opción OTDR Connector measurement del Equipo OTDR-JDSU.



- **Fantasma**, nos permite decidir si queremos verlo o no en la grafica y si se quiere o no analizar ya que en varias ocasiones se puede confundir al fantasma con una falla dentro del enlace de fibra óptica, lo cual nos puede causar problemas para encontrar el punto exacto donde se tiene la falla.



Pantalla 3.13 Opción Fantasma del Equipo OTDR-JDSU.

- Splitter (divisor Óptico) (Pantalla 3.14). Se trata de un elemento pasivo situado a lo largo del tramo que se extiende entre el OLT y sus respectivos ONT a los cuales presta servicio. Sus funciones básicas son las de multiplexar y demultiplexar las señales recibidas. Por otra parte, son dispositivos de distribución óptica bidireccional, es decir, también son capaces de combinar potencia. Por tanto es capaz de realizar las siguientes funciones:

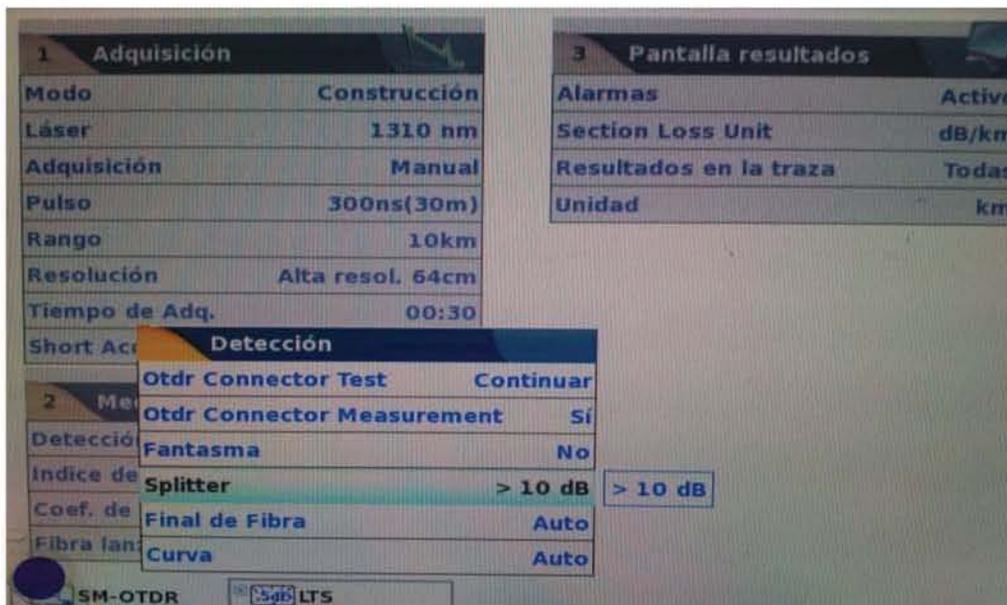


La señal que accede por el puerto de entrada (enlace descendente), procede del OLT y se divide entre los múltiples puertos de entrada.

Las señales que acceden por las salidas (enlace ascendente), proceden de los ONT (u otros divisores) y se combinan en la entrada.

Se puede considerar como el elemento más importante de la red, ya que ofrece la posibilidad de tanto juntar como de dividir las señales, abaratando de una manera muy considerable el coste de tanto de despliegue como de mantenimiento de la red. Al mismo tiempo, por el hecho de ser un elemento totalmente pasivo no requiere energización externa.

Posee tan sólo un inconveniente, y es que introduce pérdidas de potencia óptica sobre las señales de comunicación, que son inherentes a su propia naturaleza.



Pantalla 3.14 Opción Splitter del Equipo OTDR-JDSU.

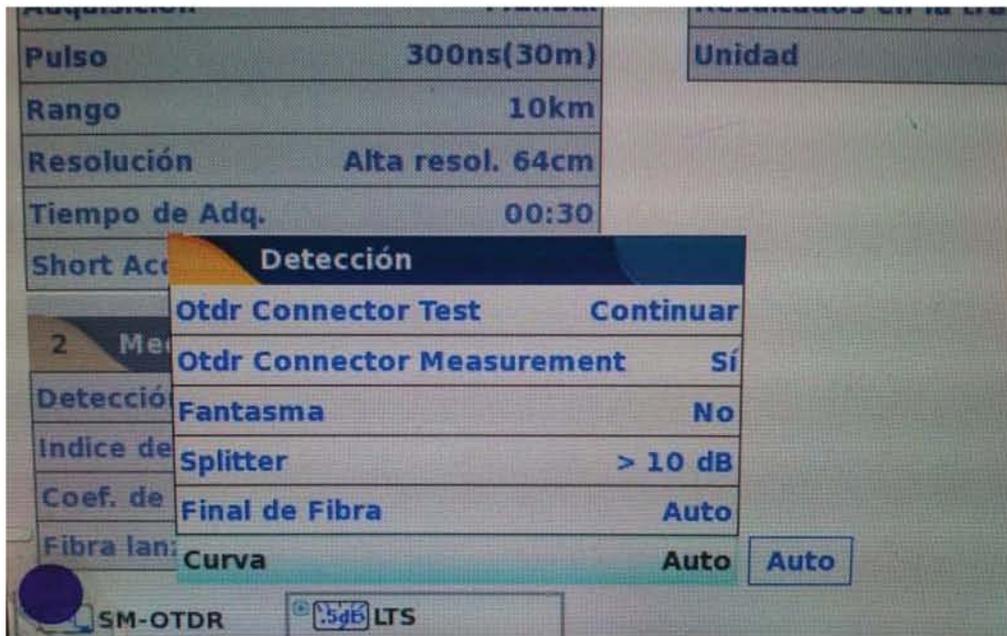


- Final de Fibra (Pantalla 3.15), nos permite observar en la grafica hasta donde se encuentra la falla si es que esta existe y el equipo OTDR-JDSU lo da en automático.



Pantalla 3.15 Opción Final de Fibra del Equipo OTDR-JDSU.

- Curva (Pantalla 3.16), Al igual que el punto anterior lo da en automático y nos da las curvas que muestran pruebas como la de atenuación.



Pantalla 3.16 Opción Curva del Equipo OTDR-JDSU.

Después de haber elegido la configuración que necesitamos en Detección, pasaremos al punto denominado “Índice de Refracción” el cual nos da la oportunidad de configurar 4 tipos de usuario según las pruebas mas frecuentes que se realicen para evitar el tiempo perdido al estar configurando el equipo para cada prueba que se quiera llevar acabo(Pantalla 3.17).



1310 nm	Section Loss Unit	dB/km	
Manual	Resultados en la traza	Todas	
300ns(30m)	Unidad	km	
10km			
Alta resol. 64cm			
<b>Índice de refracción</b>			
Indice predefinido		USER 1	
USER 1	USER 2	USER 3	USER 4
Generic G652 G657	Generic G653 G655	ATT SM	Corning SMF-28
Corning SMF-DS	Corning SMF-LS	Corning Leaf	Draka SMF
Draka Longline	Draka Teralight	Draka Bendbright	Fitel Furukawa
OFS Lucent Allwave	Lucent Truwave	SpecTran SM	Sterlite
Sumitomo Litespec	Sumitomo Pure		
Longitud del enlace	100.0		
OTDR	546 LTS		

Pantalla 3.17 Menú Índice de Refracción del Equipo OTDR-JDSU.

El siguiente punto es el “**Coefficiente de Retro esparcimiento**” (Pantalla 3.18), el cual nos da la opción de Coeficiente retro. Predefinido que puede ser automático o de usuario, esta opción nos permite evaluar la continuidad óptica, la atenuación total destino-origen, así como la atenuación de cada elemento, por lo que las mediciones deben ser realizadas en las longitudes de onda de 1310 para ONT y 1550 para ONT. (Pantalla 3.19).



<b>Pulso</b>	<b>300ns(30m)</b>	<b>Unidad</b>
<b>Rango</b>	<b>10km</b>	
<b>Resolución</b>	<b>Alta resol. 64cm</b>	
<b>Tiempo de Adq.</b>	<b>00:30</b>	
<b>Short Acq.</b>	<b>Without Short Acq</b>	
<b>Coef. de Retroespar</b>		
2 Me	<b>Coef. retro. predefinido</b>	<b>Auto</b>
Detección	1310 SM	-79.0
Indice de	1360-1510 SM	-81.0
Coef. de	1550 SM	-81.0
Fibra lan	1625-1650 SM	-81.0

SM-OTDR 5dB LTS

Pantalla 3.18 Menú Coeficiente de Retro esparcimiento del Equipo OTDR-JDSU.

<b>Modo</b>	<b>Construcción</b>	<b>Alarmas</b>	<b>Activ</b>
<b>Láser</b>	<b>1310 nm</b>	<b>Section Loss Unit</b>	<b>dB/km</b>
<b>Adquisición</b>	<b>Manual</b>	<b>Resultados en la traza</b>	<b>Toda</b>
<b>Pulso</b>	<b>300ns(30m)</b>	<b>Unidad</b>	<b>km</b>
<b>Rango</b>	<b>10km</b>		
<b>Resolución</b>	<b>Alta resol. 64cm</b>		
<b>Tiempo de Adq.</b>	<b>00:30</b>		
<b>Short Acq.</b>	<b>Without Short Acq</b>		
<b>Coef. de Retroespar</b>			
2 Me	<b>Coef. retro. predefinido</b>	<b>Auto</b>	<b>Usuario Auto</b>
Detección	1310 SM	-79.0	
Indice de	1360-1510 SM	-81.0	
Coef. de	1550 SM	-81.0	
Fibra lan	1625-1650 SM	-81.0	

SM-OTDR 5dB LTS

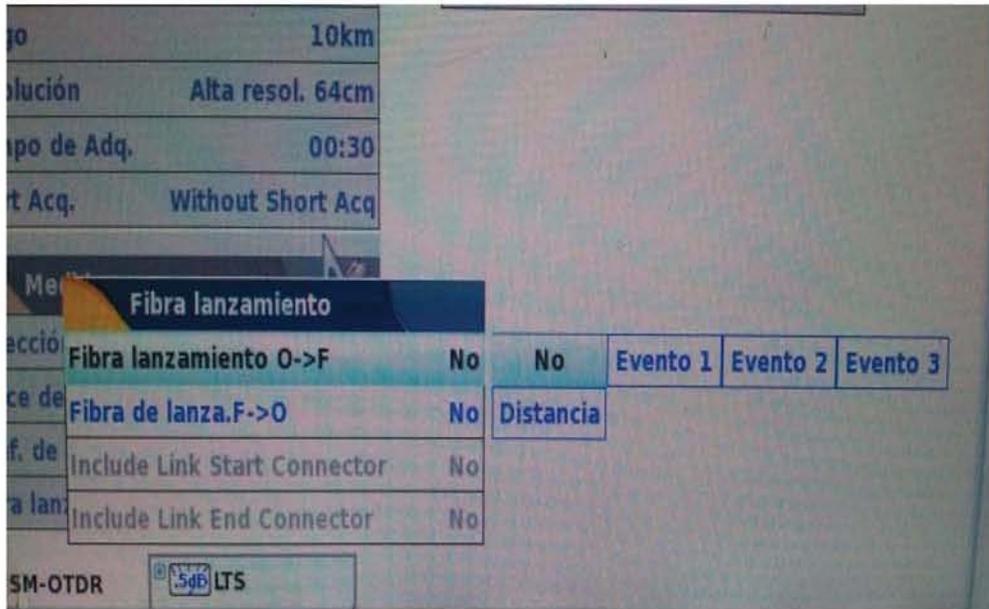
Pantalla 3.19 Opción Coeficiente retro. Predefinido del Equipo OTDR-JDSU.



El siguiente punto es **Fibra de Lanzamiento** (Pantalla 3.20) el cual también nos da otro menú que nos permitirá elegir el tipo de fibra de lanzamiento a utilizar ya sea Fibra lanzamiento O->(Pantalla 3.21) o Fibra de Lanzamiento ->O, aquí se elige si la bobina de lanzamiento se pone antes o después de el punto elegido para la medición, ya sea en un conector, empalme o bien al inicio o final de la fibra óptica. (Pantalla 3.22)



Pantalla 3.20 Menú Fibra de Lanzamiento del Equipo OTDR-JDSU.



Pantalla 3.21 Opción Fibra lanzamiento O -> F del Equipo OTDR-JDSU.

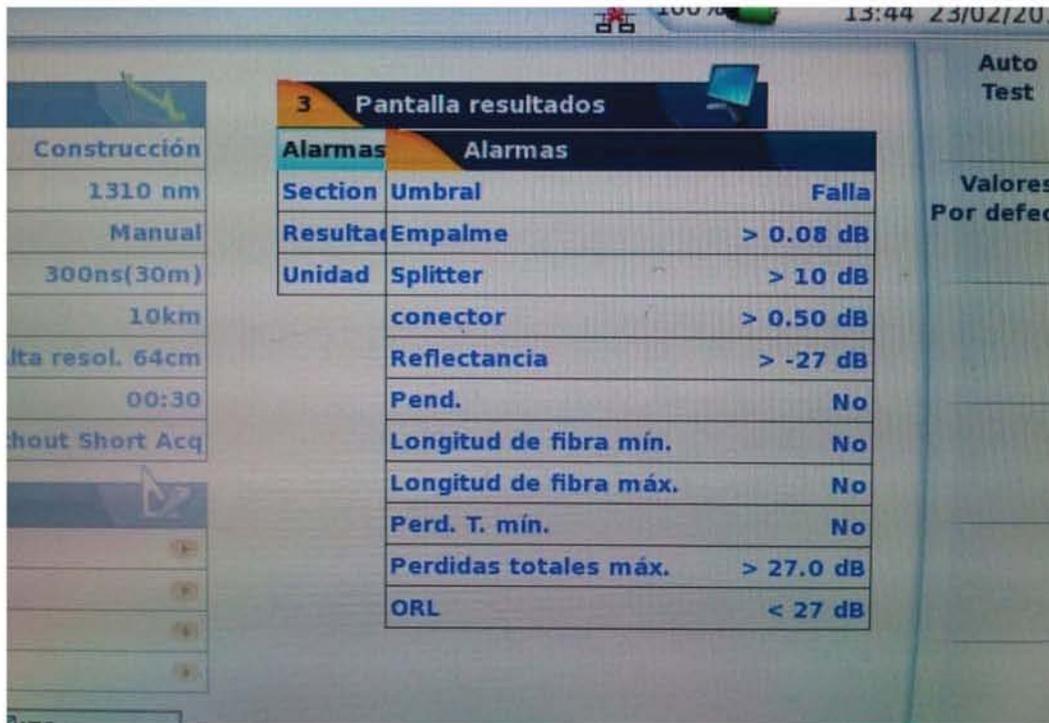


Pantalla 3.22 Opción Fibra de lanzamiento O -> F del Equipo OTDR-JDSU.

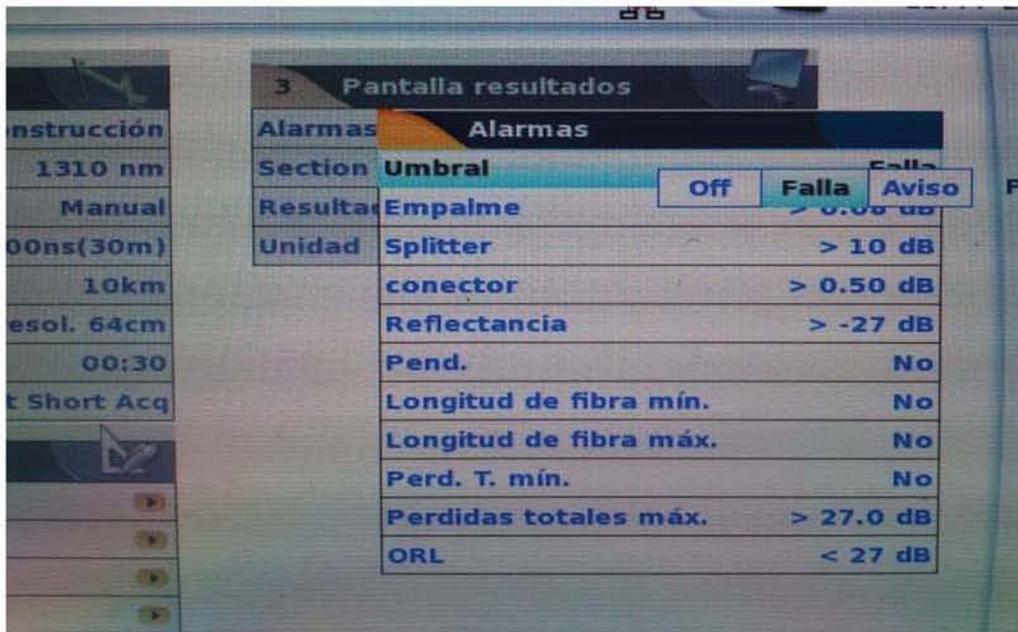


El 3 punto se refiere a la “Pantalla de Resultados” (Pantalla 3.23) el cual tiene un submenú que contiene las siguientes opciones:

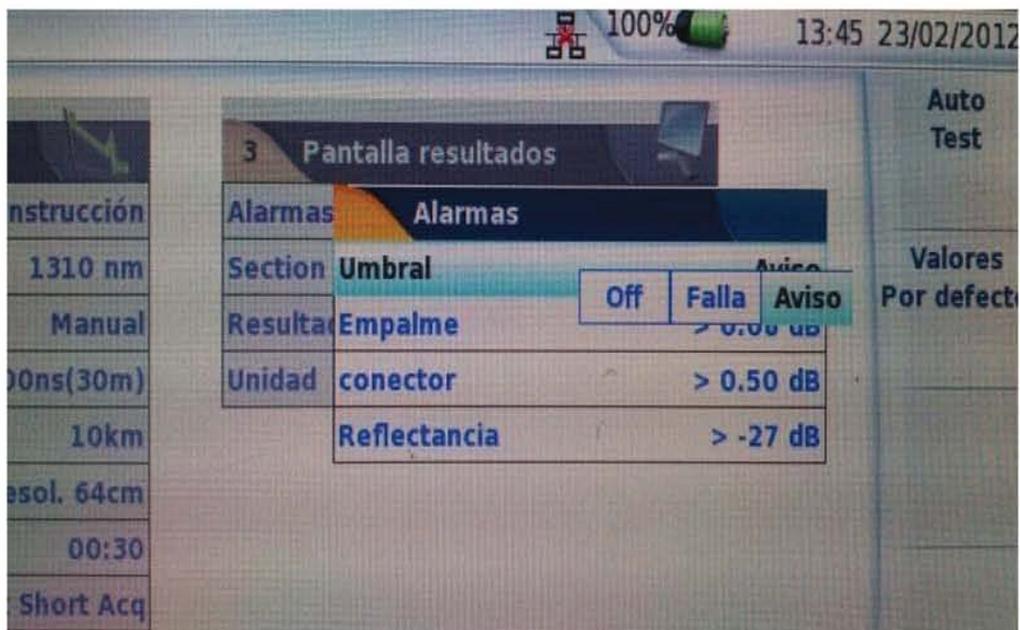
- **Alarmas** (Pantalla 3.23): Podemos observar que esta opción nos da un menú como se muestra en la Pantalla 3.24, si se selecciona “Aviso” nos despliega una serie de datos que se muestran en la Pantalla 3.25. la otra opción es “Off” la cual quita las alarmas (Pantalla 3.26), Las alarmas en el equipo se pueden apreciar en la grafica resultante de las pruebas, en la cual nos aparecerá donde se encuentra la falla dentro del enlace de fibra óptica.



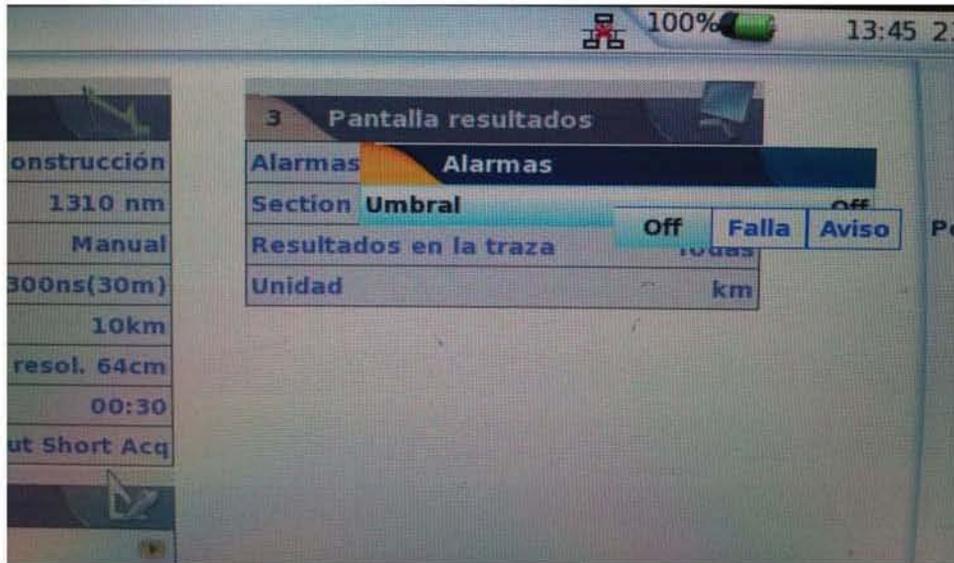
Pantalla 3.23 Menú Alarmas del Equipo OTDR-JDSU.



Pantalla 3.24 Opción Falla del Equipo OTDR-JDSU.

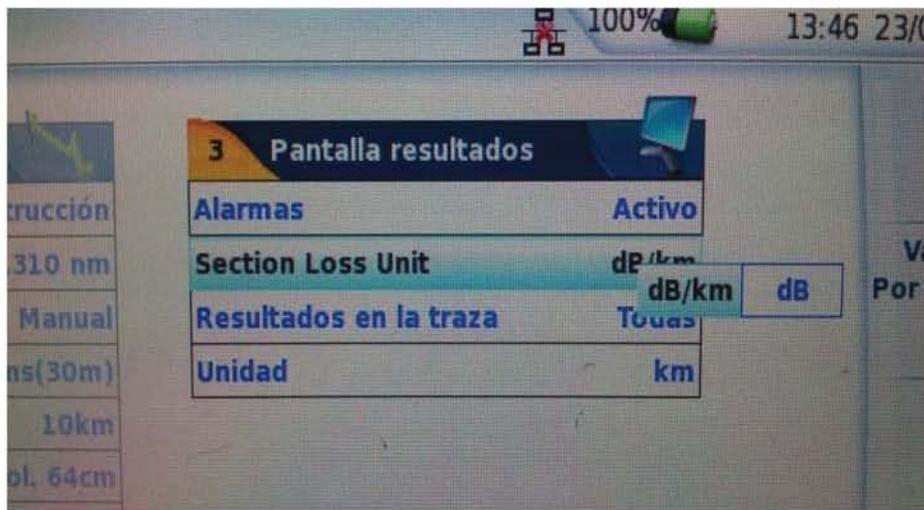


Pantalla 3.25 Opción Aviso del Equipo OTDR-JDSU.



Pantalla 3.26 Opción Off del Equipo OTDR-JDSU.

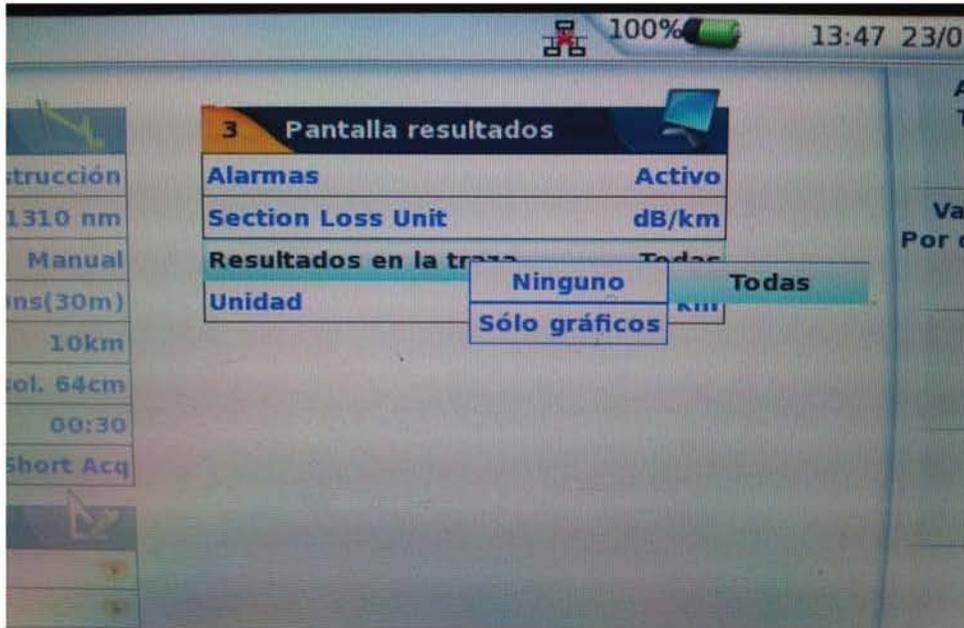
- “Selection Loss Unit” (Unidad de pérdida de la sección esta dado en dB/km),(Pantalla 3.27)



Pantalla 3.27 Opción Section Loss Unit del Equipo OTDR-JDSU.

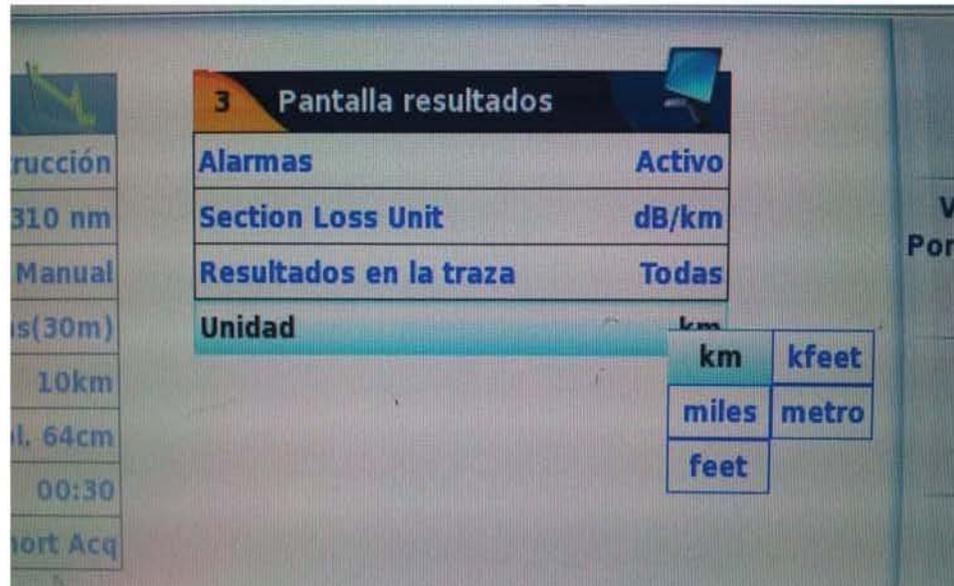


El siguiente paso es “**Resultados en la traza**” (Pantalla 3.28), el cual permite elegir entre Ninguno, Solo gráficos y Todas, Todo esto se puede observar en la grafica de resultados de las pruebas realizadas a la fibra óptica.



Pantalla 3.28 Opción Resultados en la traza del Equipo OTDR-JDSU.

Por Ultimo se encuentra la Opción “Unidad” en la cual se elije el tipo de unidad que se va a utilizar para que los datos obtenidos se puedan apreciar en la grafica de resultados. (Pantalla 3.29).



Pantalla 3.29 Opción Unidad del Equipo OTDR-JDSU.



## CONCLUSIÓN

Como se vio a lo largo del trabajo las redes GPON, han demostrado ser la respuesta tecnológica para hacer frente a la creciente demanda de ancho de banda de los clientes.

La tecnología GPON hace más fácil para las redes PON moverse a una topología de “todo IP”, donde las interfaces se muevan desde un transporte ATM a un transporte puro IP sobre interfaces Gigabit Ethernet. GPON consigue tener una distancia y alcance muy grandes que elimina la necesidad de componentes activos en la red de acceso, y sin cambiar la infraestructura física.

Debido a que las empresas que ofrecen este servicio actualmente, necesitan mejorar los servicios que ofrecen y dan más ancho de banda a sus clientes, por lo tanto se han iniciado las instalaciones con esta tecnología.

De estas instalaciones las empresas deben de crear sus documentos oficiales de la instalación tanto en la Planta interna como en la Planta Externa, de los equipos a usar como BDFO AD TYCO, el tipo de cable de fibra óptica a instalar antes de las instalaciones del cliente y dentro de sus propias instalaciones (cable drop), el tipo de las tomas ópticas, etc.

En mi opinión considero que el conocer el funcionamiento y configuración de manera eficiente el equipo OTDR-JDSU, nos brinda la posibilidad de mejorar los proyectos de construcción de enlaces de fibra óptica, así como localizar de manera más rápida las fallas dentro de una red de fibra óptica.

Como vimos se pueden realizar diferentes pruebas con el equipo OTDR-JDSU, lo que hace al usuario obtener datos con precisión así como, detectar las fallas con mayor certeza evitando errores que pueden trascender en el enlace de fibra óptica.



Con los conocimientos obtenidos en este trabajo es posible optimizar de manera más eficiente la calidad de un enlace de fibra óptica ya sea un proyecto que se encuentra en construcción o uno que ya esta en funcionamiento esto permitirá reducir las fallas en toda la red de enlace de fibra óptica.

El presente trabajo va dirigido a toda aquella persona que esta ávida de conocimiento o que tenga la necesidad de utilizar el equipo OTDR-JDSU para llevar acabo de manera mucho más eficiente su trabajo.



# ANEXOS

Unión Internacional de Telecomunicaciones

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.652**

(06/2005)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,  
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión – Cables  
de fibra óptica

---

**Características de las fibras y cables ópticos  
monomodo**

Recomendación UIT-T G.652

UIT-T



RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G  
**SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES**

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
<b>Cables de fibra óptica</b>	<b>G.650–G.659</b>
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS AL PROTOCOLO ETHERNET SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

*Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.*

# Recomendación UIT-T G.652

## Características de las fibras y cables ópticos monomodo

### Resumen

Esta Recomendación describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de fibras y cables ópticos monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm. En un principio, esta fibra fue diseñada para funcionar óptimamente en la región de longitud de onda de 1310 nm, pero puede asimismo utilizarse en la región de 1550 nm. Ésta es la última revisión de una Recomendación publicada por primera vez en 1984. En esta revisión se deja claro que debe especificarse el parámetro  $PMD_Q$  en las fibras no cableadas y se hacen más estrictos ciertos márgenes de tolerancia. Mediante la presente revisión se pretende mantener el ininterrumpido éxito comercial de esta fibra en los sistemas de transmisión óptica de alta calidad, que no dejen de evolucionar.

### Orígenes

La Recomendación UIT-T G.652 fue aprobada el 29 de junio de 2005 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

### Historia

Versión	Fecha de aprobación	
Versión 1	(10/1984)	
Versión 2	(11/1988)	
Versión 3	(03/1993)	
Versión 4	(04/1997)	
Versión 5	(10/2000)	En esta revisión se añadieron cuadros para los distintos niveles de soporte del sistema.
Versión 6	(03/2003)	En esta revisión se aclara la nomenclatura de las distintas categorías de fibras. Asimismo, de conformidad con el acuerdo sobre la descripción de las bandas de espectro, se modificó el límite superior de la banda L, de 16XX a 1625 nm. Las características de atenuación para las categorías con cresta de agua reducida (G.652.C y G.652.D) se generalizan para una amplia región en vez de para una única longitud de onda. Se añaden requisitos de PMD para todas las categorías y en dos de ellas se han reducido los límites (en comparación con el $0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ ). En cuanto a la prueba de macroflexión, el diámetro del mandril se ha reducido a un radio de 30 mm. Como se indica anteriormente, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente a lo largo del tiempo, por lo que se insta al lector a remitirse a la versión apropiada para determinar las características de productos ya en uso, teniendo en cuenta su año de producción. De hecho, los productos deben cumplir con las Recomendaciones en vigor en el momento de su fabricación, pero es posible que no cumplan plenamente los requisitos de las versiones posteriores de la Recomendación.
Versión 7	(06/2005)	Se señala el soporte de las aplicaciones G.695. Se precisa el método aplicable para atender los valores del coeficiente de dispersión cromático y en 5.10 se indica la utilización de estos valores junto con la utilización de las estadísticas de dispersión cromática para el diseño de sistemas. En 6.2 se precisa la relación entre el parámetro $PMD_Q$ de la fibra no cableada y de la fibra cableada. En el cuadro de requisitos: Se elimina la línea correspondiente a la PMD de la fibra no cableada y se modifica la nota correspondiente a la PMD que se requiere en el caso de la fibra no cableada. Se reduce la tolerancia de la MFD en 1310 nm. Se reduce la pendiente de dispersión máxima en la longitud de onda correspondiente a una dispersión nula. Se reduce el error máximo de concentricidad. Se reduce la pérdida máxima de macroflexión. La formulación del requisito de máximo hidrico en los cuadros 3 y 4 se modifica con el fin de tomar en consideración la especificación en toda la gama de valores frente a la especificación en 1310 nm.

## PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

## NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

## PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2005

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias .....	1
2.1 Referencias normativas .....	1
2.2 Referencias informativas .....	2
3 Terminología y definiciones.....	2
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos.....	2
5 Características de la fibra.....	2
5.1 Diámetro del campo modal .....	3
5.2 Diámetro del revestimiento .....	3
5.3 Error de concentricidad del núcleo.....	3
5.4 No circularidad.....	3
5.5 Longitud de onda de corte .....	3
5.6 Pérdida por macroflexiones.....	4
5.7 Propiedades materiales de la fibra.....	4
5.8 Perfil del índice de refracción.....	4
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática .....	4
5.10 Coeficiente de dispersión cromática.....	5
6 Características del cable .....	5
6.1 Coeficiente de atenuación.....	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización .....	6
7 Cuadros de valores recomendados.....	6
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema.....	11
I.1 Atenuación.....	11
I.2 Dispersión cromática .....	11
I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD).....	12
I.4 Coeficiente no lineal.....	12
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	12
BIBLIOGRAFÍA .....	14



## Recomendación UIT-T G.652

### Características de las fibras y cables ópticos monomodo

#### 1 Alcance

Esta Recomendación describe un cable de fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm, optimizado para uso en la región de longitud de onda de 1310 nm, y que puede utilizarse también en longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada). Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Las características geométricas, ópticas, mecánicas y de transmisión de esta fibra se describen más adelante en tres categorías de atributos:

- los atributos de la fibra son aquellos que se mantienen en el cableado y la instalación;
- los atributos del cable, que son los recomendados para el suministro del cable;
- los atributos de enlace, que son las características de cables concatenados, y que describen los métodos de estimación de los parámetros de las interfaces del sistema basadas en medidas, modelado u otras consideraciones. Los atributos de enlace y de diseño del sistema se describen en el apéndice I.

Esta Recomendación y las distintas categorías de calidad que se especifican en los cuadros de la cláusula 7 pueden soportar los sistemas conexos de las siguientes Recomendaciones:

- Rec. UIT-T G.957.
- Rec. UIT-T G.691.
- Rec. UIT-T G.692.
- Rec. UIT-T G.693.
- Rec. UIT-T G.959.1.
- Rec. UIT-T G.695.

NOTA – En función de la longitud de los enlaces, puede ser necesaria un cierto grado de acomodación de la dispersión para ciertos códigos de aplicación G.691, G.692 o G.959.1.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los parámetros correspondientes, sus métodos de prueba y los valores pertinentes se precisarán a medida que avancen los estudios y se adquiera experiencia.

#### 2 Referencias

##### 2.1 Referencias normativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- Recomendación UIT-T G.650.1 (2004), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.*

- Recomendación UIT-T G.650.2 (2005), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos conexos de las características estadísticas y no lineales de fibras y cables monomodo.*
- CEI 60793-2-50 (2004), *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres.*

## 2.2 Referencias informativas

- Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.691 (2003), *Interfaces ópticas para los sistemas monocanal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.693 (2005), *Interfaces ópticas para sistemas de conexión local.*
- Recomendación UIT-T G.695 (2005), *Interfaces ópticas para aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda.*
- Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.959.1 (2003), *Interfaces de capa física de red óptica de transporte.*

## 3 Terminología y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Los valores se redondean al número de dígitos presentes en los cuadros de valores recomendados antes de evaluar su conformidad.

## 4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos.

$A_{\text{eff}}$	Área efectiva ( <i>effective area</i> )
DGD	Retardo diferencial de grupo ( <i>differential group delay</i> )
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa ( <i>dense wavelength division multiplexing</i> )
GPa	Gigapascal
PMD	Dispersión por modo de polarización ( <i>polarization mode dispersion</i> )
PMD <sub>Q</sub>	Parámetro estadístico para enlaces de tipo PMD ( <i>statistical parameter for link PMD</i> )
SDH	Jerarquía digital síncrona ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
TBD	Por determinar ( <i>to be determined</i> )
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda ( <i>wavelength division multiplexing</i> )

## 5 Características de la fibra

En esta cláusula sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para la fabricación de fibras. En la cláusula 7 se establecen gamas de valores o límites a los mismos. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*) pueden verse

apreciablemente afectadas por la fabricación o la instalación del cable. Además, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado en un tambor y a las fibras en cables instalados.

### **5.1 Diámetro del campo modal**

El valor nominal y la tolerancia del mismo se especifican para 1310 nm. El valor nominal especificado debe encontrarse comprendido en la gama de valores de la cláusula 7. La tolerancia especificada no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7. La desviación con respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

### **5.2 Diámetro del revestimiento**

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125  $\mu\text{m}$ . También se especifica en la cláusula 7 una tolerancia cuyo valor no debe ser superado. La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder la tolerancia especificada.

### **5.3 Error de concentricidad del núcleo**

El error de concentricidad del núcleo no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7.

### **5.4 No circularidad**

#### **5.4.1 No circularidad del campo modal**

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y las uniones no se vean afectadas. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

#### **5.4.2 No circularidad del revestimiento**

La no circularidad del revestimiento no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7.

### **5.5 Longitud de onda de corte**

Pueden distinguirse tres tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- a) longitud de onda de corte de cable,  $\lambda_{cc}$ ;
- b) longitud de onda de corte de la fibra,  $\lambda_c$ ;
- c) longitud de onda de corte de cable puente,  $\lambda_{cj}$ .

NOTA – Para algunas aplicaciones específicas de cables submarinos pueden ser necesarias otras longitudes de onda.

La correlación de los valores medidos de  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{cc}$  y  $\lambda_{cj}$  depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general  $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$ , no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa. Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo mínimo de cable entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Ello puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte  $\lambda_{cc}$  de una fibra monomodo cableada sea 1260 nm o, en el caso de cables puente, recomendando que la máxima longitud de onda de corte sea de 1250 nm o, para el peor caso en longitud y flexión de la fibra, recomendando que la máxima longitud de onda de corte de la fibra sea 1250 nm.

La longitud de onda de corte del cable,  $\lambda_{cc}$ , no debe exceder el valor máximo especificado en la cláusula 7.

## **5.6 Pérdida por macroflexiones**

Las pérdidas por macroflexiones varían con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas alrededor del mandril con un radio determinado. La pérdida por macroflexión no debe exceder lo especificado en la cláusula 7 para la longitud de onda especificada, el radio de curvatura y el número de vueltas.

NOTA 1 – Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

NOTA 2 – El número recomendado de vueltas se corresponde al número aproximado de vueltas utilizadas en todos los empalmes de una sección de repetición típica. El radio recomendado es equivalente al mínimo radio de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en instalaciones de sistemas reales para evitar un fallo por fatiga estática.

NOTA 3 – Si por razones de orden práctico se adopta un número de vueltas inferior al recomendado, se sugiere utilizar un número no inferior a 40 vueltas, siendo entonces el incremento de las pérdidas proporcionalmente menor.

NOTA 4 – La recomendación de pérdidas por macroflexión se refiere el montaje de las fibras en instalaciones reales de fibra monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

NOTA 5 – Cuando se requieran pruebas de rutina, en lugar del valor recomendado puede utilizarse un bucle de menor diámetro de una o varias vueltas con el objeto de conseguir precisión y facilitar la medida. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba de varias vueltas deben elegirse de modo que exista una correspondencia con la prueba recomendada y la pérdida permitida.

## **5.7 Propiedades materiales de la fibra**

### **5.7.1 Materiales de la fibra**

Deben indicarse las sustancias que intervienen en la composición de las fibras.

NOTA – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

### **5.7.2 Materiales protectores**

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

### **5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica**

El nivel de prueba de resistencia mecánica especificada  $\sigma_p$ , no será inferior al valor mínimo especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 3.2 y 5.6/G.650.1.

## **5.8 Perfil del índice de refracción**

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra.

## **5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática**

Queda en estudio.

NOTA – Para una longitud de onda concreta, el valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática puede variar con respecto al valor medido en una sección de gran longitud. Si el valor disminuye hasta un valor pequeño a una longitud de onda próxima a una longitud de onda de funcionamiento de un sistema WDM, el efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, incluyendo, pero no estando limitado a, otras longitudes de onda de funcionamiento. La

magnitud de la potencia de la mezcla de cuatro ondas es función del valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática, la pendiente de dispersión cromática, las longitudes de onda en funcionamiento, la potencia óptica y la distancia a lo largo de la que se produce la mezcla de cuatro ondas.

Para el funcionamiento de sistemas DWDM en la región de 1550 nm, la dispersión cromática de las fibras G.652 es lo suficientemente grande como para evitar la mezcla de cuatro ondas. La uniformidad de la dispersión cromática no es por tanto un aspecto de naturaleza funcional.

### 5.10 Coeficiente de dispersión cromática

Habrà que ajustar el retardo de grupo o el coeficiente de dispersión cromática a la longitud de onda, mediante la ecuación tripartita de Sellmeier, que se ha definido en el anexo A/G.650.1. (Véase 5.5/G.650.1 en lo que concierne a la interpolación de los valores de dispersión en longitudes de onda no medidas.)

La ecuación de Sellmeier puede utilizarse para ajustarse a los datos de cada intervalo de valores (1310 nm y 1550 nm) separadamente con dos ajustes, o con un ajuste común, utilizando datos de ambas gamas de valores.

El ajuste mediante la ecuación Sellmeier en la región de 1310 nm puede no ser suficientemente preciso si se extrapola a la región de 1550 nm. Como la dispersión cromática en esta última región es considerable, puede resultar aceptable esta menor precisión. En caso contrario, podría mejorarse la precisión, incluyendo datos de la región de 1550 nm al realizar el ajuste común, o al efectuar un ajuste separado para la región de 1550 nm. Hay que señalar que un ajuste común podría reducir la precisión en la región de 1310 nm.

El coeficiente de dispersión geométrica,  $D$ , se especifica estableciendo límites para los parámetros de una curva de dispersión cromática que sea función de la longitud de onda en la región de 1310 nm. El límite del coeficiente de dispersión cromática para cualquier longitud de onda,  $\lambda$ , se calcula utilizando la longitud de onda mínima de dispersión nula,  $\lambda_{0\text{mín}}$ , la longitud de onda máxima de dispersión nula,  $\lambda_{0\text{máx}}$ , y el coeficiente de la pendiente máxima de dispersión nula,  $S_{0\text{máx}}$ , en la siguiente expresión:

$$\frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\text{máx}}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\text{mín}}}{\lambda} \right)^4 \right]$$

En los cuadros de la cláusula 7 deberán indicarse los límites de los valores de  $\lambda_{0\text{mín}}$ ,  $\lambda_{0\text{máx}}$ , y  $S_{0\text{máx}}$ .

Los valores del coeficiente de dispersión cromática a longitudes de onda que van de 1500 nm a 1625 nm se utilizan también para diseñar sistemas o compensadores de dispersión cromática. Los valores del coeficiente de dispersión cromática a longitudes de onda seleccionadas en este intervalo de valores se evalúan con una ecuación Sellmeier de cinco términos o un modelo polinomial de cuarto orden basado en las mediciones realizadas en estas gamas de longitud de onda. Los diseños efectuados recurriendo a valores del coeficiente de dispersión cromática se basan normalmente en un enfoque estadístico similar al indicado en el Suplemento UIT-T G.39. En el apéndice I se enumeran los valores típicos para una banda de unos 1550 nm.

NOTA – En la mayoría de los casos no es necesario medir el coeficiente de dispersión cromática de fibra monomodal.

## 6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras que se presentan en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se presentan recomendaciones principalmente relativas a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las condiciones ambientales y de prueba son de gran importancia y se describen en las directrices sobre los métodos de prueba.

## 6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en las regiones de 1310 nm y 1550 nm. Los valores del coeficiente de atenuación del cable de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación puede calcularse para una gama de longitudes de onda, en base a medidas realizadas sobre unas pocas longitudes de onda predictivas (3 a 4). Este procedimiento se describe en 5.4.4/G.650.1 y en el apéndice III/G.650.1 se presenta un ejemplo.

## 6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización

No todos los cuadros incluyen requisitos relativos a la dispersión por modo de polarización (PMD). Cuando es necesario, la dispersión por modo de polarización de la fibra cableada se especifica estadísticamente, no de forma individual para cada fibra. Los requisitos sólo hacen referencia a aspectos del enlace calculados a partir de información del cable. A continuación se describe la métrica de la información estadística. En CEI/TR 61282-3 se describen los métodos de cálculo que se resumen en el apéndice IV/G.650.2.

El fabricante debe proporcionar un valor de PMD de diseño del enlace,  $PMD_Q$ , que constituya el límite estadístico superior del coeficiente de PMD de los cables de fibra óptica concatenados en un enlace de M secciones de cable. El límite superior se define en términos de un bajo nivel de la probabilidad, Q, de que un valor de coeficiente de PMD concatenado sea mayor que  $PMD_Q$ . Para los valores de M y Q de la cláusula 7, el valor de  $PMD_Q$  no debe superar el coeficiente máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

Las medidas y especificaciones obtenidas en fibras no cableadas son requisito necesario pero no suficiente para garantizar las especificaciones en fibra cableada. El valor máximo para el diseño de enlaces especificado en fibras no cableadas será inferior o igual al especificado en fibras cableadas. La relación de los valores de PMD en fibra no cableada y cableada dependerá de las circunstancias de la construcción y tratamiento del cable, así como del estado de acoplamiento del modo de la fibra no cableada. En la Rec. UIT-T G.650.2 se propone el despliegue de un bajo acoplamiento de modo, lo que exige que la fibra se enrolle con poca tensión en un carrete de gran diámetro para realizar mediciones PMD en fibra no cableada.

Puede interpretarse que los límites de la distribución de los valores de los coeficientes de PMD son casi equivalentes a los límites de la variación estadística del retardo diferencial de grupo (DGD, *differential group delay*), que varía de forma aleatoria en función del tiempo y de la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente de PMD para cables de fibra óptica, pueden determinarse límites equivalentes para la variación de DGD. En el apéndice I figuran la métrica y los valores de los límites de la distribución del DGD.

NOTA 1 – Sólo se requerirá una especificación  $PMD_Q$  cuando los cables se utilicen para sistemas que disponen de la especificación del DGD máximo, es decir, por ejemplo, no se aplicará la especificación  $PMD_Q$  para los sistemas de la Rec. UIT-T G.957.

NOTA 2 – Deberá calcularse la  $PMD_Q$  para distintos tipos de cables, generalmente utilizando valores PMD de muestra. Las muestras se obtendrán de cables de construcción similar.

NOTA 3 – La especificación  $PMD_Q$  no se aplicará a cables cortos como los cables puente, cables interiores y cables de bajada.

## 7 Cuadros de valores recomendados

Los cuadros siguientes resumen los valores recomendados para una serie de categorías de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación. Estas categorías se distinguen principalmente en función de los requisitos PMD y del requisito de atenuación en 1383 nm. En el apéndice I se incluye información sobre las distancias de transmisión y las velocidades binarias relativas a los requisitos PMD.

El cuadro 1, Atributos G.652.A, contiene los atributos y valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones tales como las recomendadas en las Recs. UIT-T G.957 y G.691 para sistemas de hasta STM-16, así como 10 Gbit/s hasta 40 km (Ethernet) y STM-256 de la Rec. UIT-T G.693.

El cuadro 2, Atributos G.652.B, contiene los atributos y valores recomendados que son necesarios para soportar aplicaciones de mayor velocidad binaria, hasta STM-64, tales como algunas de las descritas en las Recs. UIT-TG.691 y G.692, y STM-256 para algunas aplicaciones de las Recs. UIT-TG.693 y G.959.1. En función de la aplicación, puede ser necesario adaptar la dispersión cromática.

El cuadro 3, Atributos G.652.C, es semejante al cuadro sobre G.652.A, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.

El cuadro 4, Atributos G.652.D, es semejante al cuadro sobre G.652.B, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.

**Cuadro 1/G.652 – Atributos G.652.A**

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	$0,092 \text{ ps/nm}^2 \times \text{km}$
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,5 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	$\text{PDM}_Q$ máximo	$0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro $\text{PMD}_Q$ para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable $\text{PMD}_Q$ .		

**Cuadro 2/G.652 – Atributos G.652.B**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	$0,092 \text{ ps/nm}^2 \times \text{km}$
<b>Atributos del cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	$0,20 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD <sub>Q</sub> para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD <sub>Q</sub> .		

**Cuadro 3/G.652 – Atributos G.652.C**

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm <sup>2</sup> × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm $\pm$ 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD<sub>Q</sub> para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD<sub>Q</sub>.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm, después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

**Cuadro 4/G.652 – Atributos G.652.D**

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm <sup>2</sup> × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm $\pm$ 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD<sub>Q</sub> en la fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD<sub>Q</sub> del cable.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

## Apéndice I

### Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema

Un enlace concatenado incluye generalmente largos de cable de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en las cláusulas 5 y 6. Los parámetros de transmisión de enlaces concatenados deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos del cable, sino también las estadísticas de la concatenación.

Las características de transmisión de los largos de fabricación de cable de fibra óptica tendrán una determinada distribución probabilística que hay que tener en cuenta para conseguir los diseños más económicos. Los párrafos de este apéndice deben leerse teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

Los atributos del enlace se ven afectados por factores ajenos al propio cable de fibra óptica, tales como los empalmes, los conectores y la instalación. Estos factores no pueden especificarse en esta Recomendación. A los efectos de la estimación de los valores de las características del enlace, en los cuadros siguientes se presentan valores típicos de enlaces de fibra óptica. Los métodos de estimación de parámetros necesarios para el diseño del sistema están basados en medidas, en el modelado o en otras consideraciones.

#### I.1 Atenuación

La atenuación  $A$  de un enlace viene dada por:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

donde:

- $\alpha$  coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- $\alpha_s$  atenuación media por empalme
- $x$  número de empalmes de un enlace
- $\alpha_c$  atenuación media de los conectores de línea
- $y$  número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)
- $L$  longitud del enlace

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos del envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en la cláusula I.5 corresponden al coeficiente de atenuación de enlaces de fibra óptica. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

#### I.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática, expresada en ps/nm, puede obtenerse de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal con la longitud y respetando los signos de los coeficientes (véase 5.10).

Cuando estas fibras se utilizan para transmitir en la región de 1550 nm, a menudo se emplea alguna forma de compensación de la dispersión cromática. En este caso, en el diseño se utiliza la dispersión cromática media del enlace. La dispersión medida en la ventana de 1550 nm puede caracterizarse en dicha ventana mediante una relación lineal con la longitud de onda. La relación se describe en función del coeficiente de dispersión cromática medio y del coeficiente de la pendiente de dispersión a 1550 nm.

En la cláusula I.1 se incluyen valores típicos del coeficiente de dispersión cromática,  $D_{1550}$ , y del coeficiente de la pendiente de dispersión cromática,  $S_{1550}$ , a 1550 nm. Estos valores pueden utilizarse junto con la longitud del enlace,  $L_{Link}$ , para calcular la dispersión cromática típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \text{ (ps/nm)}$$

### I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD)

El retardo diferencial de grupo es la diferencia que se produce entre los instantes de llegada de dos modos de polarización para una longitud de onda y un instante determinados. En el caso de un enlace con un coeficiente de PMD específico, el DGD del enlace varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda como una distribución de Maxwell que sólo contenga un único parámetro que sea el producto del coeficiente de PMD del enlace y de la raíz cuadrada de la longitud del mismo. Las degradaciones del sistema debidas al PMD para un instante y longitud de onda determinados, dependen del DGD para dicho instante y longitud de onda. Por tanto, se han desarrollado los medios necesarios para establecer límites útiles en la distribución del DGD, dado que éste se relaciona con la distribución del coeficiente de PMD del cable de fibra óptica y con sus límites. Todo ello está documentado en CEI/TR 61282-3 y resumido en el apéndice IV/G.650.2. A continuación se describe la métrica de las limitaciones de la distribución de DGD.

NOTA – La determinación de la contribución de componentes distintos al cable de fibra óptica queda fuera del ámbito de esta Recomendación, pero se analizan en CEI/TR 61282-3.

Longitud del enlace de referencia,  $L_{Ref}$ : es la longitud máxima del enlace a la que se aplica la DGD máxima y su probabilidad. Para enlaces más largos, se multiplica el máximo de DGD por la raíz cuadrada de la relación entre la longitud real y la longitud de referencia.

Longitud de cable máxima típica,  $L_{Cab}$ : los valores máximos están asegurados cuando los cables individuales típicos de la concatenación o las longitudes de los cables que se miden para determinar la distribución del coeficiente de PMD son menores que este valor.

DGD máxima,  $DGD_{m\acute{a}x}$ : valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.

Probabilidad máxima,  $P_F$ : probabilidad de que el valor DGD real supere  $DGD_{m\acute{a}x}$ .

### I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con la no linealidad de la fibra descrita mediante el coeficiente no lineal,  $n_2/A_{eff}$ , en relación con las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (véanse las Recs. UIT-T G.663 y G.650.2). Los valores típicos varían con la implementación. Los métodos de prueba para un coeficiente no lineal quedan en estudio.

### I.5 Cuadros de valores típicos comunes

Los valores de los cuadros I.1 y I.2, son representativos de enlaces de fibra óptica concatenados conforme a las cláusulas I.1 y I.3, respectivamente. Los valores de DGD máxima implícitos inducidos por la fibra del cuadro I.2 son orientativos con respecto a los requisitos de otros elementos ópticos que se pueden encontrar en el enlace.

NOTA – La longitud de sección de cable es de 10 km excepto para el enlace 0,10 ps/ $\sqrt{\text{km}}$  / > 4000 km, en que se fija a 25 km. El nivel de probabilidades de error es  $6,5 \times 10^{-8}$ .

**Cuadro I.1/G.652 – Valor representativo de enlaces de fibra óptica concatenados**

Coefficiente de atenuación	Región de longitud de onda	Valor típico del enlace
(Nota)	1260 nm – 1360 nm	0,5 dB/km
	1530 nm – 1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm – 1625 nm	0,35 dB/km
Coefficiente de dispersión cromática	$D_{1550}$	17 ps/nm × km
	$S_{1550}$	0,056 ps/nm <sup>2</sup> × km
NOTA – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación del enlace utilizado en las Recs. UIT-T G.957 y G.691.		

**Cuadro I.2/G.652 – Retardo diferencial de grupo**

PMDQ máximo (ps/√km)	Longitud del enlace (km)	DGD máximo implícito inducido por la fibra (ps)	Velocidad binaria del canal
Sin especificar			Hasta 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (nota)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	> 4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s
NOTA – Este valor se aplica igualmente para los sistemas 10 Gigabit Ethernet.			

## **BIBLIOGRAFÍA**

- CEI/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*
- CEI 60793-2 (2003), *Optical fibres – Part 2: Product specifications.*



## SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
<b>Serie G</b>	<b>Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales</b>
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación

International Telecommunication Union

**ITU-T**

TELECOMMUNICATION  
STANDARDIZATION SECTOR  
OF ITU

**G.652**

(11/2009)

SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA,  
DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS

Transmission media and optical systems characteristics –  
Optical fibre cables

---

**Characteristics of a single-mode optical fibre  
and cable**

Recommendation ITU-T G.652

ITU-T



ITU-T G-SERIES RECOMMENDATIONS  
**TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS**

INTERNATIONAL TELEPHONE CONNECTIONS AND CIRCUITS	G.100–G.199
GENERAL CHARACTERISTICS COMMON TO ALL ANALOGUE CARRIER-TRANSMISSION SYSTEMS	G.200–G.299
INDIVIDUAL CHARACTERISTICS OF INTERNATIONAL CARRIER TELEPHONE SYSTEMS ON METALLIC LINES	G.300–G.399
GENERAL CHARACTERISTICS OF INTERNATIONAL CARRIER TELEPHONE SYSTEMS ON RADIO-RELAY OR SATELLITE LINKS AND INTERCONNECTION WITH METALLIC LINES	G.400–G.449
COORDINATION OF RADIOTELEPHONY AND LINE TELEPHONY	G.450–G.499
TRANSMISSION MEDIA AND OPTICAL SYSTEMS CHARACTERISTICS	G.600–G.699
General	G.600–G.609
Symmetric cable pairs	G.610–G.619
Land coaxial cable pairs	G.620–G.629
Submarine cables	G.630–G.639
Free space optical systems	G.640–G.649
<b>Optical fibre cables</b>	<b>G.650–G.659</b>
Characteristics of optical components and subsystems	G.660–G.679
Characteristics of optical systems	G.680–G.699
DIGITAL TERMINAL EQUIPMENTS	G.700–G.799
DIGITAL NETWORKS	G.800–G.899
DIGITAL SECTIONS AND DIGITAL LINE SYSTEM	G.900–G.999
MULTIMEDIA QUALITY OF SERVICE AND PERFORMANCE – GENERIC AND USER-RELATED ASPECTS	G.1000–G.1999
TRANSMISSION MEDIA CHARACTERISTICS	G.6000–G.6999
DATA OVER TRANSPORT – GENERIC ASPECTS	G.7000–G.7999
PACKET OVER TRANSPORT ASPECTS	G.8000–G.8999
ACCESS NETWORKS	G.9000–G.9999

*For further details, please refer to the list of ITU-T Recommendations.*

# Recommendation ITU-T G.652

## Characteristics of a single-mode optical fibre and cable

### Summary

Recommendation ITU-T G.652 describes the geometrical, mechanical and transmission attributes of a single-mode optical fibre and cable which has zero-dispersion wavelength around 1310 nm. The ITU-T G.652 fibre was originally optimized for use in the 1310 nm wavelength region, but can also be used in the 1550 nm region. This is the latest revision of a Recommendation that was first created in 1984 and deals with some relatively minor modifications. This revision is intended to maintain the continuing commercial success of this fibre in the evolving world of high-performance optical transmission systems.

### History

Version	Approval date	
Version 1	(10/1984)	
Version 2	(11/1988)	
Version 3	(03/1993)	
Version 4	(04/1997)	
Version 5	(10/2000)	This revision includes the addition of tables for different levels of system support.
Version 6	(03/2003)	This revision clarified the nomenclature for the different categories of fibre. Also, in accordance with the agreement on spectral band description, the upper limit of the L-band is changed from 16XX to 1625 nm. The attenuation characteristics for reduced water peak categories, (G.652.C and G.652.D) are generalized to a broad region from a single wavelength. PMD requirements are added for all categories and two categories have reduced limits (compared to $0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ ). For the macrobending test, mandrel diameter is reduced to 30 mm radius. As seen above, this Recommendation has evolved considerably over the years; therefore the reader is warned to consider the appropriate version to determine the characteristics of already deployed product, taking into account the year of production. In fact, products are expected to comply with the Recommendation that was in force at the time of their manufacture, but may not fully comply with subsequent versions of the Recommendation.
Version 7	(06/2005)	Support of G.695 applications is noted. A clarification of the method of fitting chromatic dispersion coefficient values and their use is provided in 5.10, along with some text on use of the statistics of chromatic dispersion for system design. A clarification of the relationship of the $\text{PMD}_0$ of uncabled fibre to cabled fibre is provided in 6.2. In the tables of requirements: The uncabled fibre PMD line item is removed from the tables and the note on the requirement for uncabled fibre PMD is modified. The tolerance of MFD at 1310 nm is reduced. The maximum dispersion slope at the zero dispersion wavelength is reduced. The maximum concentricity error is reduced. The maximum macrobending loss is reduced. The wording for the water peak requirement in Tables 3 and 4 are modified to reflect a reference to the specification over the range vs the specification at 1310 nm.

## FOREWORD

The International Telecommunication Union (ITU) is the United Nations specialized agency in the field of telecommunications, information and communication technologies (ICTs). The ITU Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) is a permanent organ of ITU. ITU-T is responsible for studying technical, operating and tariff questions and issuing Recommendations on them with a view to standardizing telecommunications on a worldwide basis.

The World Telecommunication Standardization Assembly (WTSA), which meets every four years, establishes the topics for study by the ITU-T study groups which, in turn, produce Recommendations on these topics.

The approval of ITU-T Recommendations is covered by the procedure laid down in WTSA Resolution 1.

In some areas of information technology which fall within ITU-T's purview, the necessary standards are prepared on a collaborative basis with ISO and IEC.

## NOTE

In this Recommendation, the expression "Administration" is used for conciseness to indicate both a telecommunication administration and a recognized operating agency.

Compliance with this Recommendation is voluntary. However, the Recommendation may contain certain mandatory provisions (to ensure e.g., interoperability or applicability) and compliance with the Recommendation is achieved when all of these mandatory provisions are met. The words "shall" or some other obligatory language such as "must" and the negative equivalents are used to express requirements. The use of such words does not suggest that compliance with the Recommendation is required of any party.

## INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

ITU draws attention to the possibility that the practice or implementation of this Recommendation may involve the use of a claimed Intellectual Property Right. ITU takes no position concerning the evidence, validity or applicability of claimed Intellectual Property Rights, whether asserted by ITU members or others outside of the Recommendation development process.

As of the date of approval of this Recommendation, ITU had received notice of intellectual property, protected by patents, which may be required to implement this Recommendation. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information and are therefore strongly urged to consult the TSB patent database at <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2010

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, by any means whatsoever, without the prior written permission of ITU.

## CONTENTS

	<b>Page</b>
1 Scope .....	1
2 References.....	1
2.1 Normative references.....	1
2.2 Informative references.....	2
3 Terms and definitions .....	2
4 Abbreviations and acronyms .....	2
5 Fibre attributes .....	3
5.1 Mode field diameter .....	3
5.2 Cladding diameter .....	3
5.3 Core concentricity error.....	3
5.4 Non-circularity .....	3
5.5 Cut-off wavelength.....	3
5.6 Macrobending loss.....	4
5.7 Material properties of the fibre.....	4
5.8 Refractive index profile.....	4
5.9 Longitudinal uniformity of chromatic dispersion.....	4
5.10 Chromatic dispersion coefficient.....	5
6 Cable attributes .....	5
6.1 Attenuation coefficient .....	5
6.2 Polarization mode dispersion coefficient .....	6
7 Tables of recommended values .....	6
Appendix I – Information for link attributes and system design .....	11
I.1 Attenuation .....	11
I.2 Chromatic dispersion.....	11
I.3 Differential group delay (DGD).....	12
I.4 Non-linear coefficient.....	12
I.5 Tables of common typical values .....	12
Bibliography.....	14



## Recommendation ITU-T G.652

### Characteristics of a single-mode optical fibre and cable

#### 1 Scope

This Recommendation describes a single-mode optical fibre and cable which has zero-dispersion wavelength around 1310 nm and which is optimized for use in the 1310 nm wavelength region, and which can also be used in the 1550 nm region (where this fibre is not optimized). Both analogue and digital transmission can be used with this fibre.

The geometrical, optical, transmission and mechanical parameters are described below in three categories of attributes:

- fibre attributes are those attributes that are retained throughout cabling and installation;
- cable attributes that are recommended for cables as they are delivered;
- link attributes that are characteristic of concatenated cables, describing estimation methods of system interface parameters based on measurements, modelling or other considerations. Information for link attributes and system design are in Appendix I.

This Recommendation and the different performance categories found in the tables of clause 7 are intended to support the following related system Recommendations:

- [ITU-T G.957].
- [ITU-T G.691].
- [ITU-T G.692].
- [ITU-T G.693].
- [ITU-T G.959.1].
- [ITU-T G.695].

NOTE – Depending on the length of the links, dispersion accommodation can be necessary for some ITU-T G.691, ITU-T G.692 or ITU-T G.959.1 application codes.

The meaning of the terms used in this Recommendation and the guidelines to be followed in the measurement to verify the various characteristics are given in [ITU-T G.650.1] and [ITU-T G.650.2]. The characteristics of this fibre, including the definitions of the relevant parameters, their test methods and relevant values, will be refined as studies and experience progress.

#### 2 References

##### 2.1 Normative references

The following ITU-T Recommendations and other references contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this Recommendation. At the time of publication, the editions indicated were valid. All Recommendations and other references are subject to revision; users of this Recommendation are therefore encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the Recommendations and other references listed below. A list of the currently valid ITU-T Recommendations is regularly published. The reference to a document within this Recommendation does not give it, as a stand-alone document, the status of a Recommendation.

- [ITU-T G.650.1] Recommendation ITU-T G.650.1 (2004), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*

- [ITU-T G.650.2] Recommendation ITU-T G.650.2 (2005), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.*
- [IEC 60793-2-50] IEC 60793-2-50 (2004), *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single mode fibres.*

## 2.2 Informative references

- [ITU-T G.663] Recommendation ITU-T G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- [ITU-T G.691] Recommendation ITU-T G.691 (2003), *Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers.*
- [ITU-T G.692] Recommendation ITU-T G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- [ITU-T G.693] Recommendation ITU-T G.693 (2005), *Optical interfaces for intra-office systems.*
- [ITU-T G.695] Recommendation ITU-T G.695 (2005), *Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications.*
- [ITU-T G.957] Recommendation ITU-T G.957 (1999), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.*
- [ITU-T G.959.1] Recommendation ITU-T G.959.1 (2003), *Optical transport network physical layer interfaces.*
- [IEC 60794-2-11] IEC 60794-2-11 (2005), *Optical fibre cables – Part 2-11: Indoor cables – Detailed specification for simplex and duplex cables for use in premises cabling.*

## 3 Terms and definitions

For the purposes of this Recommendation, the definitions given in [ITU-T G.650.1] and [ITU-T G.650.2] apply. Values shall be rounded to the number of digits given in the tables of Recommended values before conformance is evaluated.

## 4 Abbreviations and acronyms

This Recommendation uses the following abbreviations and acronyms:

$A_{\text{eff}}$	Effective Area
DGD	Differential Group Delay
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
GPa	GigaPascal
PMD	Polarization Mode Dispersion
$\text{PMD}_Q$	Statistical parameter for link PMD
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
TBD	To Be Determined
WDM	Wavelength Division Multiplexing

## 5 Fibre attributes

Only those characteristics of the fibre providing a minimum essential design framework for fibre manufacture are recommended in this clause. Ranges or limits on values are presented in the tables of clause 7. Of these, cable manufacture or installation may significantly affect the cabled fibre cut-off wavelength and PMD. Otherwise, the recommended characteristics will apply equally to individual fibres, fibres incorporated into a cable wound on a drum, and fibres in an installed cable.

### 5.1 Mode field diameter

Both a nominal value and tolerance about that nominal value shall be specified at 1310 nm. The nominal value that is specified shall be within the range found in clause 7. The specified tolerance shall not exceed the value in clause 7. The deviation from nominal shall not exceed the specified tolerance.

### 5.2 Cladding diameter

The recommended nominal value of the cladding diameter is 125  $\mu\text{m}$ . A tolerance is also specified and shall not exceed the value in clause 7. The cladding deviation from nominal shall not exceed the specified tolerance.

### 5.3 Core concentricity error

The core concentricity error shall not exceed the value specified in clause 7.

### 5.4 Non-circularity

#### 5.4.1 Mode field non-circularity

In practice, the mode field non-circularity of fibres having nominally circular mode fields is found to be sufficiently low that propagation and jointing are not affected. It is, therefore, not considered necessary to recommend a particular value for the mode field non-circularity. It is not normally necessary to measure the mode field non-circularity for acceptance purposes.

#### 5.4.2 Cladding non-circularity

The cladding non-circularity shall not exceed the value found in clause 7.

### 5.5 Cut-off wavelength

Two useful types of cut-off wavelength can be distinguished:

- a) cable cut-off wavelength  $\lambda_{\text{cc}}$ ;
- b) fibre cut-off wavelength  $\lambda_{\text{c}}$ .

NOTE – For some specific submarine cable applications, other cable cut-off wavelength values may be required.

The correlation of the measured values of  $\lambda_{\text{c}}$  and  $\lambda_{\text{cc}}$  depends on the specific fibre and cable design and the test conditions. While in general  $\lambda_{\text{cc}} < \lambda_{\text{c}}$ , a general quantitative relationship cannot be easily established. The importance of ensuring single-mode transmission in the minimum cable length between joints at the minimum operating wavelength is paramount. This may be performed by recommending the maximum cable cut-off wavelength  $\lambda_{\text{cc}}$  of a cabled single-mode fibre to be 1260 nm or for worst case length and bends, by recommending a maximum fibre cut-off wavelength to be 1250 nm.

The cable cut-off wavelength,  $\lambda_{\text{cc}}$ , shall be less than the maximum specified in clause 7.

## **5.6 Macrobending loss**

Macrobending loss varies with wavelength, bend radius and number of turns about a mandrel with a specified radius. Macrobending loss shall not exceed the maximum given in clause 7 for the specified wavelength(s), bend radius and number of turns.

NOTE 1 – A qualification test may be sufficient to ensure that this requirement is being met.

NOTE 2 – The recommended number of turns corresponds to the approximate number of turns deployed in all splice cases of a typical repeater span. The recommended radius is equivalent to the minimum bend-radius widely accepted for long-term deployment of fibres in practical systems installations to avoid static-fatigue failure.

NOTE 3 – If, for practical reasons, fewer than the recommended number of turns are chosen to be implemented, it is suggested that not less than 40 turns, and that a proportionately smaller loss increase be required.

NOTE 4 – The macrobending loss recommendation relates to the deployment of fibres in practical single-mode fibre installations. The influence of the stranding-related bending radii of cabled single-mode fibres on the loss performance is included in the loss specification of the cabled fibre.

NOTE 5 – In the event that routine tests are required, a smaller diameter loop with one or several turns can be used instead of the recommended test, for accuracy and measurement ease. In this case, the loop diameter, number of turns and the maximum permissible bend loss for the several-turn test should be chosen so as to correlate with the recommended test and allowed loss.

## **5.7 Material properties of the fibre**

### **5.7.1 Fibre materials**

The substances of which the fibres are made should be indicated.

NOTE – Care may be needed in fusion splicing fibres of different substances. Provisional results indicate that adequate splice loss and strength can be achieved when splicing different high-silica fibres.

### **5.7.2 Protective materials**

The physical and chemical properties of the material used for the fibre primary coating and the best way of removing it (if necessary) should be indicated. In the case of single-jacketed fibre, similar indications shall be given.

### **5.7.3 Proofstress level**

The specified proofstress  $\sigma_p$  shall not be less than the minimum specified in clause 7.

NOTE – The definitions of the mechanical parameters are contained in clauses 3.2 and 5.6 of [ITU-T G.650.1].

## **5.8 Refractive index profile**

The refractive index profile of the fibre does not generally need to be known.

## **5.9 Longitudinal uniformity of chromatic dispersion**

Under study.

NOTE – At a particular wavelength, the local absolute value of the chromatic dispersion coefficient can vary away from the value measured on a long length. If the value decreases to a small value at a wavelength that is close to an operating wavelength in a wavelength division multiplexing (WDM) system, four-wave mixing can induce the propagation of power at other wavelengths including, but not limited to, other operating wavelengths. The magnitude of the four-wave mixing power is a function of the absolute value of the chromatic dispersion coefficient, the chromatic dispersion slope, the operating wavelengths, the optical power, and the distance over which four-wave mixing occurs.

For dense wavelength division multiplexing (DWDM) operations in the 1550 nm region, the chromatic dispersion of ITU-T G.652 fibres is large enough to avoid four-wave mixing. Chromatic dispersion uniformity is, therefore, not a functional issue.

## 5.10 Chromatic dispersion coefficient

The measured group delay or chromatic dispersion coefficient versus wavelength shall be fitted by the three-term Sellmeier equation as defined in Annex A of [ITU-T G.650.1] (see clause 5.5 of [ITU-T G.650.1] for guidance on the interpolation of dispersion values to unmeasured wavelengths).

The Sellmeier equation can be used to fit the data in each range (1310 nm and 1550 nm) separately in two fits, or as one common fit, with data from both ranges.

The Sellmeier fit in the 1310 nm region may not be sufficiently accurate when extrapolated to the 1550 nm region. Because the chromatic dispersion in the latter region is large, the reduced accuracy may be acceptable; if not, it can be improved by including data from the 1550 nm region when performing the common fit, or by using a separate fit for the 1550 nm region. It should be noted that a common fit may reduce the accuracy in the 1310 nm region.

The chromatic dispersion coefficient,  $D$ , is specified by putting limits on the parameters of a chromatic dispersion curve that is a function of wavelength in the 1310 nm region. The chromatic dispersion coefficient limit for any wavelength,  $\lambda$ , is calculated with the minimum zero-dispersion wavelength,  $\lambda_{0\min}$ , the maximum zero-dispersion wavelength,  $\lambda_{0\max}$ , and the maximum zero-dispersion slope coefficient,  $S_{0\max}$ , according to:

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right]$$

The values of  $\lambda_{0\min}$ ,  $\lambda_{0\max}$  and  $S_{0\max}$  shall be within the limits indicated in the tables of clause 7.

The chromatic dispersion coefficient values at wavelengths ranging from 1500 nm to 1625 nm are also used in system design or chromatic dispersion compensator design. Chromatic dispersion coefficient values at selected wavelengths in this range are evaluated by using either the five-term Sellmeier or the fourth order polynomial model based on measurements across these wavelength ranges. Designs with chromatic dispersion coefficient values are normally based on a statistical approach such as that found in Supplement 39 to ITU-T G-series Recommendations. Appendix I lists typical values for a band about 1550 nm.

NOTE – It is not necessary to measure the chromatic dispersion coefficient of single-mode fibre on a routine basis.

## 6 Cable attributes

Since the geometrical and optical characteristics of fibres given in clause 5 are barely affected by the cabling process, this clause gives recommendations mainly relevant to transmission characteristics of cabled factory lengths.

Environmental and test conditions are paramount and are described in the guidelines for test methods.

### 6.1 Attenuation coefficient

The attenuation coefficient is specified with a maximum value at one or more wavelengths in both the 1310 nm and 1550 nm regions. The optical fibre cable attenuation coefficient values shall not exceed the values found in clause 7.

NOTE – The attenuation coefficient may be calculated across a spectrum of wavelengths, based on measurements at a few (3 to 4) predictor wavelengths. This procedure is described in clause 5.4.4 of [ITU-T G.650.1] and an example is given in Appendix III of [ITU-T G.650.1].

## 6.2 Polarization mode dispersion coefficient

Cabled fibre polarization mode dispersion shall be specified on a statistical basis, not on an individual fibre basis. The requirements pertain only to the aspect of the link calculated from cable information. The metrics of the statistical specification are found below. Methods of calculations are found in [b-IEC/TR 61282-3], and are summarized in Appendix IV of [ITU-T G.650.2].

The manufacturer shall supply a PMD link design value,  $PMD_Q$ , that serves as a statistical upper bound for the PMD coefficient of the concatenated optical fibre cables within a defined possible link of  $M$  cable sections. The upper bound is defined in terms of a small probability level,  $Q$ , which is the probability that a concatenated PMD coefficient value exceeds  $PMD_Q$ . For the values of  $M$  and  $Q$  given in clause 7, the value of  $PMD_Q$  shall not exceed the maximum PMD coefficient specified in clause 7.

Measurements and specifications on uncabled fibre are necessary, but not sufficient to ensure the cabled fibre specification. The maximum link design value specified on uncabled fibre shall be less than or equal to that specified for the cabled fibre. The ratio of PMD values for uncabled fibre to cabled fibre depends on the details of the cable construction and processing, as well as on the mode coupling condition of the uncabled fibre. [ITU-T G.650.2] recommends a low mode coupling deployment requiring a low tension wrap on a large diameter spool for uncabled fibre PMD measurements.

The limits on the distribution of PMD coefficient values can be interpreted as being nearly equivalent to limits on the statistical variation of the differential group delay (DGD), that varies randomly with time and wavelength. When the PMD coefficient distribution is specified for optical fibre cable, equivalent limits on the variation of DGD can be determined. The metrics and values for link DGD distribution limits are found in Appendix I.

NOTE 1 –  $PMD_Q$  specification would be required only where cables are employed for systems that have the specification of the max DGD, i.e., for example,  $PMD_Q$  specification would not be applied to systems recommended in [ITU-T G.957].

NOTE 2 –  $PMD_Q$  should be calculated for various types of cables, and they should usually be calculated using sampled PMD values. The samples would be taken from cables of similar construction.

NOTE 3 – The  $PMD_Q$  specification should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables.

## 7 Tables of recommended values

The following tables summarize the recommended values for a number of categories of fibres that satisfy the objectives of this Recommendation. These categories are largely distinguished on the basis of PMD requirements and attenuation requirement at 1383 nm. See Appendix I for information about transmission distances and bit-rates relative to PMD requirements.

Table 1, ITU-T G.652.A attributes, contains the recommended attributes and values needed to support applications such as those recommended in [ITU-T G.957] and [ITU-T G.691] up to STM-16, as well as 10 Gbit/s up to 40 km (Ethernet) and STM-256 for [ITU-T G.693].

Table 2, ITU-T G.652.B attributes, contains recommended attributes and values needed to support higher bit rate applications, up to STM-64, such as some in [ITU-T G.691] and [ITU-T G.692], STM-256 for some applications in [ITU-T G.693] and [ITU-T G.959.1]. Depending on the application, chromatic dispersion accommodation may be necessary.

Table 3, ITU-T G.652.C attributes, is similar to ITU-T G.652.A, but allows transmissions in portions of an extended wavelength range from 1360 nm to 1530 nm.

Table 4, ITU-T G.652.D attributes, is similar to ITU-T G.652.B, but allows transmissions in portions of an extended wavelength range from 1360 nm to 1530 nm.

**Table 1 – ITU-T G.652.A attributes**

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 $\mu\text{m}$
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 $\mu\text{m}$
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 $\mu\text{m}$
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1550 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.092 ps/nm <sup>2</sup> × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum at 1310 nm	0.5 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.4 dB/km
PMD coefficient (Note 2)	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD <sub>Q</sub>	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTE 1 – The attenuation coefficient values listed in this table should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables. For example, [IEC 60794-2-11] specifies the attenuation coefficient of indoor cable as 1.0 dB/km or less at both 1310 and 1550 nm.		
NOTE 2 – According to clause 6.2, a maximum PMD <sub>Q</sub> value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD <sub>Q</sub> .		

**Table 2 – ITU-T G.652.B attributes**

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 $\mu\text{m}$
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 $\mu\text{m}$
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 $\mu\text{m}$
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.092 ps/nm <sup>2</sup> $\times$ km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum at 1310 nm	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.35 dB/km
	Maximum at 1625 nm	0.4 dB/km
PMD coefficient (Note 2)	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD <sub>Q</sub>	0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTE 1 – The attenuation coefficient values listed in this table should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables. For example, [IEC 60794-2-11] specifies the attenuation coefficient of indoor cable as 1.0 dB/km or less at both 1310 and 1550 nm.</p> <p>NOTE 2 – According to clause 6.2, a maximum PMD<sub>Q</sub> value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD<sub>Q</sub>.</p>		

**Table 3 – ITU-T G.652.C attributes**

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 $\mu\text{m}$
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 $\mu\text{m}$
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 $\mu\text{m}$
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.092 ps/nm <sup>2</sup> $\times$ km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm $\pm 3$ nm (Note 3)	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km
PMD coefficient (Note 4)	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD <sub>Q</sub>	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTE 1 – The attenuation coefficient values listed in this table should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables. For example, [IEC 60794-2-11] specifies the attenuation coefficient of indoor cable as 1.0 dB/km or less at both 1310 and 1550 nm.</p> <p>NOTE 2 – This wavelength region can be extended to 1260 nm by adding 0.07 dB/km induced Rayleigh scattering loss to the attenuation value at 1310 nm. In this case, the cable cut-off wavelength should not exceed 1250 nm.</p> <p>NOTE 3 – The average attenuation coefficient at this wavelength shall be less than or equal to the maximum value specified for the range of 1310 nm to 1625 nm, after hydrogen ageing. The hydrogen ageing is a type test that shall be done to a sampled fibre, according to [IEC 60793-2-50] regarding the B1.3 fibre category.</p> <p>NOTE 4 – According to clause 6.2, a maximum PMD<sub>Q</sub> value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD<sub>Q</sub>.</p>		

**Table 4 – ITU-T G.652.D attributes**

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 $\mu\text{m}$
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 $\mu\text{m}$
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 $\mu\text{m}$
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.092 ps/nm <sup>2</sup> × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm $\pm 3$ nm (Note 3)	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km
PMD coefficient (Note 4)	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD <sub>Q</sub>	0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTE 1 – The attenuation coefficient values listed in this table should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables. For example, [IEC 60794-2-11] specifies the attenuation coefficient of indoor cable as 1.0 dB/km or less at both 1310 and 1550 nm.</p> <p>NOTE 2 – This wavelength region can be extended to 1260 nm by adding 0.07 dB/km induced Rayleigh scattering loss to the attenuation value at 1310 nm. In this case, the cable cut-off wavelength should not exceed 1250 nm.</p> <p>NOTE 3 – The average attenuation coefficient at this wavelength shall be less than or equal to the maximum value specified for the range of 1310 nm to 1625 nm, after hydrogen ageing. The hydrogen ageing is a type test that shall be done to a sampled fibre, according to [IEC 60793-2-50] regarding the B1.3 fibre category.</p> <p>NOTE 4 – According to clause 6.2, a maximum PMD<sub>Q</sub> value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD<sub>Q</sub>.</p>		

## Appendix I

### Information for link attributes and system design

(This appendix does not form an integral part of this Recommendation)

A concatenated link usually includes a number of spliced factory lengths of optical fibre cable. The requirements for factory lengths are given in clauses 5 and 6. The transmission parameters for concatenated links must take into account not only the performance of the individual cable lengths but also the statistics of concatenation.

The transmission characteristics of the factory length optical fibre cables will have a certain probability distribution which often needs to be taken into account if the most economic designs are to be obtained. This appendix should be read with this statistical nature of the various parameters in mind.

Link attributes are affected by factors other than optical fibre cables, by such things as splices, connectors and installation. These factors cannot be specified in this Recommendation. For the purpose of link attribute values estimation, typical values of optical fibre links are provided in the tables below. The estimation methods of parameters needed for system design are based on measurements, modelling or other considerations.

#### I.1 Attenuation

The attenuation,  $A$ , of a link is given by:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

where:

- $\alpha$  typical attenuation coefficient of the fibre cables in a link;
- $\alpha_s$  mean splice loss;
- $x$  number of splices in a link;
- $\alpha_c$  mean loss of line connectors;
- $y$  number of line connectors in a link (if provided);
- $L$  link length.

A suitable margin should be allocated for future modifications of cable configurations (additional splices, extra cable lengths, ageing effects, temperature variations, etc.). The above equation does not include the loss of equipment connectors. The typical values found in clause I.5 are for the attenuation coefficient of optical fibre links. The attenuation budget used in designing an actual system should account for the statistical variations in these parameters.

#### I.2 Chromatic dispersion

The chromatic dispersion in ps/nm can be calculated from the chromatic dispersion coefficients of the factory lengths, assuming a linear dependence on length, and with due regard for the signs of the coefficients (see clause 5.10).

When these fibres are used for transmission in the 1550 nm region, some forms of chromatic dispersion compensation are often employed. In this case, the average link chromatic dispersion is used for design purposes. The measured dispersion in the 1550 nm window can be characterized within the 1550 nm window by a linear relationship with wavelength. The relationship is described in terms of the typical chromatic dispersion coefficient and dispersion slope coefficient at 1550 nm.

Typical values for the chromatic dispersion coefficient,  $D_{1550}$ , and chromatic dispersion slope coefficient,  $S_{1550}$ , at 1550 nm are found in Table I.1. These values, together with link length,  $L_{Link}$ , can be used to calculate the typical chromatic dispersion for use in optical link design.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \text{ [ps/nm]}$$

### I.3 Differential group delay (DGD)

The differential group delay is the difference in arrival times of the two polarization modes at a particular wavelength and time. For a link with a specific PMD coefficient, the DGD of the link varies randomly with time and wavelength as a Maxwell distribution that contains a single parameter, which is the product of the PMD coefficient of the link and the square root of the link length. The system impairment due to PMD at a specific time and wavelength depends on the DGD at that time and wavelength. So, means of establishing useful limits on the DGD distribution as it relates to the optical fibre cable PMD coefficient distribution and its limits have been developed and are documented in [b-IEC/TR 61282-3] and are summarized in Appendix IV of [ITU-T G.650.2]. The metrics of the limitations of the DGD distribution follow:

NOTE – The determination of the contribution of components other than optical fibre cable is beyond the scope of this Recommendation, but is discussed in [b-IEC/TR 61282-3].

Reference link length,  $L_{Ref}$ : A maximum link length to which the maximum DGD and probability will apply. For longer link lengths, multiply the maximum DGD by the square root of the ratio of actual length to the reference length.

Typical maximum cable length,  $L_{Cab}$ : The maxima are assured when the typical individual cables of the concatenation or the lengths of the cables that are measured in determining the PMD coefficient distribution are less than this value.

Maximum DGD,  $DGD_{max}$ : The DGD value that can be used when considering optical system design.

Maximum probability,  $P_F$ : The probability that an actual DGD value exceeds  $DGD_{max}$ .

### I.4 Non-linear coefficient

The effect of chromatic dispersion is interactive with the non-linear coefficient,  $n_2/A_{eff}$ , regarding system impairments induced by non-linear optical effects (see [ITU-T G.663] and [ITU-T G.650.2]). Typical values vary with the implementation. The test methods for non-linear coefficient remain under study.

### I.5 Tables of common typical values

The values in Tables I.1 and I.2 are representative of concatenated optical fibre links according to clauses I.1 and I.3, respectively. The implied fibre induced maximum DGD values in Table I.2 are intended for guidance in regard to the requirements for other optical elements that may be in the link.

NOTE – Cable section length is 10 km except for the  $0.10 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}} /> 4000 \text{ km}$  link, where it is set to 25 km, the error probability level is  $6.5 \times 10^{-8}$ .

**Table I.1 – Representative value of concatenated optical fibre links**

Attenuation coefficient	Wavelength region	Typical link value
(Note)	1260 nm-1360 nm	0.5 dB/km
	1530 nm-1565 nm	0.275 dB/km
	1565 nm-1625 nm	0.35 dB/km
Chromatic dispersion coefficient	$D_{1550}$	17 ps/nm × km
	$S_{1550}$	0.056 ps/nm <sup>2</sup> × km
NOTE – Typical link value corresponds to the link attenuation coefficient used in [ITU-T G.957] and [ITU-T G.691].		

**Table I.2 – Differential group delay**

Maximum PMD <sub>Q</sub> [ps/√km]	Link length [km]	Implied fibre induced maximum DGD [ps]	Channel bit rates
No specification			Up to 2.5 Gbit/s
0.5	400	25.0	10 Gbit/s
	40	19.0 (Note)	10 Gbit/s
	2	7.5	40 Gbit/s
0.20	3000	19.0	10 Gbit/s
	80	7.0	40 Gbit/s
0.10	>4000	12.0	10 Gbit/s
	400	5.0	40 Gbit/s
NOTE – This value applies also for 10 Gigabit Ethernet systems.			

## **Bibliography**

- [b-IEC 60793-2] IEC 60793-2 (2003), *Optical fibres – Part 2: Product specifications – General*.
- [b-IEC/TR 61282-3] IEC/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion*.



## **SERIES OF ITU-T RECOMMENDATIONS**

Series A	Organization of the work of ITU-T
Series D	General tariff principles
Series E	Overall network operation, telephone service, service operation and human factors
Series F	Non-telephone telecommunication services
<b>Series G</b>	<b>Transmission systems and media, digital systems and networks</b>
Series H	Audiovisual and multimedia systems
Series I	Integrated services digital network
Series J	Cable networks and transmission of television, sound programme and other multimedia signals
Series K	Protection against interference
Series L	Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant
Series M	Telecommunication management, including TMN and network maintenance
Series N	Maintenance: international sound programme and television transmission circuits
Series O	Specifications of measuring equipment
Series P	Terminals and subjective and objective assessment methods
Series Q	Switching and signalling
Series R	Telegraph transmission
Series S	Telegraph services terminal equipment
Series T	Terminals for telematic services
Series U	Telegraph switching
Series V	Data communication over the telephone network
Series X	Data networks, open system communications and security
Series Y	Global information infrastructure, Internet protocol aspects and next-generation networks
Series Z	Languages and general software aspects for telecommunication systems

Unión Internacional de Telecomunicaciones

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.657**

(12/2006)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,  
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión y de los  
sistemas ópticos – Cables de fibra óptica

---

**Características de las fibras y cables ópticos  
monomodo insensibles a la pérdida por flexión  
para la red de acceso**

Recomendación UIT-T G.657

UIT-T



RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G  
**SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES**

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN Y DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.639
Sistemas ópticos en el espacio libre	G.640–G.649
<b>Cables de fibra óptica</b>	<b>G.650–G.659</b>
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.679
Características de los sistemas ópticos	G.680–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS A LOS PROTOCOLOS EN MODO PAQUETE SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

*Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.*

## Recomendación UIT-T G.657

### Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso

#### Resumen

En todo el mundo, las tecnologías de las redes de acceso de banda ancha avanzan a un ritmo acelerado. Entre esos adelantos, la tecnología que aplica *fibras monomodo* representa un medio de transmisión de gran capacidad que puede responder a la creciente demanda de servicios de banda ancha.

Se ha adquirido una vasta experiencia con la instalación y el funcionamiento de redes basadas en cables y fibras monomodo, y en la Recomendación UIT-T G.652 se describen sus características sobre la base de dicha experiencia. No obstante, la utilización específica de fibras y cables en una red óptica de acceso supone distintas exigencias que afectan su calidad de funcionamiento óptima. Las diferencias en comparación con su uso en la red de transporte general obedecen principalmente a la alta densidad de distribución y cables de derivación en la red de acceso. A causa de las limitaciones de espacio y las numerosas manipulaciones, la fibra debe ser fácil de manipular y poco sensible a la flexión. Además, es necesario mejorar el cableado puesto que las oficinas de telecomunicaciones suelen estar atestadas y por ende el espacio es un factor limitante.

La finalidad de esta Recomendación es promover esa optimización recomendando a tales efectos cables y fibras con un comportamiento muy mejorado ante las flexiones en comparación con los cables y fibras monomodo G.652. Ello se logra introduciendo dos clases de fibras monomodo: una de clase A, en total conformidad con las fibras monomodo G.652 y que también puede utilizarse en otras partes de la red, y otra de clase B, que no está necesariamente conforme con G.652 pero que puede acusar menores pérdidas por macroflexión a unos radios de flexión muy bajos y está concebida principalmente para su utilización dentro de edificios.

#### Orígenes

La Recomendación UIT-T G.657 fue aprobada el 14 de diciembre de 2006 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

## PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

## NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

## PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB en la dirección <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2007

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias .....	1
3 Términos y definiciones .....	2
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos .....	2
5.1 Diámetro de campo de modo.....	2
5.2 Diámetro del revestimiento .....	2
5.3 Error de concentricidad básico .....	2
5.4 No circularidad .....	2
5.5 Longitud de onda de corte .....	3
5.6 Pérdida por macroflexión .....	3
5.7 Propiedades materiales de la fibra.....	4
5.8 Perfil de índice refractivo .....	4
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática .....	4
5.10 Coeficiente de dispersión cromática para las fibras de clase A.....	4
6 Características del cable .....	5
6.1 Coeficiente de atenuación.....	5
6.2 Coeficiente de dispersión en modo polarización para las fibras de clase A...	5
7 Cuadros de valores recomendados.....	6
Apéndice I – Esperanza de vida en caso de almacenamiento de fibras monomodo a radios reducidos.....	10
I.1 Introducción.....	10
I.2 Red y averías de la red.....	10
I.3 Consideraciones relativas a la vida útil de la fibra .....	10
I.4 Conclusiones.....	12
Bibliografía .....	13

## **Introducción**

En todo el mundo, las tecnologías de las redes de acceso de banda ancha avanzan a un ritmo acelerado. Entre esos adelantos, la tecnología que aplica *fibras monomodo* representa un medio de transmisión de gran capacidad que puede responder a la creciente demanda de servicios de banda ancha.

Se ha adquirido una vasta experiencia con la instalación y el funcionamiento de redes basadas en cables y fibras monomodo, y en [UIT-T G.652] se describen sus características sobre la base de dicha experiencia. No obstante, su utilización específica en las redes ópticas de acceso le impone otras exigencias a las fibras y cables. A causa de la alta densidad de distribución y los cables de derivación en la red de acceso, así como al espacio limitado y a las numerosas manipulaciones en esta parte de la red, los requisitos de las fibras y cables podrían optimizarse de manera diferente a la de su utilización en una red de transporte general. La finalidad de esta Recomendación es promover esa optimización recomendando la utilización de fibras y cables monomodo con unas características diferentes a las consignadas en G.652, así como otras clases de fibras monomodo.

Por lo que se refiere a las estructuras de red en las cuales se utilizan los cables de fibras ópticas monomodo, se remite al lector a la abundante información disponible en las referencias enumeradas en la bibliografía.

## Recomendación UIT-T G.657

### Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso

#### 1 Alcance

En esta Recomendación se describen dos categorías de cables de fibras ópticas monomodo adecuados para su utilización en las redes de acceso, con inclusión del interior de los edificios al extremo de esas redes.

Las fibras de la categoría A son adecuadas para su utilización en las bandas O, E, S, C y L (es decir, a lo largo de la gama de 1260 a 1625 nm). Las fibras y los requisitos en estas categorías son un subconjunto de las fibras G.652.D y tienen las mismas características de transmisión e interconexión. Las principales mejoras son una menor pérdida por flexión y unas especificaciones dimensionales más estrictas, factores ambos tendientes a mejorar la conectividad.

Las fibras de la categoría B son adecuadas para transmisiones a 1310, 1550 y 1625 nm en distancias limitadas asociadas al transporte de señales dentro de los edificios. Estas fibras tienen diferentes características de empalme y conexión que las fibras G.652, pero funcionan correctamente a valores de radios de flexión muy bajos.

El significado de los términos utilizados en esta Recomendación y las directrices que se han de seguir en la medición para verificar las diversas características están consignados en [UIT-T G.650.1] y [UIT-T G.650.2]. A medida que avancen los estudios y se vaya adquiriendo mayor experiencia, se irán perfeccionando las características de estas categorías de fibras, con inclusión de las definiciones de los correspondientes parámetros, sus métodos de prueba y los valores pertinentes.

#### 2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- [UIT-T G.650.1] Recomendación UIT-T G.650.1 (2004), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.*
- [UIT-T G.650.2] Recomendación UIT-T G.650.2 (2005), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos conexos de las características estadísticas y no lineales de fibras y cables monomodo.*
- [UIT-T G.652] Recomendación UIT-T G.652 (2005), *Características de las fibras y cables ópticos monomodo.*
- [CEI 60793-1-47] CEI 60793-1-47 (2006), *Optical fibres – Part 1-47; Measurement methods and test procedures – Macrobending loss.*

### 3 Términos y definiciones

A los efectos de la presente Recomendación, las definiciones y directrices que se han de seguir en la medición para verificar las diversas características están consignadas en [UIT-T G.650.1] y [UIT-T G.650.2]. Las cifras se redondearán al número de dígitos indicado en los cuadros de valores recomendados antes de evaluar la conformidad.

### 4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos:

DGD Retardo diferencial de grupo (*differential group delay*)

PMD Dispersión por modo de polarización (*polarization mode dispersion*)

### 5 Atributos de la fibra

En [UIT-T G.652] se estipula las características de la fibra óptica que constituyen el marco fundamental para la fabricación de fibras, el diseño del sistema y su utilización en las redes de planta exterior. En esta cláusula se hace hincapié en los atributos que optimizan la fibra y el cable para su utilización en las redes de acceso óptica de banda ancha, y en particular su comportamiento *mejorado frente a la macroflexión*, adecuado para sistemas de gestión de fibras de escaso volumen y bajo radio en oficinas de telecomunicaciones, locales de clientes en edificios de apartamentos y viviendas individuales.

En aras de la integridad, en esta cláusula también se recomiendan aquellas características de la fibra que proporcionan un marco mínimo de diseño esencial para la fabricación de fibras. En los cuadros contenidos en la cláusula 7 se indican las gamas o límites de los valores. De éstos, la fabricación o instalación de cables podría afectar la PMD y la longitud de onda de corte de la fibra cableada. De otro modo, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado en una bobina y a las fibras de un cable instalado.

#### 5.1 Diámetro de campo de modo

Se especificará un valor nominal y una tolerancia por encima de ese valor nominal de 1310 nm. El valor nominal que se especifique estará dentro de la gama que se indica en la cláusula 7, y la tolerancia especificada no rebasará el valor estipulado en dicha cláusula. La diferencia con respecto al valor nominal no será superior a la tolerancia especificada.

#### 5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal que se recomienda para el diámetro del revestimiento es de 125 µm. Asimismo, se especifica una tolerancia que no deberá rebasar el valor indicado en la cláusula 7, y la diferencia del revestimiento con respecto al valor nominal no será superior a la tolerancia especificada.

#### 5.3 Error de concentricidad básico

El error de concentricidad básico no rebasará el valor especificado en la cláusula 7.

#### 5.4 No circularidad

##### 5.4.1 No circularidad del campo modal

En la práctica se ha determinado que la no circularidad del campo modal de las fibras que poseen nominalmente campos modales circulares es suficientemente baja como para no afectar la propagación y el empalme. Por lo tanto, no se considera necesario recomendar un valor determinado para la no circularidad del campo modal. Por lo general no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

#### 5.4.2 No circularidad del revestimiento

La no circularidad del revestimiento no rebasará el valor indicado en la cláusula 7.

#### 5.5 Longitud de onda de corte

Cabe señalar tres tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- a) longitud de onda de corte del cable  $\lambda_{cc}$ ;
- b) longitud de onda de corte de la fibra  $\lambda_c$ ;
- c) longitud de onda de corte del cable puente o de conexión  $\lambda_{cj}$ .

La correlación de los valores medidos de  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{cc}$  y  $\lambda_{cj}$  depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general  $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$ , no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa. Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo mínimo de cable entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Ello puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte  $\lambda_{cc}$  de una fibra monomodo cableada sea 1260 nm o, en el caso de cables puente, recomendando que la máxima longitud de onda de corte sea de 1250 nm o, para el peor caso en longitud y flexión de la fibra, recomendando que la máxima longitud de onda de corte de la fibra sea 1250 nm.

La longitud de onda de corte del cable,  $\lambda_{cc}$ , no debe exceder el valor máximo especificado en la cláusula 7.

#### 5.6 Pérdida por macroflexión

Las pérdidas por macroflexión varían junto con la longitud de onda, el radio de flexión y el número de vueltas alrededor de un eje de torno con un radio especificado. La pérdida por macroflexión no será superior al valor máximo estipulado en la cláusula 7 para la o las longitudes de onda, radios de flexión y número de vueltas especificadas.

La exposición real a radio bajo de la fibra tiene lugar únicamente a longitudes relativamente cortas. Puesto que la elección característica del radio de flexión y la longitud de la fibra flexionada pueden variar en función del diseño del sistema de gestión de la fibra y de las prácticas de instalación, ya no basta con una especificación a un solo radio de flexión. Aunque se han publicado los resultados del modelado de diversos tipos de fibras, no se dispone de ningún modelo general de pérdida por flexión aplicable para representar la pérdida en función del comportamiento del radio de flexión. Ésta es la razón por la cual en los cuadros de la cláusula 7 se especifica una pérdida por macroflexión máxima a diferentes radios de flexión.

Dado que las pérdidas por flexión óptica aumentan junto con la longitud de onda, basta con una especificación de pérdida a la longitud de onda más elevada prevista, es decir, de 1550 ó 1625 nm. En caso necesario el cliente y el proveedor pueden convenir en una longitud de onda de especificación inferior o superior.

NOTA 1 – Una prueba de calificación puede ser suficiente para asegurar que se cumple este requisito.

NOTA 2 – En caso de que se decida efectuar un número de vueltas distinto del recomendado, se supone que la pérdida máxima que tiene lugar es proporcional al número de vueltas especificado.

NOTA 3 – En caso de que se necesiten pruebas de rutina, en lugar de la prueba recomendada pueden utilizarse diámetros de bucle de desviación para una mayor exactitud y facilidad de medición. En tal caso el diámetro del bucle, el número de vueltas y el valor máximo de pérdida por flexión permisible para una prueba de varias vueltas se elegirá para establecer una correlación con la pérdida permisible y la prueba recomendada.

NOTA 4 – En general la pérdida por macroflexión se ve influida por la elección de los valores de las otras características de la fibra tales como el diámetro del campo modal, el coeficiente de dispersión cromática y la longitud de onda de corte de la fibra. Normalmente para optimizar las pérdidas por macroflexión se trata de llegar a un equilibrio entre los valores de esas características de la fibra.

NOTA 5 – Como método de medición de la pérdida por macroflexión puede utilizarse el método de enrollamiento alrededor de un eje de torno (Método A) que se describe en [CEI 60793-1-47], sustituyendo el radio de flexión y el número de vueltas especificados en los cuadros 7-1 y 7-2.

## **5.7 Propiedades materiales de la fibra**

### **5.7.1 Materiales de la fibra**

Deben indicarse las sustancias que intervienen en la composición de las fibras.

NOTA – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

### **5.7.2 Materiales protectores**

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

### **5.7.3 Nivel de prueba de tensión**

El nivel de prueba de tensión especificado  $\sigma_p$  no será inferior al mínimo especificado en la cláusula 7.

NOTA 1 – Las definiciones de los parámetros mecánicos están consignadas en 3.2 y 5.6 de [UIT-T G.650.1].

NOTA 2 – A este respecto, véase también el apéndice informativo I.

## **5.8 Perfil de índice refractivo**

En general no es necesario conocer el perfil de índice refractivo de la fibra.

## **5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática**

Normalmente este atributo es menos importante para aplicaciones en las redes de acceso. Para mayores detalles, véase [UIT-T G.652].

## **5.10 Coeficiente de dispersión cromática para las fibras de clase A**

El coeficiente de dispersión cromática o el retardo de grupo representados en función de la longitud de onda se ajustarán mediante la ecuación Sellmeier de tres términos que se define en el anexo A de [UIT-T G.650.1]. (Para orientaciones sobre la interpolación de los valores de dispersión a longitudes de onda no medidas, véase 5.5 de [UIT-T G.650.1].)

Se puede utilizar la ecuación Sellmeier para ajustar los datos en cada gama de valores (1310 nm y 1550 nm) por separado en dos ajustes o en un solo ajuste con los datos de ambas gamas.

El ajuste Sellmeier en la región de 1310 nm podría no ser suficientemente preciso cuando se extrapola a la región de 1550 nm. Puesto que la distorsión cromática en esta última región es mayor, la reducción de la exactitud podría ser aceptable; en su defecto, ésta puede mejorarse incluyendo datos de la región de 1550 nm al efectuar el ajuste común, o realizando un ajuste separado para la región de 1550 nm. Cabe señalar que un ajuste común podría reducir la precisión en la región de 1310 nm.

El coeficiente de dispersión cromática  $D$  se especifica imponiendo límites a los parámetros de una curva de dispersión cromática que es una función de la longitud de onda en la región de 1310 nm. El límite del coeficiente de dispersión cromática para cualquier longitud de onda,  $\lambda$ , se calcula con la longitud de onda mínima de distorsión cero,  $\lambda_{0\text{mín}}$ , la longitud de onda máxima de distorsión cero,  $\lambda_{0\text{máx}}$ , y el coeficiente de pendiente máxima de dispersión cero,  $S_{0\text{máx}}$ , de conformidad con:

$$\frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\text{máx}}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\text{mín}}}{\lambda} \right)^4 \right]$$

Los valores de  $\lambda_{0\text{mín}}$ ,  $\lambda_{0\text{máx}}$  y  $S_{0\text{máx}}$  estarán dentro de los límites indicados en los cuadros de la cláusula 7.

NOTA 1 – No es necesario medir el coeficiente de dispersión cromática de una fibra monomodo de una manera rutinaria.

NOTA 2 – Por lo general en el caso de las fibras de clase B la dispersión cromática no es indispensable para la aplicación y por ende su valor no está incluido en los atributos que se enumeran en la clase B del cuadro 7-2.

## 6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras consignadas en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se formulan recomendaciones relacionadas principalmente con las características de transmisión de las longitudes de cable estipuladas por el fabricante.

Las condiciones ambientales y de prueba son fundamentales y se describen en las directrices para los métodos de prueba.

### 6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo a una o más longitudes de onda en las dos regiones de 1310 nm y 1550 nm. Los valores del coeficiente de atenuación del cable de fibra óptica no será superiores a los indicados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación podría calcularse para un espectro de longitudes de onda sobre la base de las mediciones de unas pocas longitudes de ondas representativas (3 a 4). Este procedimiento se describe en 5.4.4 de [UIT-T G.650.1] y en el apéndice III de [UIT-T G.650.1] se proporciona un ejemplo.

### 6.2 Coeficiente de dispersión en modo polarización para las fibras de clase A

En caso necesario se especificará la dispersión en modo polarización de la fibra cableada con carácter estadístico, pero no para cada fibra individual. Los requisitos se refieren únicamente al aspecto del enlace calculado a partir de la información del cable. A continuación se indica la métrica de la especificación estadística. Los métodos de cálculo están consignados en CEI/TR 61282-3, y se resumen en el apéndice IV de [UIT-T G.650.2].

El fabricante proporcionará un valor de diseño de enlace PMD,  $\text{PMD}_Q$ , que sirve como un límite superior estadístico para el coeficiente PMD de los cables de fibra óptica concatenados dentro de un posible enlace definido de secciones de cable  $M$ . El límite superior se define suponiendo un nivel de probabilidad reducido,  $Q$ , que es la probabilidad de que el valor del coeficiente PMD concatenado rebese el valor de  $\text{PMD}_Q$ . Para los valores de  $M$  y  $Q$  indicados en la cláusula 7, el valor de  $\text{PMD}_Q$  no será superior al coeficiente PMD máximo especificado en dicha cláusula.

Las mediciones y especificaciones sobre fibras no cableadas son necesarias, pero no bastan para garantizar la especificación de la fibra cableada. El valor máximo de diseño del enlace especificado para las fibras no cableadas será inferior o igual al especificado para las fibras cableadas. La relación entre los valores PMD de las fibras no cableadas y de las fibras cableadas depende de los pormenores de la construcción y el procesamiento del cable, así como de la condición de acoplamiento de modo de la fibra no cableada. En [UIT-T G.650.2] se recomienda que el acoplamiento de modo sea bajo, lo que exige un enrollamiento con baja tensión en una bobina de gran diámetro para poder proceder a las mediciones de PMD en fibras no cableadas.

Puede interpretarse que los límites de la distribución de los valores del coeficiente PMD son casi equivalentes a los límites de la variación estadística del retardo diferencial del grupo (DGD, *differential group delay*), el cual varía de manera aleatoria con el tiempo y la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente PMD para un cable de fibra óptica, pueden determinarse los límites equivalentes de la variación del DGD. En el apéndice I de [UIT-T G.652] se indica la métrica y los valores para los límites de distribución DGD.

NOTA 1 – La especificación  $PMD_Q$  se requeriría únicamente cuando se utilizan cables para sistemas que tienen la especificación del DGD máximo, es decir, por ejemplo, que la especificación  $PMD_Q$  no se aplicaría a los sistemas consignados en la Rec. UIT-T G.957.

NOTA 2 – El  $PMD_Q$  se debería calcular para diversos tipos de cables, normalmente utilizando valores de PMD tomados como muestra. Las muestras se extraerían de cables de construcción similar.

NOTA 3 – La especificación  $PMD_Q$  no debería aplicarse a cables cortos tales como los cables puente o de conexión, los cables de interiores y los cables de derivación.

NOTA 4 – Por lo general el coeficiente PMD de las fibras de clase B no es esencial para la aplicación de esta clase de fibras y por lo tanto su valor no se incluye en los atributos enumerados en la clase B del cuadro 7-2.

## 7 Cuadros de valores recomendados

En los cuadros que figuran a continuación se resumen los valores recomendados para las categorías de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación.

En el cuadro 7-1 Atributos de la clase A se indican los atributos y valores necesarios para soportar la instalación de la red de acceso optimizada con respecto a la pérdida por macroflexión, pues los valores correspondientes a otros atributos permanecen dentro de la gama recomendada en G.652.D.

En el cuadro 7-2 Atributos de la clase B se indican los atributos y valores necesarios para soportar la instalación de la red de acceso optimizada con unos radios de flexión muy cortos en los sistemas de gestión de la fibra y en particular para la instalación en interiores y exteriores. En lo que respecta a los coeficientes de dispersión cromática y al diámetro de campo modal, la gama de valores recomendados podría estar fuera de la gama de valores recomendados en [UIT-T G.652].

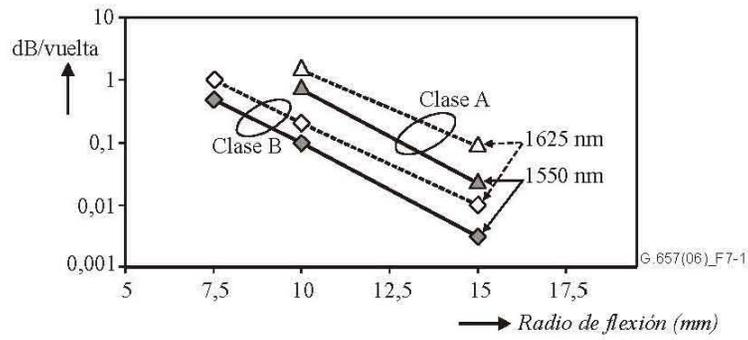
**Cuadro 7-1 – Clase A: Atributos G.657**

Atributos de la fibra			
Atributo	Dato	Valor	
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm	
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$	
	Tolerancia	$\pm 0,4 \mu\text{m}$	
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$	
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$	
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,5 $\mu\text{m}$	
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%	
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm	
Pérdida por macroflexión (Notas 1, 2)	Radio (mm)	15	10
	Número de vueltas	10	1
	Máximo a 1550 nm (dB)	0,25	0,75
	Máximo a 1625 nm (dB)	1,0	1,5
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa	
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm	
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm	
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm <sup>2</sup> × km	
Atributos del cable			
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 3)	0,4 dB/km	
	Máximo a 1383 nm $\pm 3$ nm	(Nota 4)	
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km	
Coeficiente de PMD	M	20 cables	
	Q	0,01%	
	Máximo PMD <sub>Q</sub>	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$	
<p>NOTA 1 – Las fibras G.652 desplegadas a un radio de 15 mm tienen por lo general unas pérdidas por macroflexión de varios dB cada 10 vueltas a 1625 nm.</p> <p>NOTA 2 – La pérdida por macroflexión puede evaluarse utilizando un método de enrollamiento en un eje de torno (Método A de [CEI 60793-1-47]), sustituyendo el radio de flexión y el número de vueltas especificados en este cuadro.</p> <p>NOTA 3 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 4 – La atenuación media detectada en muestra a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor máximo especificado para la gama de 1310 nm a 1625 nm, después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a [b-CEI 60793-2-50] en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>			

**Cuadro 7-2 – Clase B: Atributos G.657**

Atributos de fibra				
Atributos	Dato	Valor		
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm		
	Gama de valores nominales	6,3-9,5 $\mu\text{m}$		
	Tolerancia	$\pm 0,4 \mu\text{m}$		
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$		
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$		
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,5 $\mu\text{m}$		
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%		
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm		
Pérdida por macroflexión (Nota 1)	Radio	15	10	7,5
	Número de vueltas	10	1	1
	Máximo a 1550 nm (dB)	0,03	0,1	0,5
	Máximo a 1625 nm (dB)	0,1	0,2	1,0
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa		
Coefficiente de dispersión cromática (Nota 2)		TBD		
Atributos del cable				
Coefficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm	0,5 dB/km		
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km		
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km		
Coefficiente de PMD (Nota 3)		TBD		
<p>NOTA 1 – La pérdida por macroflexión puede evaluarse utilizando un método de enrollamiento en un eje de torno (Método A de [CEI 60793-1-47]), sustituyendo el radio de flexión y el número de vueltas especificados en este cuadro.</p> <p>NOTA 2 – Los coeficientes de dispersión cromática no son esenciales puesto que las fibras de clase B soportan una parte de la instalación de la red de acceso optimizada con unos radios de flexión muy pequeños. Puede considerarse que las longitudes de onda mínima y máxima de dispersión cero son <math>\lambda_{0\text{mín}} = 1300 \text{ nm}</math> y <math>\lambda_{0\text{máx}} = 1420 \text{ nm}</math> respectivamente, y que la pendiente de dispersión máxima <math>S_{0\text{máx}} = 0,10 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}</math>.</p> <p>NOTA 3 – Los coeficientes PMD no son indispensables puesto que las fibras de clase B soportan una parte de la instalación de la red de acceso optimizada con unos radios de flexión muy pequeños.</p>				

En la figura 7-1 se han representado los valores recomendados para ilustrar las diferentes especificaciones de macroflexión de las diversas clases definidas en esta cláusula.



**Figura 7-1 – Datos sobre pérdida por macroflexión de los cuadros 7-1 y 7-2, clases A y B**

## Apéndice I

### Esperanza de vida en caso de almacenamiento de fibras monomodo a radios reducidos

(Este apéndice no es parte integrante de esta Recomendación)

#### I.1 Introducción

El almacenamiento de fibras a radios reducidos en compartimientos y sistemas de gestión de fibras podría dar lugar a inquietudes respecto de la esperanza de vida de la fibra. Los parámetros más importantes que determinan la vida útil prevista son el nivel de tensión de prueba al elaborar la fibra y la resistencia intrínseca de la fibra. Los valores de estos parámetros deben compensarse con la tasa de averías aceptada de la red. Al evaluar los resultados, la principal pregunta que cabe formularse es si las fibras monomodo especificadas en esta Recomendación cumplen con los requisitos necesarios para una esperanza de vida suficientemente larga. En el presente apéndice se proporciona mayor información al respecto.

#### I.2 Red y averías de la red

Para los cálculos de la vida útil se considera que una red sencilla consta de un cable de distribución de 1000 fibras con la estructura arborescente que se indica en la figura I.1. En función de los procedimientos de conexión del cliente y de la instalación, las diferentes fibras o grupos de fibras se almacenan en casetes en el cable de distribución principal o en las ramas. En aras de la simplicidad y para tener en cuenta el caso más desfavorable, se supone que las 1000 fibras pasan por 5 cabinas o compartimientos con un casete de almacenamiento en cada uno de los enlaces de la fibra y en cada cabina o compartimiento.

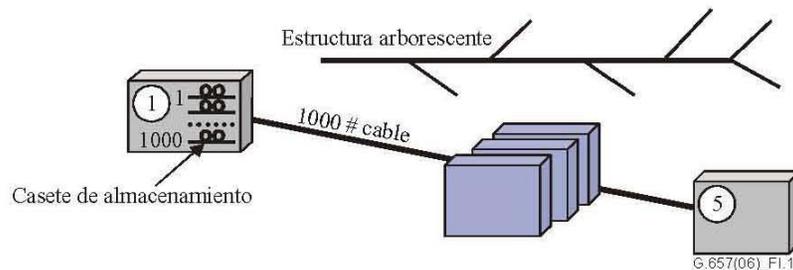


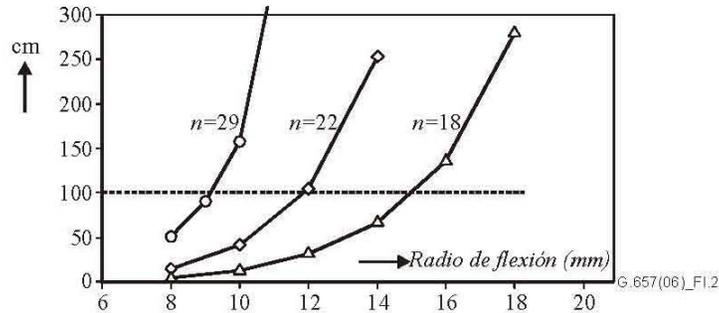
Figura I.1 – Estructura de red simplificada

Conforme a esta estructura de red en particular, una tasa de averías *por cada casete de fibra individual de 0,001% en 20 años*, da lugar a una probabilidad del 5% de que en 20 años tenga lugar una avería espontánea en la totalidad de la red. Esta probabilidad debe compararse con la probabilidad de otros fallos que podrían registrarse en la red de distribución durante los 20 años de vida útil. Estos fallos obedecen a trabajos de mantenimiento o reconfiguración del enlace, o bien a otras causas relacionadas con daños en el cable o en la cabina. En el caso de la mayor parte de las redes de acceso cabe suponer que la probabilidad de avería debido a una ruptura espontánea de la fibra es mucho más baja que la probabilidad de averías debida a otras causas. Cada operador debe determinar la tasa de averías aceptada sobre la base de datos más precisos sobre las estadísticas de tasas de fallo de la planta exterior.

#### I.3 Consideraciones relativas a la vida útil de la fibra

Además del entorno y de la resistencia intrínseca de la fibra, los principales parámetros que determinan la tasa de averías por casete son la *longitud* de la fibra almacenada y el *radio de*

flexión  $R$  del almacenamiento. La menor longitud de almacenamiento tendrá una influencia positiva, mientras que un radio de flexión reducido ejercerá una influencia negativa. En la figura I.2 se indica la longitud de almacenamiento máxima para una vida útil de 20 años en función del radio de flexión de la fibra para diferentes valores del coeficiente  $n$  de susceptibilidad ante la corrosión por tensión estática (parámetro de fatiga), tras aplicar el modelo de vida útil consignado en [b-CEI/TR 62048] con los detalles más pormenorizados de [b-OFT].



**Figura I.2 – Máxima longitud de almacenamiento para una fibra bajo tensión y diferentes valores del parámetro de fatiga  $n$**

Cabe señalar que el valor de  $n = 18$  es el valor mínimo estipulado en [b-CEI 60793-2-50] y en el requisito genérico de Telcordia GR-20-CORE. Para una longitud de almacenamiento por casete de 100 cm, es decir,  $2 \times 50$  cm para una sola fibra, el radio de flexión puede disminuirse del valor actual de 30 mm hasta 15 o incluso 9 mm, dependiendo del valor  $n$  garantizado sin violar la tasa de averías del 0,001% por casete en 20 años.

El almacenamiento plantea otra cuestión en los puertos de entrada y salida del sistema de gestión de fibras. El pequeño volumen requerido para los componentes de la red óptica de acceso no sólo depende de la zona de almacenamiento, sino también del radio de flexión mínimo de los puertos de entrada y salida. El efecto de esto se puede tener en cuenta de diversas maneras. A los efectos de éste apéndice, se supone que en cada casete de almacenamiento se necesitan *cuatro* flexiones adicionales de  $90^\circ$  para orientar las fibras dentro y fuera de las zonas de almacenamiento. Asimismo, se supone que la tasa de averías adicional debida a estas flexiones adicionales debería limitarse a menos del 10% de la tasa de averías aceptada del 0,001% por casete. Esto tiene como resultado los valores mínimos que se indican en la columna del medio del cuadro I.1.

**Cuadro I.1 – Valor mínimo de radios de flexión sin almacenamiento**

Valor $n$	Cuatro tensiones de $90^\circ$	Una sola tensión de $180^\circ$
18	$R_{\min} = 15,0$ mm	$R_{\min} = 12,6$ mm
22	$R_{\min} = 11,1$ mm	$R_{\min} = 9,2$ mm
29	$R_{\min} = 8,0$ mm	$R_{\min} = 6,6$ mm

En la columna de la derecha se indica el radio mínimo en el caso de una sola flexión errónea de  $180^\circ$ . En esta situación se supone también que la tasa máxima de averías *adicional* por casete individual es de  $0,1 \times 0,001\%$ . Todas las cifras corresponden a un solo sistema de gestión de fibras y a tres valores diferentes del parámetro de fatiga  $n$ .

#### **I.4 Conclusiones**

Los ejemplos proporcionados en la cláusula I.3 anterior muestran que se necesitan unos conocimientos muy detallados del despliegue real de las fibras en una red de distribución real para poder efectuar una predicción fiable. Pero incluso con las suposiciones bastante severas utilizadas en esos ejemplos, éstos muestran también que para la reducción del radio de almacenamiento de la fibra a una gama muy inferior a los 30 mm aplicados actualmente, las características de las fibras monomodo especificadas en [UIT-T G.652] bastan para una vida útil de 20 años.

## Bibliografía

- [b-UIT-T ANT] Panorama general de las normas sobre redes de acceso, número 14, junio de 2007, <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/Com15/ant/>
- [b-UIT-T G.671] Recomendación UIT-T G.671 (2005), *Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos.*
- [b-UIT-T G-Sup.39] Recomendaciones UIT-T de la serie G – Suplemento 39 (2006), *Consideraciones sobre diseño e ingeniería de sistemas ópticos.*
- [b-UIT-T L.13] Recomendación UIT-T L.13 (2003), *Requisitos de calidad para los nodos ópticos pasivos: caja de cierre hermético para entornos exteriores.*
- [b-UIT-T L.42] Recomendación UIT-T L.42 (2003), *Soluciones de fibra óptica ampliadas en la red de acceso.*
- [b-UIT-T L.65] Recomendación UIT-T L.65 (2006), *Distribución de las redes de acceso de fibra óptica.*
- [b-UIT-T L.66] Recomendación UIT-T L.66 (2007), *Criterios para el mantenimiento de los cables de fibra óptica para pruebas en servicio de las fibras en redes de acceso.*
- [b-CEI 60793-2-50] CEI 60793-2-50 (2004), *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres.*
- [b-CEI/TR 62048] CEI 62048 (2002), *Optical fibres – Reliability – Power law theory.*
- [b-OFT] Matching Optical Fibre Lifetime and Bend-loss Limits for Optimized Local Loop Fibre Storage, *Optical Fibre Technology*, Vol. 11, pp. 92-99, 2005.





## **SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T**

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
<b>Serie G</b>	<b>Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales</b>
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación



## GLOSARIO

**Banda ancha** Término utilizado para designar una comunicación de alta capacidad.

**Central telefónica** Lugar (edificio, local, caseta o contenedor), utilizado por una empresa operadora de telecomunicaciones, donde se alberga el equipo de conmutación.

**Conmutación** El uso de un mismo circuito para la transmisión de múltiples mensajes, en la que se establece una conexión por un pequeño tiempo para cada uno de ellos.

**Ethernet** Protocolo de comunicación para conectar computadoras en una red de área local. Admite distintas velocidades según el tipo de hardware utilizado, siendo las más comunes 10 Mbps y 100 Mbps (comúnmente denominadas Ethernet y Fast Ethernet respectivamente).

**FTTH** Siglas de Fiber To The Home. Término para indicar que una red de telecomunicaciones ha extendido la fibra óptica desde su equipo óptico central hasta el sitio del cliente para proporcionar servicios de banda ancha.



**IP** Siglas de Internet Protocol (Protocolo de Internet). Conjunto de reglas para el envío de información utilizado en la red mundial de datos y que está basado en la formación de paquetes de información de longitud variable.

**Mbps** Abreviación de Megabits por segundo. Unidad de velocidad de transmisión de un canal de comunicaciones. Cada megabit equivale a un millón de bits.

## ABREVIATURAS

**SDH** Siglas de Synchronous Digital Hierarchy (Jerarquía Digital Síncrona).

**Triple Play** Es la prestación de telefonía, acceso a Internet y televisión a través de un mismo acceso de banda ancha. Estándar internacional para la transmisión de información a través de fibra óptica.

**ODN:** Optical Distribution Network (Red de distribución óptica).

**OLT:** Optical Line Termination (Terminación de línea Óptica).

**ONT:** Optical Network Termination (Terminación de red óptica).

**ONU:** Optical Network Unit (Unidad de red óptica).



**OTDR:** Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo.

**PON:** Passive Optical Network (Red óptica pasiva.)

**GPON:** Gigabit Passive Optical Network – Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit.



## BIBLIOGRAFÍA

1. B. Mukherjee, Optical Communication Networks, Editorial McGraw-Hill, New York, 1997.
2. Landee, Robert W., Davis, Donovan C. & Albrecht, Albert P. Electronics designers' handbook, second edition, McGraw Hill.
3. Amezquita Martínez Carlos, Seminario GPON, Inttelmex Año 2008, Capitulo tres, GPON, Sistemas PON, pp.3-2 a 3-6
4. S. C. Grady, The book on FTTX From Design To Deployment: A Practical Guide To FTTX Infrastructure, ADC Telecommunications INC, 2005.
5. SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES, Secciones digitales y sistemas digitales de línea – Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales, G.984.2 SECTOR DE NORMALIZACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES DE LA UIT Enmienda 1 (02/2006)
6. Recomendación UIT-T Atributos para la norma G. 652.A, G.652.B, G.652.C y G.652.D
7. Recomendación UIT-T Norma G. 657 clase A y G.657 clase B
8. Lizbeth E. Márquez López y María del Carmen García Gudiño. Seminario GPON Inttelmex Configuración y cuidado a equipo para medición en redes GPON. Año 2011, Capítulos 1,2 y 3.pp 1-1 a 4-51
9. Israel Pérez Aguilar. Inttelmex Nueva Tecnología Planta Externa, 15 de Octubre de 2011.Capitulo 1 Planta Exterior. pp 1-1 a 1-13.



10. Oscar Aguilar Barrios. Inttelmex Redes Digitales, Nueva Tecnología, 10 de Febrero de 2011. Capítulo 1 pp 1-1 a 1-39.
11. Mike Reid, Andy Artech Transmission Networking: SONET and the Synchronous Digital Hierarchy Sexton, House London.
12. Roland n. bracewell. The fourier transform and its applications. New York: McGraw-Hill, c1978. 444 páginas.
13. Jayakumar Ramanathan. Methods of applied fourier analysis. Boston: Birkhäuser Verlag, 1998. 329 páginas.
14. Hari Krishna Garg. Boca Raton, Digital signal processing algorithms :number theory, convolution, fast fourier transforms, and applications Florida : CRC Press, c1998. 637 páginas.
15. M. en C. Roberto Hernández Sampieri, METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN, MCGRAW-HILL, c1997.

#### REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.

1. FTTH Council [Online]. Available: <http://www.ftthcouncil.org>
2. The Gigabit Ethernet Passive Optical Network (GEAPON). Disponible en: <http://www.2fonet.com/home/tuolima-tecnologia-gepon>
3. <http://www.adckrone.com/eu/es/webcontent/support/PDFs/whitepapers/105525ES.pdf>
4. <http://www.ctv.es/USERS/carles/PROYECTO/cap1/cap1.html>
5. [inttelmex.edu.mx/redsocial](http://inttelmex.edu.mx/redsocial)
6. RCDT [REPPLEX-METRO/RELEX3](#) (Nodo Intranet Telmex)



7. RCDT REI/reportesinfinitum-METRO/ (Nodo Intranet Telmex)
- 8.-<http://www.intelmex.edu.mx/SabaWeb>
- 9.-<http://www.exfo.com/en/Products/Field-Network-Testing/FTB-Ecosystem/Platforms/FTB-1/>
- 10.-<http://es.flukenetworks.com/datacom-cabling/fiber-testing/optifiber-pro-otdr>
- 11.-<http://www.exfo.com/en/Products/Field-Network-Testing/Optical/Power-Meters/FPM-600/>
- 12.-<http://www.exfo.com/en/Products/Field-Network-Testing/Optical/Light-Sources/FiberBasix-50/>
- 13.-<http://www.specialized.net/Specialized/OFS300200C-Noyes-Fiber-Optical-Fiber-Scope-200X-4699.aspx>
- 14.-<http://www.jdsu.com/en-us/Test-and-Measurement/Products/a-z-product-list/Pages/P5000i-Digital-Analysis-Microscope.aspx>
- 15.-<http://www.jdsu.com/ProductLiterature/Essential-Fiber-Tools.pdf>