

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA
CERTIFICACIÓN DE REDES PASIVAS DE FIBRA ÓPTICA**

Trabajo previo a la obtención del Título de

Magister en Redes de Comunicaciones

VÍCTOR RAÚL BARARGÁN BORJA

Quito, septiembre 2015

DECLARACIÓN

Yo, Víctor Raúl Barragán Borja, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCE, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente

Víctor Raúl Barragán Borja

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi Padre Raúl, quien con su ejemplo, sabiduría, consejo, paciencia y cariño ha sabido motivarme para la culminación de esta empresa.

Así mismo a mi muy querida Madre Alicia, quien en todo momento guía mis pasos y me cuida, aunque ya no esté conmigo.

Finalmente a mi hermana, por su constante cariño y ejemplo de perseverancia.

Con este título se consigue parte del sueño y proyecto de vida de la familia Barragán Borja.

Víctor Raúl Barragán Borja

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, a quien le debo todo lo que he conseguido en cada uno de los aspectos de mi vida y quien es el pilar fundamental de mi existencia.

También un agradecimiento muy especial a mi esposa Cristina por ser mi soporte en todo momento y por su permanente e invaluable amor, apoyo, compañía y paciencia.

Así mismo, gracias a mis hijos Nathalie y Leonardo, quienes son el motor de mi vida y la razón de mí ser y de quienes he tenido que sacrificar mucho tiempo para obtener este título, gracias de todo corazón.

Finalmente un agradecimiento muy especial a la MSc. Soledad Jiménez por su constante guía y apoyo. Sin su inmensurable aporte, no hubiese sido posible culminar el presente trabajo.

Víctor Raúl Barragán Borja

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

Dando cumplimiento a las normas del Reglamento de elaboración y sustentación de Tesis de la Facultad de Ingeniería, sección de Postgrado de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, para elaborar la tesis de Maestría, se presenta el trabajo de investigación denominado: "ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA CERTIFICACIÓN DE REDES PASIVAS DE FIBRA ÓPTICA".

En el presente trabajo se describen los procedimientos para certificar redes pasivas de fibra óptica analizando los parámetros de pérdida por longitud de enlace en fibra, pérdidas por inserción en conectores y empalmes y pérdidas de reflexión en conectores. Señores miembros del jurado en espera que este proyecto sea evaluado y merezca su aprobación.

Atentamente.

Víctor Raúl Barragán Borja

El Autor

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se analizan primeramente todos los aspectos teóricos involucrados en red óptica pasiva, tales como topologías, tipos de fibras, elementos de una red óptica pasiva, tipos de pérdidas y eventos presentes en las mismas, lo cual constituye la base para la elaboración del manual en sí.

A continuación, se describen los tipos de pruebas que se realizan para certificar las redes ópticas pasivas así como los equipos necesarios.

Descrita la teoría base, los tipos de pruebas y los equipos, se procede con el desarrollo detallado de los procedimientos para la certificación, así como de las guías para detección y solución de daños, correlacionando dichos procedimientos y guías con normas internacionales afines a nuestro trabajo y con la recomendación de los fabricantes de equipos de certificación.

Finalmente, se expone un caso práctico de aplicación en el cual se aplican muchos de los criterios, procedimientos y guías descritos.

SUMMARY

In this research job, all the theoretical aspects involved in a passive optical network are firstly analyzed, such as topologies, fiber types, elements of a passive optical network, types of losses and events present therein, which forms the basis for the development of the manual itself.

Next, the types of tests performed to certify the passive optical network and the necessary equipment are described.

Described based theory, types of tests and equipment, we proceed with the development of detailed procedures for certification, as well as guidelines for the detection and resolution of damage, correlating these procedures and guidelines with international standards related to our work and with the recommending of certification equipment manufacturers.

Finally, a practical application case, in which many of the criteria, procedures and guidelines described are applied, is exposed.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Justificación.....	8
1.4 Objetivos.....	10
1.4.1 Objetivo general.....	10
1.4.2 Objetivos específicos.....	10
CAPÍTULO 2.....	12
FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	12
2.1 Tipos de topologías en redes de fibra óptica.....	12
2.1.1 Enlaces punto a punto.....	13
2.1.1.1 Redes de transmisiones.....	24
2.1.1.2 Redes de accesos.....	28
2.1.1.3 Redes de backbone de cableado estructurado.....	31
2.1.2 Enlaces punto a multipunto.....	33
2.1.2.1 Redes PON – FTTx.....	37
2.2 Tipos de fibra óptica y características.....	43
2.2.1 Monomodo.....	44

2.2.1.1	Monomodo G.652.....	48
2.2.1.2	Monomodo G.653.....	53
2.2.1.3	Monomodo G.655.....	55
2.2.1.4	Monomodo G.657.....	59
2.2.2	Multimodo.....	67
2.2.2.1	Multimodo G.651.....	68
2.2.2.2	Multimodo OM1, OM2, OM3 y OM4.....	71
2.3	Elementos pasivos de una red de fibra óptica.....	74
2.3.1	Conectores.....	74
2.3.2	Adaptadores.....	77
2.3.3	Patchcords de fibra óptica.....	78
2.3.4	Atenuadores.....	80
2.3.5	Divisores Ópticos Pasivos Splitters (POS).....	81
2.3.6	Mangas de empalme.....	85
2.3.7	Cajas de distribución óptica.....	87
2.4	Pérdidas y eventos en fibra óptica.....	92
2.4.1	Pérdida por longitud.....	92
2.4.2	Pérdida por inserción.....	93
2.4.3	Pérdida de retorno.....	93
2.4.4	Eventos reflectivos.....	94
2.4.5	Eventos no reflectivos.....	95
2.4.6	Fin de fibra.....	97

2.4.7 Pérdida por macro curvatura.....	98
2.4.8 Pérdida por microcurvatura.....	99
2.4.9 Ruptura de fibra.....	100
CAPÍTULO 3.....	102
TIPOS DE PRUEBAS Y EQUIPOS PARA CERTIFICACIÓN DE REDES	
PASIVAS DE FIBRA ÓPTICA.....	102
3.1 Presupuesto de potencia óptica.....	102
3.1.1 dB y dBm.....	102
3.1.2 Pérdida teórica.....	106
3.1.3 Potencia de transmisión y umbral de recepción.....	113
3.1.4 Cálculo de presupuesto de potencia.....	115
3.2 Empalmes ópticos.....	118
3.2.1 Empalme por fusión y fusionadora.....	120
3.2.2 Empalme mecánico.....	122
3.3 Verificación de continuidad.....	124
3.3.1 Detector de fallas visual.....	127
3.4 Medición de potencia.....	130
3.4.1 Fuente de luz.....	133
3.4.2 Medidor de potencia.....	136
3.5 Medición de potencia retrodifusa.....	140
3.5.1 Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR).....	142
3.5.2 Zona muerta.....	152

3.5.3	Supresor de pulsos (bobina de lanzamiento).....	157
3.6	Otros equipos de certificación.....	162
3.6.1	Microscopio.....	162
3.6.2	Identificador de fibra activa.....	163
3.6.3	Teléfono óptico.....	165
3.6.4	Medidor de pérdida de retorno.....	166
CAPÍTULO 4.....		167
PROCEDIMIENTOS DE CERTIFICACIÓN DE REDES PASIVAS DE FIBRA ÓPTICA.....		167
4.1	Medición de atenuación en empalme.....	167
4.2	Medición de atenuación en conector.....	175
4.3	Medición de atenuación en un POS.....	180
4.4	Medición de atenuación en enlace punto a punto.....	183
4.4.1	Distancias cortas.....	183
4.4.2	Distancias largas.....	188
4.5	Medición de atenuación en enlace punto a multipunto.....	196
4.5.1	Medición de eventos en redes PON (FTTx).....	--199
4.5.1.1	En construcción.....	199
4.5.1.2	En operación.....	206
4.6	Registros para tabulación de resultados.....	209
4.7	Síntesis de normativas relacionadas con certificación de redes ópticas pasivas.....	211

4.7.1	UIT G.650.3: Test methods for installed single-mode optical fibre cable links.....	212
4.7.2	UIT 671: Transmission Characteristics of Passive Optical Components.....	216
4.7.3	UIT L.36: Conectores de fibra óptica monomodo.....	218
4.7.4	Telcordia GR326 Core: Generic Requirements for Singlemode Optical Connectors and Jumper Assemblies.....	221
4.7.5	UIT G.984.1 Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics & UIT G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos.....	223
4.7.5	TIA-EIA-568-B.3: Optical Fiber Cabling Components Standard	225
4.7.7	UIT L.12: Optical fibre splices.....	228
4.8	Solución de Problemas y Detección de Daños.....	230
4.8.1	Detección de daños en enlaces punto a punto.....	231
4.8.1.1	Distancias cortas.....	231
4.8.1.2	Distancias largas.....	234
4.8.1.3	Redes directamente enterradas.....	242
4.8.2	Detección de daños en paneles de fibra óptica.....	244
4.8.3	Detección de daños en redes PON.....	246

4.8.3.1	Análisis de topología y red.....	246
4.8.3.2	Pruebas en caliente.....	248
4.8.3.3	Diferencia entre fibra rota y fibra atenuada.....	250
4.8.3.4	Elementos de demarcación.....	252
4.8.3.5	Mediciones desde OLT.....	253
4.8.4	Arreglo de empalme.....	255
4.8.5	Arreglo de conector.....	258
4.8.6	Arreglo de enlace.....	259
4.8.7	Limpieza de conectores y equipos.....	262
4.9	Caso práctico de aplicación.....	266
4.9.1	Descripción de caso.....	266
4.9.2	Tipos de prueba a realizar y análisis de pérdidas.....	271
4.9.2.1	Pérdida de inserción en empalmes.....	272
4.9.2.2	Pérdida en inserción y reflexión en conectores.....	273
4.9.2.3	Pérdida por longitud en fibra.....	273
4.9.2.4	Pérdida total de enlace.....	274
4.9.3	Correlación con presupuesto de potencia disponible.....	276
4.9.4	Tabulación y presentación de resultados.....	278
4.9.5	Análisis de resultados.....	283
CAPÍTULO 5.....	284	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	284	
5.1 Conclusiones.....	284	

5.2 Recomendaciones.....	298
---------------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Ejemplo de diámetro de campo modal y de diámetro del core de un hilo de fibra óptica marca Corning según su datasheet.....	47
Tabla 2.2: Características de hilo de fibra SM G.652D.....	50
Tabla 2.3: Aparición de nuevas componentes según número de portadoras WDM.....	55
Tabla 2.4: Características de hilo de fibra SM G.655C.....	57
Tabla 2.5: Características de hilo de fibra SM G.657A.....	62
Tabla 2.6: Características de hilo de fibra SM G.657B.....	63
Tabla 2.7: Tipos de fibra Multi Modo.....	72
Tabla 2.8: Características de tipos de fibra Multi Modo.....	73
Tabla 3.1: Datos de Potencia de Transmisión y de Umbrales de Recepción de Módulos SFP marca Cisco.....	115
Tabla 3.2: Especificaciones técnicas de un VFL marca JFOPT, modelo JFT-07.....	129
Tabla 3.3: Especificaciones técnicas de un LS marca JFOPT, modelo JFT-04.....	135
Tabla 3.4: Especificaciones técnicas de un PM marca JFOPT, modelo JFT-02.....	138
Tabla 3.5: Especificaciones técnicas de un OTDR marca EXFO, serie AXS-110.....	148
Tabla 4.1: Tabla de eventos para red con un empalme.....	168
Tabla 4.2: Tabla de eventos para red con un empalme medida desde ODF 1.....	171
Tabla 4.3: Tabla de eventos para red con un empalme medida desde ODF 2.....	172
Tabla 4.4: Tabla de eventos para red con bobina de lanzamiento.....	177

Tabla 4.5: Parámetros de POS PLC, pérdidas de inserción y de reflexión.	182
Tabla 4.6: Eventos obtenidos para medición de atenuación total de un enlace sin bobinas de lanzamiento.....	191
Tabla 4.7: Eventos obtenidos para medición de atenuación total de un enlace con una bobina de lanzamiento.....	192
Tabla 4.8: Eventos obtenidos para medición de atenuación total de un enlace con dos bobinas de lanzamiento.....	195
Tabla 4.9: Formato base de tabla de eventos, según la UIT G.650.3.....	215
Tabla 4.10: Características de conectores, según la UIT G.671.....	216
Tabla 4.11: Características de empalmes, según la UIT G.671.....	217
Tabla 4.12: Código de colores para identificación de conectores, según la UIT L.36.....	220
Tabla 4.13: Valores de Potencia para OLTs y ONTs, según la UIT G.984.2	225
Tabla 4.14: Valores de atenuación para fibras SM y MM según su aplicación y longitud de onda, acorde a la TIA-EIA-568-B.3.....	226
Tabla 4.15: Valores de atenuación para empalmes en fibras SM por fusión y mecánicos, acorde a la UIT L.12.....	229
Tabla 4.16: Especificaciones de módulos SFP usados en el enlace.....	277
Tabla 4.17: Registro de Pérdida de Inserción en Empalme 1.....	279
Tabla 4.18: Registro de Pérdida de Inserción en Empalme 2.....	280
Tabla 4.19: Registro de Pérdida de Inserción y Reflexión en Conectores	281
Tabla 4.20: Registro de Atenuación de Enlace.....	282
Tabla 5.1: Pérdidas en una red de fibra óptica pasiva, elementos asociados, verificación y certificación.....	285
Tabla 5.2: Normas internacionales para certificación de redes pasivas de fibra óptica, descripción, aplicación y parámetros.....	290

Tabla 5.3: Máximos valores de pérdidas admisibles en los elementos pasivos de una red óptica y recomendaciones según normas internacionales.....	294
Tabla 5.4: Equipos para certificación de redes ópticas pasivas disponibles en el mercado y tipo de prueba que realizan.....	296

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1: Ecuación de cálculo de pérdida teórica según recomendación UIT G.652.....	52
Ecuación 2.2: Ecuación de cálculo de pérdida teórica según recomendación UIT G.651.....	70
Ecuación 3.1: Ecuación para cálculo de dB.....	103
Ecuación 3.2: Ejemplo de cálculo de dB.....	103
Ecuación 3.3: Ecuación para cálculo de dBm.....	104
Ecuación 3.4: Ejemplo de cálculo de dBm.....	105
Ecuación 3.5: Ecuación de cálculo de pérdida teórica según la UIT.....	107
Ecuación 3.6: Ejemplo de cálculo de pérdida teórica.....	109
Ecuación 3.7: Ejemplo de cálculo de pérdida teórica en una red PON con POS.....	112
Ecuación 3.8: Ejemplo de cálculo de presupuesto de potencia.....	116
Ecuación 3.9: Presupuesto de Potencia Óptica en Función de la Pérdida Teórica.....	117
Ecuación 4.1: Ecuación para el cálculo de la pérdida de un empalme, según la UIT G.650.3.....	169
Ecuación 4.2: Cálculo de pérdida total en punto de empalme.....	173
Ecuación 4.3: Ecuación para el cálculo de la pérdida de un empalme, según la UIT G.650.3.....	214
Ecuación 4.4: Atenuación de un conector, según la UIT L.36.....	218
Ecuación 4.5: Pérdida de retorno en un conector, según la UIT L.36.....	219

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama de hilos de topología básica punto a punto.....	15
Figura 2.2: Diagrama de hilos de topología punto a punto con varios canales usando CDWM.....	17
Figura 2.3: Diagrama de hilos de topología punto a punto con derivaciones	19
Figura 2.4: Diagrama de hilos de topología punto a punto con varias ramificaciones.....	21
Figura 2.5: Diagrama de hilos simplificado de topología punto a punto con alto número de hilos.....	23
Figura 2.6: Esquema de red de transmisión básica y en anillo.....	26
Figura 2.7: Esquema de red de transmisión formando anillos y subanillos.....	27
Figura 2.8: Esquema de red de transmisión con derivaciones.....	28
Figura 2.9: Esquema de red de acceso.....	30
Figura 2.10: Esquema de red de backbone de cableado estructurado.....	32
Figura 2.11: Esquema de topología punto a multipunto con un POS.....	34
Figura 2.12: Esquema de topología punto a multipunto con varios POS.....	36
Figura 2.13: Esquema de redes FTTx-PON.....	40
Figura 2.14: Comparación entre enlaces punto a punto y enlaces punto a multipunto con PON.....	41
Figura 2.15: Esquema básico de una red FTTx-PON con un solo POS.....	41
Figura 2.16: Esquema típico de una red FTTx-PON con varios POS.....	42
Figura 2.17: Relación entre el campo modal y el diámetro del core de un hilo de fibra óptica.....	45
Figura 2.18: Curvas de atenuación de fibras G.652.....	49
Figura 2.19: Aparición de nuevas componentes por FWM.....	54
Figura 2.20: Conectores de fibra (a)-SC, (b) – FC, (c) – ST, (d) – (LC).....	75
Figura 2.21: Pulidos de conectores de fibra.....	77

Figura 2.22: Adaptadores de fibra.....	78
Figura 2.23: Patchcords de fibra.....	79
Figura 2.24: Atenuadores de fibra.....	80
Figura 2.25: Esquema de funcionamiento de un POS.....	82
Figura 2.26: Esquema de construcción de un POS FBT.....	83
Figura 2.27: Esquema de construcción de un POS PLC.....	84
Figura 2.28: Empaquetados de POS.....	84
Figura 2.29: Manga de empalme para fibra óptica.....	87
Figura 2.30: Manga en pozo y bandeja de empalme con hilos peinados...87	
Figura 2.31: Cajas de distribución óptica – ODFs.....	89
Figura 2.32: Cajas de distribución óptica de pared y/o poste y caja terminal de abonado.....	89
Figura 2.33: Representación de un evento reflectivo según la UIT G.650.3.....	94
Figura 2.34: Ejemplo de evento reflectivo obtenido con un equipo de medición.....	94
Figura 2.35: Gráfica típica de evento reflectivo.....	95
Figura 2.36: Representación de un evento no reflectivo según la UIT G.650.3.....	95
Figura 2.37: Ejemplo de evento no reflectivo obtenido con un equipo de medición.....	96
Figura 2.38: Gráfica típica de evento no reflectivo.....	96
Figura 2.39: Representación de un evento fin de fibra según la UIT G.650.3.....	97
Figura 2.40: Ejemplo de evento fin de fibra obtenido con un equipo de medición.....	97
Figura 2.41: Gráfica típica de evento fin de fibra.....	98
Figura 2.42: Cable de fibra con radio de curvatura demasiado cerrado....	98
Figura 2.43: Gráfica típica de evento macrocurvatura.....	99

Figura 2.44: Hilos de fibra con radio de curvatura demasiado cerrado.....	99
Figura 2.45: Gráfica típica de evento macrocurvatura.....	100
Figura 2.46: Gráfica típica de evento fibra rota.....	100
Figura 3.1: Esquema de un enlace óptico.....	108
Figura 3.2: Esquema de un enlace óptico con POS – Red PON.....	110
Figura 3.3: Procedimiento de empalme por fusión.....	120
Figura 3.4: Empalmadora por fusión, marca Fujikura, modelo FSM-60S..	121
Figura 3.5: Valor de atenuación dado por una fusionadora.....	122
Figura 3.6: Procedimiento de empalme mecánico.....	122
Figura 3.7: Distintos modelos de empalmes mecánicos.....	123
Figura 3.8: Hilo de pigtail roto (y por ende iluminado) dentro de un ODF..	125
Figura 3.9: Verificación de continuidad en un patchcord.....	126
Figura 3.10: Verificación de continuidad en un enlace con origen y destino remotos.....	126
Figura 3.11: Distintos modelos de VFLs.....	128
Figura 3.12: Verificación de Continuidad en un POS.....	130
Figura 3.13: Medición de potencia.....	131
Figura 3.14: Distintos modelos de LS.....	134
Figura 3.15: Distintos modelos de PM.....	137
Figura 3.16: Retrodispersión de Rayleigh.....	141
Figura 3.17: Reflexión de Fresnel.....	141
Figura 3.18: OTDR marca EXFO, modelo AX-110.....	142
Figura 3.19: Ejemplo de traza de OTDR según UIT G.650.3.....	144
Figura 3.20: Ejemplo de tabla de eventos según UIT G.650.3.....	144
Figura 3.21: Forma referenciales de eventos según UIT G.650.3.....	145
Figura 3.22: Ejemplo de traza obtenida con OTDR EXFO AXS-110.....	145
Figura 3.23: Ejemplo de tabla de eventos obtenida con OTDR EXFO AXS-110.....	146
Figura 3.24: Medición con OTDR.....	146

Figura 3.25: Configuración de parámetros en un OTDR marca EXFO, serie AXS-110.....	149
Figura 3.26: Marcadores en una traza.....	150
Figura 3.27: Zona muerta de evento – Event Dead Zone – EDZ.....	153
Figura 3.28: Zona muerta de atenuación – Attenuation Dead Zone – ADZ.....	154
Figura 3.29: Fusión y adaptador en ODF.....	156
Figura 3.30: Puenteo de puertos en ODF con un patchcord.....	156
Figura 3.31: Conexión entre OTDR y puerto de ODF con un patchcord...	157
Figura 3.32: Conexión entre OTDR y ODF usando bobina de lanzamiento	158
Figura 3.33: Distintos modelos de bobinas de lanzamiento.....	158
Figura 3.34: Traza obtenida con bobina de lanzamiento.....	159
Figura 3.35: Ampliación de zona muerta del OTDR.....	160
Figura 3.36: Traza obtenida con bobina de lanzamiento al inicio y al final del enlace.....	161
Figura 3.37: Diferentes modelos de microscopios ópticos.....	162
Figura 3.38: Imágenes de conectores obtenidas con un microscopio óptico	163
Figura 3.39: Identificador de fibra óptica.....	164
Figura 3.40: Teléfonos ópticos.....	165
Figura 3.41: Medidores de ORL.....	166
Figura 4.1: Esquema de red con un empalme.....	168
Figura 4.2: Traza de OTDR para red con un empalme.....	168
Figura 4.3: Esquema de red con un empalme.....	170
Figura 4.4: Traza de OTDR para red con un empalme medida desde ODF 1	170
Figura 4.5: Traza de OTDR para red con un empalme medida desde ODF 2	171

Figura 4.6: Esquema de red para medición de pérdidas en un conector..	176
Figura 4.7: Traza de OTDR para red con bobina de lanzamiento.....	176
Figura 4.8: Traza con supresor de pulso al inicio y al final del enlace.....	178
Figura 4.9: Medición de pérdida en un POS, sentido descendente.....	180
Figura 4.10: Medición de pérdida en un POS, sentido ascendente.....	181
Figura 4.11: Enlace corto de fibra óptica.....	184
Figura 4.12: Conexión directa entre PM y LS.....	185
Figura 4.13: Pruebas de patchcords.....	187
Figura 4.14: Medición de atenuación con OTDR y sin bobina de lanzamiento	190
Figura 4.15: Traza obtenida para medición de atenuación total de un enlace sin bobinas de lanzamiento.....	190
Figura 4.16: Traza obtenida para medición de atenuación total de un enlace con una bobina de lanzamiento.....	192
Figura 4.17: Pérdida en un enlace vista con software de OTDR usando marcadores.....	193
Figura 4.18: Medición de atenuación con OTDR y con bobinas de lanzamiento inicial y final.....	194
Figura 4.19: Traza obtenida para medición de atenuación total de un enlace con dos bobinas de lanzamiento.....	194
Figura 4.20: Pérdida en un enlace vista con software de OTDR usando marcadores.....	196
Figura 4.21: Medición de pérdida de un enlace P2MP con el uso de OLTS	198
Figura 4.22: Pruebas con un VFL en una red PON / FTTx.....	201
Figura 4.23: Medición desde cliente con OTDR en una red PON	203
Figura 4.24: Traza obtenida desde un cliente con OTDR en una red PON	204

Figura 4.25: Medición esquemática desde OC con OTDR en una red PON con un POS 1x4.....	204
Figura 4.26: Traza real obtenida desde OC con OTDR en una red PON con un POS1x4 y varios puntos de prueba.....	205
Figura 4.27: Medición de potencia con PM en una red PON FTTx operativa	207
Figura 4.28: Prueba reflectométrica en una red PON FTTx operativa.....	209
Figura 4.29: Formato base de traza de OTDR (atenuación en función de la distancia), según la UIT G.650.3.....	214
Figura 4.30: Simbología de eventos, según la UIT G.650.3.....	215
Figura 4.31: Unidad Básica de Conector, según Telcordia GR 326 Core..	222
Figura 4.32: Trazar Reflectometrica de enlace sin daños.....	240
Figura 4.33: Trazar Reflectometrica de enlace con fibra atenuada.....	241
Figura 4.34: Traza Reflectometrica de enlace con fibra rota.....	241
Figura 4.35: Esquema típico de una red PON.....	247
Figura 4.36: Esquema típico de una red PON.....	251
Figura 4.37: Acoplador WDM para pruebas con ODTR desde OLT en redes PON.....	254
Figura 4.38: Span y SAG en un tendido aéreo.....	261
Figura 4.39: Paños libres de pelusa.....	263
Figura 4.40: Hisopos libres de pelusa.....	263
Figura 4.41: Limpiador de Impacto.....	264
Figura 4.42: Alcohol Isopropílico.....	264
Figura 4.43: Aire Comprimido.....	265
Figura 4.44: Daño producido.....	268
Figura 4.45: Daño producido.....	268
Figura 4.46: Zona de incidencia.....	268
Figura 4.47: Empalme 1.....	269
Figura 4.48: Empalme 2.....	269

Figura 4.49: ODF en PIA.....	270
Figura 4.50: ODF en PATH 3.....	270
Figura 4.51: Diagrama esquemático de estado actual de red a certificar..	271

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A	Modelos de registro para tabulación de resultados de mediciones obtenidas.....	305
Anexo A.1	Registro para tabulación de pruebas de atenuación en fibra por longitud.....	305
Anexo A.2	Registro para tabulación de pruebas de continuidad en fibra.....	306
Anexo A.3	Registro para tabulación de pruebas de atenuación total de enlace.....	307
Anexo A.4	Registro para tabulación de pruebas de atenuación en empalme (pérdida de inserción).....	308
Anexo A.5	Registro para tabulación de pruebas de atenuación en conectores (pérdida de inserción y de reflexión).....	309
Anexo B	Trazas reflectométricas obtenidas en campo y de las cuales se toman los valores de los registros presentados en el caso práctico de aplicación.....	310

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

En el presente trabajo se desarrolla un procedimiento para la certificación de redes pasivas de fibra óptica analizando los parámetros de pérdida por longitud de enlace en fibra, pérdidas por inserción en conectores y empalmes y pérdidas de reflexión en conectores.

Los tipos de redes que se ajustarán a dicho procedimientos son las redes multimodo con topologías punto a punto en enlaces de backone para cableado estructurado, las redes monomodo con topologías punto a punto, tanto para enlaces troncales de transmisión como para enlaces de accesos en clientes corporativos y finalmente las redes monomodo con topologías punto a multipunto para redes de acceso FTTx.

Para comprender los criterios de certificación, se realiza una descripción de las topologías en redes pasivas de fibra óptica y de los tipos de fibra óptica tanto multimodo como monomodo. A continuación se describen los

elementos pasivos que se emplean en la construcción de redes y los tipos de pérdidas y eventos en una red óptica pasiva.

Previo al desarrollo del procedimiento como tal, se realiza una descripción del presupuesto de potencia, su dependencia y correlación con el equipamiento activo y su incidencia en el criterio de certificación de una red pasiva de fibra óptica.

Se exponen también los diferentes tipos de pruebas para certificar redes pasivas de fibra óptica, así como los equipos disponibles en el mercado para la certificación de redes pasivas de fibra óptica, sus principales características, su campo de aplicación y su forma de uso. Como complemento a la descripción de los equipos de certificación, se analizan los equipos para empalme y sus principales características, dado que en el procedimiento de empalme se generan eventos que serán analizados en el presente trabajo.

A continuación, se exponen los criterios y procedimientos de certificación de los enlaces y topologías antes mencionadas (fundamentados en normas internacionales y recomendaciones de fabricantes), tanto a nivel de evento (elemento pasivo) como de enlace total, ejemplos de formatos para la

tabulación de resultados y las normativas relacionadas con los valores máximos de pérdidas admisibles en una red pasiva de fibra óptica.

Finalmente y como complemento, se dan guías para la solución de problemas y detección de daños en redes pasivas de fibra óptica, realizando un compendio de todo lo expuesto y presentando un ejemplo de aplicación de los criterios descritos en el presente trabajo.

1.2 Antecedentes

Cuando se inicia la instalación de redes de fibra óptica, la topología principal usada era punto a punto, para enlaces troncales en redes de transmisión y backbones en redes de cableado estructurado. Las velocidades transmitidas por estas redes eran relativamente bajas (STM16 / 2.5 Gbps para transmisión y 1 Gbps para backbones de edificios). Adicionalmente, las longitudes de onda utilizadas se limitaban a 1310nm y 1550nm para fibras monomodo, y 850nm y 1300nm para fibra multimodo.

Al ser enlaces punto a punto, el número de conectores se limitaba a 2, uno en cada extremo del enlace. Así mismo, las bajas velocidades transmitidas sólo requerían, en el mejor de los casos, la verificación con un Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo – *Optical Time Domain Reflectometer* (OTDR) de las pérdidas de inserción (empalmes) en enlaces

con fibra monomodo y la verificación de continuidad en redes backbone en cableado estructurado con fibra óptica multimodo.

Posteriormente, se empieza a usar fibra monomodo para últimas millas (distancias cortas), pero sólo en clientes denominados corporativos, es decir, clientes grandes y con requerimientos de un “gran ancho de banda” (4E1s/8 Mbps en el mejor de los escenarios). Para estos casos, la certificación se limitaba a la verificación de continuidad con el uso de un detector de fallas visual, o en el mejor de los casos, una reflectometría óptica para verificación de longitud del enlace, y que por ende “la fibra llegue hasta el cliente”.

Hace aproximadamente 5 años, algunas operadoras empiezan a usar un supresor de pulsos (bobina de lanzamiento) para verificar la pérdida de inserción en el primer conector del enlace; sin embargo no se analiza el conector final del enlace, no se determina un valor a ciencia cierta de la pérdida que este conector debe tener, no se analiza la pérdida de reflexión, no se exige la certificación completa básica (2 ventanas + 2 direcciones), y en general, no se cuenta con un sustento teórico ni protocolos adecuados para certificación de redes de fibra óptica.

Otras operadoras, sólo se preocupan de un valor de pérdida total de enlace obtenido con un OTDR, sin discriminar la calidad de cada evento y sin considerar que los puntos donde existe un evento, son puntos críticos de la red que a futuro pueden dar problemas.

En el mundo del cableado estructurado, y por transferencia empírica, se empieza a solicitar certificaciones de enlaces de fibra óptica multimodo con OTDR, sin tener en cuenta que dicho equipo es concebido para detección de eventos en redes relativamente largas (mayores a 200 m), y no en distancia cortas de decenas de metros. El resultado es que la certificación obtenida se limita a trazas con valores poco fiables y de muy compleja interpretación.

En otros casos más críticos, se sigue dando por certificada una red cuando se verifica la continuidad de la misma (dado que se “ve” que la luz llega), pero sin considerar que la continuidad es un nivel de prueba demasiado básico, que únicamente permite verificar si la fibra está rota o no, pero no permite determinar niveles de atenuación, eventos, ni otra información valiosa.

Hasta ese entonces, el uso de Medidor de Potencia – *Power Metter* (PM) y Fuente de Luz – *Light Source* (LS), que usados en conjunto se conocen como Set para Medición de Pérdidas Ópticas – *Optical Lose Test Set* (OLTS), era prácticamente nulo.

En definitiva, la certificación de la red depende del criterio del dueño de la red y de su nivel de conocimiento, tornándose ésta en algo subjetivo.

Aparecen nuevas tecnologías de accesos como las Redes Pasivas Ópticas para aplicaciones Fibra Hasta el x - *Passive Optical Network / Fiber To The x* (PON FTTx) donde x puede ser el hogar, el gabinete, el armario, el escritorio, etc., con una concepción completamente diferente a las redes de fibra óptica tradicionales en enlaces punto a punto. Estas nuevas tecnologías por ejemplo, usan Multiplexación por División de Longitud de Onda – *Wavelength Division Multiplexing* (WDM) con 3 longitudes de onda en un mismo hilo, divisores ópticos y topología punto a multipunto. Aparecen ahora grandes exigencias para el presupuesto de potencia (distancias y funcionamiento estrechamente ligadas a las pérdidas de inserción), fuertes requerimientos de pérdidas de reflexión en eventos reflectivos para evitar pixelación de imágenes en transmisión de video, lo cual se trata de solventar con uso de Conectores con Pulido Angulado –

Angled Pulished Contact (APC), imposibilidad de realizar pruebas en caliente sin equipos adecuados, etc.

Es decir, la certificación de redes PON requiere un adecuado conocimiento del comportamiento de la fibra óptica, de los eventos existentes en una red y de los equipos disponibles en el mercado para certificar este tipo de redes.

Así mismo, las redes punto a punto deberían cumplir con parámetros mínimos de certificación para prolongar la vida útil de la red y optimizar su desempeño.

Sin embargo, la certificación de las redes de fibra óptica en general ya sean éstas multimodo o monomodo, punto a punto o punto a multipunto, no se realiza bajo normas internacionales ni con un adecuado fundamento teórico, sino a criterio del dueño de la red.

Por otra parte, la solución de daños obedece a la empírea del personal de cableado o planta externa y no existe un procedimiento coherente para la reparación de daños, lo cual ocasiona que los tiempos de reparación sean demasiado largos, especialmente en el caso de redes PON.

1.3 Justificación

La robustez de la fibra óptica y componentes afines, así como el dinámico despliegue de las redes ópticas en los últimos años y la gran cantidad de normativas relacionadas con criterios de certificación han dado como resultado que las operadoras, ISPs, carriers, áreas de TICs de instituciones y usuarios de redes de fibra óptica en general se preocupen principalmente de que las redes funcionen, cumpliendo así su objetivo principal (enlazar dos puntos), pero dejando de lado la calidad de las mismas.

En base al criterio y nivel de conocimiento del personal de planta externa o de cableado estructurado, se han venido ejecutando certificaciones más bien empíricas e inclusive aleatorias de las redes de fibra óptica, procurando únicamente, y como se mencionó anteriormente que la red funcione.

Esto ha dado lugar a que cada usuario de fibra óptica, llámese operador, ISP, carrier, etc, tenga su propio procedimiento de certificación, en muchos casos sin fundamentos técnicos teóricos y mucho menos ante el amparo de normas internacionales. Se ha llegado inclusive al punto de pensar que cuando un empalme indica una pérdida negativa, es una ganancia en la red producida por la fusión.

A lo ya mencionado, se suma la carencia de una normativa local que sirva como guía para la certificación de redes de fibra óptica, dejando casi como única alternativa complementaria a la experiencia, la recomendación o sugerencia de los fabricantes.

Sin embargo, el cada vez más amplio despliegue de redes de fibra óptica, ya no únicamente para enlaces troncales sino inclusive con fibra hasta el domicilio y hasta el escritorio, conjugado con los requerimientos cada vez mayores de ancho de banda y la aparición de nuevas tecnologías ante la cuales la empírea adquirida es insuficiente, dejan en manifiesto la necesidad de la existencia de una guía local para la certificación de redes pasivas de fibra óptica, la misma que permita visualizar los criterios de análisis y certificación de una red, basados principalmente en normativas internacionales reconocidas, con el adecuado fundamento teórico, y por supuesto sin dejar de lado las recomendaciones de los fabricantes y la experiencia adquirida, para de esta manera garantizar el correcto funcionamiento de una red de fibra óptica.

Es importante además contar con una guía que permita detectar daños en redes existentes pero de una manera coherente y estructurada según el tipo de red en la cual se está trabajando, apoyándose en lo equipos de medición

disponibles en el mercado y tratando de optimizar recursos, evitar procedimientos inadecuados y reduciendo al máximo los tiempos para solución de problemas y la respectiva rehabilitación del enlace, evitando en lo posible el mecanismo de ensayo y fallo.

Todos los puntos mencionados y la coyuntura entre los mismos, dejan ver claramente la necesidad e importancia del desarrollo del presente trabajo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General:

Elaborar un manual de procedimientos para la certificación de redes pasivas de fibra óptica considerando pérdidas por longitud de enlace en fibra, por conexión y por reflexión en conectores.

1.4.2 Objetivos Específicos:

1. Describir los diferentes tipos de pérdidas presentes en una red de fibra óptica y los criterios de verificación y certificación de los mismos.

2. Analizar normas internacionales para certificación de redes pasivas de fibra óptica y los valores máximos de pérdidas descritos en dichas normas, así como sus principales recomendaciones.
3. Referenciar los valores de pérdidas máximos admisibles para los elementos pasivos de una red de fibra óptica en base a normativas internacionales.
4. Describir los principales equipos disponibles en el mercado para la certificación de redes de fibra óptica.
5. Elaborar una guía para la solución de problemas en redes de fibra óptica, optimizando los recursos y analizando diferentes escenarios.
6. Analizar las recomendaciones de los fabricantes para la certificación de redes de fibra óptica de última generación, particularmente de redes PON– FTTX.
7. Aplicar los procedimientos, parámetros y formatos desarrollados a un ejemplo práctico, analizando una red instalada real.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Tipos de topologías en redes de fibra óptica [15] [17]

Una topología en redes de fibra óptica se refiere a la forma en la cual se distribuyen los hilos para permitir la conexión entre un transmisor y un receptor, es decir 2 equipos activos o 2 puertos de equipos activos.

Se habla de equipos activos o de puertos de equipos activos ya que en algunos casos, se tiene un puerto óptico por cada equipo activo, como en el caso de conversores de medio, multiplexores de Jerarquía Digital Plesiócrona - *Plesiochronous Digital Hierarchy* - PDH, etc.; pero en otros casos, un equipo activo puede tener varios puertos ópticos, como en el caso de transmisores de Jerarquía Digital Síncrona - *Synchronous Digital Hierarchy* -SDH, Terminales de Línea Óptica – *Optical Line Terminal* - OLTs, switchs capa 2/3 con varios puertos ópticos, etc.

Las topologías pueden ser muy variadas y lo que las define y diferencia una de otra es la forma de construcción de la red, así como los elementos en la misma, y en base a estos factores, se determinará el tipo de topología en el

cual se está trabajando y el número de enlaces que se desea probar, lo cual es vital ya que para certificar una red de fibra óptica, cada enlace, así como los hilos que lo constituyen, debe ser probado.

Es también importante hablar de las topologías, ya que acorde a las mismas se define el tipo de prueba a realizar, así como el equipo requerido, los tipos de registros a presentar y los resultados que se espera obtener.

2.1.1 Enlaces punto a punto [15] [17]

Un enlace punto a punto es aquel en el cual cada uno de los hilos conectados a un extremo del enlace se conectan con un único extremo al otro lado del enlace.

Lo anteriormente expuesto implica que un equipo activo o un puerto de un equipo activo en un lado del enlace se asocia directamente con otro puerto o equipo activo.

Los elementos que intervienen en un enlace punto a punto son:

- Patchcords
- Cajas de distribución óptica

- Cable
- Mangas de empalme y/o derivación (elemento opcional)

La descripción de cada uno de estos elementos se abordará en detalle en el punto 2.3

Adicionalmente se debe indicar que más allá de la tecnología que se está usando en los enlaces punto a punto, cuando se habla de esta topología, la certificación debe ser realizada a cada hilo, independientemente del número de enlaces y/o canales que contenga la red pasiva óptica, pero esto no implica dejar de lado la necesidad de comprender la red que se va a certificar, particularmente porque la certificación del hilo debe ser realizada en los extremos del mismo que tengan conexión con equipos y/o puertos activos. No es por lo tanto viable realizar “puenteos” o “patcheos” entre un hilo y otro ya que ese no va a ser el desempeño al cual va a ser sometida la red pasiva óptica.

Cuando se trabaja con enlaces punto a punto, regularmente el número de enlaces y/o canales viene dado por el número de hilos que tiene el cable de mayor capacidad del enlace dividido entre 2, ya que cada enlace y/o canal se constituye por un par de hilos, uno para transmisión y otro para recepción. En este caso la certificación se debe realizar por cada hilo.

Esta topología en su expresión más simple, se puede apreciar en el siguiente diagrama:

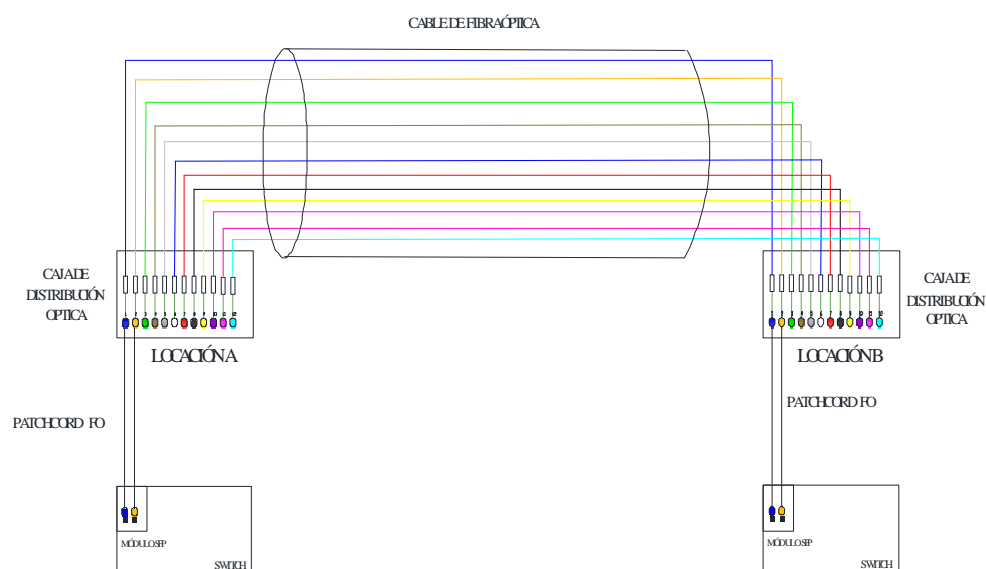


Figura 2.1: Diagrama de hilos de topología básica punto a punto¹

Del diagrama presentado, se puede observar que la Locación A se enlaza con la Locación B a través de cable de fibra óptica de 12 hilos. Dado que las locaciones se enlazan mediante módulos Transceptor de Factor de Forma Pequeño Conectable - **Small Form-Factor Pluggable Transceptor** - SFP, los mismos que para el ejemplo utilizan 2 hilos (uno para TX y otro para RX), se cuenta con 6 enlaces, todos entre la Locación A y la Locación B. En total, se deben certificar 12 hilos.

¹ Elaboración propia del autor

El número de enlaces y/o canales puede variar cuando se usan tecnologías de Multiplexación por División de Longitud de Onda – **Wavelength Division Multiplexing WDM**. En caso de usar WDM Grueso - **Coarse WDM – CDWM** o WDM Denso - **Dense WDM - DWDM**, el número de enlaces y/o canales vendrá dado por el número de hilos del cable de mayor capacidad del enlace dividido entre 2 y multiplicado por el número de canales que se está multiplexando. Sin embargo, a pesar del incremento del número de canales y/o enlaces mediante el uso de multiplexación, el número de hilos a certificar no se altera.

En caso de usar WDM Estrecho – **Width WDM - WWDM**, el número de canales vendrá dado por el número de hilos del cable de mayor capacidad del enlace multiplicado por 2. En este caso, el número de hilos a certificar tampoco se altera.

Se presenta a continuación diagramas ilustrativos de lo expuesto:

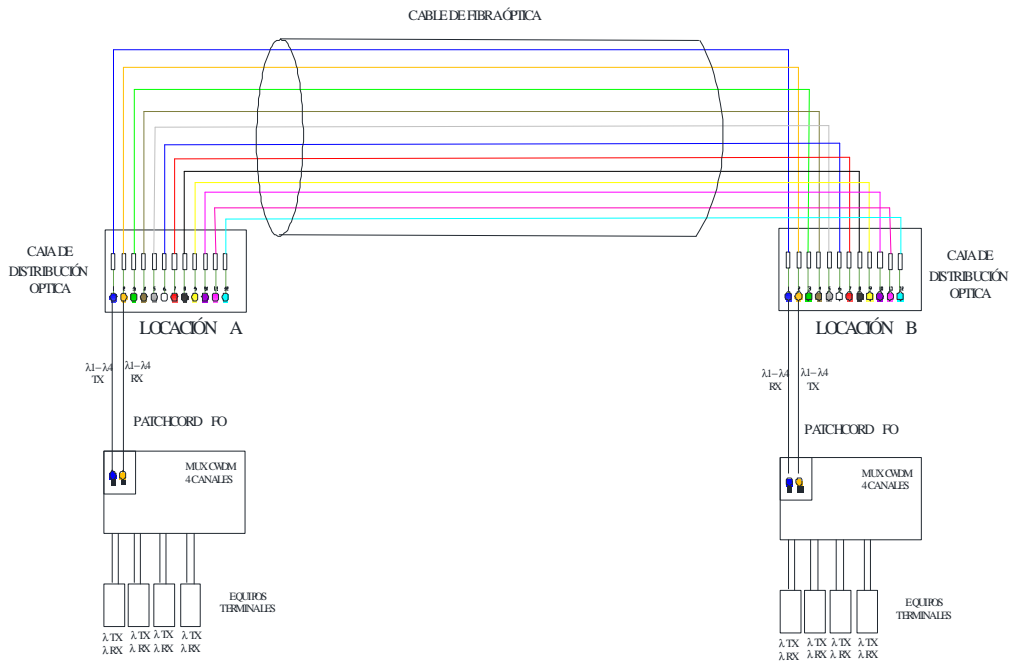


Figura 2.2: Diagrama de hilos de topología punto a punto con varios canales usando CDWM²

Del diagrama presentado, se puede observar que en la Locación A se tiene un multiplexor/demultiplexor CWDM de 4 canales, el mismo que toma las señales de 4 equipos terminales, cada uno de los cuales usa un hilo para TX y uno para RX.

El equipo multiplexor/demultiplexor toma las 4 λ s de TX de los equipos terminales de la Locación A, las “transpondera” (cambia de frecuencia), las multiplexa y las envía a través de un solo hilo de fibra óptica al

²² Elaboración propia del autor

multiplexor/demultiplexor de la Locación B, el mismo que demultiplexa estas λ s y hace posible la comunicación con los equipos terminales de esta locación. El proceso inverso ocurre en la Locación B.

En base a lo expuesto, es claro que a pesar de que la red física es la misma que en el caso anterior, ahora se tienen 24 canales en lugar de 6. Sin embargo, se sigue manteniendo el esquema de certificación de 12 hilos, ya que cada hilo en su extremo, se conecta con un puerto y/o equipo activo.

Existen además topologías punto a punto más complicadas, especialmente cuando se usan mangas para derivación. Cuando se tiene este escenario, la manera más simple de determinar el número de hilos a probar es contarlos, o si es factible, contar el número de puertos de las cajas de distribución ópticas totales existentes en la red y dividirlo entre dos.

Se presenta a continuación diagramas ilustrativos de lo expuesto:

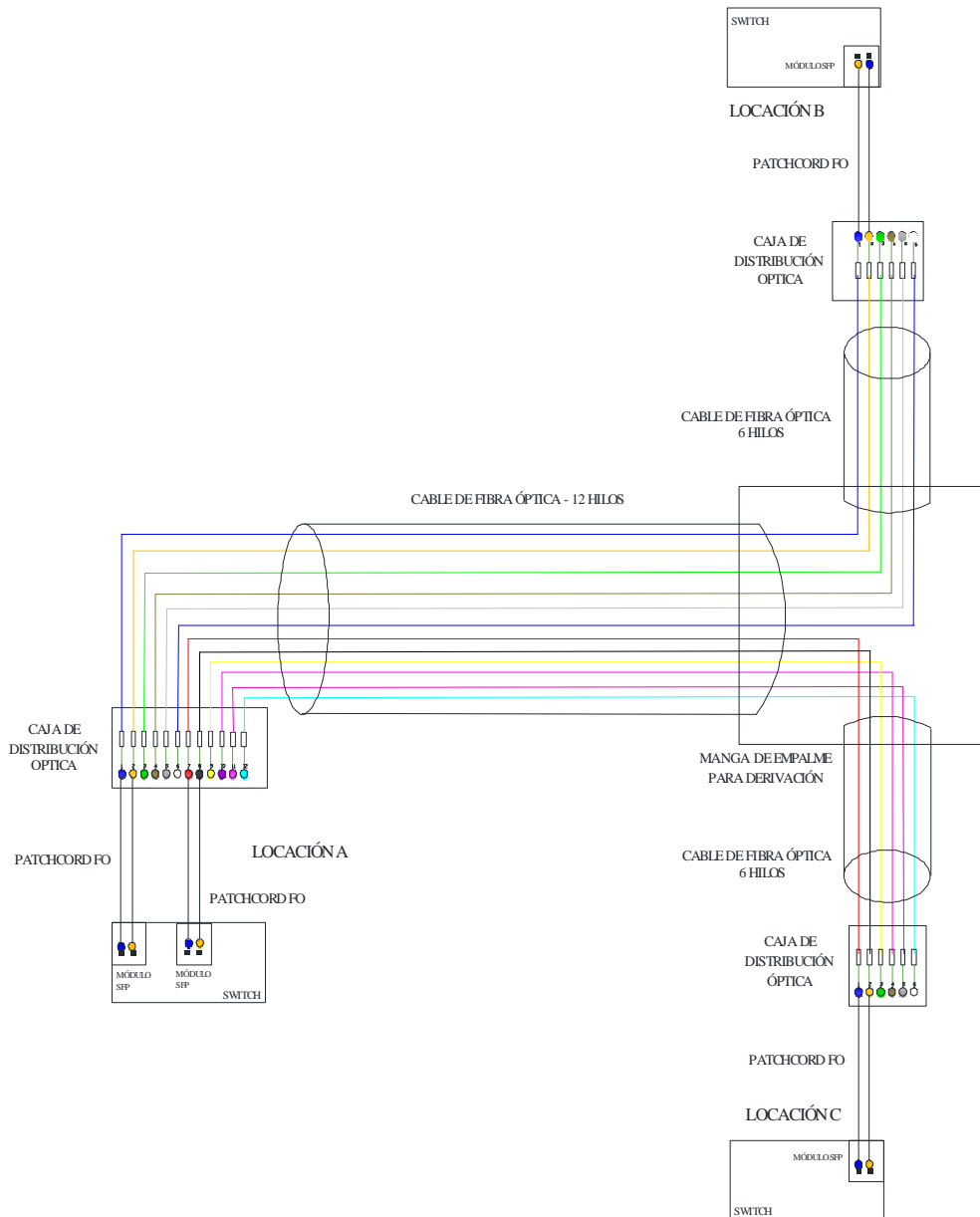


Figura 2.3: Diagrama de hilos de topología punto a punto con derivaciones³

³ Elaboración propia del autor

Del diagrama presentado, se puede observar de la Locación A sale un cable de 12 hilos de capacidad, el mismo que se separa en dos cables de 6 hilos en la manga de derivación, uno hacia la locación B y otro hacia la locación C.

De esta forma, debe quedar claro que en el diagrama presentado, no se tiene un enlace punto – multipunto entre la Locación A con la Locación B y la Locación C, sino que se tiene enlaces punto a punto entre la Locación A y la Locación B y la Locación A y la Locación C.

Dado que la comunicación se realiza a través de módulos SFP, los mismos que para el ejemplo utilizan 2 hilos (uno para TX y otro para RX), se cuenta con 6 enlaces, 3 entre la Locación A y la Locación B y 3 entre la Locación A y la Locación C. En total, se deben certificar 12 hilos.

A continuación se presenta el diagrama de una topología punto a punto más complicada:

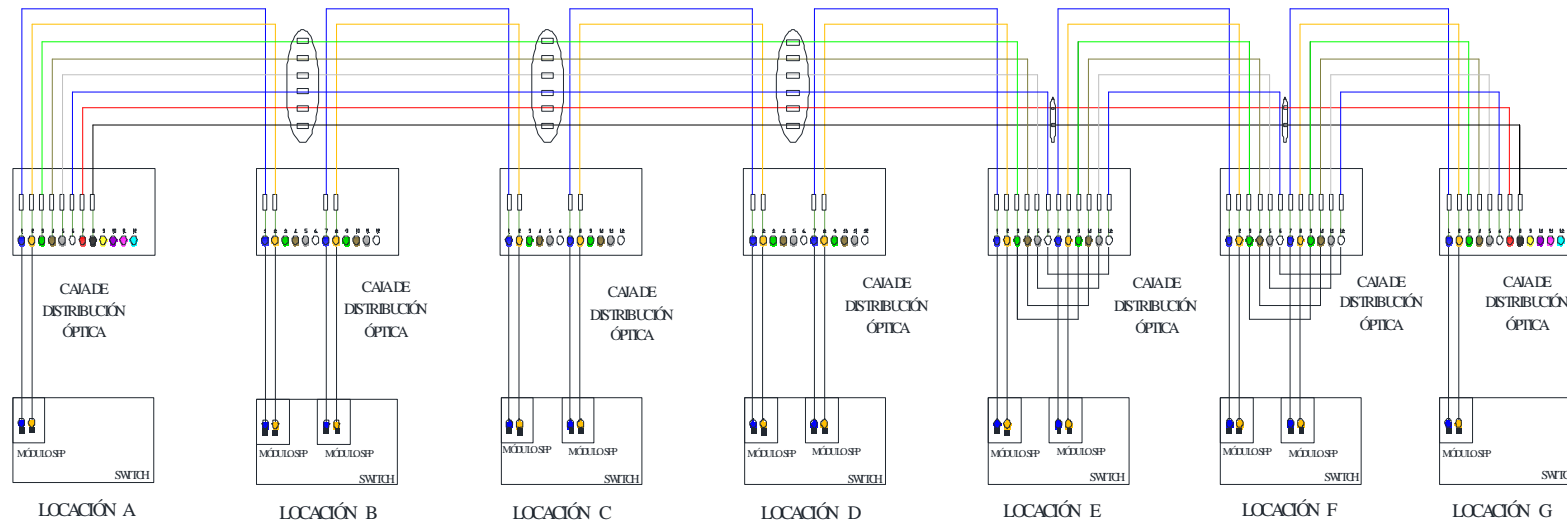


Figura 2.4: Diagrama de hilos de topología punto a punto con varias ramificaciones⁴

⁴ Elaboración propia del autor

Del diagrama presentado, se puede observar que existe un cable principal de 8 hilos, pero existen múltiples derivaciones. Realizando un resumen de los enlaces existentes en la red expuesta, y considerando que se requieren dos hilos para cada enlace (uso de módulos SFP), se tiene:

- Enlace 1: Locación A – Locación B (hilos 1 y 2)
- Enlace 2: Locación B – Locación C (hilos 1 y 2)
- Enlace 3: Locación C – Locación D (hilos 1 y 2)
- Enlace 4: Locación D – Locación E (hilos 1 y 2)
- Enlace 5: Locación E – Locación F (hilos 1 y 2)
- Enlace 6: Locación F – Locación G (hilos 1 y 2)
- Enlace 7: Locación A – Locación E (hilos 3 y 4)
- Enlace 8: Locación E – Locación F (hilos 3 y 4)
- Enlace 9: Locación F – Locación G (hilos 3 y 4)
- Enlace 10: Locación A – Locación E (hilos 5 y 6)
- Enlace 11: Locación E – Locación F (hilos 5 y 6)
- Enlace 12: Locación F – Locación G (hilos 5 y 6)
- Enlace 13: Locación A – Locación G (hilos 7 y 8)

A pesar de tener un cable principal de 8 hilos, se tienen 13 enlaces punto a punto debido a las derivaciones, y en total se deben certificar 26 hilos.

Es de vital importancia, tal como se ha podido observar, contar con un diagrama de hilos previo a la certificación de una red de fibra óptica. El diagrama de hilos puede variar su formato, pero debe permitir visualizar el número de hilos y/o de enlaces a certificar.

Cuando el número de hilos dificulte la visualización de los enlaces, se puede usar formatos alternativos como el presentado a continuación; sin embargo, y como ya se mencionó, el diagrama de hilos debe permitir visualizar el número de hilos y/o de enlaces a certificar.

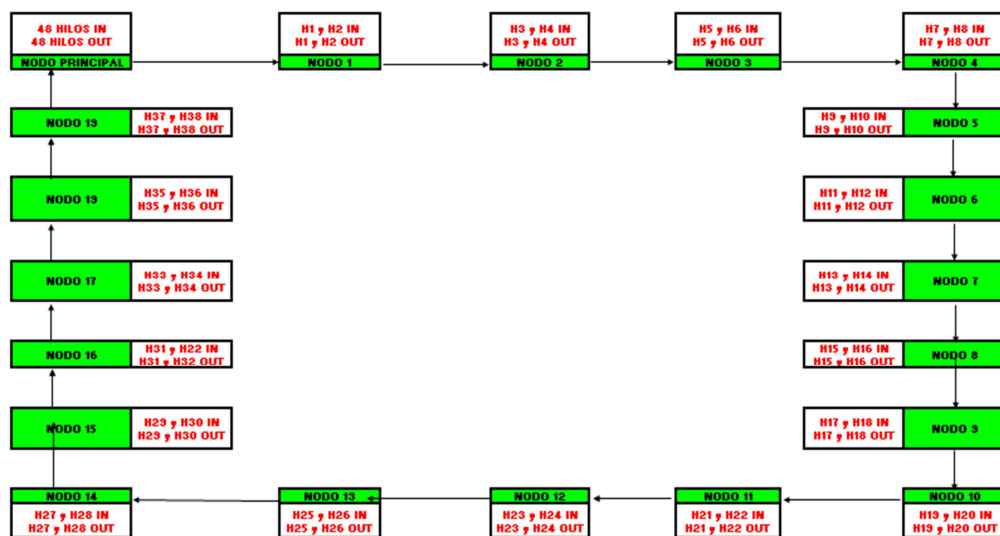


Figura 2.5: Diagrama de hilos simplificado de topología punto a punto con alto número de hilos⁵

⁵ Elaboración propia del autor

En el presente diagrama, se puede apreciar que desde el Nodo Principal sale un cable de 48 hilos, el mismo que forma un anillo. De los 48 hilos, el hilo 1 y 2 ingresan al Nodo 1 y también retornan al Nodo Principal (para cerrar el anillo), mientras que el resto de hilos pasan de largo (del 3 al 48). Este caso ocurre análogamente en cada nodo y con el par de hilos indicado. En total, se tienen activos 38 enlaces de 2 hilos cada uno, y se tienen 5 enlaces adicionales que parten en el Nodo Principal y retornan al Nodo Principal, teniéndose así 43 enlaces y debiéndose certificar 86 hilos en total.

2.1.1.1 Redes de transmisiones [22]

Las redes de transmisiones o también llamadas redes de transporte son aquellas que típicamente cumplen al menos con una de las siguientes características: tráfico de datos muy alto y/o distancias muy largas. Se usan para comunicar centrales y constituyen el **backbone** o la troncal de las Redes de Área Extendida – **Wide Area Network** - WAN.

Las conexiones entre centrales y/o nodos pueden ser dentro de una misma ciudad (como en el caso de los anillos metropolitanos), entre distintas ciudades (como en el caso de las redes troncales) e inclusive entre países y/o continentes.

La topología de las redes de transmisión óptica es punto a punto, con un número de derivaciones bajo, y es muy común que se formen anillos o **backups** para respaldo en caso de cortes, debido a la gran cantidad de información transportada y a los problemas consecuentes que podría ocurrir si estos enlaces fallan (pérdida de servicio en una gran cantidad de usuarios).

La transmisión de datos en las redes de transporte suele utilizar tecnologías como SDH, WDM, Giga Ethernet y Conmutación Multi-Protocolo mediante Etiquetas - **Multiprotocol Label Switching** - MPLS. Cabe mencionar que el tipo de fibra a utilizar según cada tecnología de transporte, especialmente WDM, puede variar. Esto será analizado más adelante, pero en todos los casos se usa alguna variedad de fibra monomodo.

Se presenta a continuación esquemas de cómo suelen estar constituidas las redes de transmisiones.

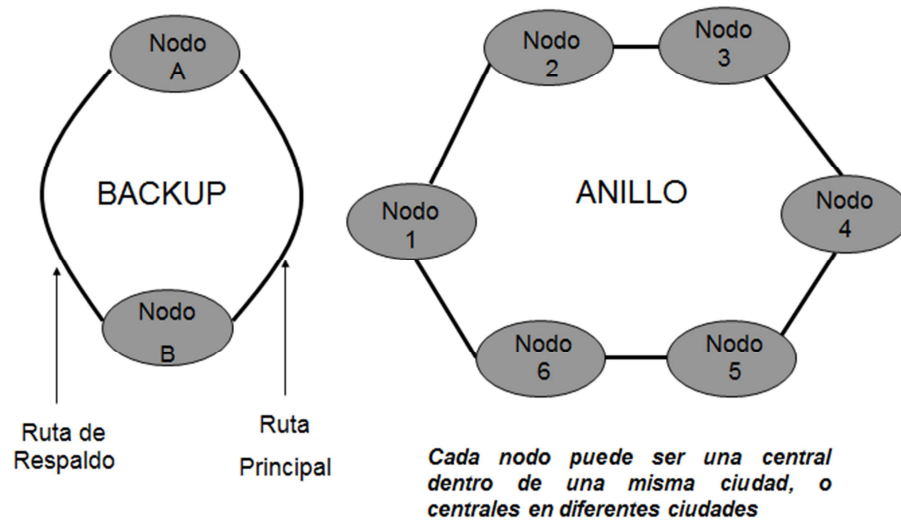


Figura 2.6: Esquema de red de transmisión básica y en anillo⁶

En el primer gráfico de este esquema se puede apreciar una conexión entre un Nodo A y un Nodo B, con una ruta principal y una ruta de respaldo, ambos punto a punto. Los enlaces punto a punto son entre el Nodo A y el Nodo B.

En el segundo gráfico de este esquema se puede apreciar una conexión en anillos entre 6 nodos, teniendo 6 enlaces punto a punto y contando con la consecuente redundancia. Los enlaces punto a punto son entre cada nodo.

⁶ Elaboración propia del autor

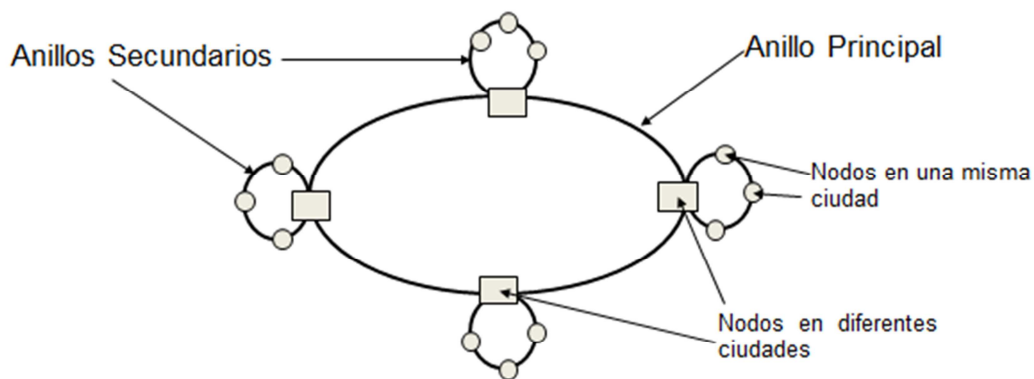


Figura 2.7: Esquema de red de transmisión formando anillos y subanillos⁷

En el gráfico de este esquema se puede apreciar un anillo principal que conecta nodos entre diferentes ciudades, además sub anillos urbanos que conectan centrales más pequeñas, y todos estos enlaces son punto a punto y también se tiene redundancia a todo nivel (tanto de anillo como de sub anillo). Los enlaces punto a punto son entre nodos principales, entre nodos principales y nodos secundarios y entre nodos secundarios.

⁷ Elaboración propia del autor

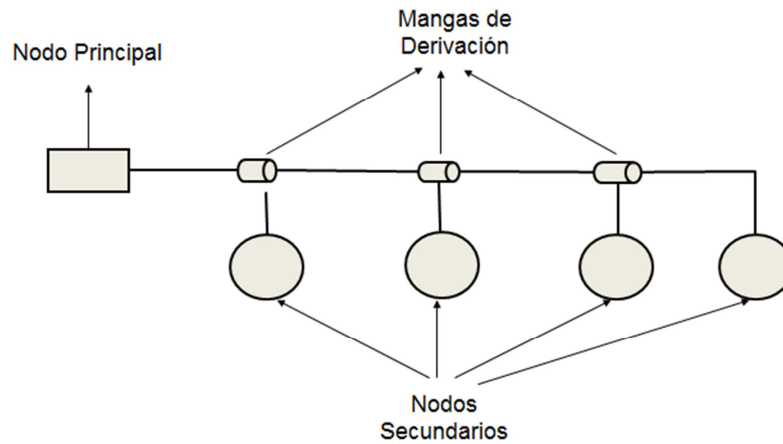


Figura 2.8: Esquema de red de transmisión con derivaciones⁸

En el gráfico de este esquema se puede apreciar una conexión desde un nodo principal hacia varios nodos secundarios. Se cuenta con mangas de derivación y no se tiene redundancia. Los enlaces punto a punto son entre el nodo principal a cada uno de los nodos secundarios.

2.1.1.2 Redes de acceso [22]

Las redes de acceso o también llamada redes de última milla son aquellas que típicamente cumplen al menos con una de las siguientes características: tráfico muy bajo de datos y/o distancias muy cortas. Se usan para comunicar la central y/o nodo con el cliente final y su instalación se da en zonas urbanas.

⁸ Elaboración propia del autor

La topología de las redes de acceso puede ser punto a punto (o punto a multipunto como se verá más adelante), con un número de derivaciones muy alto, ramificaciones muy complicadas y no es muy común que se formen anillos o **backup** para respaldo dado el alto número de clientes que se requiere atender, lo que incrementa desmesuradamente el costo del respaldo. El **backup** se construye únicamente en el caso de clientes corporativos con requerimientos de calidad de servicios y disponibilidad muy elevados y con la respectiva capacidad de pago.

La transmisión de datos en las redes de acceso suele utilizar tecnologías como Redes Pasivas Ópticas – **Passive Optical Network** - PON, Línea de Abonado Digital - **Digital Subscriber Line** - DSL, PDH o Fast Ethernet. En todos los casos se usa fibra o cobre como medio de transmisión.

Se presenta a continuación un esquema de cómo suelen estar constituidas las redes de acceso usando fibra óptica como medio de transmisión:

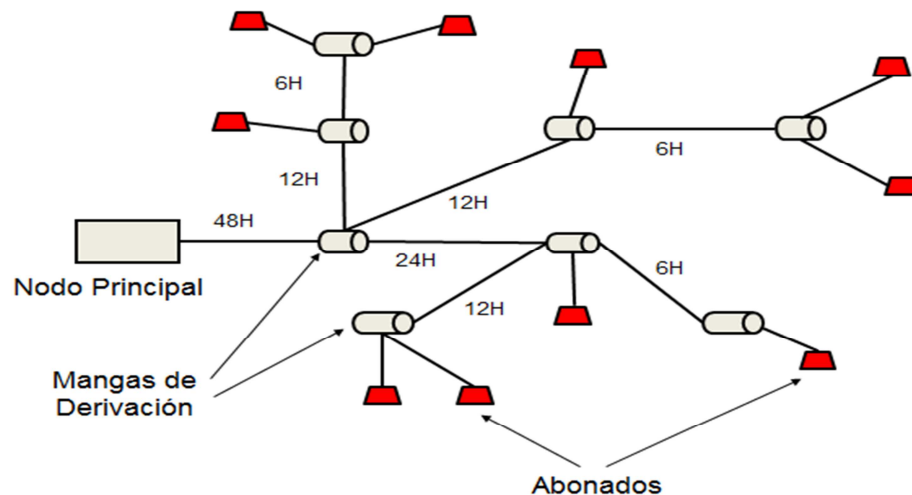


Figura 2.9: Esquema de red de acceso⁹

En el gráfico de este esquema se puede apreciar una conexión desde un nodo principal hacia 10 clientes, pasando por varias mangas de derivación hasta llegar a los abonados. Si asumimos 2 hilos para el enlace con cada cliente, se tiene una capacidad máxima de 24 enlaces (48 hilos desde Nodo Principal). A pesar de la complejidad de la red de acceso presentada, la cual aumentaría notablemente para un caso de 1000 usuarios por ejemplo, lo que se tiene en realidad son múltiples enlaces punto a punto desde cada abonado hasta la central y/o nodo principal. Cada enlace, con los 2 hilos que lo constituyen debe ser certificado. Esto ocurre ya que cada usuario cuenta con un equipo terminal (módem, conversor, etc.) el mismo que en el lado de la central se conecta a través de un par de hilos, para el ejemplo, ya

⁹ Elaboración propia del autor

sea con un conversor, con una tarjeta conversora en un chasis o con un módem (equipo activo y/o puerto de equipo activo).

2.1.1.3 Redes de backbone de cableado estructurado [13]

Las redes de **backbone** de cableado estructurado son aquellas que conectan un equipo principal o de **core** con equipos secundarios o de distribución, típicamente switches y por las cuales cursa todo el tráfico de voz y datos de la Red de Área Local – **Local Area Network - LAN**. Su instalación típica se da dentro de edificios y/o campus.

La topología de las redes de **backbone** de cableado estructurado es típicamente punto a punto, sin derivaciones y no es común que se formen anillos o **backup** para respaldo en caso de cortes, debido a la carencia de rutas alternativas en la ductería de los edificios.

La transmisión de datos en las redes de accesos suele utilizar tecnologías como Fast Ethernet, Giga Ethernet e inclusive 40Giga Ethernet. Cabe mencionar que el tipo de fibra a utilizar puede variar según la distancia del enlace y también según cada tecnología, especialmente para el caso de 40 Giga Ethernet, pudiendo requerirse fibra monomodo o fibra multimodo de alguna variedad. Esto será analizado más adelante.

Se presenta a continuación esquemas de cómo suelen estar constituidas las redes de **backbone** de cableado estructurado:

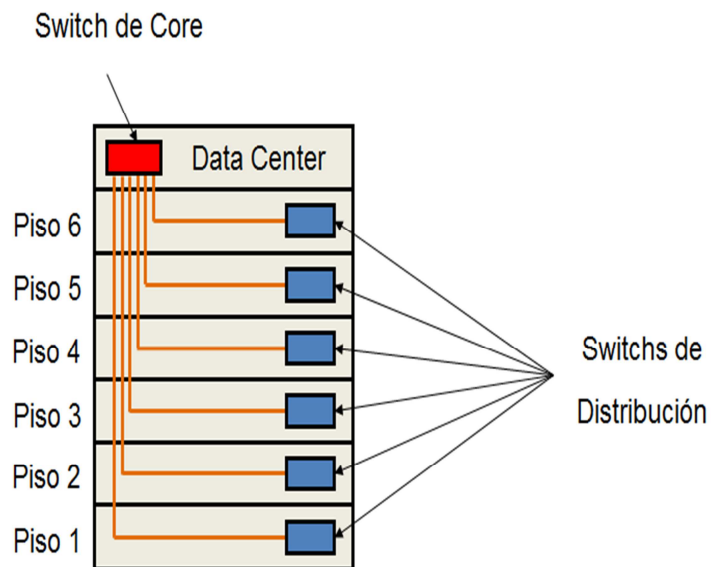


Figura 2.10: Esquema de red de backbone de cableado estructurado¹⁰

En el gráfico de este esquema se puede apreciar una conexión desde un switch de **core** hacia 6 switches de distribución ubicados en diferentes pisos, cada conexión punto a punto, ya que en todos los enlaces un puerto del switch de **core**, se asocia con un puerto del switch de distribución. Cada enlace deberá ser probado, y consecuentemente, todos los hilos que constituyan cada enlace.

¹⁰ Elaboración propia del autor

2.1.2 Enlaces punto a multipunto [15] [17]

Un enlace punto a multi punto es aquel en el cual un hilo en un extremo del enlace se conecta a más de un hilo otro lado del enlace.

Lo anteriormente expuesto implica que un equipo activo o un puerto de un equipo activo en un lado del enlace se asocia con más de un puerto o equipo activo en el otro lado del enlace.

El elemento que permite este tipo de topología en redes pasivas ópticas es el Divisor Pasivo Óptico – **Passive Optical Splitter** – POS, cuya función es permitir que un hilo se divida en varios hilos, actuando como un divisor de potencia y permitiendo así la comunicación punto a multipunto. Una descripción detallada de este elemento se abordará en la sección 2.3.

El uso de este elemento es complementario al uso de todos los elementos de red mencionados para la construcción de enlaces punto a punto y da origen a las redes PON.

Adicionalmente se debe indicar que más allá de la tecnología que se está usando en los enlaces punto a multi punto, cuando se habla de esta topología, la certificación debe ser realizada a cada enlace,

independientemente del número de hilos y/o canales que contenga la red pasiva óptica. Cabe mencionar que en los enlaces punto a multipunto, el número de hilos no coincide con el número de enlaces de una manera directa.

Cuando se trabaja con enlaces punto a multi punto, el número de enlaces viene dado por el número de equipos terminales en un extremo del enlace (en el lado del multi punto).

Esta topología en su expresión más simple, se puede apreciar en el siguiente diagrama:

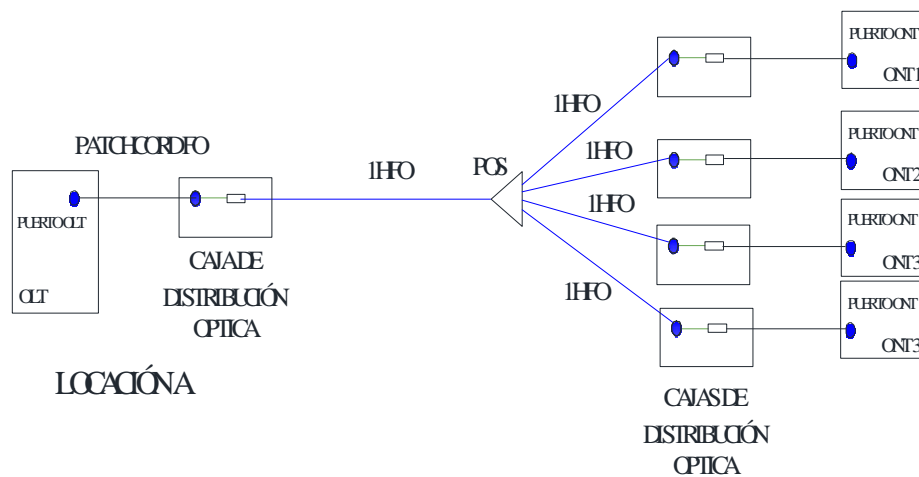


Figura 2.11: Esquema de topología punto a multipunto con un POS¹¹

¹¹ Elaboración propia del autor

Del diagrama presentado, se puede observar que en la Locación A existe un OLT con un puerto activo, el mismo que se enlaza de manera simultánea con 4 Terminales de Red Óptica – **Optical Network Terminal** - ONTs, cada uno con un puerto activo. Todos estos enlaces se realizan a través de un hilo de fibra óptica y con el uso de un POS de una entrada y cuatro salidas. Se tienen 4 enlaces y todos ellos deben ser certificados. Esto a pesar de que en la red existen 5 hilos.

Los POS pueden ser conectados en cascada, lo cual da como resultado topologías más complejas, sin embargo el análisis es el mismo que el realizado en el diagrama anterior.

Se presenta a continuación diagramas ilustrativos de lo expuesto:

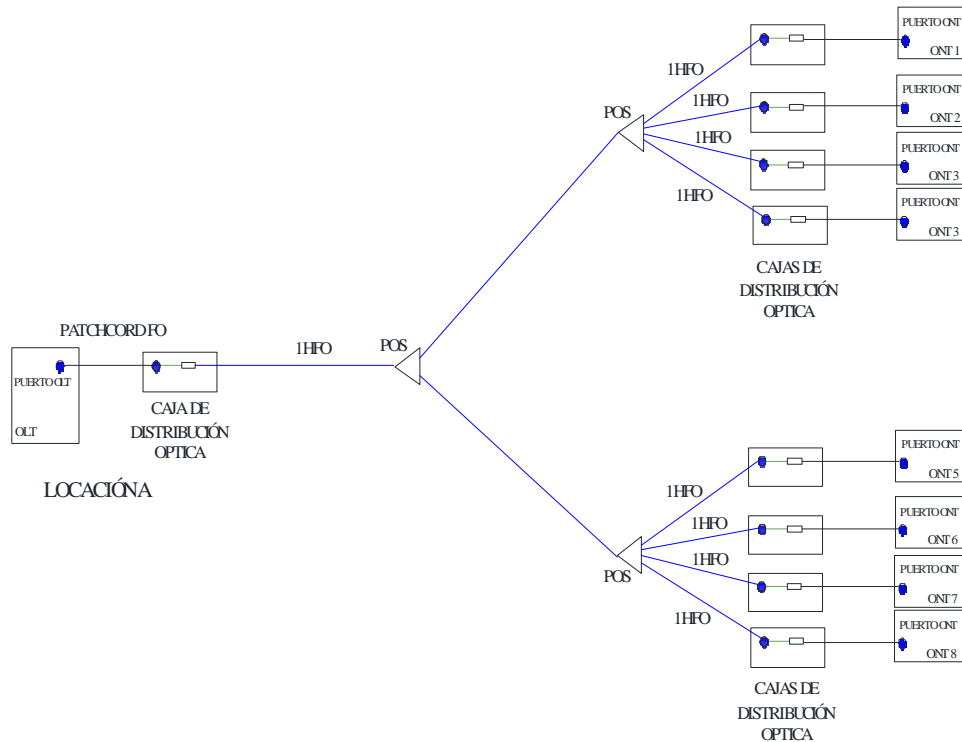


Figura 2.12: Esquema de topología punto a multipunto con varios POS¹²

Del diagrama presentado, se puede observar que en la Locación A existe un OLT con un puerto activo, el mismo que se enlaza de manera simultánea con 8 ONTs, cada uno con un puerto activo. Todos estos enlaces se realizan a través de un hilo de fibra óptica y con el uso de dos POS de una entrada y cuatro salidas y de un POS de una entrada y dos salidas. Se

¹² Elaboración propia del autor

tienen 8 enlaces y todos ellos deben ser certificados. Esto a pesar de que en la red existen 11 hilos.

La certificación de los enlaces puede ser de ONT a OLT, o separando cada enlace en varios enlaces punto a punto, es decir, entre POS y entre POS y equipos terminales (OLTs y ONTs) y considerando también la certificación individual de cada POS; tal como se explicará más adelante.

2.1.2.1 Redes PON – FTTx [15] [17]

Las redes Fibra Hasta - **Fiber To The x** – FTTx son un tipo de redes de accesos que se caracterizan por llegar con fibra hasta un punto específico de la red, en este caso X, que puede significar Hogar (Home), Gabinete (Gabinet), Edificio (Building) o Escritorio (Desk) dando así paso a las siglas FTTH, FTTG, FTTB o FTTD respectivamente.

Actualmente la tendencia es tratar de llegar con fibra hasta el usuario (FFTH), lo cual hace que este tipo de redes sean con fibra desde la central hasta el abonado y adicionalmente que sean completamente pasivas.

La implementación de redes FTTx va de la mano con las redes PON, las mismas que implican el uso de POS. Así, existe total correspondencia entre las redes PON, redes FTTx y los POS.

La topología de las redes FTTx es punto a multipunto (gracias al uso del POS, tal como se explicó anteriormente), y por ser una red de acceso, tiene un número muy alto de ramificaciones y derivaciones, las cuales se ven incluso incrementadas por el uso de POS.

El equipo ubicado en la central toma el nombre de Terminal de Línea Óptica - **Optical Line Terminal** – OLT, y el equipo en las premisas del cliente se denomina Terminal de Red Óptica - **Optical Network Terminal** – ONT. En caso de que la red FTTx no es pura de fibra y exista un equipo intermedio que convierta a la fibra cobre, el OLT se engancha con una Unidad de Red Óptica – **Optical Network Unit** – ONU. En todos los casos de este tipo de red se usa alguna variedad de fibra óptica monomodo.

Acorde a la tecnología usada en los extremos del enlace, las redes PON pueden ser GPON, GEAPON, APON, BPON, etc. De todas formas, la red pasiva PON, que es la parte inherente al presente trabajo, es común a todas las antes mencionadas.

Sin embargo, cabe mencionar que a nivel de Ecuador, las redes PON que más despliegue tienen son las redes GPON, cuyas características de capa física están definidas por el estándar UIT-G.984.2. **“Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos.”**

La principal ventaja de las redes FTTx es que gracias al uso de los POS, se puede atender hasta a 64 usuarios con cada hilo, y si se considera que un hilo se asocia con un OLT, quiere decir que con un puerto activo se pueden atender hasta a 64 usuarios. Esto reduce dramáticamente la cantidad de fibra a ser instalada en la planta externa así como la cantidad de equipamiento activo a nivel de central. Para atender a 3072 abonados, por ejemplo, se requiere apenas un cable troncal de 48 hilos y 48 puertos en una OLT, lo cual, dependiendo de marcas y modelos, puede ser albergado en un solo rack.

Cuando se trabaja con redes PON, dos parámetros críticos son la distancia y las pérdidas. Según la recomendación UIT G.984.2 para GPON, la distancia máxima entre la OLT y la ONT puede ser de 20km, y la pérdida máxima de potencia de oscila alrededor de los 28dB, dependiendo de los parámetros de la capa dependiente del medio físico de la Red de Distribución Óptica – **Optical Distribution Network** - ODN (clase). Estos

dos parámetros constituyen factores del presupuesto de potencia, el mismo que será analizado más adelante, sin embargo se ha considerado adecuado mencionarlo brevemente por su relación directa con las redes PON FTTx.

Se presenta a continuación esquemas de cómo suelen estar constituidas las redes FTTx - PON:

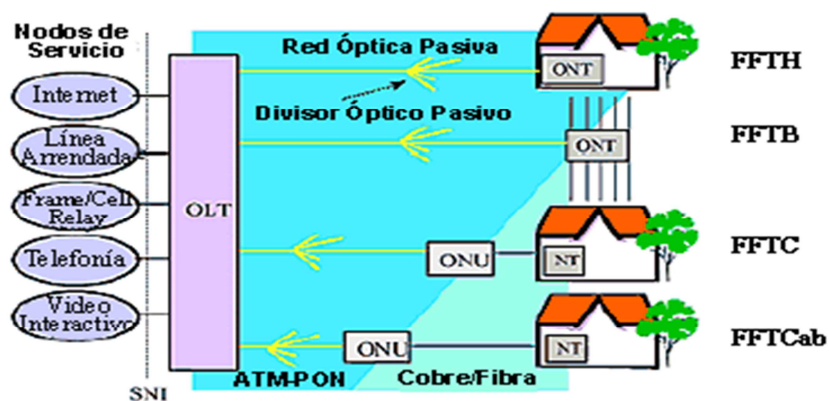


Figura 2.13: Esquema de redes FTTx-PON¹³

En el gráfico de este esquema se puede apreciar la diferencia entre los tipos de redes FTTx, acorde al punto de la red hasta el cual se llega con fibra.

¹³

<http://rasekhon.net/article/show/128916/%D8%B4%D8%A8%D9%83%D9%87%20FTTx%DA%86%DB%8C%D8%B3%D8%AA%D8%9F/>

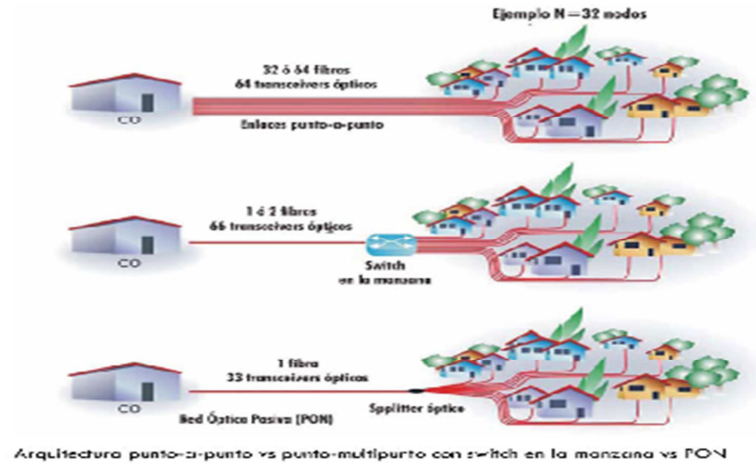


Figura 2.14: Comparación entre enlaces punto a punto y enlaces punto a multipunto con PON¹⁴

En el gráfico de este esquema se puede apreciar la optimización de recursos al usar redes PON vs el uso de enlaces punto a punto con fibra óptica.

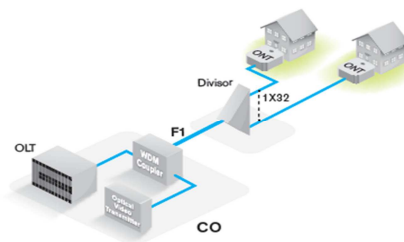


Figura 2.15: Esquema básico de una red FTTx-PON con un solo POS¹⁵

14

<http://rasekhoon.net/article/show/128916/%D8%B4%D8%A8%D9%83%D9%87%20FTTx%DA%86%DB%8C%D8%B3%D8%AA%D8%9F/>

En el gráfico de este esquema se puede apreciar una red PON típica con un sólo POS.

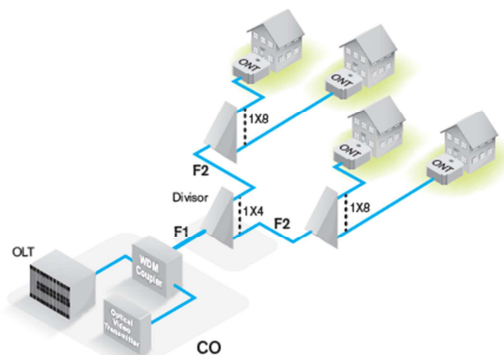


Figura 2.16: Esquema típico de una red FTTH-PON con varios POS¹⁶

En el gráfico de este esquema se puede apreciar una red PON típica con varios POS.

Cabe mencionar que para proceder con la certificación de las redes de transmisiones, de acceso, de cableado estructurado, redes PON, redes punto a punto o punto a multipunto, así como de cualquier red óptica pasiva en general, se debe contar no sólo con el esquema de la misma, sino también con el respectivo diagrama de hilos.

¹⁵ EXFO. (2011). La Guía FTTH PON Realización de pruebas de redes ópticas pasivas , 5ta edición, página 11

¹⁶ EXFO. (2011). La Guía FTTH PON Realización de pruebas de redes ópticas pasivas , 5ta edición, página 11

Finalmente se debe indicar que todos los diagramas y esquemas hasta aquí presentados son típicos, pero pueden existir variaciones según cada diseño particular, pero lo importante es resaltar que en todos los casos expuestos, las topologías son punto a punto debido a la asociación de un par de puertos activos en los extremos de los enlaces y punto a multi punto debido a la asociación de un puerto activo en un lado del enlace con más de un puerto activo en el otro lado del enlace. Fuera de esta consideración, la distribución de hilos, la cantidad de enlaces, el número de ramificaciones, etc., puede variar en un sinnúmero de alternativas.

2.2 Tipos de fibra óptica y características [13]

Existen básicamente 2 tipos de fibra óptica para transmisión de datos, la fibra Monomodo – **Single Mode** - SM y la fibra Multimodo – **Multi Mode** - MM. Las diferencias entre una y otra radican en el diámetro de su núcleo, la forma en la cual transmiten la luz por su núcleo y el tipo de luz que transmiten. De lo mencionado, se derivan diferencias de desempeño tales como longitud de onda de operación, atenuación y dispersión (modal y cromática), lo cual implica finalmente diferentes campos de aplicación.

Cabe mencionar que existen varios tipos de fibra tanto monomodo como multimodo, diseñadas para aplicaciones específicas y con diferencias de

desempeño. A continuación se describen los tipos de fibra monomodo y multimodo más usadas en la construcción de redes, así como sus características y campos de aplicación.

2.2.1 Monomodo [13] [21]

La fibra óptica monomodo es aquella que tiene, a grosso modo, un núcleo (**core**) típicamente de 9 μ m de diámetro y un revestimiento (**cladding**) de 125 μ m. Cada haz de luz transmitido por el núcleo sigue un único camino (modo), de donde proviene su denominación.

Las longitudes de operación básicas de la fibra óptica monomodo son 1310nm y 1550nm, transmiten luz generada por un láser - **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation** - LASER y se usan en redes LAN y WAN, permitiendo obtener enlaces de gran longitud, pero siendo también aplicables en enlaces de corta distancia.

La atenuación típica a 1310 nm es de 0.4dB/km y 0.3dB/km a 1550nm, sin embargo estos valores pueden variar en base a cada fabricante y a cada subtipo de fibra monomodo, y es recomendable siempre referirse a los valores establecidos en la normativa respectiva, tal como se verá a continuación.

Un aspecto importante a aclarar para fines de certificación con respecto al diámetro del núcleo, es que las normativas que definen los diferentes tipos de fibra óptica monomodo se refieren, al hablar de éste, al diámetro del campo modal, el mismo que difiere del diámetro físico del núcleo de la fibra, y que a su vez es función de la longitud de onda. Esto también ocurre con las especificaciones de los fabricantes.

El diámetro del campo modal es el área del hilo de fibra que efectivamente transmite luz y es mayor al diámetro físico del núcleo. Esto se debe a que la luz en una fibra monomodo se transmite por el **core** y por una parte del **cladding** cercana al **core**. Este fenómeno se puede entender mejor con la siguiente figura:

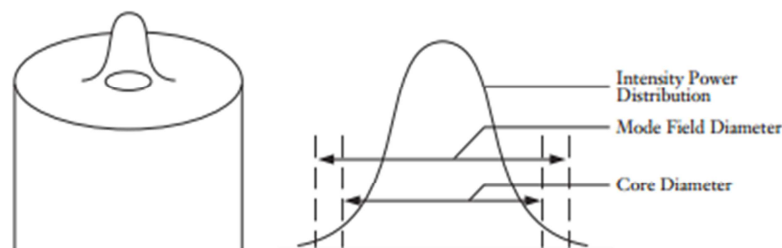


Figura 2.17: Relación entre el campo modal y el diámetro del core de un hilo de fibra óptica¹⁷

¹⁷ CORNING. (2001). Mode-Field Diameter Measurement Method, página 1

Se debe entender que aunque el diámetro del campo modal varía con la longitud de onda, tal como se verá en los valores de las normativas para fibra óptica monomodo, el diámetro físico del **core** permanece inalterable. Este aspecto debe ser tomado en cuenta cuando se realizan empalmes de fibra óptica, y la compatibilidad para esta operación debe ser a nivel de campo modal y no necesariamente de diámetro físico del núcleo.

No está por demás mencionar que para realizar empalmes (mecánicos o de fusión), las 2 fibra sometidas a esta operación deben tener diámetros de campos modales dentro de los rangos establecidos en las respectivas normas, y que, a menos que las normas lo indiquen explícitamente, 2 tipos diferentes de fibra monomodo no pueden empalmarse dado que esto presentará problemas en la certificación, tal como se explicará más adelante.

Varios fabricantes, en sus hojas técnicas, especifican ambos valores, pero se reitera que el valor que se debe considerar para verificar compatibilidades, es el del diámetro del campo modal, y no el del diámetro físico del núcleo.

Como ejemplo se presenta a continuación los diámetros de campo modal y diámetro físico del núcleo de la fibra óptica monomodo, marca Corning, modelo “**Corning SMF-28e+**”.

Optical Specifications

Maximum Attenuation		Cable Cutoff Wavelength (λ_{cc})						
Wavelength (nm)	Maximum Value* (dB/km)	$\lambda_{cc} \leq 1260$ nm						
1310	0.33 – 0.35	Mode-Field Diameter <table border="1"> <thead> <tr> <th>Wavelength (nm)</th> <th>MFD (μm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1310</td> <td>9.2 \pm 0.4</td> </tr> <tr> <td>1550</td> <td>10.4 \pm 0.5</td> </tr> </tbody> </table>	Wavelength (nm)	MFD (μ m)	1310	9.2 \pm 0.4	1550	10.4 \pm 0.5
Wavelength (nm)	MFD (μ m)							
1310	9.2 \pm 0.4							
1550	10.4 \pm 0.5							
1383 \pm 3**	0.31 – 0.35							
1490	0.21 – 0.24							
1550	0.19 – 0.20							
1625	0.20 – 0.23							

*Maximum specified attenuation value available within the stated ranges.
 **Attenuation post-hydrogen aging according to IEC 60793-2-50 Section C.5 for B.1.3 fibers.
 Alternate attenuation offerings available upon request.

Dispersion	
Wavelength (nm)	Dispersion Value [ps/(nm·km)]
1550	≤ 18.0

Attenuation vs. Wavelength

Length

Fiber lengths available up to 63.0 km/spool.

Performance Characterizations

Characterized parameters are typical values.

Core Diameter	8.2 μ m
Numerical Aperture	0.14 NA is measured at the one percent power level of a one-dimensional far-field scan at 1310 nm.
Zero Dispersion Wavelength (λ_0)	1317 nm
Zero Dispersion Slope (S_0)	0.088 ps/(nm ² ·km)

Tabla 2.1: Ejemplo de diámetro de campo modal y de diámetro del core de un hilo de fibra óptica marca Corning según su datasheet¹⁸

¹⁸ CORNING. (2011). Corning SMF-28e+ Optical Fiber Product information, página 2

2.2.1.1 Monomodo G.652 [2]

La norma UIT G.652 “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.” (UIT-T. Recomendación UIT-T G.652: Características de las fibras y cables ópticos Monomodo, 2005, p. 3)

Existen 4 tipos de hilo de fibra óptica definida en esta normativa, que son la G.652A, G.652B, G.652C y G.652D. En la actualidad, los fabricantes, salvo casos muy particulares, únicamente elaboran fibra G.652D, por lo que los tipos A, B y C se mencionan únicamente como referencia. Sin embargo, todas las características de las mismas pueden ser halladas en el estándar en mención.

La fibra G.652D cumple con todas las características de las anteriores (A, B y C) y las mejora, especificando como característica más importante la eliminación de atenuación excesiva en la región de los 1383nm ocasionada por el envejecimiento del ion hidroxilo e indicando que el nivel de atenuación debe ser uniforme en el intervalo de 1310nm a 1625nm. Al

fenómeno de atenuación excesiva en la región de los 138nm se la conoce comúnmente como pico de agua. Así, a la fibra G.652D es común denominarla fibra cero pico de agua o “**zero water peak**”

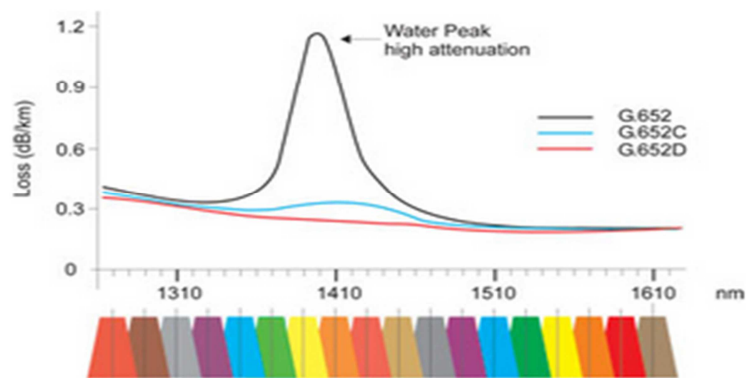


Figura 2.18: Curvas de atenuación de fibras G.652¹⁹

En el gráfico presentado se puede apreciar la mejora en el desempeño respecto a la atenuación de la fibra G.652D.

En la recomendación UIT G.652 se resumen todas las características del hilo de fibra que se ajusta a esta normativa, y las mismas son presentadas en la siguiente tabla:

¹⁹ http://www.3c-link.com/pro_details.asp?id=570&classid=191

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 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
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
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0,092 ps/nm ² × 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 ± 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q en la fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD_Q del cable.

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.

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.

Tabla 2.2: Características de hilo de fibra SM G.652D²⁰

²⁰ UIT-T. (2005). Recomendación UIT-T G.652: Características de las fibras y cables ópticos Monomodo, página 10

De los valores presentados, es menester indicar que los que más inciden en la certificación de redes pasivas de fibra óptica, acorde al alcance del presente trabajo y que deben ser considerados, son:

- Longitud de onda de trabajo de 1310nm, ya que nos indica en qué ventana debe ser certificado el hilo de fibra instalado.
- Diámetro del campo modal de 8.6nm a 9.5nm, ya que permite verificar la compatibilidad de núcleos al realizar empalmes.
- Coeficiente de atenuación de 0.4dB / km para 1310nm (cantidad de potencia que se pierde por cada km de hilo de fibra instalado), ya que se relaciona directamente con la pérdida por longitud en un enlace.
- Coeficiente de atenuación de 0.3dB / km para 1550nm (cantidad de potencia que se pierde por cada km de hilo de fibra instalado), ya que se relaciona directamente con la pérdida por longitud en un enlace.

Cabe aclarar que tal como se indicó anteriormente, la fibra G.652D está optimizada para trabajar a 1310nm, pero también puede ser utilizada para 1550nm, por lo que la fibra G.652D también debe ser certificada en esta ventana.

Otro punto importante que se destaca de la normativa en cuestión es la ecuación indicada para calcular la pérdida teórica de un enlace óptico en el cual no existe POS: (UIT-T. Recomendación UIT-T G.652: Características de las fibras y cables ópticos Monomodo, 2005):

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

Ecuación 2.1: Ecuación de cálculo de pérdida teórica según recomendación UIT G.652²¹

donde:

- α coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- α_s atenuación media por empalme
- x número de empalmes de un enlace
- α_c atenuación media de los conectores de línea
- y número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)
- L longitud del enlace

Esta ecuación será analizada en detalle más adelante en el punto correspondiente al cálculo del presupuesto de potencia.

Solo resta indicar que la ecuación presentada no incluye los conectores de los equipos.

²¹ UIT-T. (2005). Recomendación UIT-T G.652: Características de las fibras y cables ópticos Monomodo, página 11

Para que un hilo de fibra sea G.652D, debe al menos cumplir y/o mejorar con todas las características indicadas en el tabla anterior y esta información debe aparecer de manera explícita en la hoja técnica del hilo de fibra óptica de todo fabricante.

Este tipo de fibra soporta aplicaciones CWDM, pero su uso más común es en enlaces punto a punto en redes de acceso.

2.2.1.2 Monomodo G.653 [3] [25] [26] [27]

La norma UIT G.653 “describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión cero desplazada en la región de longitud de onda de 1550 nm.” (UIT-T. Recomendación UIT-T G.653: Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada, 2006, p.3)

Esta fibra fue diseñada para permitir enlaces de mayor alcance que la fibra G.652 y se la optimizó para trabajar a 1550nm, a diferencia de la fibra G.652 que fue optimizada a 1310nm. Como parte de esta optimización, y tal como ya se mencionó, se desplaza la dispersión nula a la ventana de 1550nm, lo cual implicó la aparición de efectos no lineales tales como la

Mezcla de Cuarta Onda - **Fourth Wavelength Mixing** - FWM cuando se utilizan sistemas DWDM.

El FWM ocurre debido a una mezcla de las señales portadoras en sistemas WDM, producto de lo cual aparecen nuevas componentes de frecuencia, las mismas que producen interferencia con las señales que llevan datos.

Para que FWM se produzca, es necesario que se cumpla la condición de coincidencia de fase y presenta una total dependencia de la potencia de la señal, del espaciamiento entre canales y de la dispersión total del medio, y se hace más fuerte cuando la dispersión del medio es nula y cuando el área del núcleo de la fibra es más pequeño.

Las nuevas componentes que se generan crecen de manera casi exponencial respecto al número de portadoras en el sistema WDM

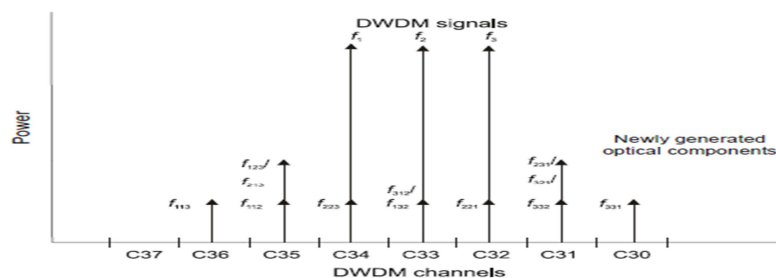


Figura 2.19: Aparición de nuevas componentes por FWM²²

²² López, J., Toledo, A., Ordóñez, H. y Agredo, J. (2011). Efectos no lineales y su relación con los parámetros de transmisión de una red WDM, Colombia, página 28

Número de señales	Número total posible de las componentes generadas por FWM
2	2
3	9
8	224
16	1920

Tabla 2.3: Aparición de nuevas componentes según número de portadoras WDM²³

Este inconveniente ha dado como resultado que este tipo de fibra caiga en desuso y prácticamente ningún fabricante la elabora en la actualidad, por lo que se lo menciona únicamente como referencia.

2.2.1.3 Monomodo G.655 [4]

La norma UIT G.655 describe “las características geométricas, mecánicas y de transmisión de una fibra óptica monomodo cuyo coeficiente de dispersión cromática es, en valor absoluto, mayor que cero en la gama de longitudes de onda 1530 nm a 1565 nm. Esta dispersión reduce la aparición de efectos no lineales que puede ser especialmente perjudiciales para los sistemas que utilizan multiplexación por división en longitud de onda densa” (UIT-T. Recomendación UIT-T G.655: Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula, 2006, p.3).

²³ López, J., Toledo, A., Ordóñez, H. y Agredo, J. (2011). Efectos no lineales y su relación con los parámetros de transmisión de una red WDM, Colombia, página 28

Existen 5 tipos de hilo de fibra óptica definida en esta normativa, que son la G.655A, G.655B, G.655C, G.655D y G.655E. En la actualidad, los fabricantes, salvo casos muy particulares, únicamente elaboran fibra G.652C, por lo que los demás tipos A, B, D y E se mencionan únicamente como referencia. Sin embargo, todas las características de las mismas pueden ser halladas en el estándar en mención.

La principal característica de este tipo de fibra es la de tener un valor de dispersión cromático muy pequeño y diferente de cero en la región de los 1550 [nm] (positivo o negativo), y una dispersión cromática de valor nulo (cero) para longitudes de onda por arriba y por debajo de 1550 [nm], lo cual reduce los efectos no lineales en aplicaciones DWDM, tal como lo indica la norma.

En la recomendación UIT G.655 se resumen todas las características del hilo de fibra que se ajusta a esta normativa, y las mismas son presentadas en la siguiente tabla:

Cuadro 3/G.655 – G.655.C Atributos

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 μm
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1530-1565 nm	λ_{min} y λ_{max}	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de D_{min}	1,0 ps/nm·km
	Valor máximo de D_{max}	10,0 ps/nm·km
	Signo	Positivo o negativo
	$D_{\text{max}} - D_{\text{min}}$	$\leq 5,0$ ps/nm·km
Coeficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1565-1625 nm	λ_{min} y λ_{max}	Debe determinarse
	Valor mínimo de D_{min}	Debe determinarse
	Valor máximo de D_{max}	Debe determinarse
	Signo	Positivo o negativo
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Véase la nota 1)

Atributos de cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	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 _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – Con arreglo a 6.2, se especifica un valor máximo de PMD_Q para fibra no cableada con objeto de soportar los requisitos primarios de PMD_Q del cable.</p> <p>NOTA 2 – El fabricante y el usuario podrán acordar valores de PMD_Q superiores (por ejemplo $\leq 0,5$ ps/$\sqrt{\text{km}}$) para aplicaciones específicas.</p>		

Tabla 2.4: Características de hilo de fibra SM G.655C²⁴

²⁴ UIT-T. (2006). Recomendación UIT-T G.655: Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula, página 9

De los valores presentados, los que más inciden en la certificación de redes pasiva de fibra óptica, acorde al alcance del presente trabajo y que deben ser considerados, son:

- Longitud de onda de trabajo de 1550nm, ya que nos indica en qué ventana debe ser certificado el hilo de fibra instalado.
- Diámetro del campo modal de 8nm a 11nm, ya que permite verificar la compatibilidad de núcleos al realizar empalmes.
- Coeficiente de atenuación de 0.35dB / km para 1550nm (cantidad de potencia que se pierde por cada km de hilo de fibra instalado), ya que se relaciona directamente con la pérdida por longitud en un enlace.

Cabe aclarar que tal como se indicó anteriormente, la fibra G.655 y permite inclusive trabajar en longitudes de onda de hasta 1625nm, pero también puede ser utilizada para 1310nm. Este tipo de fibra debe ser certificado a 1310nm y a 1550nm. El valor de atenuación a 1310nm debe ser tomado de las hojas técnicas del fabricante, ya que la norma no lo menciona.

Otro punto importante que se destaca de la normativa en cuestión es la misma ecuación 2.1 indicada en la norma UTI G.652 para calcular la pérdida teórica de un enlace óptico en el cual no existen POS (UIT-T.

Recomendación UIT-T G.655: Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula).

Esta ecuación será analizada en detalle más adelante en el punto correspondiente al cálculo del presupuesto de potencia. Solo resta indicar que la ecuación presentada no incluye los conectores de los equipos.

Para que un hilo de fibra sea G.655C, debe al menos cumplir y/o mejorar con todas las características indicadas en la tabla anterior y esta información debe aparecer de manera explícita en la hoja técnica del hilo de fibra óptica de todo fabricante.

Este tipo de fibra soporta aplicaciones DWDM, por lo que su principal aplicación es en redes troncales de transmisión con enlaces punta a punta.

2.2.1.4 Monomodo G.657 [5]

La norma UIT G.657 en su resumen indica “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.” (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, 2006, p.3).

Tal como se indica, existen 2 tipos de hilo de fibra óptica definida en esta normativa, que son la G.657A y G.657B. En la actualidad, ambos tipos de fibra son fabricados y sus características pueden ser halladas en el estándar en mención.

La principal mejora de la fibra G.657 radica en una mayor flexibilidad del hilo, es decir soporta radios de curvatura más pequeños sin incrementar la atenuación por dicha manipulación, lo cual es ideal para tendidos en interiores, práctica muy común al instalar redes FTTx.

En la recomendación UIT G.657 se resumen todas las características del hilo de fibra que se ajusta a esta normativa, y las mismas son presentadas en las siguientes tablas:

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 μm	
	Tolerancia	$\pm 0,4 \mu\text{m}$	
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm	
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$	
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,5 μm	
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	λ_{0min}	1300 nm	
	λ_{0max}	1324 nm	
	S_{0max}	0,092 ps/nm ² × km	
Atributos del cable			
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 3)	0,4 dB/km	
	Máximo a 1383 nm ± 3 nm	(Nota 4)	
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km	
Coeficiente de PMD	M	20 cables	
	Q	0,01%	
	Máximo PMD _Q	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>

Tabla 2.5: Características de hilo de fibra SM G.657A²⁵

²⁵ UIT-T. (2006). Recomendación UIT-T G.657: Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso, página 7

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 μm		
	Tolerancia	$\pm 0,4 \mu\text{m}$		
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm		
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$		
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,5 μm		
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		

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.

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 $\lambda_{0\text{min}} = 1300 \text{ nm}$ y $\lambda_{0\text{max}} = 1420 \text{ nm}$ respectivamente, y que la pendiente de dispersión máxima $S_{0\text{max}} = 0,10 \text{ ps/nm}^2\cdot\text{km}$.

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.

Tabla 2.6: Características de hilo de fibra SM G.657B²⁶

²⁶ UIT-T. (2006). Recomendación UIT-T G.657: Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso, página 8

De los valores presentados, los que más inciden en la certificación de redes pasivas de fibra óptica acorde al alcance del presente trabajo y que deben ser considerados son:

- Longitud de onda de trabajo de 1310nm, ya que nos indica en qué ventana debe ser certificado el hilo de fibra instalado.
- Diámetro del campo modal de la fibra G.675A de 8.6 μ m a 9.5 μ m. Esto implica que esta fibra es compatible con la fibra G.652 y por ende se la puede empalmar.
- Diámetro del campo modal de la fibra G.675B de 6.3 μ m a 9.5 μ m. Esto implica que esta fibra no siempre es compatible con la fibra G.652 y por ende no se la puede empalmar. En caso de requerir empalmarla con fibra G.652, se debe solicitar al fabricante que la fibra guarde esta compatibilidad para que la fibra sea elaborada con un campo modal dentro del rango del campo modal de la fibra G.652.
- Coeficiente de atenuación de 0.4dB / km para 1310nm para fibra G.657A (cantidad de potencia que se pierde por cada km de hilo de fibra instalado), ya que se relaciona directamente con la pérdida por longitud en un enlace.
- Coeficiente de atenuación de 0.5dB / km para 1310nm para fibra G.657A (cantidad de potencia que se pierde por cada km de hilo de

fibra instalado), ya que se relaciona directamente con la pérdida por longitud en un enlace.

- Coeficiente de atenuación de 0.3dB / km para 1550nm tanto para fibra G-657A y G.657B (cantidad de potencia que se pierde por cada km de hilo de fibra instalado), ya que se relaciona directamente con la pérdida por longitud en un enlace.
- La fibra G.657A presenta mayor atenuación a las curvaturas que la G.657B, pero una menor atenuación en la longitud de onda de 1310nm. Este aspecto debe ser considerado y ponderado al momento de diseñar redes.

Cabe aclarar que tal como se indicó anteriormente, la fibra G.657 está optimizada para trabajar a 1310nm, pero también puede ser utilizada para 1550nm, por lo que la fibra G.657 también debe ser certificada en esta ventana e inclusive en otras ventanas, tal como se indicará posteriormente.

Para que un hilo de fibra sea G.657, debe al menos cumplir y/o mejorar con todas las características indicadas en la tabla anterior y esta información debe aparecer de manera explícita en la hoja técnica del hilo de fibra óptica de todo fabricante.

Este tipo de fibra tiene pos principal aplicación las redes de acceso con enlaces punto a multipunto (PON-FTTx)

Consideraciones

Casos similares al indicado para la fibra G.653 han ocurrido con las fibras G.654 y G.656, y dado que estas fibras no se comercializan con frecuencia para fines de aplicación, no se las analiza en el presente trabajo.

En resumen, se puede indicar lo siguiente respecto a los tipos de fibra monomodo y sus compatibilidades:

1. Fibra G.652D usada en redes de acceso punto a punto.
2. Fibra G.655C usada en redes de transmisiones con tecnologías DWDM
3. Fibra G.657 usada en redes de acceso punto a multipunto PON-FTTx
4. Fibra G.655 no es compatible con fibra G.652 ni G.657
5. Fibra G.652 siempre compatible con fibra G.657A y con fibra G.657B si se lo solicita al fabricante.
6. La compatibilidad entre fibra G.652 y G.657 obedece a que ambas se usan en redes de acceso, y la primera fue la G.652, por lo que si se introduce una nueva fibra para accesos, es un requisito muy importante

que existan altos grados de compatibilidad dado que ambas fibras van a coexistir en las mismas redes.

7. Fibra G.653, G.654 y G.656 no se usan comúnmente en el mercado actual.
8. Si se integran dos tipos de fibra no compatibles, debe existir entre ellas un equipo activo, tal como el cambio de una red de transmisiones a una red de accesos en el límite entre ambas.
9. Aun cuando una red de fibra monomodo pase la certificación, si no se la ha seleccionado correctamente, el enlace no levantará. Por ejemplo, si se instala fibra monomodo G.652D para un enlace DWDM. (para esta aplicación la fibra recomendada es G.655C).

2.2.2 Multimodo [6] [13]

La fibra óptica multimodo es aquella que tiene, a grosso modo, un núcleo (**core**) típicamente de 50 μ m o 62.5 μ m de diámetro y un revestimiento (**cladding**) de 125 μ m. Cada haz de luz transmitido por el núcleo sigue un camino diferente (modo), de donde proviene su denominación.

Las longitudes de operación básicas de la fibra óptica multimodo son 850nm y 1300nm, transmiten luz generada por un Diodo Emisor de Luz – **Light Emitting Diode** - LED y se usan en redes LAN. Las longitudes de los

enlaces son cortas y permiten alcanzar máximo una distancia de 2km, dependiendo de la velocidad y ventana, tal como se verá más adelante.

La atenuación típica a 850 nm es de 4dB/km y 2dB/km a 1300nm, sin embargo estos valores pueden variar en base a cada fabricante y a cada subtipo de fibra multimodo, y es recomendable siempre referirse a los valores establecidos en la normativa respectiva, tal como se verá a continuación.

2.2.2.1 Multimodo G.651 [6]

La norma UIT G.651 “cubre las propiedades geométricas y de transmisión de una fibra multimodo con diámetro nominal del núcleo de 50 μ m y un diámetro nominal del recubrimiento de 125 μ m”, “...con índice gradual, que puede ser utilizado en la región de 850 nm o en la región de 1300 nm o, alternativamente, puede ser utilizado en ambas regiones de longitud de onda simultáneamente” (UIT-T. Recomendación UIT-T G.651: Characteristics of a 50/125 mm multimode graded index optical fibre cable, 1998, p.3 y p.9).

En la recomendación UIT G.651 se resumen todas las características del hilo de fibra que se ajusta a esta normativa.

De los valores que se indican en la norma, cabe recalcar que los que más inciden en la certificación de redes pasiva de fibra óptica acorde al alcance del presente trabajo y que deben ser considerados son:

- Longitud de onda de trabajo de 850nm y 1300nm, ya que nos indica en qué ventana debe ser certificado el hilo de fibra instalado.
- Diámetro del campo modal de 50 μm , ya que permite verificar la compatibilidad de núcleos al realizar empalmes.
- Coeficiente de atenuación de 4dB / km para 850nm (cantidad de potencia que se pierde por cada km de hilo de fibra instalado), ya que se relaciona directamente con la pérdida por longitud en un enlace.
- Coeficiente de atenuación de 2dB / km para 1300nm (cantidad de potencia que se pierde por cada km de hilo de fibra instalado), ya que se relaciona directamente con la pérdida por longitud en un enlace.

Otro punto importante que se destaca de la normativa en cuestión es la misma ecuación indicada en la norma UTI G.652 para calcular la pérdida teórica de un enlace óptico en el cual no existe POS, según la cual la atenuación A de una sección elemental de cable viene dada por (UIT-T.

Recommendation UIT-T G.651: Characteristics of a 50/125 mm multimode graded index optical fiber cable):

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y$$

Ecuación 2.2: Ecuación de cálculo de pérdida teórica según recomendación UIT G.651²⁷

Dónde:

α_n es el coeficiente de atenuación de la fibra enésima de la sección elemental de cable

L_n es la longitud de la fibra enésima

m es el número total de fibras concatenadas en una sección elemental de cable.

a_s es la pérdida en los empalmes

x es el número de empalme de una sección elemental de cable

a_c es la pérdida en los conectores

y es el número de conectores en una sección elemental de cable (si es que existen).

²⁷ UIT-T. (1998). Recommendation UIT-T G.651: Characteristics of a 50/125 mm multimode graded index optical fibre cable, página 6

Esta ecuación será analizada en detalle más adelante en el punto correspondiente al cálculo del presupuesto de potencia. Solo resta indicar que la ecuación presentada no incluye los conectores de los equipos.

Para que un hilo de fibra sea G.651, debe al menos cumplir y/o mejorar con todas las características indicadas en la tabla anterior y esta información debe aparecer de manera explícita en la hoja técnica del hilo de fibra óptica de todo fabricante.

Este tipo de fibra soporta aplicaciones de enlaces punto a punto en redes de **backbone** de cableado estructurado.

2.2.2.2 Multimodo OM1, OM2, OM3 y OM4 [13]

Las fibras multimodo OM1, OM2, OM3 y OM4 son definidas por la TIA (492 y 568) y por la ISO/IEC (11801), con normativas equivalentes.

Cabe mencionar que los institutos de normalización mencionados denominan OM a las fibras multimodo y OS a las fibra monomodo. Por lo tanto, se definen 4 tipos de fibra multimodo OM1, OM2, OM3 y OM4.

Diámetro del Núcleo	TIA-492 / 568	ISO/IEC	Tipo de Fibra OM
62.5 μm	492AAAA-A	11801	OM1
50 μm	492AAAB-A	11801	OM2
50 μm	492AAAC-B	11801	OM3
50 μm	492AAAAD	11801	OM4

Tabla 2.7: Tipos de fibra Multi Modo²⁸

Los aspectos más importantes que se definen en estas normativas son:

1. Diámetro de núcleo
2. Atenuación según longitud de onda (< 1.5 [dB/km] para 1300nm y <3.5 [dB/km] para 850nm)
3. Alcance máximo del enlace acorde a velocidad de transmisión

Los parámetros mencionados se pueden resumir en la siguiente tabla:

²⁸ <http://ecmweb.com/content/understanding-and-specifying-optical-fiber-cables>

Estándares de TX	100 Mb Ethernet	1 Gb Ethernet	10 Gb Ethernet	40 Gb Ethernet	100 Gb Ethernet
OM1 (62.5/125)	Hasta 550 metros	220 metros	33 metros	No soportado	No soportado
OM2 (50/125)	Hasta 550 metros	550 metros	82 metros	No soportado	No soportado
OM3 (50/125)	Hasta 550 metros	550 metros	300 metros	100 metros	100 metros
OM4 (50/125)	Hasta 550 metros	1000 metros	Mayor a 400 metros	150 metros	150 metros

Tabla 2.8: Características de tipos de fibra Multi Modo²⁹

Consideraciones

En resumen, se puede indicar lo siguiente respecto a los tipos de fibra multimodo y sus compatibilidades:

²⁹ <http://www.c3comunicaciones.es/prestaciones-de-la-fibra-optica/>

1. Si se empalman fibra de 50 μ m con fibra de 62.5 μ m de diámetro de núcleo, se tendrán pérdidas excesivas, por lo cual esta práctica no es recomendada.
2. Aun cuando las fibras OM2, OM3 y OM4 tienen el mismo diámetro de núcleo, no se las puede mezclar en enlaces, ya que aunque pasen la certificación, el desempeño de la red se verá limitado por la fibra de menor capacidad.
3. Aun cuando una red de fibra multimodo pase la certificación, si no se la ha seleccionado correctamente, el enlace no levantará. Por ejemplo, si se instala fibra multimodo OM2, en un enlace de 200m, y se conectan equipos a 10 Gbps. (para esta aplicación la fibra recomendada es OM3)

2.3 Elementos pasivos de una red de fibra óptica [13] [19] [22]

Los elementos pasivos de una red de fibra óptica son todos aquellos elementos que no tienen alimentación eléctrica y que no realizan ningún tipo de conversión electro – óptica en la señal transmitida.

2.3.1 Conectores [13] [10] [19] [22]

Un conector es un elemento que va la final de un hilo de fibra óptica y cuya función es la permitir la conexión hacia un equipo o hacia otro conector.

Existen varios tipos de conectores, de los cuales los más comunes son: FC, SC, ST y LC.

Los conectores se componen de un capuchón y de un cuerpo, y dentro de un cuerpo hay un cilindro de cerámica o bióxido de zirconio, llamado férula, dentro de la cual está el hilo de fibra.

Los conectores FC, SC y ST tienen una férula de 2.5mm de diámetro, mientras que el conector LC tiene una férula de 1.25mm.

Se presentan a continuación fotos ilustrativas de los conectores mencionados (SC, FC, ST y LC):

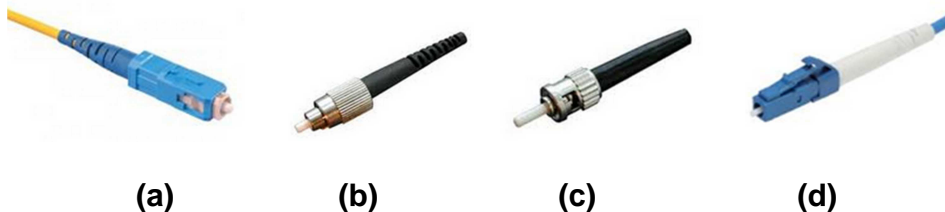


Figura 2.20: Conectores de fibra (a)-SC, (b) – FC, (c) – ST, (d) – (LC)³⁰

Existen otros conectores, aunque son muy poco comunes en el mercado, entre los cuales se puede mencionar: E2000, MTRJ45, DIN, MT, FDDI, entre otros.

³⁰

https://www.google.com.ec/search?q=conectores+fibra+optica&biw=1517&bih=752&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=hdZpVVTZL8OjNtPtgegK&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9

En general, todos los tipos de conectores tienen el mismo desempeño (pérdida de inserción y pérdida de reflexión) y el uso de uno u otro modelo está supeditado a la preferencia del diseñador de la red.

Otro aspecto importante es el color del conector, ya que el mismo permite generalmente diferenciar a un conector SM de un conector MM. Para SM, se suele usar el color azul o negro, ya sea en el cuerpo del conector o en el capuchón, mientras que el conector MM usa el color beige o aqua para OM3.

El tipo del pulido del conector, es decir, la forma en la que se pule la férula, y consecuentemente el hilo de fibra, puede ser de tipo Contacto Ultra Pulido - **Ultra Polished Contact** – UPC o Contacto con Pulido Angulado - **Angled Polished Contact** - APC. El UPC tiene una forma circular, mientras que el APC tiene un pulido inclinado, típicamente a 7 u 8 grados. La diferencia entre el pulido UPC y el APC es que el segundo incrementa la pérdida de retorno, es decir atenúa más a la señal reflejada, lo cual es deseable para tecnologías como **Triple Play**, en las cuales se transmite video, y una pérdida de retorno baja podría dar como resultado la pixelación de la imagen. UPC tiene una pérdida de retorno de 50dB mientras que APC de 60dB. A este tipo de conectores se los identifica por el color verde (en el

capuchón o en el cuerpo), se usan mucho en redes FTTx y es más común encontrarlos para fibra SM.



Figura 2.21: Pulidos de conectores de fibra³¹

2.3.2 Adaptadores [13] [10] [19] [22]

Un adaptador es un elemento que permite la conexión mecánica de 2 conectores. Es un canal por el cual se empatan las férulas de 2 conectores y recubriendo a este canal está el cuerpo del adaptador. Existen tantos tipos de adaptadores como tipo de conectores, y se ajustan a los mismos colores de los conectores (azul SM, beige MM, verde APC, aqua OM3). Si aceptan 2 conectores, toman el nombre de dúplex, y si aceptan un solo conector, se llaman simplex. En resumen, es un conector hembra – hembra.

³¹ [http://www.networking-team.com/herramientas-instrumentales-de-fibra-optica/](http://www.networking-team.com/herramientas-instrumentales-de-fibra-optica/insumos-de-fibra-optica/) + <https://www.oceannews.com/news/2014/04/14/pushing-limits-innovative-solutions-for-high-bandwidth-long-distance-subsea-data-transmission>

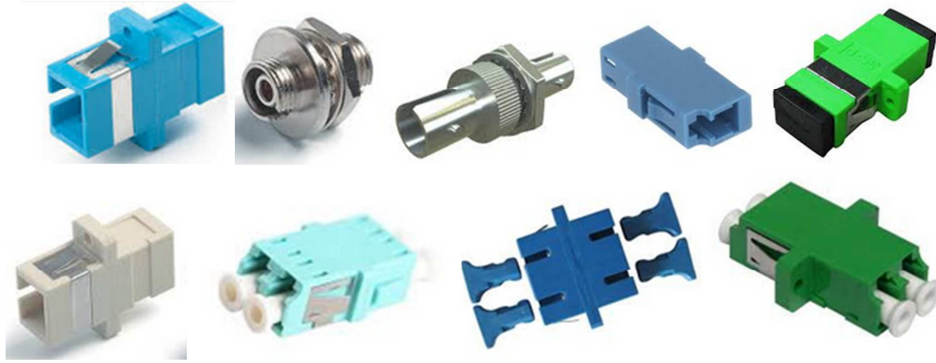


Figura 2.22: Adaptadores de fibra³²

2.3.3 Patchcords de fibra óptica [13] [10] [19] [22]

Un patchcord de fibra es un hilo de fibra óptica de longitud limitada con un conector en cada extremo del mismo. Los conectores en los extremos del hilo pueden ser cualquiera de los ya mencionados, y es común que tengan un tipo de conector en un extremo y otro diferente en otro, caso en el cual se los denomina híbridos.

Adicional a los conectores, un patchcord tiene un hilo de fibra, por lo cual el patchcord podrá ser SM, MM, SM G.652, G655, OM1, OM2, etc., según los tipos de fibra descritos anteriormente. La longitud de los patchcords es

³²

https://www.google.com.ec/search?q=optical+fiber+adapters&biw=1517&bih=752&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=D9ppVbLqAYWlGwT6-YHYCQ&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9

variable y se ajustan a las condiciones de trabajo. La principal función de los mismos es conectar una terminación de fibra con un equipo activo, ya sea para transmisión de datos o para pruebas.

Si el patchcord se compone de 2 hilos, y consecuentemente de 4 conectores, toma la denominación de dúplex, caso contrario se denomina simplex y tiene 2 conectores.

Comúnmente, los patchcords con enchaquetado amarillo tienen fibra SM, mientras que los que tienen chaqueta naranja o azul son MM. Sin embargo, es necesario referirse a la hoja técnica del patchcord para definir exactamente el tipo de hilo que contiene el mismo, ya que por ejemplo, en un patchcord de color amarillo, no se podrá definir si es fibra G.652 o G.655, a menos que exista algún tipo de marca indicativa. Un patchcord puede tener cualquiera de los conectores mencionados anteriormente, respecto al tipo de conector y al tipo de pulido.



Figura 2.23: Patchcords de fibra³³

³³

<https://www.google.com.ec/search?q=optical+fiber+adapters&biw=1517&bih=752&source=Inms&>

2.3.4 Atenuadores [13] [10] [19] [22]

Un atenuador es un elemento cuya principal función es reducir la intensidad de la señal óptica cuando la señal recibida supera el umbral de recepción de un equipo y el mismo puede quemarse. Tienen cualquiera de los conectores y pulidos mencionados y existen para fibra SM o MM (no hacen diferenciación entre los sub tipos de fibra SM o MM). Tienen un valor de atenuación fija o variable (controlada) dado en dB y pueden ser hembra – hembra, macho - macho, o el más común para aplicaciones de campo que es el hembra – macho. Se ajustan a la misma descripción de colores mencionada y su valor de atenuación dependerá del diseño de la red.

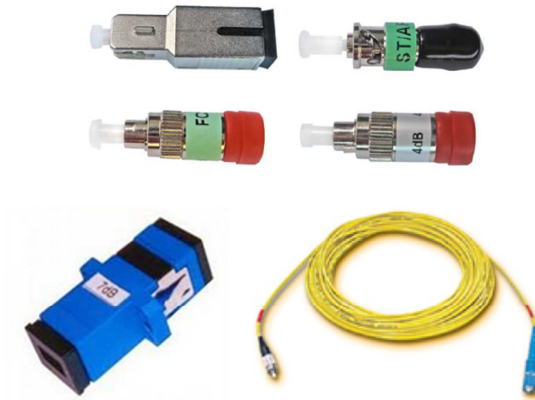


Figura 2.24: Atenuadores de fibra³⁴

tbm=isch&sa=X&ei=D9ppVbLqAYWlgt6-

YHYCQ&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=optical+fiber+patch+cords

³⁴ <http://www.huihongfiber.com/fiber-optic-attenuator.html>

2.3.5 Divisores Ópticos Pasivos – Splitters (POS) [15] [16] [20] [22]

Un Divisor Pasivo Óptico - **Passive Optical Splitter** - POS es un elemento que permite distribuir la señal que viene en un hilo de fibra óptica a varios hilos. Esta distribución implica una división de la potencia de entrada a cada una de las salidas. Así, un POS tendrá típicamente una entrada y varias salidas, acorde a la capacidad de spliteo del mismo (también existen POS con 2 entradas y varias salidas).

Las capacidades típicas de los POS son 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 1x32 y 1x64 en donde el primer número indica la entrada del POS y el segundo el número de salidas.

Para un POS 1x2 equipotencial, la potencia en las salidas será la mitad de la potencia de entrada, lo cual implica una pérdida de potencia de 3dB. Dado que las capacidades de los POS equipotenciales corresponden a exponentes de 2, la pérdida por cada incremento en la salida, aumentará en 3dB, de la siguiente forma:

- POS 1x2: Pérdida por división de 3dB
- POS 1x4: Pérdida por división de 6dB
- POS 1x8: Pérdida por división de 9dB

- POS 1x16: Pérdida por división de 12dB
- POS 1x32: Pérdida por división de 15dB
- POS 1x64: Pérdida por división de 18dB

A la pérdida mencionada, se debe aumentar la pérdida propia del POS (pérdidas en exceso), la cual está entre 1[dB] y 1.5 [dB]. Sin embargo, es menester referirse a la hoja técnica del fabricante para conocer el valor exacto de pérdida de estos elementos.

Estos elementos, tal como se mencionó anteriormente, se usan en redes PON y son justamente los que permiten tener topología punto a multipunto en redes pasivas de fibra óptica.

Cabe mencionar que la señal de entrada de un POS es idéntica a la señal en las salidas en cuanto a la información. La única diferencia es la reducción de la potencia.

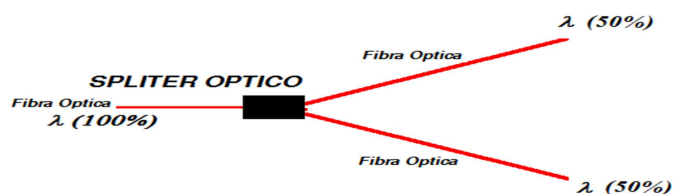


Figura 2.25: Esquema de funcionamiento de un POS³⁵

³⁵ Elaboración propia del autor

Existen 2 tipos de POS.

FBT - Fused Biconical Taper: POS en el cual las salidas son fusionadas con las entradas, tiene un alto valor de pérdida en exceso, se maneja en bajas capacidades de spliteo (hasta 1x8) y permite una división equipotencial o no equipotencial de la potencia de salida. Por ejemplo, se puede tener un POS FBT 1x2 en el cual a la una salida se le asigne una potencia del 90% de la entrada y a la otra salida una potencia del 10% de la potencia de entrada. Su uso no es común, operan únicamente a 1310 [nm] y a 1550 [nm] y su costo es bajo.

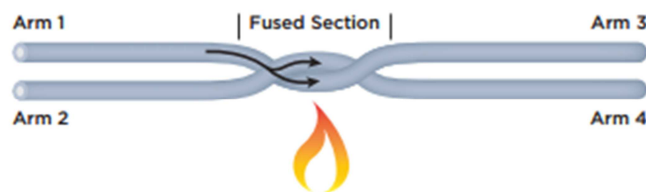


Figura 2.26: Esquema de construcción de un POS FBT³⁶

PLC - Planar Lightwave Circuit: POS en el cual la entrada se une con las salidas a través de guías de fibra impresas en una placa (a manera de circuito integrado y con cadenas de POS 1x2), tienen un valor de pérdida en exceso menor a los POS FBT, maneja capacidades de spliteo elevadas (hasta 1x64) y la división de potencia siempre es equipotencial. Trabajan en

³⁶ TYCO ELECTRONICS. (2014). Passive Optical Components, página 3

todo el espectro de la fibra SM y su costo es elevado. Son los más usados en redes FTTx - PON.

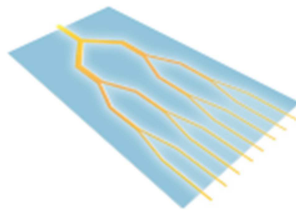


Figura 2.27: Esquema de construcción de un POS PLC³⁷

Los POS pueden venir en varias presentaciones, como tipo tubillo, tipo casetera o tipo caja de distribución, acorde a los requerimientos de diseño. Así mismo, pueden tener conectores en las entrada y salidas (cualquiera de los ya mencionados) o pueden venir en hilo sin conectorizar.

El tipo de fibra más común en los POS es G.657, ya que son elementos concebidos para redes FTTx-PON.



Figura 2.28: Empaquetados de POS³⁸

³⁷ TYCO ELECTRONICS. (2014). Passive Optical Components, página 3

2.3.6 Mangas de Empalme [22]

Una manga de empalme, también conocida como **Splice Closure**, es una caja plástica que alberga empalmes entre dos o más cables de fibra óptica. Su principal función es brindar protección mecánica al empalme. No tienen características ópticas ya que son únicamente un punto de paso y/o unión. Sus principales aplicaciones son la unión de tramos de cable para enlaces cuya longitud supera la longitud de las bobinas instaladas, reparaciones y puntos de derivación o distribución.

Típicamente se instalan en postes o pozos, por lo que deben brindar las adecuadas características de impermeabilidad (IP68) y resistencia mecánica.

La cantidad de fusiones que debe albergar debe ser consistente con la capacidad de los cables empalmados en su interior. Si se empalman 2 cables de 24 hilos, la manga debe albergar al menos 24 fusiones. Así mismo, en una manga con capacidad para alojar 24 fusiones, se podría por ejemplo, empalmar un cable de 24 hilos con 2 cables de 12 hilos.

Cabe mencionar que al igual que en los ODFs, las fusiones se albergan en bandejas de empalme.

Adicional al número de fusiones que debe albergar la manga, se debe considerar la cantidad de cables que la manga puede manejar, característica determinada por el número de puertos de la misma.

Comúnmente, se comercializan 2 tipos de manga:

La manga lineal es aquella en la cual los cables entran por extremo de la misma y salen por el otro, suelen ser de bajas capacidades para alojar fusiones y de reducido número de puertos y su principal aplicación son las continuidades de bobina y las reparaciones. Muy usadas en redes de transmisiones.

La manga tipo domo es aquella en la cual los cables ingresan y salen por la parte inferior de la misma, suelen ser de altas capacidades para alojar fusiones y de alto número de puertos y su principal función son las derivaciones. Muy usadas en redes de acceso.

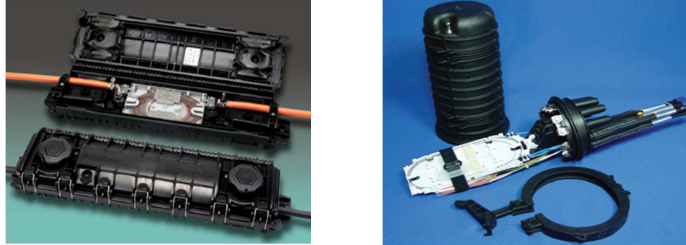


Figura 2.29: Manga de empalme para fibra óptica³⁹

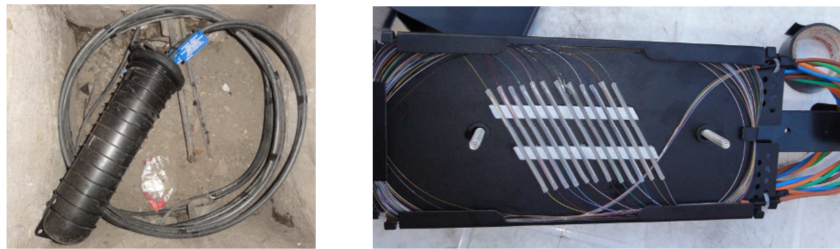


Figura 2.30: Manga en pozo y bandeja de empalme con hilos peinados⁴⁰

2.3.7 Cajas de distribución óptica [22]

Una caja de distribución óptica, también llamada **ODF – Optical Distribution Frame** es una caja metálica o plástica que alberga la terminación del cable. En su interior hay bandejas para organizar las fusiones entre el hilo de fibra y el pigtail (patchcord cortado por la mitad o

³⁹

https://www.google.com.ec/search?q=optical+splitters&biw=1517&bih=704&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=gN1pVbycOpH1gwTCj4OQCg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=tyco+optical+closures

⁴⁰ Información facilitada por Optytech

hilo de fibra con un conector en un extremo del mismo), pigtails y adaptadores. Su función es brindar protección mecánica a los hilos de fibra a los cuales se les da un conector. El ODF tendrá tantos puertos (adaptadores) como hilos el cable que ingresa al mismo. Las capacidades más comunes son 6, 12, 24, 48, 96 y hasta 144 puertos.

El ODF está presente en los extremos de todo enlace óptico. Cuando su capacidad es muy baja (de 1 a 4 puertos) se denomina caja terminal, muy usada en redes FTTx en las premisas del usuario, pero con idéntica función que el ODF.

Las características de los elementos del ODF (pigtails y adaptadores) deben guardar correspondencia con las características de los hilos del cable albergado. Por ejemplo, si el cable es SM G.655, los pigtails deberán tener hilo G.655, conectores monomodo y el ODF tendrá adaptadores SM. Esto aplica para todos los tipos de fibra, conectores y adaptadores descritos anteriormente.

Las pruebas de certificación de un hilo de fibra óptica se realizan justamente desde los puertos existentes en el ODF. Una vez cumplida la etapa de pruebas, el puerto del ODF o caja terminal se conecta con el equipo activo a través de un patchcord de fibra (que de igual manera debe

cumplir las mismas características que la fibra con la cual se está trabajando). Es decir, el ODF es el punto de interconexión entre la red pasiva y el equipamiento activo de una red óptica, ya que por un lado ingresa el cable proveniente de la planta externa, y por otra sale la conexión al equipamiento activo. Típicamente se instala en un cuarto de comunicaciones, aunque para aplicaciones FTTx, es posible encontrarlos en postería y pozos como punto de distribución de la red óptica pasiva.

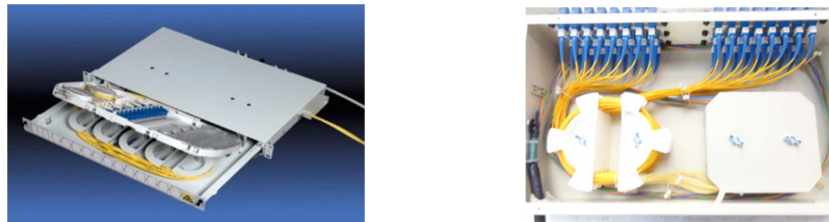


Figura 2.31: Cajas de distribución óptica – ODFs ⁴¹



Figura 2.32: Cajas de distribución óptica de pared y/o poste y caja terminal de abonado ⁴²

⁴¹

https://www.google.com.ec/search?q=optical+splitters&biw=1517&bih=704&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=gN1pVbycOpH1gwTCj4OQCg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=tyco+gps+2+ODF + Información facilitada por Optytech

Consideraciones

En resumen, se puede indicar lo siguiente respecto a los elementos pasivos de una red de fibra óptica:

1. Cuando se construye una red óptica, todos los elementos que la componen deben ser del mismo tipo y subtipo de fibra (SM o MM, G.652, G.655, OM1, OM2, etc.). No se puede mezclar diferentes tipos de elementos y/o fibras.
2. Los elementos que se usen para realizar pruebas, tales como patchcords, adaptadores, etc., deben ser del mismo tipo de fibra que aquella que constituye la red óptica. No se puede mezclar diferentes tipos de elementos y/o fibras.
3. En toda red óptica pasiva, existen de manera obligatoria, hilos de fibra, conectores, adaptadores, patchcords y cajas de distribución óptica (ODFs o cajas terminales)
4. En redes con derivaciones, rupturas y/o de larga longitud, existen mangas de empalme.
5. En redes PON FTTx, existen adicional a los elementos mencionados POS.

42

https://www.google.com.ec/search?q=optical+splitters&biw=1517&bih=704&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=gN1pVbycOpH1gwTCj4OQCg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=optical+distribution+boxes

6. El hilo de fibra tiene tipo (SM o MM) y subtipo (G.652, G.655, OM1, OM2, etc.)
7. El conector, el atenuador y el adaptador de fibra tienen tipo (SM o MM). En caso de ser SM, el subtipo es UPC o APC (no existe diferencia entre G.652, G.657 y G.655). En caso de ser MM, el subtipo es OM1, OM2 u OM3 (diferenciado básicamente por el color).
8. El patchcord de fibra óptica debe ser especificado a nivel de hilo y de conector (con todos los tipos y subtipos especificados).
9. El POS de fibra óptica debe ser especificado a nivel de hilo y de conector (con todos los tipos y subtipos especificados) y considerar que en la mayoría de casos, se usan sólo con fibra monomodo.
10. El ODF en sí, es sólo una caja de protección, en la cual su principal característica es el número de puertos. Sin embargo, se debe especificar las características de los elementos que están en su interior (adaptadores y pigtails).
11. Las mangas de empalme no tienen características ópticas, por lo que su uso es independiente del tipo y subtipo de fibra (SM, MM, OM1, G.657, etc.)

2.4 Pérdidas y eventos en fibra óptica [1] [15] [19] [20] [22]

Las pérdidas en redes pasivas de fibra óptica son las disminuciones de energía (atenuaciones) que existen a lo largo de la red y se miden en dB, mientras que los eventos son todas aquellas irregularidades que existen a lo largo de una red, es decir, puntos en los cuales el hilo de fibra no sigue un recorrido continuo, ya que elementos o fenómenos alteran este recorrido.

Tanto las pérdidas como los eventos se representan en un plano cartesiano en el cual se tiene la atenuación en función de la distancia.

2.4.1 Pérdida por longitud: La pérdida por longitud es la cantidad de energía que pierde un haz de luz a medida que se propaga por hilo de fibra óptica debido a la atenuación propia de la fibra. Entre más largo es el enlace, más potencia perderá la señal. El valor de atenuación por longitud depende del tipo de fibra y de la longitud de onda, tal como se mencionó anteriormente.

Su valor se expresa en dB/km y es constante en todo el trayecto del enlace. Así, para determinar el valor de pérdida por longitud en un enlace, se multiplica la longitud del enlace expresada en km x el valor de atenuación

por longitud expresado en dB/km. Para temas de certificación, se trata de que este valor sea mínimo.

2.4.2 Pérdida por inserción: La pérdida por inserción es la cantidad de energía que se pierde al insertar elementos en una red de fibra óptica (fuera del hilo como tal). Es decir que insertar un conector, un adaptador, un POS, realizar un empalme, etc., implicará perder una cantidad de potencia determinada. Este valor de potencia perdida se conoce como pérdida de inserción y se mide en dB. Para temas de certificación, se trata de que este valor sea mínimo.

2.4.3 Pérdida de retorno: La pérdida de retorno o de reflexión es la atenuación que sufre una onda reflejada cuando el haz de luz pasa de un medio de transmisión a otro con distinto índice de refracción. Al haber un cambio de medio de transmisión, como dos hilos de fibra en 2 conectores unidos por un adaptador, una parte de la onda incidente pasa al otro medio, sufriendo una atenuación (pérdida de inserción) y otra parte de la onda se refleja en sentido contrario al de la onda incidente y de igual manera sufre un atenuación (pérdida de retorno). Este último fenómeno se conoce como reflexión de Fresnel. Para temas de certificación, se trata de que este valor sea lo más elevado posible.

2.4.4 Eventos reflectivos: Se originan debido a un cambio de medio de transmisión. Se producen en los adaptadores y conectores ya que estos elementos unen un hilo de fibra con otro (dos medios de transmisión), dejando una brecha de aire entre ellos, lo cual ocasiona la reflexión de la onda incidente. En un evento reflectivo, existe pérdida de inserción y pérdida de reflexión. Están presentes típicamente en los ODFs o en los empalmes mecánicos.

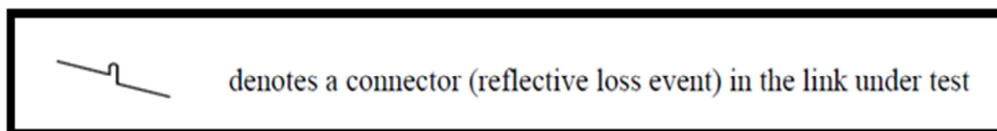


Figura 2.33: Representación de un evento reflectivo según la UIT

G.650.3⁴³

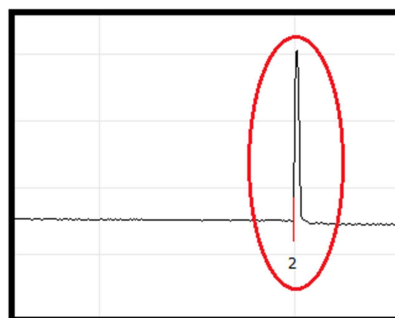


Figura 2.34: Ejemplo de evento reflectivo obtenido con un equipo de medición⁴⁴

⁴³ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 9

En la representación de este evento, la diferencia de altura entre la curva entrante y la saliente representan la pérdida de inserción, mientras que la altura del pico indica la pérdida de reflexión.

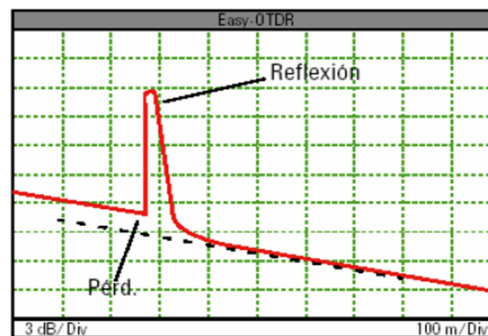


Figura 2.35: Gráfica típica de evento reflectivo⁴⁵

2.4.5 Eventos no reflectivos: Se originan debido a una fusión entre dos hilos de fibra óptica. Se producen en los empalmes dentro de las mangas. En un evento no reflectivo sólo se considera la pérdida de inserción.

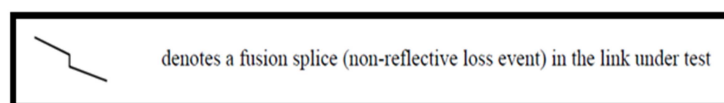


Figura 2.36: Representación de un evento no reflectivo según la UIT

G.650.3⁴⁶

⁴⁴ Información facilitada por Optytech
⁴⁵

https://www.google.com.ec/search?q=otdr+events&biw=1517&bih=752&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=2OhpVYT5N8XFgwTw1IGICg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=optical+reflective+event+with+otdr

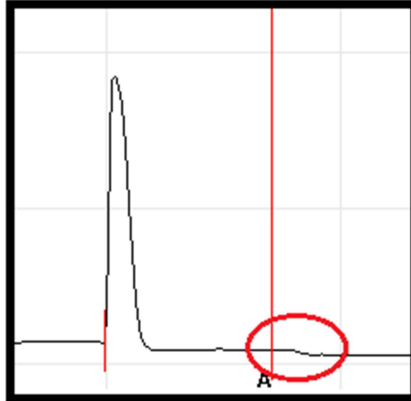


Figura 2.37: Ejemplo de evento no reflectivo obtenido con un equipo de medición⁴⁷

En la representación de este evento, la diferencia de altura entre la curva entrante y la saliente representa la pérdida de inserción.

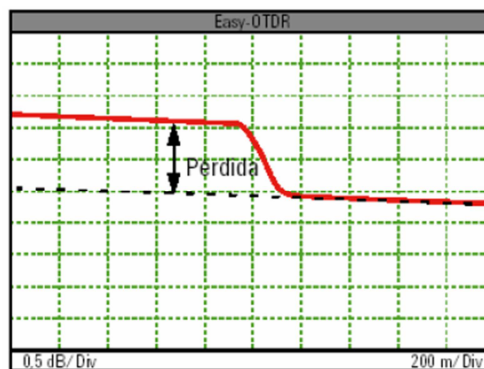


Figura 2.38: Gráfica típica de evento no reflectivo⁴⁸

⁴⁶ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 9

⁴⁷ Información facilitada por Optytech

2.4.6 Fin de fibra: Se originan cuando el enlace de fibra óptica llega a su fin. Dado que el fin del enlace debe existir un conector con su respectivo adaptador, se tiene un pico de reflexión.

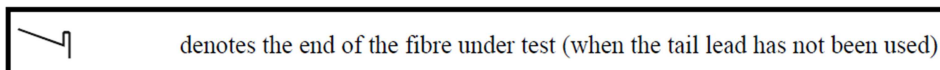


Figura 2.39: Representación de un evento fin de fibra según la UIT

G.650.3⁴⁹

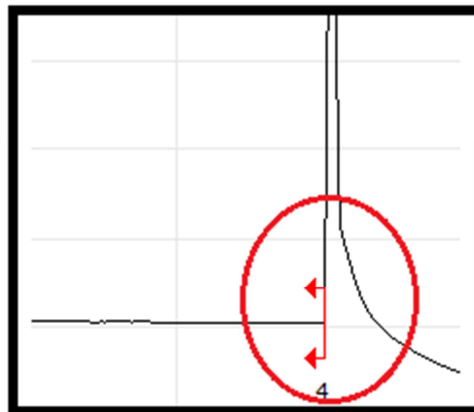


Figura 2.40: Ejemplo de evento fin de fibra obtenido con un equipo de medición⁵⁰

48

https://www.google.com.ec/search?q=otdr+events&biw=1517&bih=752&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=2OhpVYT5N8XFgwTw1IGICg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=optical+non+reflective+event+with+otdr

⁴⁹ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 9

⁵⁰ Información facilitada por Optytech

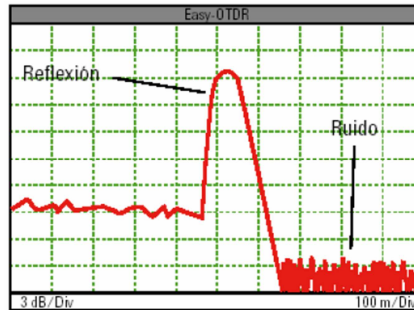


Figura 2.41: Gráfica típica de evento fin de fibra⁵¹

2.4.7 Pérdida por macro curvatura: Se originan cuando se ha excedido el radio de curvatura de un cable de fibra óptica, sea en curvas o en reservas. Acorde a la mala práctica de instalación, puede tomar la forma de un evento reflectivo o no reflectivo. Suele tener una longitud en el orden las decenas de metros o metros.



Figura 2.42: Cable de fibra con radio de curvatura demasiado cerrado

⁵¹

https://www.google.com.ec/search?q=otdr+events&biw=1517&bih=752&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=2OhpVYT5N8XFgwTw1IGICg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=fiber+optic+end+with+otdr

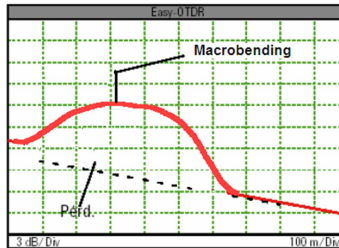


Figura 2.43: Gráfica típica de evento macrocurvatura⁵³

2.4.8 Pérdida por microcurvatura: Se origina cuando se ha excedido el radio de curvatura de un hilo de fibra óptica al momento de peinar los hilos en una bandeja de empalme posterior a una fusión realizada, sea en cajas de distribución o mangas de empalme. Acorde a la mala práctica de instalación, puede tomar la forma de un evento reflectivo o no reflectivo. También puede producirse cuando un hilo de fibra está demasiado presionado, por una amarra por ejemplo. Suele tener una longitud en el orden las décimas de metros o centímetros.

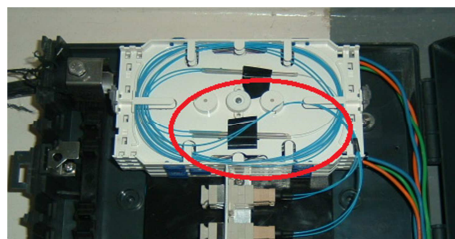


Figura 2.44: Hilos de fibra con radio de curvatura demasiado cerrado⁵⁴

⁵² Información facilitada por Optytech

⁵³

https://www.google.com.ec/search?q=otdr+events&biw=1517&bih=752&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=2OhpVYT5N8XFgwTw1IGICg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=optical+macrobend

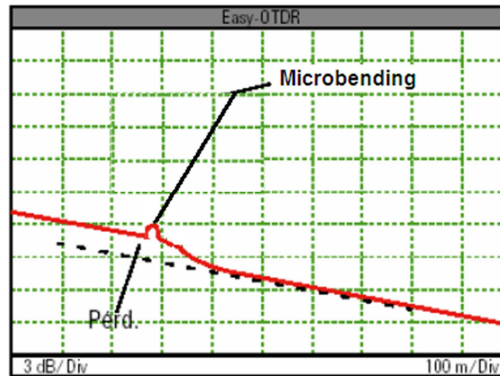


Figura 2.45: Gráfica típica de evento macrocurvatura⁵⁵

2.4.9 Ruptura de fibra: Se originan cuando un cable o hilo se ha roto. Se diferencia del fin de fibra ya que al no haber conector ni adaptador en el extremo del hilo roto, no se tiene el pico de reflexión.

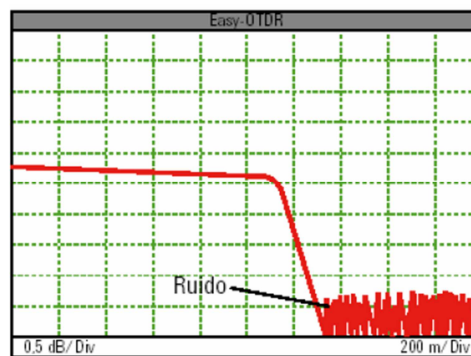


Figura 2.46: Gráfica típica de evento fibra rota⁵⁶

⁵⁴ Información facilitada por Optytech

⁵⁵

https://www.google.com.ec/search?q=otdr+events&biw=1517&bih=752&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=2OhpVYT5N8XFgwTw1IGICg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=optical+microbending

⁵⁶

https://www.google.com.ec/search?q=otdr+events&biw=1517&bih=752&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=2OhpVYT5N8XFgwTw1IGICg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9#tbm=isch&q=broken+fiber+with+otdr

Consideraciones

En resumen, se puede indicar lo siguiente respecto a los tipos de pérdidas y eventos de una red de fibra óptica:

1. Para temas de certificación, y tal como se detallará más adelante, en una caja de distribución óptica, la fusión del pigtail y el conector del mismo se consideran como un único evento.
2. Muchas veces, una fibra rota se comporta como un fin de fibra (cuando el hilo está trizado y se produce un evento reflectivo), por lo que para toda certificación, se debe conocer la longitud del enlace con el fin de evitar confusiones entre un hilo roto y un fin de fibra.
3. Es importante conocer el plano con la ubicación física de todos los eventos que existen en una de óptica pasiva, relacionar esta ubicación con los datos arrojados por un equipo de medición y finalmente verificar en campo la existencia de estos eventos. (debe existir coherencia entre las 3 referencias)

CAPÍTULO 3

TIPOS DE PRUEBAS Y EQUIPOS PARA CERTIFICACIÓN DE REDES PASIVAS DE FIBRA ÓPTICA

3.1 Presupuesto de potencia óptica [22]

El presupuesto de potencia óptica es la cantidad de energía máxima que se puede perder en un enlace para que se garantice que exista conexión entre el transmisor y el receptor. Esta cantidad de energía disponible depende de las características de los equipos colocados en los extremos del enlace, mientras que la cantidad de energía que se pierde depende de la calidad y longitud del enlace, así como de los elementos que los constituyen.

3.1.1 dB y dBm [22]

dB – Decibel: Un dB – Decibel es una relación de potencias que indica ganancia o pérdida (amplificación o atenuación) y se representa por la siguiente expresión matemática:

$$X [dB] = 10 \log_{10} (P1 [W] / P2 [W])$$

Ecuación 3.1: Ecuación para cálculo de dB⁵⁷

Donde P1 es la potencia de salida y P2 es la potencia de entrada, esto en los extremos de una red óptica o en un punto de la red.

Así, si se tiene una potencia P1 (Pout) de 5 [mW], y una potencia P2 (Pin) de 10[mW], la ganancia del sistema expresada en [dB] será:

$$X [dB] = 10 \log_{10} (5 [mW] / 10 [mW])$$

$$X [dB] = 10 \log_{10} 0.5$$

$$X [dB] = 10 (-0.3)$$

$$X [dB] = -3$$

Ecuación 3.2: Ejemplo de cálculo de dB⁵⁸

Por lo tanto, para los valores de potencia indicados en el ejemplo, el sistema tiene una pérdida de 3 [dB].

Si el valor de [dB] es positivo (P1>P2), se interpretará como una ganancia, mientras que si es negativo (P1<P2), se lo interpretará como una pérdida.

⁵⁷ <http://www.kingfisherfiber.com/Application-Notes/01-dB-dBm-Definition-Calculator.htm>

⁵⁸ Elaboración propia del autor.

Se emplea esta unidad ya que las potencias usadas en comunicaciones ópticas son muy pequeñas, y manejarlas en su valor directo de watos [W] complica mucho la interpretación y operatividad de las mismas.

A nivel de comunicaciones ópticas, los [dB] se usan para expresar ganancias de amplificadores o pérdidas por elementos insertados en la red (conectores, POS, fusiones, etc.).

dBm – Decibel Mili Watio: Un dBm o Decibel Mili Watio, es una unidad de medida de potencia [W] referida a un 1 [mW]. Se expresa por la siguiente ecuación matemática:

$$X [dBm] = 10 \log_{10} (P1 [mW] / 1 [mW])$$

Ecuación 3.3: Ecuación para cálculo de dBm⁵⁹

Donde P1 es la potencia que se desea expresar en [dBm].

Así, si se tiene una potencia de 1 [mW], este valor expresado en [dBm] será:

⁵⁹ <http://www.kingfisherfiber.com/Application-Notes/01-dB-dBm-Definition-Calculator.htm>

$$X [\text{dBm}] = 10 \log_{10} (1 [\text{mW}] / 1 [\text{mW}])$$

$$X [\text{dBm}] = 10 \log_{10} 1$$

$$X [\text{dBm}] = 0$$

Ecuación 3.4: Ejemplo de cálculo de dBm⁶⁰

Por lo tanto, una potencia de 1 [mW], equivale a 0 [dBm]. Se puede usar el proceso inverso para transformar la potencia dada en [dBm] a [mW].

Cabe mencionar que si se tiene un valor de [dBm] negativo, esto quiere decir que la potencia es inferior a 1 [mW], y no que la potencia es negativa, ya que este caso no existe.

A nivel de comunicaciones ópticas, los [dBm] se usan para expresar las potencias de transmisión y de recepción de los equipos activos ubicados en los extremos de un enlace óptico.

Para fines de cálculos en el presupuesto de potencia ópticas, se debe indicar lo siguiente:

1. La operación directa entre [dBm] da como resultado [dB].

⁶⁰ Elaboración propia del autor.

2. La operación entre [dB] y [dB] es directa, y el resultado son siempre [dB].
3. La operación entre [dBm] y [dB] es directa, y el resultado son siempre [dBm].

3.1.2 Pérdida teórica [15] [22]

La pérdida teórica de un enlace es la cantidad de energía que debería perder una red, basada en la longitud del enlace y en la cantidad de elementos pasivos existentes en la red. Se expresa siempre en [dB] y se interpreta como una pérdida.

La sumatoria de las pérdidas teóricas por longitud y de inserción de cada elemento de la red (evento), dan como resultado un valor de pérdida total, el mismo que es la referencia para determinar si un enlace está en buen estado o no.

Si la atenuación medida con equipos (pérdida real) supera el valor de atenuación calculada (pérdida teórica), se concluye que la red presenta problemas en alguno de los elementos que lo constituyen.

Para calcular la pérdida teórica de un enlace, es imprescindible conocer todos los elementos que constituyen el enlace, la longitud del mismo, el tipo de fibra utilizada y la longitud de onda de trabajo, ya que según estos parámetros, se procede con los cálculos respectivos.

Tal como se indicó anteriormente, y según las recomendaciones de la serie G.65x de la UIT, la pérdida teórica de un enlace se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

donde:

- α coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- α_s atenuación media por empalme
- x número de empalmes de un enlace
- α_c atenuación media de los conectores de línea
- y número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)
- L longitud del enlace

Ecuación 3.5: Ecuación de cálculo de pérdida teórica según la UIT⁶¹

Así por ejemplo, se tiene un enlace esquematizado en la siguiente figura:

⁶¹ UIT-T. (2005). Recomendación UIT-T G.652: Características de las fibras y cables ópticos Monomodo, página 11.

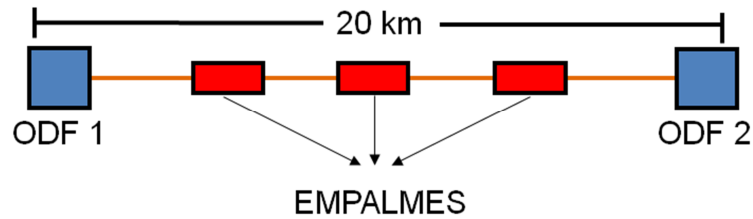


Figura 3.1: Esquema de un enlace óptico⁶²

Para calcular la pérdida teórica del mismo, se deben conocer los siguientes parámetros:

- **Número de conectores:** 2, uno en cada ODF, dato tomado del gráfico.
- **Número de empalmes:** 3, dato tomado del gráfico.
- **Longitud del enlace:** 20km, dato tomado del gráfico.
- **Tipo de fibra:** SM G.652D, dato asumido para el ejemplo.
- **Longitud de onda de trabajo:** 1310 [nm], dato asumido para el ejemplo.
- **Atenuación en cada conector:** 0.5 [dB], dato asumido para el ejemplo.⁶³
- **Atenuación en cada empalme:** 0.1 [dB], dato asumido para el ejemplo.⁶⁴

⁶² Elaboración propia del autor.

⁶³ UIT-T. (1996). Transmission Characteristics of Passive Optical Components, página 16.

⁶⁴ UIT-T. (2008). Optical Fibre Splices, página 9.

- **Atenuación por longitud:** 0.4 [dB/km], dato tomado de la norma para el tipo de fibra usado y a la longitud de onda de operación.⁶⁵

Aplicando la fórmula, se tiene que la pérdida teórica del ejemplo, es:

A (pérdida teórica) [dB] = (longitud del enlace x atenuación por longitud a la longitud de onda indicada) [dB] + (número de conectores x pérdida en conectores) [dB] + (número de empalmes x pérdida en empalmes) [dB]

$$A [dB] = (20 \times 0.4) [dB] + (2 \times 0.5) [dB] + (3 \times 0.1) [dB]$$

$$A [dB] = (8) [dB] + (1) [dB] + (0.3) [dB]$$

$$A [dB] = 9.3 [dB]$$

Ecuación 3.6: Ejemplo de cálculo de pérdida teórica⁶⁶

Con este valor, ya es posible determinar el valor máximo de atenuación que se debe obtener del enlace cuando se realiza la medición con los equipos adecuados.

Para el caso de redes PON, se procede de la siguiente manera:

⁶⁵ UIT-T. (2005). Recomendación UIT-T G.652: Características de las fibras y cables ópticos Monomodo, página 10.

⁶⁶ Elaboración propia del autor.

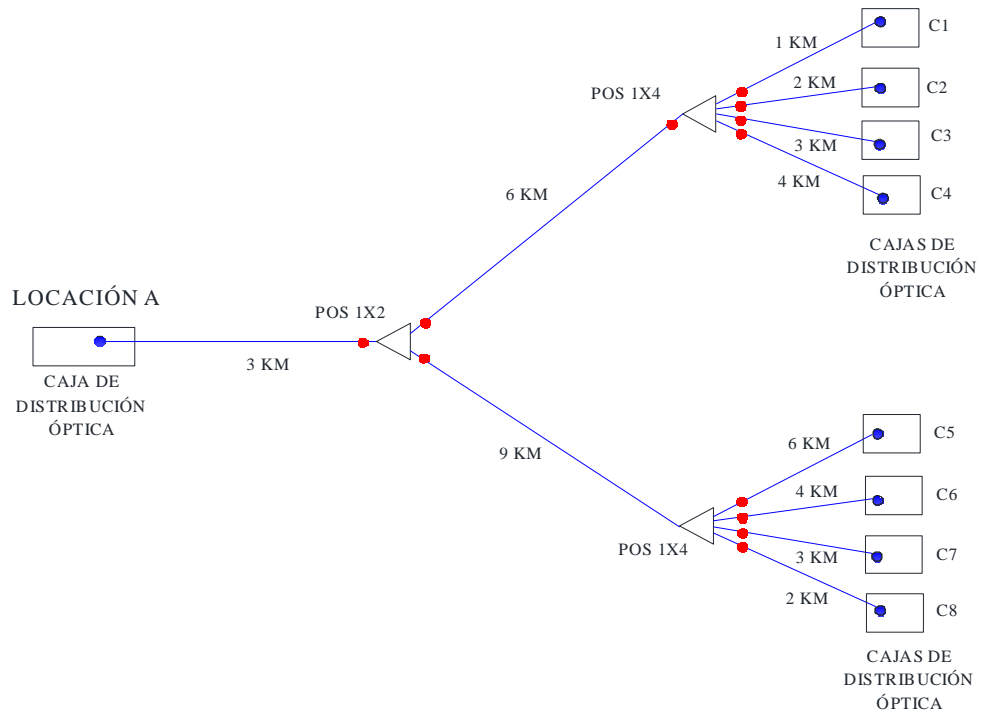


Figura 3.2: Esquema de un enlace óptico con POS – Red PON⁶⁷

Para calcular la pérdida teórica, por ejemplo, del enlace entre la locación A y el punto C3 mostrados en la figura 3.2, se deben conocer los siguientes parámetros (siempre se debe considerar que la luz viaja por el camino más corto entre la locación A y C3):

- **Número de conectores:** 2, uno en cada extremo del enlace, dato tomado del gráfico (cada punto azul se considera un conector).

⁶⁷ Elaboración propia del autor.

- **Número de empalmes:** 4, dato tomado del gráfico (cada punto rojo se considera un empalme).
- **Longitud del enlace:** 12km, dato tomado del gráfico (3+6+3).
- **Tipo de fibra:** SM G.657B, dato asumido para el ejemplo.
- **Longitud de onda de trabajo:** 1550 [nm], dato asumido para el ejemplo.
- **Atenuación en cada conector:** 0.5 [dB], dato asumido para el ejemplo.⁶⁸
- **Atenuación en cada empalme:** 0.1 [dB], dato asumido para el ejemplo.⁶⁹
- **Atenuación en POS 1x2:** 3.5 [dB], dato asumido para el ejemplo.⁷⁰
- **Atenuación en POS 1x4:** 7.3 [dB], dato asumido para el ejemplo.⁷¹
- **Atenuación por longitud:** 0.3 [dB/km], dato tomado de la norma para el tipo de fibra usado y a la longitud de onda de operación.⁷²

Aplicando la fórmula, se tiene que la pérdida teórica del ejemplo, es:

⁶⁸ UIT-T. (1996). Transmission Characteristics of Passive Optical Components, página 16.

⁶⁹ UIT-T. (2008). Optical Fibre Splices, página 9.

⁷⁰ JFOPT. PLC Splitter Datasheet, página 3.

⁷¹ JFOPT. PLC Splitter Datasheet, página 3.

⁷² UIT-T. (2006). Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso, página 8.

A (pérdida teórica) [dB] = (longitud del enlace x atenuación por longitud a la longitud de onda indicada) [dB] + (número de conectores x pérdida en conectores) [dB] + (número de empalmes x pérdida en empalmes) [dB] + (atenuación de POS 1x2) [dB] + (atenuación de POS 1x4) [dB]

$$A [dB] = (12 \times 0.3) [dB] + (2 \times 0.5) [dB] + (4 \times 0.1) [dB] + (3.5) [dB] + (7.3) [dB]$$

$$A [dB] = (3.6) [dB] + (1) [dB] + (0.4) [dB] + (3.5) [dB] + (7.3) [dB]$$

$$A [dB] = 15.8 [dB]^{73}$$

Ecuación 3.7: Ejemplo de cálculo de pérdida teórica en una red PON con POS

Consideraciones:

1. La ecuación dada por la UIT, no considera equipos activos, y por ende no considera la pérdida de los conectores de los equipos activos en los extremos del enlace.
2. La ecuación dada por la UIT, no considera la pérdida de POS, sin embargo, en el caso de redes PON, se debe aumentar la pérdida

⁷³ Elaboración propia del autor.

producida por los mismos, bajo el mismo esquema de lo indicado y tal como se muestra en el segundo ejemplo de cálculo de pérdida teórica.

3. Es preferible tomar los valores de atenuación basándose en normas, aunque si se dispone de la información, también se puede tomar en cuenta los valores de pérdida indicados por el fabricante de cada elemento.
4. Para la pérdida de atenuación por longitud, se debe tomar como referencia los valores indicados en las normas para cada tipo de fibra y para cada longitud de onda de operación (normas ya revisadas en el capítulo anterior)
5. Para el caso de conectores y empalmes, los valores y normas referenciales se mencionarán posteriormente.
6. Se debe calcular una pérdida teórica para cada longitud de onda.
7. Si la pérdida medida real es menor a la pérdida teórica calculada, se puede concluir que el enlace está en buen estado.

3.1.3 Potencia de Transmisión y Umbral de Recepción [15] [22]

La potencia de transmisión es la cantidad de potencia que emite un transmisor óptico, su valor es variable y depende de condiciones tales como calidad de alimentación eléctrica, condiciones ambientales, envejecimiento, características del láser o del LED, etc. Se expresa en [dBm] y su valor se

especifica en la hoja técnica de cada fabricante, en la cual se tiene un valor mínimo y un valor máximo. El máximo para condiciones óptimas y el mínimo para las peores condiciones.

La potencia de recepción o umbral de recepción es un rango de potencias, desde un mínimo hasta un máximo, que pueden ser soportados por un receptor. El valor máximo corresponde la máxima cantidad de potencia que puede llegar al receptor sin que éste se quemara, y el valor mínimo es la mínima potencia que debe llegar al receptor para que éste pueda reconocer a la potencia de llegada como una señal y no como ruido. Su valor se expresa en [dBm] y su rango depende de las características del receptor óptico. Los valores mencionados se especifican también en la hoja técnica del fabricante.

Si al receptor llega una potencia mayor a la indicada como potencia máxima de recepción, el mismo se quemará, y si llega una potencia menor a la indicada como mínima potencia de recepción, la señal no es reconocida y por ende no se levanta el enlace.

Los equipos ópticos para aplicaciones de campo, tienen transmisores y receptores ópticos en un mismo módulo, por lo que tanto la potencia de

transmisión como los umbrales de recepción, se especifican en una misma hoja técnica, tal como se puede ver en la tabla 3.1.

Product	Transmit Power (dBm)	Receive Power Range (dBm)
1000BASE-SX	-3 to -9.5	0 to -17
1000BASE-LX/LH	-3 to -9.5	-3 to -20
1000BASE-ZX	+5 to 0	-3 to -23
1000BASE-BX10-D 1000BASE-BX10-U	-3 to -9	-3 to -19.5

Tabla 3.1: Datos de Potencia de Transmisión y de Umbrales de Recepción de Módulos SFP marca Cisco⁷⁴

3.1.4 Cálculo de presupuesto de potencia [15] [22]

Para calcular el presupuesto de potencia óptica, se debe obtener la diferencia entre la potencia de transmisión y el umbral de recepción de los transmisores y receptores ubicados en los extremos de un enlace óptico. Su valor se expresa en [dB].

⁷⁴ Cisco. (2008). Cisco SFP Optics for Gigabit Ethernet Applications, página 3.

Así, por ejemplo, si se toman los valores del módulo SFP Cisco 1000Base-SX, indicados en la tabla 3.1, el presupuesto de potencia óptico para este equipo viene dado por:

$$\text{Presupuesto de Potencia Óptica [dB]} = \text{Potencia de Trasmisión [dBm]} - \text{Umbral de Recepción [dBm]}$$

$$\textit{Presupuesto de Potencia Óptica [dB]} = -9.5 \text{ [dBm]} - (-17) \text{ [dBm]}$$

$$\textit{Presupuesto de Potencia Óptica [dB]} = 7.5 \text{ [dB]}$$

Ecuación 3.8: Ejemplo de cálculo de presupuesto de potencia⁷⁵

Esto quiere decir que si se tiene una potencia de transmisión de -9.5 [dBm], en todo el trayecto del enlace óptico se podrá perder como máximo 7.5 [dB], para de esta manera garantizar que al receptor lleguen -17 [dBm].

Cabe indicar que se toma el valor de -17 [dBm] como umbra de recepción ya que esta es la mínima potencia que debe llegar al receptor para que la señal pueda ser detectada. El valor de 0 [dBm] corresponde al máximo valor de potencia que puede llegar al receptor (una valor de potencia mayor lo quemaría).

⁷⁵ Elaboración propia del autor.

Esta pérdida de potencia se debe distribuir entre la fibra (longitud), los conectores, los empalmes, los POS, etc. Es decir, que el presupuesto de potencia guarda estrecha relación con la pérdida teórica.

Si igualamos el presupuesto de potencia óptica con la pérdida teórica, se tendrá conexión, sin embargo, cualquier incremento de pérdida en la red no considerado en el cálculo de pérdida teórica, implicará la caída del enlace. Por lo tanto, es recomendable guardar un margen, el cual es típicamente de 3[dB].

Por lo expuesto, se puede relacionar al presupuesto de potencia óptica con la pérdida teórica de la siguiente manera:

$$\textit{Presupuesto de Potencia Óptica [dB]} = \textit{Pérdida Teórica [dB]} + 3 \textit{ [dB]}$$

***Ecuación 3.9: Presupuesto de Potencia Óptica en Función de la
Pérdida Teórica⁷⁶***

Dado que los extremos de un enlace no pueden ser modificados (no es posible mover ciudades o centrarles), para temas de diseño, se realiza primero el cálculo de la pérdida teórica, con lo cual se obtiene el presupuesto de potencia, y con este presupuesto se pueden seleccionar

⁷⁶ <https://www.perle.com/supportfiles/optical-power-budgets.shtml>

equipos con potencias de transmisión y umbrales de recepción que cumplan las condiciones necesarias para garantizar la conectividad entre los extremos del enlace.

Consideraciones:

1. Para garantizar conectividad en un enlace, el presupuesto de potencia debe ser mayor a la pérdida teórica del enlace (se acostumbra un exceso mínimo de 3 [dB]).
2. Para el cálculo del presupuesto de potencia, se debe considerar las peores condiciones, por lo que para su obtención se debe considerar la potencia de transmisión mínima especificada por el fabricante.
3. El presupuesto de potencia depende de los equipos activos, mientras que la pérdida teórica depende de la red pasiva.
4. El presupuesto de potencia se debe relacionar con la pérdida teórica de mayor valor, la misma que corresponde a la calculada con la longitud de onda que mayor atenuación en [dB/km] presente.

3.2 Empalmes ópticos [14] [15]

Un empalme óptico es la unión permanente entre dos hilos de fibra óptica, la cual se realiza principalmente para dar un conector a un hilo de fibra

óptica (empalme entre hilo de cable y pigtail dentro de un ODF o de una caja terminal) o para dar continuidad a un hilo de fibra en derivaciones, reparaciones o enlaces donde la longitud del mismo supera la longitud del carrete de fibra (empalme entre hilo de cable 1 e hilo de cable 2 en una manga).

Cabe mencionar que los empalmes ópticos deben estar mecánicamente protegidos, dado que la unión entre dos hilos es muy frágil. Esta protección es brindada por los ODFs o por la mangas de empalme.

Para realizar un empalme, es mandatorio que los dos hilos de fibra empalmados sean del mismo tipo y subtipo, caso contrario, aunque el empalme físicamente se realice, los valores de pérdida serán demasiado elevados y no pasarán la certificación respectiva. Los empalmes ópticos se realizan tanto en fibras SM como en fibras MM.

Básicamente existen 2 tipos de empalmes: empalmes por fusión y empalmes mecánicos.

3.2.1 Empalme por fusión y fusionadora [11] [14]

El empalme por fusión consiste en realizar una suelda entre los 2 hilos a empalmar, generando una alta temperatura que derrite el vidrio permitiendo que se forme un solo cuerpo y obteniendo de esta forma continuidad en el hilo de fibra óptica. El empalme por fusión genera una pérdida de inserción y una pérdida de reflexión. La primera debe ser analizada y certificada, mientras que la segunda, por ser de un valor muy alto, no se somete a certificación. Debido a lo mencionado, un empalme por fusión genera un evento de tipo no reflectivo. En la figura 3.3 se puede apreciar un esquema de este procedimiento.

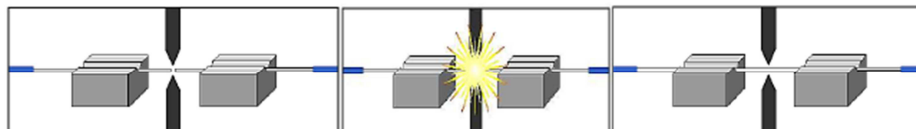


Figura 3.3: Procedimiento de empalme por fusión⁷⁷

El equipo que permite realizar este procedimiento es la empalmadora por fusión, la misma que básicamente consiste en un par de electrodos encargados de crear el arco eléctrico para que se produzca la suelda y todo el componente electro mecánico que permite la alineación de los hilos de fibra (motores, espejos, cámaras, ranuras de alineación, etc.). El

⁷⁷ www.yio.com.ar/fo/emplames.html

procedimiento de fusión es bastante simple y la mayor parte del proceso es automático y realizado por el equipo, razón por la cual la fiabilidad de este tipo de empalme es alta.



Figura 3.4: Empalmadora por fusión, marca Fujikura, modelo FSM-60S⁷⁸

Cabe indicar que cuando se fusionan 2 hilos, la empalmadora realiza una aproximación de la pérdida obtenida en base a análisis visuales de la alineación de las fibras fusionadas, sin embargo este valor es sólo referencial y no puede ser tomado como un valor real de pérdida. El procedimiento para determinar el valor exacto de la pérdida en la fusión se describirá más adelante. La figura 3.5 muestra un ejemplo de la atenuación del empalme registrada por la fusionadora.

⁷⁸ Fujikura. (2008). Single Fibre Arc Fusion Splicer Datasheet, página 1.



Figura 3.5: Valor de atenuación dado por una fusionadora⁷⁹

3.2.2 Empalme mecánico [11]

El empalme mecánico consiste en realizar un acoplamiento y alineación entre los 2 hilos a empalmar, los cuales son insertados en una guía mecánica. Es común que los hilos queden separados a una distancia mínima (brecha de aire) en la cual se coloca un gel de adaptación de índices de refracción para que ésta actúe como guía para la conducción de la luz. En otros casos, los extremos de los hilos acoplados se unen con pegamento epóxico.

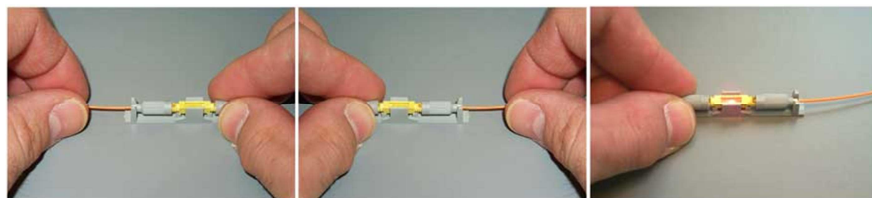


Figura 3.6: Procedimiento de empalme mecánico⁸⁰

⁷⁹ <http://www.cablinginstall.com/articles/print/volume-21/issue-6/features/specifying-splices-in-a-fiber-optic-network.html>

En este tipo de empalme se genera una pérdida por reflexión y una pérdida por inserción, por lo cual se lo debe analizar como un evento de tipo reflectivo.

Existe gran variedad de empalmes mecánicos (ofrecidos por diversos fabricantes), pero el principio de empalme es muy similar, y lo que se busca prescindir del uso de la fusionadora.



Figura 3.7: Distintos modelos de empalmes mecánicos⁸¹

Este tipo de empalmes dan una pérdida de inserción mayor que el empalme por fusión y suele ser usado en reparaciones temporales o enlaces en los cuales se puede tolerar altas pérdidas en los empalmes.

⁸⁰ http://www.thefoa.org/tech/ref/OSP/term.html#Mechanical_Splicing

⁸¹

https://www.google.com.ec/search?q=fiber+optic+mechanical+splice&biw=1517&bih=752&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=wa7iVMW1I4iegwS4y4BA&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9

3.2 Verificación de continuidad [14] [15]

La verificación de continuidad es la más básica de las pruebas que se realizan en una red óptica pasiva y consiste en insertar luz visible (roja, a 650nm) en un extremo del enlace y verificar que la luz llegue al otro extremo del enlace.

Si la luz llega, se puede concluir únicamente que la fibra tiene continuidad y que por ende no está rota. Si la luz no llega, se puede concluir que la fibra está rota.

Este tipo de prueba no permite conocer los niveles de atenuación en la fibra, ni el punto de daño, a menos que el mismo esté muy cerca al punto inicial o final de la prueba.

Cuando el punto del daño (fibra rota, mal fusionada o doblada en exceso) está muy cerca del inicio o del final del enlace (1m o 2 m) y dentro del ODF, ya sea en el pigtail, en la fusión o en el hilo antes de ingresar a la chaqueta del cable, se producirá una iluminación verificable y excesiva en el punto del daño, tal como se aprecia a continuación:

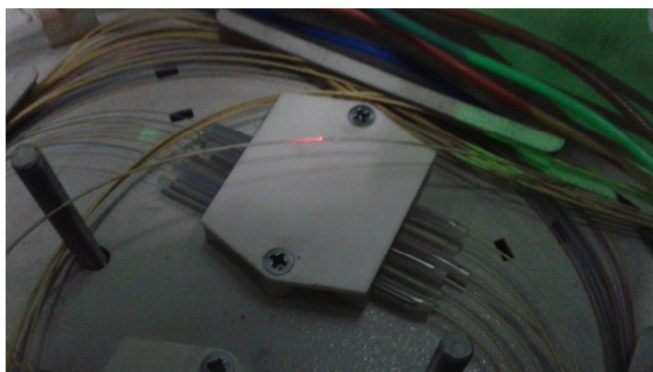


Figura 3.8: Hilo de pigtail roto (y por ende iluminado) dentro de un ODF⁸²

La verificación de continuidad, al trabajar con luz visible, permite también determinar si los hilos están correctamente fusionados respecto a su orden, ya que si se inyecta luz en el hilo 1 de punto inicial de un enlace, la luz debería verse en el hilo 1 del punto final del enlace. Si esto no ocurre, significa que existen errores en la fusión de uno de los extremos del enlace respecto al código de colores⁸³ (hilos fusionados en desorden).

Esta prueba puede también ser realizada para verificar si patchords o pigtails están rotos, caso en el cual, una sola persona puede realizar la prueba (ya que la luz ingresa y sale en un mismo punto físico). Adicionalmente sirve para verificar la polaridad en patchords dúplex, lo cual

⁸² Información facilitada por Optytech.

⁸³ Código de colores según ANSI EIA/TIA 598: Hilo 1: Azul, Hilo 2: Naranja, Hilo 3: Verde, Hilo 4: Café, Hilo 5: Gris, Hilo 6: Blanco, Hilo 7: Rojo, Hilo 8: Negro, Hilo 9: Amarillo, Hilo 10: Violeta, Hilo 11: Rosado, Hilo 12: Turquesa.

es importante para temas de una correcta conexión entre transmisor y receptor.



Figura 3.9: Verificación de continuidad en un patchcord⁸⁴

Si se está probando enlaces en los cuales el inicio y final están físicamente separados (que es lo más común), se requieren 2 personas para este tipo de prueba, una que inserte la luz en un extremo del hilo y otra que verifique si la luz sale o no en el otro extremo. Un adecuado sistema de comunicación entre estas dos personas es deseable.

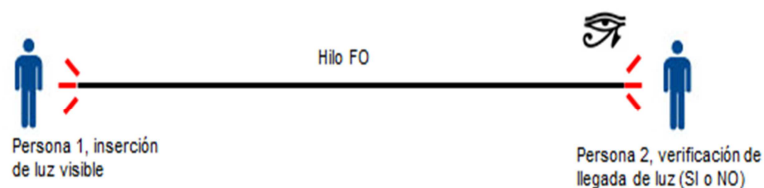


Figura 3.10: Verificación de continuidad en un enlace con origen y destino remotos⁸⁵

⁸⁴ <http://www.kingfisherfiber.com/Fiber-Optic-Test-Equipment/Discontinued/KI6350/6350.htm>

Cabe mencionar que para realizar esta prueba, el hilo de fibra debe tener un conector (no se la puede realizar sobre el hilo en punta). En enlaces terminados en ODFs, se requiere el uso de un patchcord para realizar la conexión entre el hilo a probar y la fuente de luz visible. El equipo que permite realizar este tipo de pruebas es el Detector de Fallas Visual – ***Visual Fault Locator*** – VFL.

3.3.1 Detector de fallas visual [14] [15]

El VFL es una fuente de luz LED que se acopla a un conector macho de fibra óptica. Emite luz roja (650nm), regularmente a una potencia alta (alrededor de los 0dBm) y permite realizar pruebas de continuidad en un hilo de fibra óptica.

Su alcance típico es de 5km, funciona con pilas normales (salvo que el fabricante indique un dato diferente) y tiene un adaptador universal que se acopla a férulas de 2.5mm de diámetro o uno que se acopla a férulas de 1.25mm de diámetro.

Genera luz continua y luz modulada a 2HZ (típicamente) para temas de identificación, trabaja de manera indistinta con fibras SM o MM y es portátil.

⁸⁵ Elaboración propia del autor.

Existen varios modelos, formas y características particulares según distintos fabricantes.



Figura 3.11: Distintos modelos de VFLs⁸⁶

Los principales aspectos técnicos de un VFL son:

- Alcance (dependiente de la potencia y del estado de la red)
- Potencia de salida
- Longitud de onda de trabajo
- Tipo de alimentación
- Tipo de adaptador

Así por ejemplo, la Tabla 3.2 muestra las especificaciones técnicas de un VFL de uso común:

86

https://www.google.com.ec/search?q=detector+de+fallas+visual&biw=1517&bih=752&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=qjbYVLeYIIHXggSdx4GQDg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9

Specifications

Model	JFT-07
Wavelengths(nm)	650±10nm
Fiber Model	SM,MM
Output Power	1mw
Spectral Width(nm)	≤5
Modulation Frequencies	CW, 2Hz
Optical Connector	FC/ Universal 2.5mm adaptor
Power Supply	2 AA alkaline batteries
Battery Operating Time	30 hours
Operating Temperature(°C)	-10~+60
Storage Temperature(°C)	-25~+70
Dimension(mm)	100X50X25
Unit Weight	50g

Tabla 3.2: Especificaciones técnicas de un VFL marca JFOPT, modelo JFT-07⁸⁷

Un punto importante a mencionar es que cuando se usa este equipo se debe tener cuidado de no mirar a la luz directamente, ya sea desde el equipo o a la salida del hilo en el que se ha insertado luz, ya que la vista se ve afectada (molestias y lagrimeo). Es preferible mirar la presencia o ausencia de luz de manera inclinada. Tampoco es recomendable usar este equipo en presencia de mujeres en estado de gestación ya que puede haber complicaciones con el embarazo debido a la alta radiación emitida por el equipo.

Este equipo puede incluso usarse para verificar las rupturas y continuidad en la entradas y salidas de un POS. Si se inserta la luz en la entrada de un POS, ésta deberá llegar a cada una de las salidas del mismo.

⁸⁷ JFOPT. Visual Fault Locator JFT-07 Datasheet, página 1.



Figura 3.12: Verificación de Continuidad en un POS⁸⁸

3.4 Medición de potencia [14] [15] [19]

La medición de potencia es un tipo de prueba más completo que la verificación de continuidad, en la cual se puede determinar no únicamente si la luz llega o no al final del enlace, sino también la cantidad de energía que se pierde en el mismo.

Para realizar este tipo de prueba se requiere una fuente de luz de potencia controlada (fija o variable) y un medidor de potencia. La fuente de luz inyecta potencia en uno de los extremos del hilo y el medidor de potencia verifica la cantidad de potencia recibida en el otro extremo del hilo. Ambos equipos trabajan en [dBm], de tal manera que la pérdida del enlace será la diferencia entre la potencia transmitida y la potencia recibida.

⁸⁸ <http://www.laserfocusworld.com/articles/2010/11/optotest-ribbon-visual-fault-locator.html>



Figura 3.13: Medición de potencia⁸⁹

Si se tiene por ejemplo, un enlace como el indicado en la figura 3.13, en el cual una fuente de luz que inyecta -7[dBm], y al final del enlace el medidor de potencia registra -12 [dBm], la pérdida del enlace será de 5 [dB].

El valor de pérdida extrapolado de esta prueba puede ser comparado con la pérdida teórica calculada del enlace, con lo cual se podrá concluir si el enlace pasa esta certificación o no.

Con la medición de potencia, es posible también verificar continuidad, ya que si se inyecta luz en un extremo y la lectura en el otro extremo es nula, se puede concluir que existe una fibra rota o un error en el orden de la fusión de los hilos. Esto se usa particularmente cuando la longitud del enlace supera el alcance del VFL.

⁸⁹ Elaboración propia del autor.

Cabe mencionar que para conectar los equipos a los extremos del hilo, es común el uso de patchcords, por lo cual el valor de pérdida medido incluirá la pérdida de éstos y por lo tanto, para determinar el valor de pérdida del enlace puro, se deberá restar el valor de pérdida de los patchcords del valor de pérdida total medido. El procedimiento para eliminar esta pérdida se explicará más adelante, en el capítulo 4, sección 4.4.1 Medición de atenuación en enlaces punto a punto - Distancias Cortas.

Aunque esta prueba permite certificar una red, en caso de que dicha red no pase la certificación, la medición de potencia no determina el punto de falla, sino únicamente indica si el enlace pasa o no la certificación (lo cual es una limitación de esta prueba).

Otro inconveniente de esta prueba es la imposibilidad de ver físicamente la luz, ya que las fuentes empleadas no trabajan en rangos de luz visibles por el ojo humano.

Este tipo de prueba es muy usado para certificación de enlace cortos con fibra SM o MM e inclusive para certificar patchcords y POS, caso en el cual una sola persona podrá realizar la medición, pero en casos en los que el enlace es más largo, se requiere de dos personas para realizar esta prueba.

Los equipos requeridos para realizar esta prueba, tal como se mencionó, son la fuente de luz y el medidor de potencia, a los cuales en conjunto suelen ser denominados Set Para Medición de Pérdidas Ópticas – **Optical Lose Test Set** – OLTS.

3.4.1 Fuente de luz [14] [15] [19]

Una Fuente de Luz - **Light Source** – LS es un equipo que genera potencia óptica con un valor determinado o variable, pero siempre controlable y estable. Se usa en conjunto con un medidor de potencia y permite hacer pruebas de medición.

Emite luz a una o varias longitudes de onda determinadas, y puede ser SM o MM. En el caso de ser SM, tendrá un láser y emitirá luz a 1310 [nm] y 1550 [nm], en caso de ser MM, tendrá un LED y emitirá luz a 850 [nm] y a [1300nm]. Es posible que emita más longitudes de onda en caso de ser SM, pero eso dependerá de su diseño y del láser incorporado en el equipo, así como de esto también dependerá la cantidad de potencia que genera. La potencia generada se expresa típicamente en [dBm] y se visualiza en el display del equipo.

Lo que no es posible es que un mismo equipo sea SM y MM y que tenga un solo puerto. Debemos recordar que para fibras MM se usan LEDs y para fibras SM se usan láseres.

Cada puerto de la fuente de luz tiene un tipo de conector hembra específico, por lo que su uso requiere que el hilo a probar tenga un conector. Si la inyección de luz se va a realizar a un puerto de un ODF, se requiere el uso adicional de un patchcord para la respectiva conexión. En muchos caso, y dependiendo de marca y modelos, una fuente de luz tiene la opción de conectores intercambiables.



Figura 3.14: Distintos modelos de LS⁹⁰

Los principales aspectos técnicos de un LS son:

90

https://www.google.com.ec/search?q=optical+light+source&biw=1517&bih=752&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=hZjaVOLHJcq-ggSRn4OYDA&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9

- Tipo de emisor (láser para SM o LED para MM, o ambos)
- Longitudes de onda a las cuales genera luz
- Potencia de luz generada a cada longitud de onda.
- Ancho espectral de la señal generada (acorde a calidad de láser o LED).
- Estabilidad de intensidad de señal generada.
- Tipo de conector.
- Tipo de alimentación.

Así por ejemplo, la Tabla 3.3 muestra las especificaciones técnicas de una LS de uso común:

Specifications				
Model	JFT-04			
Wavelengths(nm)	650	1310/1550	850/1300	the maximum wavelengths can be four wavelengths
Emitter Type	FP-LD		LED	
Output Power(dB/m)	0	-7	-20	
Spectral Width(nm)	≤10			
Output Stability	±0.05dB/15mins; ±0.1dB/ 8hours			
Modulation Frequencies	CW,2Hz	CW,270Hz,1KHz,2KHz		
Optical Connector	FC universal adaptor	FC/PC(Interchangeable FC/SC/ST connectors can be optional)		
Power Supply	Alkaline Battery(3 AA 1.5V batteries)			
Operating Temperature(°C)	-10~+60			
Storage Temperature(°C)	-25~+70			
Dimension(mm)	152X74X26			
Weight	180g			

Tabla 3.3: Especificaciones técnicas de un LS marca JFOPT, modelo JFT-04⁹¹

⁹¹ JFOPT. Light Source JFT-04 Datasheet, página 2.

Al igual que en el caso del VFL, se debe tener cuidado de no mirar a la luz directamente por temas de seguridad.

Cabe finalmente mencionar que el alcance del LS dependerá del umbral de recepción del equipo que se conecte al otro lado del enlace y de la calidad de la red.

3.4.2 Medidor de potencia [14] [15] [19]

Un Medidor de Potencia - **Power Meter** – PM es un equipo que cuantifica la intensidad de luz recibida en un hilo de fibra óptica (extremo del enlace). Puede usarse en conjunto con un LS o directamente para medir la potencia inyectada por equipos activos.

Mide luz en un amplio rango de frecuencias con un solo detector, el mismo que comúnmente es **APD (Avalanche Photo Diode)** o **PIN (Positive Intrinsic Negative)**, y se puede usar con fibra SM o MM indistintamente. Las frecuencias de recepción suelen ser calibradas en el equipo directamente desde fábrica.

La potencia recibida suele ser mostrada en un display y se expresa en [dBm] y en [mW].

El puerto del PM tiene un tipo de conector hembra específico, por lo que su uso requiere que el hilo a probar tenga un conector. Si la medición de luz se va a realizar a un puerto de un ODF, se requiere el uso adicional de un patchcord para la respectiva conexión. En muchos casos, y dependiendo de marca y modelos, el PM tiene la opción de conectores intercambiables.



Figura 3.15: Distintos modelos de PM⁹²

Los principales aspectos técnicos de un PM son:

- Longitudes de onda que el equipo es capaz de detectar
- Tipo de detector
- Potencia máxima de recepción (máximo valor de potencia que puede recibir el equipo sin quemarse)

92

https://www.google.com.ec/search?q=optical+power+meter&biw=1517&bih=752&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=iafgVO-uLMeoNqbXgdAF&sqi=2&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9

- Potencia mínima de recepción (mínimo valor de potencia que puede detectar el equipo)
- Longitudes de onda pre calibradas desde fábrica
- Precisión
- Tipo de conector.
- Tipo de alimentación.

Así por ejemplo, la Tabla 3.4 muestra las especificaciones técnicas de un PM de uso común:

Specifications		
Model	JFT-02A	JFT-02C
Wavelength(nm)	800~1650nm	
Detector	InGaAs	
Measurement Range (dBm)	-70~+3	-50~+26
Uncertainty	±5%	
Calibrated Wavelength(nm)	850,1300,1310,1550,1490nm (other calibrated wavelength can be optional)	
Resolution(dB)	Linear 0.1% or Non-linear 0.01dBm	
Optical Connector	FC/ Universal 2.5mm adaptor (FC,SC,ST interchangeable connector can be optional)	

Tabla 3.4: Especificaciones técnicas de un PM marca JFOPT, modelo JFT-02⁹³

⁹³ JFOPT. Power Meter JFT-02 Datasheet, página 2.

Cabe mencionar que este equipo no genera riesgo a la vista del humano, ya que no genera luz, sino trabaja más bien como un receptor.

Cuando una LS trabaja en conjunto con un PM, se tiene un presupuesto de potencia calculado con la potencia de transmisión de la LS y el umbral de recepción del PM. Este presupuesto de potencia determinará de manera aproximada la distancia a la cual estos equipos pueden trabajar.

Acorde a los especificaciones técnicas de una LS y de un PM indicadas en las tablas 3.3 y 3.4, se puede calcular un presupuesto de potencia de 43 [dB] para el PM modelo JFT-02C. Si tomamos como referencia la longitud de onda de 1310 [nm] y un atenuación en fibra de 0.4 [dB/km], este par de equipos podrían trabajar a aproximadamente 107 [km], esto sin tomar en cuenta conectores, empalmes, POS, etc. En definitiva, el alcance dependerá de la longitud de onda de trabajo, de cómo esté construida la red, los elementos que la constituyen y la calidad de la misma.

Actualmente se están comercializando PM para redes PON, los cuales tienen el mismo principio de funcionamiento que un PM normal, pero presenta algunas variaciones en la forma de mostrar los resultados y se agregan algunas funcionalidades, entre la cuales se destacan:

- Medición simultánea de varias longitudes de onda (1310nm en ascendente, 1490nm y 1550nm en descendente)
- Medición de señales de ráfagas a 1310nm
- Capacidad de almacenamiento de mediciones.
- Capacidad de seteo de umbrales para rápida verificación (pasa, alerta, falla)

3.5 Medición de potencia retrodifusa [1] [14] [15] [23]

La medición de potencia retrodifusa consiste en analizar las reflexiones y retro dispersiones que acontecen en un hilo de fibra óptica cuando se transmite luz por el mismo.

Cuando un haz de luz viaja a través de un hilo de fibra, parte de esa luz escapa de la guía de onda, en muchos casos producto de la dispersión ocasionada por las impurezas de la fibra (fluctuaciones de forma, composición y densidad). Cuando la cantidad de luz que escapa de la guía de onda es pequeña (inferior a la décima parte de la onda incidente), se habla de dispersión, mientras que si la cantidad de luz que escapa es grande y es vuelta a capturar en la guía de onda, pero con sentido contrario a la dirección en la que viaja la luz, se habla de retro dispersión. Este

fenómeno se conoce como retrodispersión de Rayleigh y ocurre a lo largo de toda la fibra.

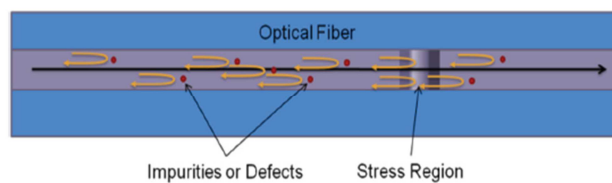


Figura 3.16: Retrodispersión de Rayleigh⁹⁴

Cuando un haz de luz viaja a través de un hilo de fibra, y existe un cambio de medio (diferente índice de refracción de los materiales), parte de la luz incidente es reflejada y a este fenómeno se lo conoce como reflexiones de Fresnel y ocurre cuando se tiene eventos reflectivos y finales de fibra.

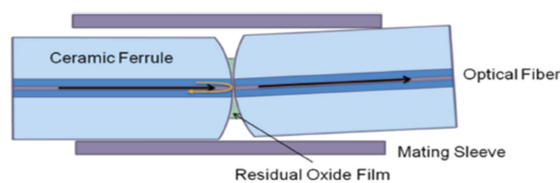


Figura 3.17: Reflexión de Fresnel⁹⁵

El análisis de los dos fenómenos mencionados permite caracterizar un hilo de fibra óptica y determinar qué está aconteciendo en el mismo durante

⁹⁴ JDSU, Adams M. (2012). Comparing ORL Measuring Methods, página 2.

⁹⁵ JDSU, Adams M. (2012). Comparing ORL Measuring Methods, página 1.

todo su recorrido. A este procedimiento se le denomina medición de potencia retrodifusa y el equipo que permite obtener y visualizar estos resultados se denomina Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo – ***Optical time Domain Reflectometer*** – OTDR.

3.5.1 Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR) [15] [19]

El OTDR es un instrumento de medición que inyecta pulsos de luz en un hilo de fibra óptica, y analizando las reflexiones de Fresnel y retro dispersiones de Rayleigh, permite obtener una traza o curva en la cual se visualiza la atenuación en función de la distancia. Adicionalmente se genera una tabla de eventos, en la cual se puede visualizar de forma exacta todo lo que ocurre en el hilo analizado.

Este equipo contiene toda la circuitería electro-óptica y microprocesadores requeridos para la obtención de esta curva y de la tabla de eventos.



Figura 3.18: OTDR marca EXFO, modelo AX-110⁹⁶

⁹⁶ EXFO. (2009), AXS 110 OTDR Datasheet, página 1.

En las curvas y tablas de evento generadas, se pueden apreciar múltiples parámetros del hilo analizado, tales como:

- Longitud de onda da trabajo.
- Eventos existentes en dicho hilo (conectores, empalmes, curvaturas)
- Ubicación de eventos existentes [dB]
- Longitud del enlace [km]
- Atenuación promedio del enlace [dB/km]
- Atenuación total del enlace [dB]
- Pérdida de inserción en cada evento [dB]
- Pérdida de reflexión en cada evento [dB]
- Pérdida de reflexión del enlace [dB]

Independiente de marca y tipo de OTDR, el formato de presentación de resultados (atenuación en función de distancia) es siempre el mismo y también los símbolos que se usan para identificar a cada evento son similares, ya que los mismos están definidos en la recomendación UIT G.650.3 ***“Test methods for installed single-mode optical fibre cable links”***. Un ejemplo típico de una traza obtenida con un OTDR se puede apreciar en la figura 3.19:

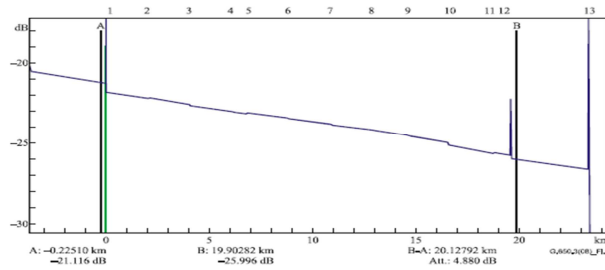


Figura 3.19: Ejemplo de traza de OTDR según UIT G.650.3⁹⁷

La figura 3.20 muestra un ejemplo típico de una tabla de eventos obtenida con un OTDR:

Event (13)	Distance (km)	Attenuation (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. dist. (km)	Link budget (dB)
1	0.00000	0.534	-52.39	0.200	3.68282	
2	2.07258	-0.038		0.198	2.07258	0.944
3	4.10104	0.076		0.190	2.02846	1.291
4	6.15188	0.007		0.196	2.05084	1.768
5	6.82591	-0.094		0.203	0.67402	1.912
6	8.83262	0.004		0.191	2.00672	2.202
7	10.96404	-0.034		0.194	2.13142	2.619
8	12.94837	0.029		0.192	1.98433	2.966
9	14.82975	0.025		0.190	1.88138	3.353
10	16.65293	0.362		0.184	1.82318	3.714
11	18.71848	-0.062		0.190	2.06555	4.468
12	19.61185		-53.69	0.187	0.89337	4.574
13	23.40722			0.193	3.79537	5.484

Figura 3.20: Ejemplo de tabla de eventos según UIT G.650.3⁹⁸

⁹⁷ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3: Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 8.

La figura 3.21 muestra las formas típicas con las que se representan a los eventos obtenidos con un OTDR:

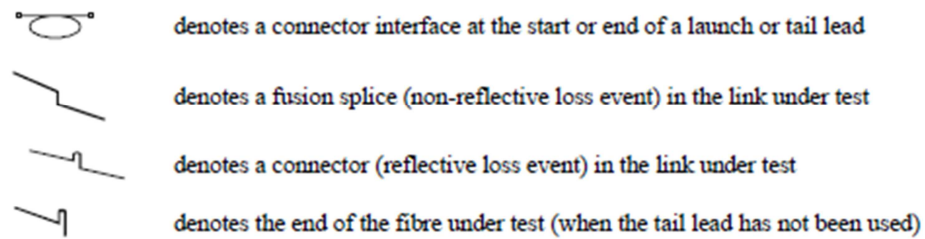


Figura 3.21: Forma referenciales de eventos según UIT G.650.3⁹⁹

Así por ejemplo, si se obtiene una traza de un enlace de 2km con un OTDR de uso comercial, se obtendrá una figura como la indicada a continuación:



Figura 3.22: Ejemplo de traza obtenida con OTDR EXFO AXS-110¹⁰⁰

La tabla de eventos asociada a la traza indicada en la figura 3.22 es:

⁹⁸ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 9.

⁹⁹ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 9.

¹⁰⁰ Información facilitada por Optytech.

Type	No.	Loc.	Loss	Refl.	Att.	Cumul.
→	1	0.0000	---	-43.6	@11.1dB	0.000
┌	(0.9993)		0.268		0.268	0.268
└	2	0.9993	0.537	-50.7		0.806
┌	(1.0134)		0.200		0.197	1.005
└	3	2.0127	---	>-17.5		1.005

**Figura 3.23: Ejemplo de tabla de eventos obtenida con OTDR EXFO
AXS-110¹⁰¹**

Para realizar este tipo de prueba, hace falta sólo un técnico en un extremo del enlace, tal como se indica en la figura 3.24:

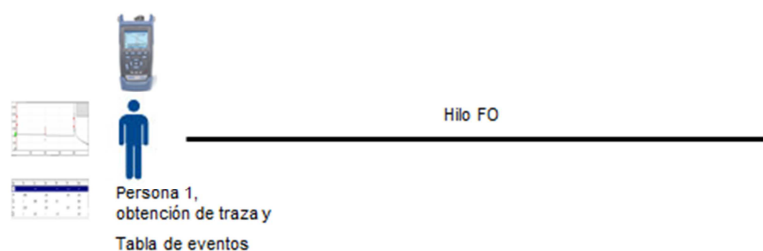


Figura 3.24: Medición con OTDR ¹⁰²

Cabe recalcar sin embargo, y como ya se mencionó anteriormente, que para obtener una buena medición con OTDR, es indispensable conocer la distancia del enlace (por lo menos de manera aproximada), ya que caso contrario, no se podrá diferenciar entre una fibra rota cuando ésta se

¹⁰¹ Información facilitada por Optytech.

¹⁰² Elaboración propia del autor.

presenta como evento reflectivo y no como fin de fibra (lo cual es muy común).

El puerto del OTDR tiene un tipo de conector hembra específico, por lo que su uso requiere que el hilo a probar tenga un conector. Si la medición de luz se va a realizar a un puerto de un ODF, se requiere el uso adicional de un patchcord para la respectiva conexión. En muchos caso, y dependiendo de marca y modelos, el OTDR tiene la opción de conectores intercambiables.

Los principales aspectos técnicos de un ODTR son:

- Tipo de fibra de trabajo (si el equipo es MM y SM, al igual que una LS, debe tener obligatoriamente 2 puertos)
- Longitudes de onda pre calibradas desde fábrica
- Rango dinámico expresado en [dB], indica la cantidad de potencia disponible del equipo, lo cual se relaciona con la distancia a la cual podrá llegar la medición (al igual que con los OLTS, dependiendo de cómo esté construida la red y de la calidad de la misma)
- Incertidumbre de distancia (relacionado con la ubicación de eventos)
- Resolución (distancia y pérdida)
- Umbral de detección (mínima atenuación a ser detectada en eventos)

- Zona muerta
- Tipo de conector.
- Tipo de alimentación.

Así por ejemplo, la Tabla 3.5 muestra las especificaciones técnicas de un OTDR de uso común:

SPECIFICATIONS ^a	AXS-100	AXS-110
Wavelength (nm)	1310/1550/1625	850/1300/1310/1550
Dynamic range ^b (dB)	29/28/28 (1310/1550/1625)	24/25/32/30 (850/1300/1310/1550)
Pulse width (ns)	10, 30, 100, 275, 1000, 2500, 10 000	Multimode: 5, 10, 30, 100, 275, 1000 Singlemode: 5, 10, 30, 100, 275, 1000, 2500, 10 000
Event dead zone ^c (m)	2.5	0.8
Attenuation dead zone ^c (m)	11/12/12	3.5/4.5/4/4.5
Launch conditions ^d		Class CPR 1 or 2
Linearity (dB/dB)	±0.05	±0.03
Loss threshold (dB)	0.05	0.01
Loss resolution (dB)	0.01	0.01
Sampling resolution (m)	0.16 to 5	Multimode: 0.08 to 2.5 Singlemode: 0.08 to 5.0
Sampling points	Up to 30 000	Up to 64 000
Distance uncertainty ^e (m)	±(1 + 0.005 % x distance + sampling resolution)	±(0.75 + 0.0025 % x distance + sampling resolution)
Distance range (km)	0.65 to 160	Multimode: 0.1 to 40 Singlemode: 0.65 to 260
Typical real-time refresh (Hz)	2	4
Memory capacity	500 traces	500 traces
Measurement time	User-defined	User-defined
Stable source output power ^f (dBm)	-9	Multimode: -1.5 Singlemode: -6.5
Visual fault locator (optional)	Laser, 650 nm ± 10 nm CW Typical P _{out} in 62.5/125 µm: 3 dBm (2 mW)	Laser, 650 nm ± 10 nm CW Typical P _{out} in 62.5/125 µm: 3 dBm (2 mW)

Tabla 3.5: Especificaciones técnicas de un OTDR marca EXFO, serie AXS-110¹⁰³

Los principales parámetros a configurar en un ODTR previo a la obtención de una traza son:

- Modo de trabajo Manual o Automático (si no se conoce la longitud del enlace, se debe trabajar en modo automático, caso contrario es

¹⁰³ EXFO. (2009). AXS 110 OTDR Datasheet, página 7

mejor usar la opción en modo experto e introducir los parámetros del enlace de manera manual).

- Tipo de fibra (si el equipo es SM y MM)
- Longitud de onda (acorde al tipo de fibra)
- Ancho del pulso (entre más ancho, mayor alcance pero menor resolución)
- Tiempo de muestreo (entre más alto, más exacta la traza obtenida)
- Índice de refracción de la fibra a medir (según hoja técnica del fabricante)
- Longitud del enlace (cuando no se trabaja en modo automático)

Estas configuraciones se pueden apreciar en la siguiente figura, la misma que muestra la pantalla de visualización de parámetros de un OTDR:

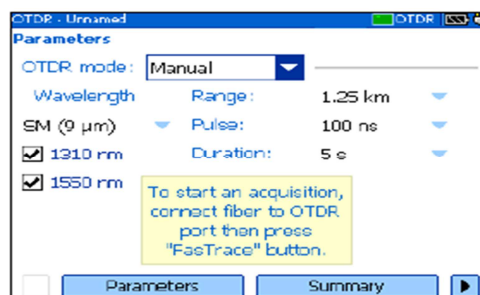


Figura 3.25: Configuración de parámetros en un OTDR marca EXFO, serie AXS-110¹⁰⁴

¹⁰⁴ Información facilitada por Optytech.

Todo OTDR, permite trabajar con la opción de tiempo real, lo cual es muy útil para la detección de daños (tal como se describirá posteriormente). Adicionalmente, en la pantalla del OTDR se cuenta con 2 cursores (líneas verticales), las mismas que ayudan a analizar en enlace por tramos, cuando esto es necesario. A estos cursores se los denomina marcadores, se representa típicamente por líneas verticales y se los denomina A y B, tal como se muestra a continuación, en la figura 3.26:

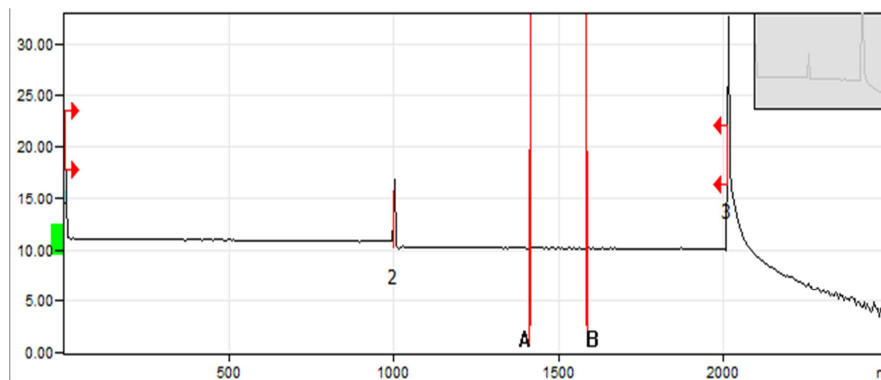


Figura 3.26: Marcadores en una traza¹⁰⁵

También, todo OTDR incluye un software para la administración de las trazas obtenidas. Esto es muy útil para temas de documentación, etiquetación de trazas y demás actividades complejas de ejecutar en campo por las condiciones generalmente incómodas y por las limitaciones de tiempo.

¹⁰⁵ Información facilitada por Optytech.

Al igual que en el caso del VFL y de la LS, se debe tener cuidado de no mirar a la luz directamente por temas de seguridad.

Actualmente se están comercializando OTDR para redes PON, los cuales tienen el mismo principio de funcionamiento que un OTDR normal, pero presentan algunas variaciones, entre la cuales se destacan:

- Capacidad de realizar mediciones a 1625 [nm] para no interferir con el tráfico que circula por la red.
- Capacidad de realizar pruebas cuando el ODTR detecta señal (1310, 1490 o 1550 [nm]). Un OTDR tradicional, no puede realizar pruebas cuando su puerto detecta señal.
- Capacidad de identificar a un splitter (pérdidas muy altas) como evento. Un OTDR tradicional, define como fibra rota a un evento con una pérdida superior a los 3 [dB].
- Filtros para eliminar la inserción de ruido que provoca un POS, lo cual se traduce como una degradación de la traza luego del POS:

La importancia de este equipo es que, adicional a que permite verificar la continuidad de un enlace (siempre que se conozca la longitud del mismo), así como medir la pérdida total del enlace (similar a la medición de potencia), permite también determinar dónde existen los daños en una red

óptica pasiva y adicionalmente permite analizar de forma individual cada uno de los eventos existentes en un hilo de fibra óptica, análisis imposible de realizar con VFLs y/o OLTSs.

Sin embargo, el OTDR no reemplaza a los VFL ni a los OLTS, sino que más bien los 3 equipos deben usarse de forma complementaria. Esto ocurre principalmente debido a que el OTDR no puede trabajar en distancias cortas (menores a 50m dependiendo del modelo y fabricante) debido a que tiene una zona muerta (tal cómo se explicará posteriormente). Debido a esta limitación, el OTDR no permite detectar daños en pigtails dentro de un ODF, no permite analizar conectores de un ODF (a menos que se use un supresor de pulsos, tal como se mencionará posteriormente), no permite certificar patchcords, no permite verificar polaridades, etc.

En resumen, para tener los suficientes criterios de certificación de redes de fibra óptica, se debe trabajar al menos con VFLs, OLTSs y OTDRs.

3.5.2 Zona muerta [19]

La zona muerta de un OTDR es aquella región de la traza en la cual el equipo no puede definir lo que pasa con el hilo de fibra óptica analizado debido a una alta reflexión de Fresnel. Esto ocurre al inicio de la medición

(conector del OTDR) y en los eventos reflectivos. Es decir, es una zona en la cual el OTDR es ciego debido a que el foto receptor del equipo se satura por la alta reflexión recibida. Se expresa en metros y su longitud es especificada por cada fabricante. Cabe mencionar que todo OTDR tiene zonas muertas ya que la misma es inevitable, y la longitud de la misma es variable según el ancho del pulso configurado en el OTDR para la obtención de la traza respectiva.

Existen 2 tipos de zona muertas, la zona muerta de evento y la zona muerta de atenuación.

La zona muerta de evento es la distancia mínima que debe existir entre el inicio de un evento reflectivo y otro evento reflectivo consecutivo para que el OTDR pueda detectar al segundo. Esta zona ocurre entre 2 eventos reflectivos. Típicamente la detección se da 1.5 [dB] abajo del pico de primer evento reflectivo.

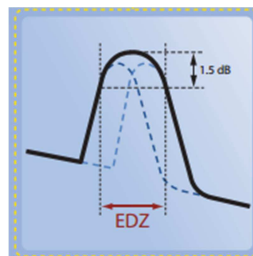


Figura 3.27: Zona muerta de evento – Event Dead Zone - EDZ¹⁰⁶

¹⁰⁶ <http://www.jdsu.com/ProductLiterature/Understanding-otdr-po-fop-tm-ae.pdf>

En la figura 3.27 se puede apreciar que existen 2 eventos reflectivos muy juntos (ver línea entre cortada). Sin embargo, debido a la zona muerta de evento, el OTDR no los distingue como 2 eventos sino como uno sólo.

Para que el segundo evento pueda ser detectado, debería estar en el punto en el cual se tiene 1.5 [dB] menos potencia que en el pico del primer evento no reflectivo.

La zona muerta de atenuación es la distancia mínima que debe existir entre el inicio de un evento reflectivo y un evento no reflectivo consecutivos para que la pérdida del segundo evento pueda ser medida. Esta zona ocurre entre un evento reflectivo y un evento no reflectivo. Típicamente la lectura se da a 0.5 [dB] abajo del inicio del evento reflectivo.

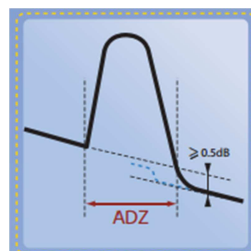


Figura 3.28: Zona muerta de atenuación – Attenuation Dead Zone -

ADZ¹⁰⁷

¹⁰⁷ <http://www.jdsu.com/ProductLiterature/Understanding-otdr-po-fop-tm-ae.pdf>

En la figura 3.28 se puede apreciar que existe un evento no reflectivo muy cercano al primer evento reflectivo (ver línea entre cortada), por lo cual el OTDR no lo detecta ni mide.

Para que el evento no reflectivo pueda ser detectado, debería estar en el punto en el cual se tiene 0.5 [dB] menos potencia que en el inicio del primer evento no reflectivo.

Para el caso de la certificación de redes de fibra óptica, los principales problemas que genera la zona muerta son los siguientes:

1. Imposibilidad de diferenciar el evento reflectivo del conector del pigtail en un ODF y el evento no reflectivo de la fusión de un pigtail de fibra con un hilo de un cable, tal como se indica en la figura 3.29. En este caso, la pérdida es analizada como un solo evento reflectivo correspondiente al conector del ODF.

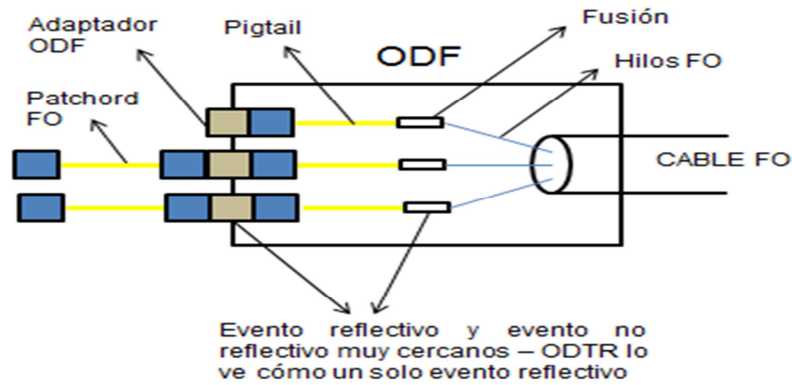


Figura 3.29: Fusión y adaptador en ODF¹⁰⁸

2. Imposibilidad de diferenciar dos eventos reflectivos muy cercanos, por ejemplo los 2 conectores de un patchcord, tal como se indica en la figura 3.30. En este caso, se debe considerar a ambos conectores como un solo evento reflectivo.

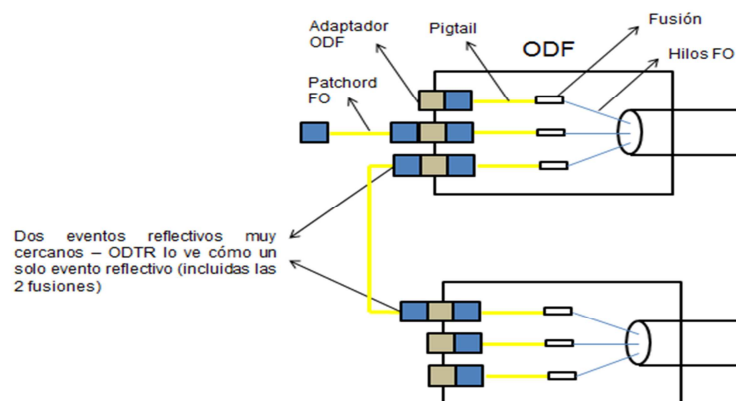


Figura 3.30: Puente de puertos en ODF con un patchcord¹⁰⁹

¹⁰⁸ Elaboración propia del autor.

¹⁰⁹ Elaboración propia del autor.

3. Imposibilidad de medir la pérdida del conector de un ODF cuando se lo conecta a un OTDR con un patchcord por la excesiva reflexión inicial, tal como se indica en la figura 3.31. Este caso es el más crítico ya que los adaptadores del ODF y conectores de los pigtails deben ser certificados. Para solventar este inconveniente se debe usar una bobina de lanzamiento o supresor de pulsos.

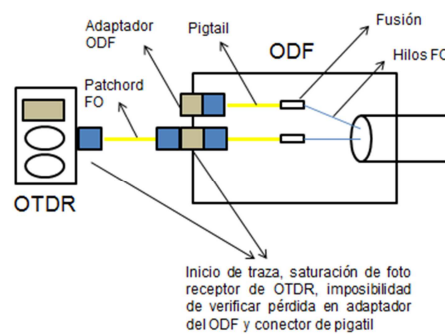


Figura 3.31: Conexión entre OTDR y puerto de ODF con un patchcord¹¹⁰

3.5.3 Supresor de pulsos (bobina de lanzamiento) [1] [15] [19]

Un supresor de pulsos o bobina de lanzamiento es un hilo de fibra óptica (típicamente de 1000m de longitud), conectorizado en sus extremos y que

¹¹⁰ Elaboración propia del autor.

se conecta entre el OTDR y el conector del ODF que se desea medir., tal como se indica en la figura 3.32:

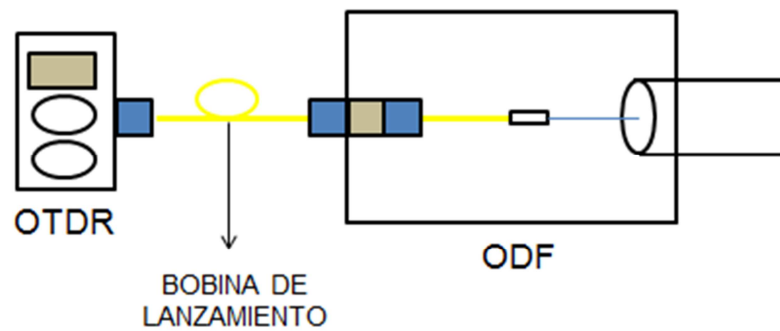


Figura 3.32: Conexión entre OTDR y ODF usando bobina de lanzamiento¹¹¹

Suele estar empaquetada en una caja o maleta y tiene conectores en sus extremos.



Figura 3.33: Distintos modelos de bobinas de lanzamiento¹¹²

¹¹¹ Elaboración propia del autor.

La función de la bobina de lanzamiento es desplazar el conector del ODF para que el mismo pueda ser medido y analizado por el ODTR, es decir, desplazar la zona muerta.

Con la bobina de lanzamiento, la zona muerta cae entre el punto de conexión del puerto del OTDR y el inicio del supresor de pulsos, elementos que no son parte del enlace y que por ende no requieren ser medidos.

Una traza típica de una reflectometría con bobina de lanzamiento se muestra a continuación:

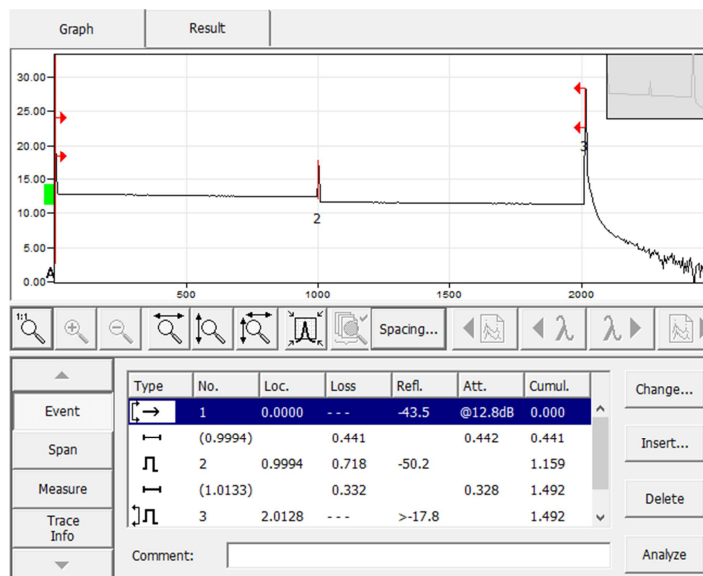


Figura 3.34: Traza obtenida con bobina de lanzamiento¹¹³

112

https://www.google.com.ec/search?q=pulse+box+suppressor&biw=1517&bih=752&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=jkfpVMulDoSfgwSbs4SoDg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9

¹¹³ Información facilitada por Optytech.

En la figura 3.34, se puede apreciar que se está usando una bobina de lanzamiento de 1000m, por lo que el evento (marcado como #2) que se ve a esa distancia, corresponde justamente al conector del ODF, y es posible verificar que su pérdida de inserción es de 0.718 [dB] y la pérdida de reflexión es de -50.2. [dB]

Así mismo, en la figura 3.35 se puede apreciar que el ODTR no indica la pérdida del primer conector ya que el mismo cae justamente en la zona muerta del ODTR.

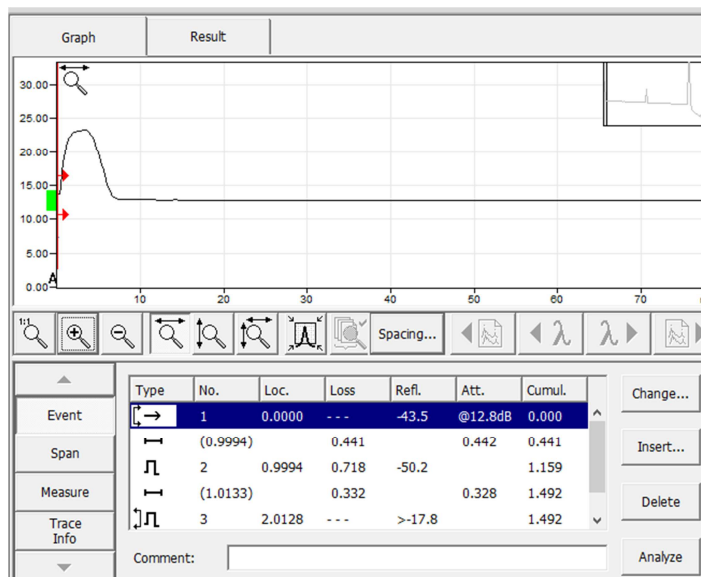


Figura 3.35: Ampliación de zona muerta del OTDR¹¹⁴

¹¹⁴ Información facilitada por Optytech.

Cabe mencionar que la bobina de lanzamiento usada debe ser del mismo tipo y subtipo de fibra que el enlace a certificar. Así mismo, se debe verificar la compatibilidad de conectores del ODF y del OTDR con los conectores de la bobina de lanzamiento (los que pueden ser macho, hembra, APC, UPC, etc.).

Cuando se quiere medir la pérdida del conector final de un enlace, es necesario colocar también una bobina de lanzamiento en el conector final. En la figura 3.36, se puede apreciar que los conectores de los ODFs inicial y final corresponden a los eventos 1 y 12 respectivamente y las pérdidas de ambos elementos son cuantificables por el OTDR.

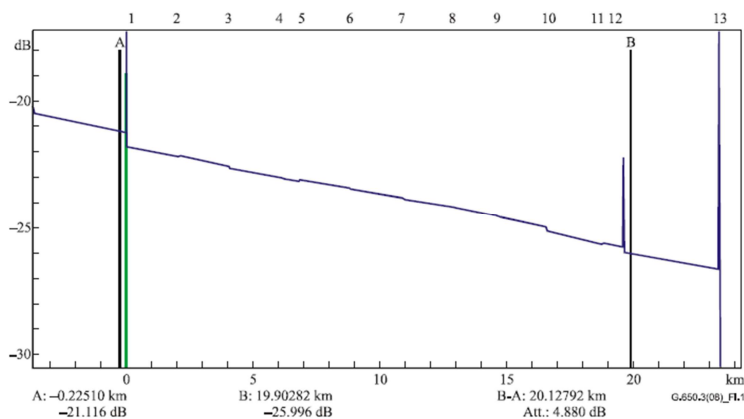


Figura 3.36: Traza obtenida con bobina de lanzamiento al inicio y al final del enlace¹¹⁵

¹¹⁵ UIT-T. (2009). Recomendación UIT-T G.650.3: Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 8.

3.6 Otros equipos de certificación [15] [19] [20] [22]

Existen otros equipos que son de utilidad para la certificación de redes ópticas pasiva, y que más que para medición de parámetros, sirven para detección de daños y solución de problemas.

3.6.1 Microscopio [15] [19] [20] [22]

Un microscopio para fibra óptica es un amplificador de imagen que permite visualizar el estado de un conector, y determinar si el mismo está sucio, trizado, en buen estado, etc.

El microscopio se acopla a la férula del conector, y se lo usa indistintamente con fibra SM y MM. Se muestra a continuación fotos de microscopios típicos:



Figura 3.37: Diferentes modelos de microscopios ópticos¹¹⁶

116

https://www.google.com.ec/search?q=optical+fiber+microscope&biw=1517&bih=752&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=RFXpVKzyHYahgWS9klToCg&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9

El mal estado del conector, tal como se indica en la figura 3.38 (ya sea del pigtail o del patchcord) implica un aumento en las pérdidas de inserción y de reflexión del mismo, y por ende problemas para pasar la certificación.

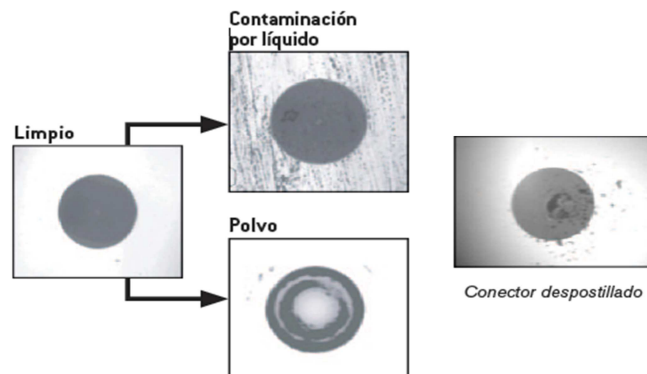


Figura 3.38: Imágenes de conectores obtenidas con un microscopio óptico¹¹⁷

En caso de que el conector esté sucio, se debe proceder con la limpieza del mismo, pero si se verifica que el conector está roto o trizado, se debe proceder con el reemplazo respectivo.

3.6.2 Identificador de fibra activa [15] [19] [20] [22]

Un identificador de fibra activa es un equipo que permite verificar si un hilo de fibra está iluminado (cursando tráfico) sin necesidad de suspender el servicio para esta verificación.

¹¹⁷ EXFO. (2012). La Guía FTTH PON Realización de pruebas de redes ópticas pasivas, 5ta edición, página 27

Trabaja mediante la aplicación de una curvatura controlada sobre el hilo de fibra probado, de tal manera que exista una fuga de luz por microcurvatura, con lo cual se puede determinar si hay luz en el hilo y la dirección de la misma. Trabaja sobre hilos de 250 [μm], 900 [μm], 2 [mm] o 3 [mm] de diámetro y sobre fibras SM o MM. No puede trabajar sobre cables. Adicionalmente muestra una aproximación del nivel de potencia detectado. La figura 3.39 muestra fotos de identificadores de fibra típicos:



Figura 3.39: Identificador de fibra óptica¹¹⁸

Es muy usado para trabajos de mantenimiento y reparación en racks poco organizados para definir qué patchcord se puede desconectar del ODF, y en mangas mal armadas, para conocer qué hilo se puede cortar.

¹¹⁸ JFOPT. Optical Fiber Identifier JFT-16 Datasheet, página 1

3.6.3 Teléfono óptico [15] [19] [20]

Los teléfonos ópticos son equipos que pueden conectarse en los extremos de un enlace y usan el hilo de fibra óptica como medio de transmisión.

Se usan como una alternativa cuando no se tiene comunicación entre los extremos del enlace en los que se está trabajando, ya sea por lo aislado del punto o porque la infraestructura del nodo aún no está terminada.

Permiten también verificar si existe continuidad en el enlace y se conectan al puerto del ODF a través de un patchcord de fibra óptica.

La figura 3.40 muestra fotos de teléfonos ópticos típicos:



Figura 3.40: Teléfonos ópticos¹¹⁹

119

https://www.google.com.ec/search?q=telefono+optico&biw=1517&bih=752&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=b-HpVNmFHMkrgwSymYSACA&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9

3.6.4 Medidor de pérdida de retorno óptico (ORL) [15] [18] [19]

Es un equipo que permite determinar la pérdida de retorno óptico de un enlace. Suele estar incorporado en equipos que incluyen LS, PM y VFL.

Este equipo no permite determinarla ORL de eventos individuales, sino únicamente de enlaces completos, es decir trabaja de manera similar al OLTS. No es un equipo común ya que el OTDR reemplaza su función y adicionalmente puede analizar la ORL de elementos individuales, sin embargo puede ser usado en enlaces cortos en los cuales el OTDR no brinda resultados confiables. La figura 3.41 muestra fotos de medidores de ORL típicos:



Figura 3.41: Medidores de ORL¹²⁰

120

https://www.google.com.ec/search?q=ORL+TESTER&biw=1517&bih=752&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ei=0uXpVLDDCsWrgwTDoYTQBA&ved=0CAYQ_AUoAQ&dpr=0.9

CAPÍTULO 4

PROCEDIMIENTOS DE CERTIFICACIÓN DE REDES PASIVAS DE FIBRA ÓPTICA

4.1 Medición de Atenuación en Empalme [1]

Como se mencionó anteriormente, un empalme por fusión es un evento no reflectivo, el cual produce una pérdida de inserción expresada en [dB], mientras que un empalme mecánico es un evento reflectivo, el cual produce una pérdida de inserción expresada en [dB] y una pérdida de reflexión también expresada en [dB]

Para medir la pérdida en el empalme (por fusión o mecánico), se recurre al uso del OTDR. Es imprescindible conocer la ubicación del empalme en la red para no confundir este evento con otro existente en la red.

Una vez obtenida la traza, se verifica el valor de pérdida medido en el punto en el cual se ubica el empalme y se lo registra.

Así por ejemplo, si se tiene el siguiente esquema de una red de 1437m de longitud con un empalme:

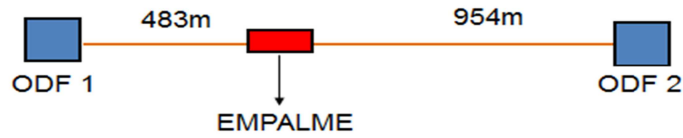


Figura 4.1: Esquema de red con un empalme¹²¹

Al realizar la traza de OTDR desde el ODF 1, se obtiene lo siguiente:

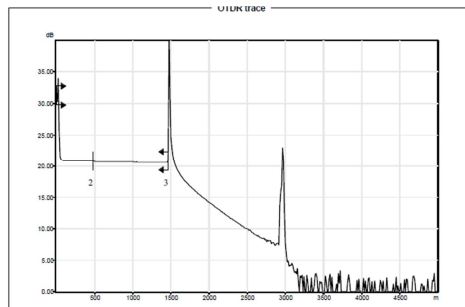


Figura 4.2: Traza de OTDR para red con un empalme¹²²

La tabla de eventos asociada a la traza indicada es la siguiente:

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Merged Fault	---	-33.5		0.000
	0.0000			-35.4		
2	0.4830	Fiber Section (0.4830 km)	0.088		0.183	0.088
		Non-Reflective Fault	0.132			0.220
3	1.4732	Fiber Section (0.9902 km)	0.163		0.165	0.383
		Reflective Fault	---	>-19.5		0.383

Tabla 4.1: Tabla de eventos para red con un empalme¹²³

¹²¹ Elaboración propia del autor.

¹²² Información facilitada por Optytech.

Se puede apreciar que el OTDR detecta un evento a 483m desde el inicio de la traza, que dicho evento es de tipo no reflectivo y que la pérdida del mismo es de 0.132 [dB]. Este valor corresponde a la pérdida del empalme ejecutado.

Cuando se empalman fibras con diferente coeficiente de retro dispersión, o con diferente diámetro de campo modal (caso común cuando se mezclan marcas de fibras), es posible que el empalme sea registrado por el OTDR como una ganancia.

Para solventar este tema, y por indicación de la **Recomendación UIT G.650.3 Test methods for installed single-mode optical fibre cable links**, se debe realizar la medición del empalme en dos sentidos, luego sacar el promedio de estas dos mediciones, y el resultado obtenido es el valor total de la pérdida en el empalme; así:

$$\text{Splice loss} = \frac{\alpha_{A-B} + \alpha_{B-A}}{2}$$

Ecuación 4.1: Ecuación para el cálculo de la pérdida de un empalme, según la UIT G.650.3¹²⁴

¹²³ Información facilitada por Optytech.

¹²⁴ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 5.

Dónde:

α A-B es la atenuación medida en la primera dirección

α B-A es la atenuación medida en la segunda dirección

Así por ejemplo, se tiene una red con el siguiente esquema:

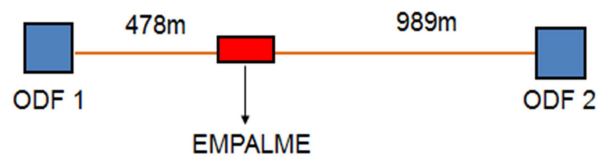


Figura 4.3: Esquema de red con un empalme¹²⁵

La traza realizada desde el ODF 1 muestra los siguientes resultados:



Figura 4.4: Traza de OTDR para red con un empalme medida desde ODF 1¹²⁶

¹²⁵ Elaboración propia del autor.

¹²⁶ Información facilitada por Optytech.

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-40.1		0.000
		Fiber Section (0.0198 km)	0.030		1.500	0.030
2	0.0198	Reflective Fault	0.329	-42.5		0.359
		Fiber Section (0.4691 km)	0.122		0.285	0.481
3	0.4788	Non-Reflective Fault	0.185			0.665
		Fiber Section (0.6947 km)	0.197		0.198	0.862
4	1.4736	Reflective Fault	---	>-19.8		0.862
		Fiber Section (1.4541 km)	2.181		1.500	---
		Echo	---	-54.3		---
		Fiber Section (0.0204 km)	0.002		0.100	---
	2.9481	Echo	---	-51.2		---
		Fiber Section (0.0128 km)	0.001		0.100	---
	2.9808	Echo	---	-34.4		---

Tabla 4.2: Tabla de eventos para red con un empalme medida desde ODF 1¹²⁷

La traza realizada desde el ODF 2 muestra los siguientes resultados:

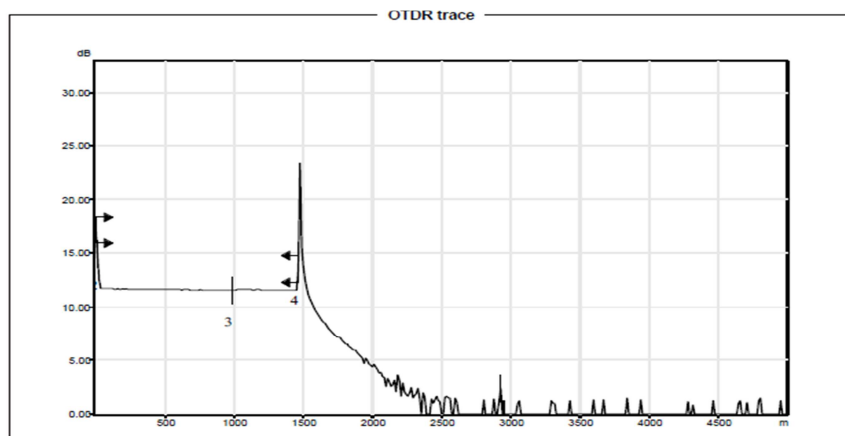


Figura 4.5: Traza de OTDR para red con un empalme medida desde ODF 2¹²⁸

¹²⁷ Información facilitada por Optytech.

¹²⁸ Información facilitada por Optytech.

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-40.5		0.000
		Fiber Section (0.0198 km)	0.030		1.500	0.030
2	0.0198	Reflective Fault	0.427	-46.5		0.457
		Fiber Section (0.9698 km)	0.176		0.182	0.633
3	0.9698	Positive Fault	-0.096			0.537
		Fiber Section (0.4840 km)	0.109		0.225	0.646
4	1.4736	Reflective Fault	---	>-20.3		0.646
		Fiber Section (1.4551 km)	2.183		1.500	---
	2.9286	Echo	---	-57.7		---
		Fiber Section (0.0191 km)	0.029		1.500	---
	2.9477	Echo	---	-52.1		---
		Fiber Section (0.0131 km)	0.001		0.100	---
	2.9608	Echo	---	-39.4		---

Tabla 4.3: Tabla de eventos para red con un empalme medida desde ODF 2 ¹²⁹

La atenuación medida desde el ODF 1 para el evento 3 es de 0.185 [dB], evento no reflectivo, y se ubica a 478m, lo cual coincide con la ubicación del empalme.

La atenuación medida desde el ODF 2 para el evento 3 es de -0.096 [dB], evento no reflectivo, y se ubica a 989m, lo cual coincide con la ubicación del empalme, visto desde el otro extremo del enlace (1473m – 478m).

Así, la pérdida total en el empalme, aplicando la ecuación dada por la UIT G.650.3, será:

¹²⁹ Información facilitada por Optytech.

$$AT= 0.185 + (-0.096) / 2 \text{ [dB]}$$

$$AT= 0.04 \text{ [dB]}$$

Ecuación 4.2: Cálculo de pérdida total en punto de empalme¹³⁰

En base a la experiencia, nunca se obtienen valores de ganancia en ambos sentidos, a menos que se fusionen fibras G.652 con fibras G.655, lo cual es un indicador de que se está fusionando fibras con diferente diámetro de core y que se debe corregir este particular. Este fenómeno, justifica la recomendación de realizar las pruebas de OTDR en dos direcciones.

Dado que no siempre es posible determinar con antelación la longitud de onda a la cual trabajarán los equipos activos, o predecir si en un futuro se cambiarán equipos que operan a diferente longitud de onda, los hilos y por ende los empalmes, deben ser probados en dos ventanas. Este hecho justifica la recomendación de realizar las pruebas de OTDR en dos ventanas.

En base a lo mencionado, se recomienda probar siempre los hilos a dos ventanas y dos direcciones (4 pruebas por hilo, 2 ventanas + 2 direcciones),

¹³⁰ Elaboración propia del autor.

tal como se indica en la ***Recomendación UIT G.650.3 Test methods for installed single-mode optical fibre cable links.***

Por otra parte, cabe mencionar que para los empalmes, la longitud de onda de 1550 [nm] es más sensible que la de 1310 [nm], ya que la luz a 1550 [nm] tiene un campo modal mayor, y percibe más la unión de dos fibras en el contorno del núcleo, por lo que en general, si un empalme es aceptable a 1550 [nm], automáticamente será aceptable a la longitud de onda de 1310 [nm].

Si ocurre lo contrario, el evento no corresponde a un empalme sino a una microcurvatura en el hilo (típicamente en la bandeja de empalme o por un buffer demasiado presionado) o a una macrocurvatura en el cable. Este es uno de los indicadores para detectar curvas muy cerradas en el procedimiento de instalación y debe ser siempre tomado en cuenta.

Si se tiene empalmes mecánicos, adicional a lo indicado para el registro y determinación de la pérdida de inserción, se debe también anotar la pérdida de reflexión, sin embargo, en la actualidad los empalmes mecánicos prácticamente han caído en desuso.

Posteriormente se indicarán valores normados para determinar si el empalme se considera de buena calidad o no.

4.2 Medición de Atenuación en Conector [1] [12]

Tal como se mencionó anteriormente, un conector es un evento reflectivo, el cual produce una pérdida de inserción expresada en [dB] y una pérdida de reflexión también expresada en [dB]. Para medir la pérdida en el conector, se recurre al uso del OTDR.

Si se va a medir la pérdida del conector de un ODF, es imprescindible el uso del supresor de pulsos (bobina de lanzamiento) para que el conector a medir no caiga dentro de la zona muerta del OTDR. La ubicación del conector dependerá de la longitud de la bobina usada. Si se va a medir la pérdida en un conector fuera de la zona muerta del OTDR, se debe conocer su ubicación para no confundirlo con otro evento de la red.

Una vez obtenida la traza, se verifican los valores de pérdida tanto de inserción como de reflexión medidos en el conector y se los registra. Así por ejemplo, si se tiene el siguiente esquema de una red de 1000m de enlace + bobina de lanzamiento de 1000 m:

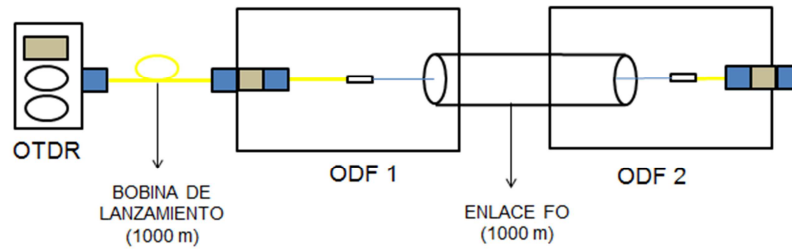


Figura 4.6: Esquema de red para medición de pérdidas en un conector¹³¹

Al realizar la traza de OTDR desde el ODF 1, con bobina de lanzamiento, se obtiene lo siguiente:

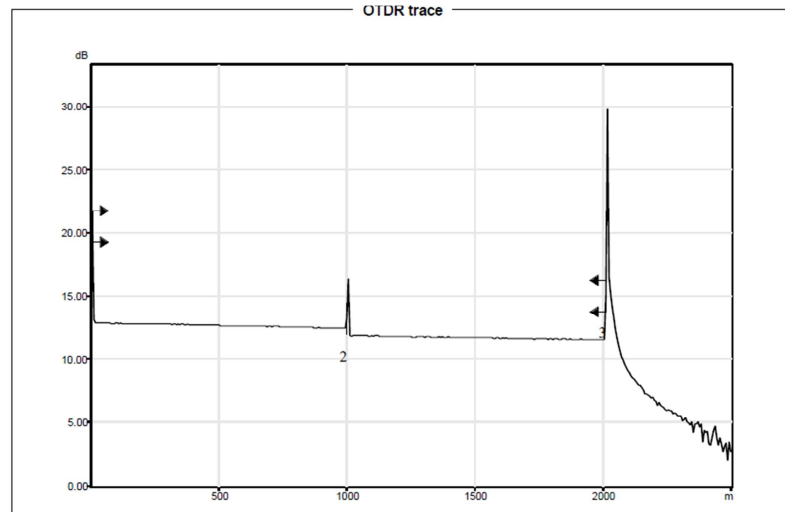


Figura 4.7: Traza de OTDR para red con bobina de lanzamiento¹³²

¹³¹ Elaboración propia del autor.

¹³² Información facilitada por Optytech.

La tabla de eventos asociada a la traza indicada es:

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-43.5		0.000
		Fiber Section (0.9994 km)	0.438		0.438	0.438
2	0.9994	Reflective Fault	0.588	-49.9		1.026
		Fiber Section (1.0132 km)	0.345		0.340	1.370
3	2.0126	Reflective Fault	---	>-17.9		1.370

Tabla 4.4: Tabla de eventos para red con bobina de lanzamiento ¹³³

Se puede apreciar que el OTDR detecta un evento a 999m, lo cual coincide con la longitud de la bobina de lanzamiento. El valor de pérdida en este punto (evento 2) corresponde a las pérdidas generadas en el conector, para el cual se indica que es un evento reflectivo y se indican los valores de pérdida de inserción y pérdida de reflexión, 0.588 [dB] y -49.9 [dB] respectivamente.

Así también se puede apreciar que el OTDR no diferencia entre el conector y la fusión en el pigtail (ya que están muy juntos), por lo que la pérdida de inserción indicada corresponde a ambos eventos. Esto obedece a la zona muerta de evento del OTDR.

¹³³ Información facilitada por Optytech

Para la medición de pérdidas en conectores, también se recomienda la ejecución de pruebas en 2 ventanas y 2 direcciones.

Si se quiere evaluar tanto el conector inicial como el final de un enlace en una sola medición, se deben usar supresores de pulso tanto al inicio como al final del enlace, tal como se indica en la siguiente figura:

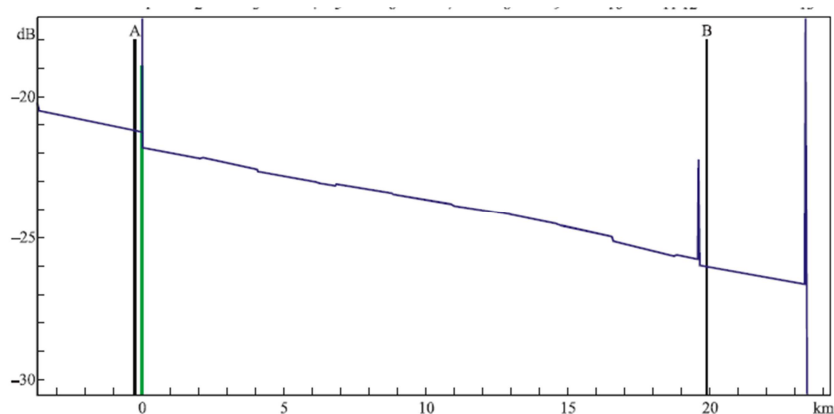


Figura 4.8: Traza con supresor de pulso al inicio y al final del enlace ¹³⁴

Por otra parte, para el caso de los conectores, la longitud de 1310 [nm] es más sensible que la de 1550 [nm], ya que la luz a 1310 [nm] tiene una mayor frecuencia, la cual pasa mejor el gap de aire existente entre las férrulas de los 2 conectores unidos, por lo que en general, si un conector es aceptable a 1310 [nm], automáticamente será aceptable a 1550 [nm].

¹³⁴ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 5.

Cabe mencionar que las impurezas y suciedades en conectores es crítica, y en base a la experiencia, en un 80% de veces la pérdida del conector mejora únicamente con limpieza del mismo. Posteriormente se hablará con más detalle de procedimientos y accesorios para limpieza de conectores.

Se debe también indicar que la pérdida en conectores no se puede medir de manera individual, y el valor de pérdida arrojado por el OTDR corresponde a la sumatoria de las pérdidas en conector 1 + conector 2 + adaptador + fusión en pigtail.

Tal como se indicó anteriormente, la bobina de lanzamiento debe tener la misma fibra que el enlace, caso contrario se obtendrán mediciones incoherentes, tales como:

- **Bobina de lanzamiento G.652 con enlace G.655:** Pérdida negativa en ambas direcciones.
- **Bobina de lanzamiento G.655 con enlace G.652:** Pérdida demasiado alta e imposible de mejorar (aunque se cambien elementos de ODF o se repitan fusiones).
- **Bobina de lanzamiento MM con enlace SM y viceversa:** Pérdidas no correspondientes a un valor confiable ni real, no sirven como referencia para la certificación.

Posteriormente se indicarán valores normados para determinar si un conector se considera de buena calidad o no.

4.3 Medición de atenuación en un POS [15] [19]

Cuando un POS no está instalado, y se quiere verificar sus niveles de pérdida de inserción previo a su instalación en campo, se recurre al uso del OLTS.

Se debe conectar el LS en la entrada del POS y el PM en cada una de las salidas del POS (en orden secuencial), y verificar que la pérdida de potencia para cada una de las salidas sea menor o igual a la especificada en la respectiva hoja técnica, tal como se indica a continuación:

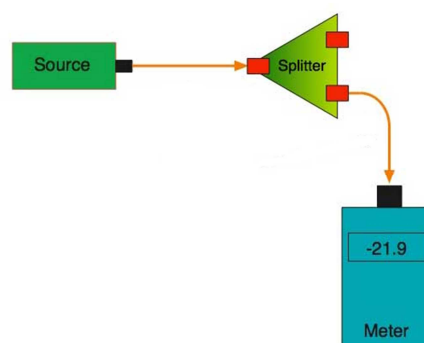


Figura 4.9: Medición de pérdida en un POS, sentido descendente ¹³⁵

¹³⁵ <http://www.thefoa.org/tech/ref/testing/test/couplers.html>

Si se quiere medir la pérdida en el sentido opuesto, simplemente se invierte la ubicación del PM y LS, es decir, el LS en cada una de las salidas y el PM en la entrada del POS, así:

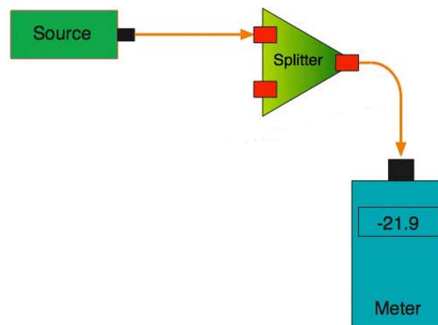


Figura 4.10: Medición de pérdida en un POS, sentido ascendente ¹³⁶

Al valor de pérdida obtenido, se le debe restar el valor de pérdida de los conectores usados para el proceso en cuestión, ya que éstas no corresponden a la pérdida del POS. El procedimiento para eliminar estas pérdidas se explicará más adelante, en la parte relacionada con medición de pérdidas en distancias cortas.

Es también importante realizar la medición de pérdida ya no sólo en las ventanas de 1310 [nm] y 1550 [nm], sino también en la de 1490 [nm], ya que son las ventanas en las que trabajan las redes PON. Se debe contar con los equipos adecuados para estas mediciones (tanto PM como LS).

¹³⁶ <http://www.thefoa.org/tech/ref/testing/test/couplers.html>

Si se quiere medir la pérdida de reflexión del POS; se recurre al uso del medidor de ORL, y se sigue un esquema similar al indicado para la medición de pérdida de inserción, tomando en cuenta que el medidor de ORL es un solo equipo y no funciona en parejas.

Si el POS bajo prueba pasa las pruebas de inserción y reflexión en cada una de las salidas del mismo (respecto a los datos indicados en su hoja técnica), el mismo está listo para ser instalado. En la siguiente tabla se muestran los parámetros ópticos de un POS PLC disponible en el mercado:

Parameters		1X2	1X4	1X8	1X16	1X32	1X64
Fiber type		SMF-28e or customer specified					
Operation wavelength(nm)		1260-1650					
Insertion loss(dB)	Max (P/A)	3.8/4.0	7.2/7.4	10.5/10.7	13.5/13.7	16.5/16.9	21.0
	Min						
Loss Uniformity(dB)	Max	0.6	0.6	0.8	1.2	1.7	2.5
Return loss(dB)	Min (P/A)	55/50	55/50	55/50	55/50	55/50	50
	Max						
PDL(dB)	Max	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
Directivity(dB)	Min	55	55	55	55	55	55
Wavelength Dependent loss(dB)	Max	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8
Temperature Stability(-40 ~ 85 °C)(dB)	Max	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	1
Operating Temperature (°C)		-40 ~ 85					
Storage Temperature (°C)		-40 ~ 85					

Remark: Parameters not include fiber and connector loss

Tabla 4.5: Parámetros de POS PLC, pérdidas de inserción y de reflexión. ¹³⁷

¹³⁷ JFOPT. PLC Splitter Datasheet, página 3.

La medición de la pérdida de reflexión, así como la medición de la pérdida de inserción de un POS instalado se analizarán en la parte concerniente a la medición de eventos en redes PON.

4.4 Medición de atenuación en enlaces punto a punto [1] [13]

Los enlaces punto a punto, tal como se mencionó anteriormente, son aquellos que en un extremo se conectan a un transmisor y en otro extremo a un receptor, es decir, tienen equipos activos en los extremos del enlace. También es típico que estos enlaces no tengan conectores intermedios, sino sólo empalmes cuando es necesario (mecánicos o por fusión).

La medición de la atenuación total en enlaces punto a punto incluye la pérdida en conectores, empalmes e hilo de fibra, y debe ser medida de diferente forma según la longitud del enlace.

4.4.1 Distancias Cortas [13]

Dentro de los enlaces punto a punto de corta distancia, se tiene típicamente los backbones de cableado estructurado, redes de acceso de muy corta

distancia y patchcords (que se pueden considerar como enlaces punto a punto).

Dado que los OTDRs tienen inevitablemente zonas muertas, para obtener una adecuada medición de atenuación en enlaces cortos, se recurre al uso del OLTS (PM + LS). No está por demás indicar que los equipos de medición deben ser coherentes con el tipo de fibra y las ventanas de operación de la red sometida a pruebas (SM, MM, 1310 [nm], 1550 [nm], 850 [nm], 1300 [nm], etc.), tal como se indicó anteriormente.

Un enlace corto típicamente es el existente entre dos ODFs, con una longitud de fibra de pocos metros. Para medir la atenuación entre inicio y fin del enlace, se conectan el PM y el LS en los extremos del enlace a través de patchcords, tal como se indica en la figura a continuación:

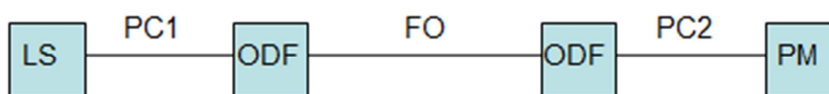


Figura 4.11: Enlace corto de fibra óptica ¹³⁸

¹³⁸ Elaboración propia del autor.

Dado que un enlace corto no llega a la centena de metros, es claro que la mayor parte de la atenuación del enlace se concentra en los conectores (inicial y final).

Sin embargo, para conectar tanto al LS como al PM, se usan 2 patchords, los mismos que no forman parte del enlace pero introducen una pérdida de inserción muchas veces mayor a la propia pérdida total del enlace, por lo cual es de interés eliminar la pérdida de estos elementos ajenos a la red.

Para esto, se debe encerrar los equipos de medición, lo cual se consigue conectando directamente el PM con el LS a través de los patchcords que se usarán en la medición (PC1 y PC2 para el ejemplo), a través de un adaptador. Realizada esta conexión, se encera al PM (según las indicaciones de cada fabricante), tal como se puede ver en la figura 4.12:

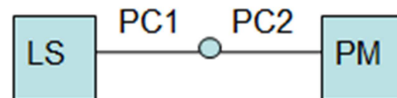


Figura 4.12: Conexión directa entre PM y LS ¹³⁹

¹³⁹ Elaboración propia del autor.

Al realizar este procedimiento, el PM deja de indicar la potencia recibida en [dBm], y muestra la pérdida en [dB] de todo aquello que se inserte entre los patchcords usados para el enceramiento.

Así, luego de encerar el PM y el LS tal como se indica en la figura 4.12, y realizar las conexiones indicadas en la figura 4.11, el PM visualizará en su pantalla en valor de pérdida entre los dos conectores del ODF expresado ya en [dB], dando un valor de atenuación exacto del enlace y dejando fuera los valores de pérdida introducidos por los patchcords usados para la conexión de equipos.

Cuando se realiza el enceramiento de equipos, se debe buscar los conectores y adaptadores acorde a los del enlace y de los equipos de medición.

Este mismo procedimiento debe seguirse para medir la pérdida en patchcords, caso para el cual se debe puentear PM y LS, encerarlos, y luego, con el apoyo de adaptadores, introducir entre éstos el patchcord del cual se desea medir la pérdida.

Si se usa el mismo esquema de enceramiento que el indicado en la figura 4.12, y se quiere medir la pérdida de un patchcord PCN, se realizaría la siguiente conexión:

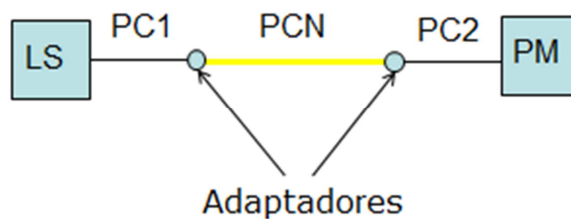


Figura 4.13: Pruebas de patchcords ¹⁴⁰

Al realizar la conexión indicada en la figura 4.13, el PM mostrará el valor de pérdida del patchcord bajo prueba PCN, para este caso.

Los procedimientos indicados aplican tanto para fibras MM y SM y permiten obtener la medición de atenuación en enlaces cortos.

Al seguir estos procedimientos, si bien es posible obtener el valor de pérdida, no se puede determinar los eventos existentes, por lo que si el valor medido es superior al valor teórico del enlace, se debe reemplazar progresivamente los elementos constitutivos del mismo hasta que la medición mejore (adaptadores, pigtaills, repetición de fusiones, cambio de

¹⁴⁰ Elaboración propia del autor.

cable, etc.). Puesto que las distancias son muy cortas, no aplica la reparación del cable con mangas, y en caso de determinar que éste falla, se lo debe reemplazar en su totalidad.

Para el caso de patchcords con falla, se los debe descartar y usar nuevos.

4.4.2 Distancias Largas [1]

Dentro de los enlaces punto a punto de larga distancia, se tiene típicamente los enlaces en los cuales la longitud del mismo supera el centenar de metros y llegan a alcanzar hasta centenas de kilómetros.

Para obtener el valor de atenuación total en enlaces largos, se puede recurrir al uso del OLTS, y repetir el procedimiento indicado para la medición de atenuación en enlaces cortos, ya sea encerando los equipos o no. Siempre es preferible encerarlos para que el valor de atenuación medido obtenido sea más exacto.

Sin embargo, el enceramiento de equipos puede ser un problema ya que cuando el enlace es muy largo, se debe movilizar ya sea al PM o al LS a un extremo del enlace, trayecto en el cual se puede perder la referencia tomada (ya que ésta generalmente se borra cuando se apaga el PM).

Adicionalmente, el uso de los mismos patchcords empleados para la referenciación puede ser un problema de logística, e incluso estos pueden ensuciarse en la movilización, lo cual alterará el resultado de la medición.

A pesar de esto, si se quiere un valor exacto de atenuación, se debe solventar estos inconvenientes, incluido el hecho de que se requiere una persona en cada extremo del enlace.

Otra alternativa es utilizar el OTDR, el mismo que puede ser usado sin bobina de lanzamiento desde un extremo del enlace. Una de las principales ventajas del uso del OTDR, adicional al hecho de poder identificar todos los eventos del enlace, es el de no requerir 2 personas para realizar la medición.

Cabe mencionar que el OTDR debe tener el suficiente rango dinámico para completar la medición, y ajustarse al tipo de fibra que se desea medir.

Así, para conocer la atenuación total de un enlace, se debe realizar la siguiente conexión:

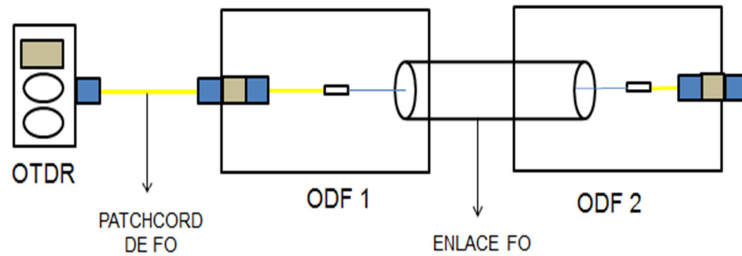


Figura 4.14: Medición de atenuación con OTDR y sin bobina de lanzamiento ¹⁴¹

Al realizar una medición acorde a lo indicado en la Figura 4.14, se obtendrá una traza y tabla de eventos como las indicadas a continuación:

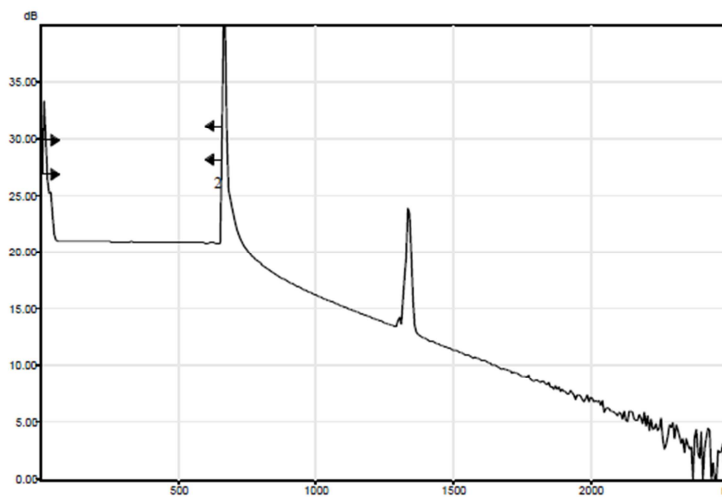


Figura 4.15: Traza obtenida para medición de atenuación total de un enlace sin bobinas de lanzamiento ¹⁴²

¹⁴¹ Elaboración propia del autor.

¹⁴² Información facilitada por Optytech

OTDR report

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Ref. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Merged Fault	---	-38.9		0.000
	0.0000			-38.9		
		Fiber Section (0.6543 km)	0.147	-53.5	0.225	0.147
2	0.6543	Reflective Fault	---	>-20.1		0.147

Tabla 4.6: Eventos obtenidos para medición de atenuación total de un enlace sin bobinas de lanzamiento ¹⁴³

De la prueba realizada, se puede verificar que el enlace tiene una longitud de 654m y que la atenuación total del enlace es de 0.147 [dB].

Sin embargo, y analizado detenidamente la prueba realizada, se puede observar que el valor obtenido incluye la pérdida del patchcord usado para conectar el OTDR al ODF 1, y que adicionalmente el valor de pérdida medido no incluye el conector del ODF 2.

Si se coloca una bobina de lanzamiento al inicio del enlace, se solventa el tema del conector inicial, pero persiste el problema del conector final del enlace, tal como se indica en la siguiente traza:

¹⁴³ Información facilitada por Optytech

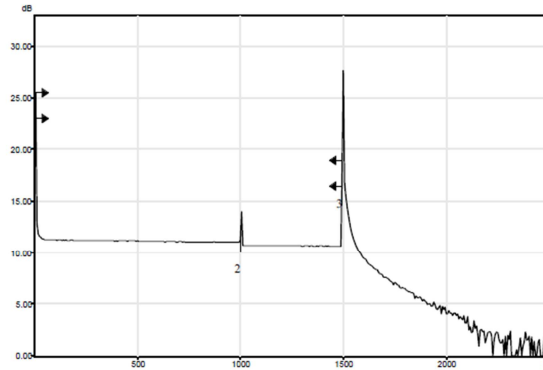


Figura 4.16: Traza obtenida para medición de atenuación total de un enlace con una bobina de lanzamiento¹⁴⁴

OTDR report

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Refl. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-34.1		0.000
		Fiber Section (0.9995 km)	0.325		0.325	0.325
2	0.9995	Reflective Fault	0.258	-56.6		0.583
		Fiber Section (0.4927 km)	0.091		0.185	0.674
3	1.4922	Reflective Fault	---	>-18.5		0.674

Tabla 4.7: Eventos obtenidos para medición de atenuación total de un enlace con una bobina de lanzamiento¹⁴⁵

Se puede apreciar que la pérdida del enlace, incluido el primer conector, y excluido el final es de 0.349 [dB], lo cual corresponde a la suma de la pérdida en el primer conector y la suma de la pérdida en la longitud de fibra (0.258 [dB] + 0.091 [dB]). Este mismo valor se obtiene si se resta la pérdida

¹⁴⁴ Información facilitada por Optytech

¹⁴⁵ Información facilitada por Optytech

de la bobina de lanzamiento de la pérdida total del enlace (0.674 [dB] – 0.325 [dB]). Cabe indicar que la longitud del enlace es de 492m (sin considerar la bobina de lanzamiento).

Otra forma de obtener este valor es ubicando los marcadores del software del OTDR en los puntos iniciales y finales del enlace, tal como se indica en la siguiente figura (se debe tener cuidado que la ubicación sea lo más exacta posible):

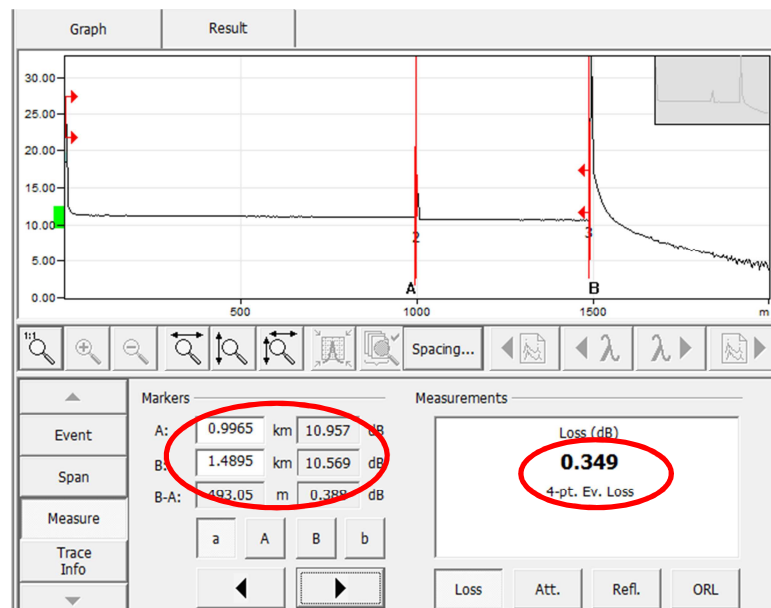


Figura 4.17: Pérdida en un enlace vista con software de OTDR usando marcadores ¹⁴⁶

¹⁴⁶ Información facilitada por Optytech

Sin embargo, en la pérdida medida, aún no se considera el conector final.

Para solventar estos inconvenientes, se deben usar 2 bobinas de lanzamiento, una al inicio del enlace y otra al final del mismo, según el siguiente esquema de conexión:

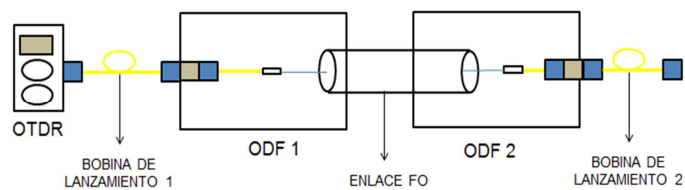


Figura 4.18: Medición de atenuación con OTDR y con bobinas de lanzamiento inicial y final.¹⁴⁷

Al realizar las mediciones según este esquema, se obtendrá una traza como la indicada a continuación:

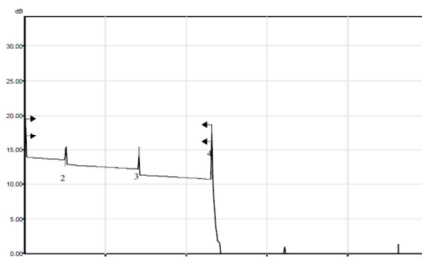


Figura 4.19: Traza obtenida para medición de atenuación total de un enlace con dos bobinas de lanzamiento¹⁴⁸

¹⁴⁷ Elaboración propia del autor.

¹⁴⁸ Información facilitada por Optytech

OTDR report

Events table						
No.	Loc. (km)	Event type	Loss (dB)	Refl. (dB)	Att. (dB/km)	Cumul. (dB)
1	0.0000	Launch Level	---	-27.0	0.405	0.000
		Fiber Section (0.9977 km)	0.405			0.405
2	0.9977	Merged Fault	0.676	-49.5		1.080
				-50.0		
3	2.8118	Fiber Section (1.8141 km)	0.645		0.356	1.725
		Reflective Fault	0.838	-48.5		2.564
		Fiber Section (1.8077 km)	0.640			0.354
4	4.6195	Reflective Fault	---	>-16.5	0.250	3.203
		Fiber Section (4.6188 km)	1.155			---
		Echo	---	-43.5		---
		Fiber Section (0.0128 km)	0.003			0.250
	9.2383	Echo	---			---
	9.2511	Echo	---	-40.2		---

Tabla 4.8: Eventos obtenidos para medición de atenuación total de un enlace con dos bobinas de lanzamiento ¹⁴⁹

Para la traza indicada, la pérdida del enlace, incluidos los conectores iniciales y finales, es de 2.16 [dB], resultado obtenido de las siguientes operaciones:

0.676 (conector inicial) +0.645 (fibra) +0.838 (conector final); o también:
2.564 (pérdida total) -0.405 (pérdida de bobina inicial).

De igual forma, este valor se puede verificar con los cursores del software del OTDR:

¹⁴⁹ Información facilitada por Optytech

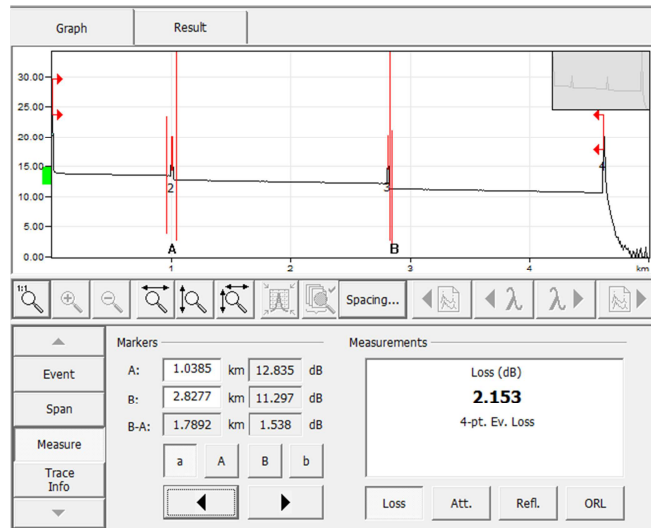


Figura 4.20: Pérdida en un enlace vista con software de OTDR usando marcadores ¹⁵⁰

El tipo de prueba para obtener el valor de atenuación de un enlace punto a punto dependerá de los requerimientos del dueño de la red y del nivel de exactitud requerido, sin embargo, lo más recomendable es usar el OLTS encerado o el OTDR con 2 bobinas de lanzamiento.

4.5 Medición de atenuación en enlace punto a multipunto [15] [22]

Los enlaces punto a multi punto, tal como se mencionó anteriormente, son aquellos en los cuales un hilo conectado a un extremo del enlace se conecta o asocia a más de un hilo al otro lado del enlace

¹⁵⁰ Información facilitada por Optytech

Lo anteriormente expuesto implica que un equipo activo o un puerto de un equipo activo en un lado del enlace se asocian con más de un puerto o equipo activo en el otro lado del enlace.

Para que esta topología se implemente, es indispensable el uso de POS, los mismos que forman parte de estas redes. Adicional a los POS, en estos enlaces es muy común encontrar los mismos elementos que enlaces punto a punto (mangas, ODFs, conectores, etc.)

Si simplemente se quiere medir la atenuación total del enlace, se debe recurrir al uso de los OLTS, colocando el LS en el inicio de la red, y el PM en cada uno de los puntos terminales de la red o en los puntos en los cuales se quiere obtener el dato de potencia recibida (regularmente a la salida de los POS o en las premisas del cliente).

Los puntos en los cuales se puede realizar la medición dependerán de cómo fue construida la red, y por ende de dónde se tienen adaptadores para realizar las mediciones respectivas. Al punto donde existen adaptadores se lo llama comúnmente punto de prueba.

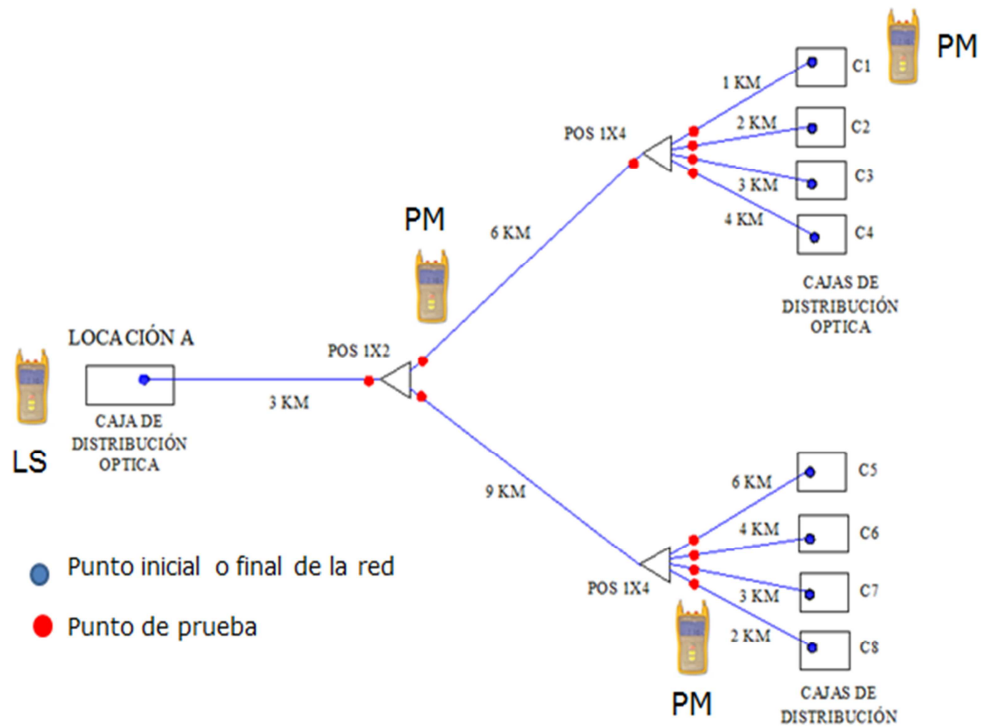


Figura 4.21: Medición de pérdida de un enlace P2MP con el uso de OLTS ¹⁵¹

Para que el enlace se pueda considerar certificado, la pérdida medida debe ser menor a la pérdida teórica (como en todos los caso anteriores), mientras que para que el enlace levante, la pérdida no deberá superar el presupuesto de potencia del enlace, acorde a los equipos activos instalados en los extremos del enlace.

¹⁵¹ Elaboración propia del autor.

Se debe también entender que en cada punto de medición existirá un valor de pérdida teórico diferente, ya que en cada punto varía su pérdida teórica en base a número de POS, capacidad de POS, longitud de enlace, etc.

Al igual que en los enlaces punto a punto, si existe un problema en la red, el OLTS no podrá detectar qué problema es ni dónde se ubica.

4.5.1 Medición de eventos en redes PON (FTTx) [15] [19] [20] [22]

Cuando se habla de enlaces punto a multipunto y de la inclusión de POS en la red, automáticamente se habla de redes PON y FTTH.

En muchos casos, se requiere medir no sólo la atenuación total del enlace, sino tener una caracterización de la red, lo cual implica obligatoriamente considerar 2 escenarios: red PON en etapa de construcción y red PON en operación.

4.5.1.1 Red PON en construcción [15] [19] [20] [22]

Cuando se tiene una red PON / FTTx en construcción, la principal ventaja es que la red está en frío (no cursa tráfico por la misma), y por ende no existen equipos conectados en los extremos del enlace.

Debido a esto, se puede realizar mediciones en cualquier punto de la red en la cual exista un conector. Cabe mencionar que entre más puntos de prueba se tenga, más pruebas se podrán realizar. En una red PON con muchos empalmes en lugar de conectores, se pierden puntos de prueba.

La inclusión de conectores en la red, da la ventaja de que la misma pueda ser tratada como varios enlaces punto a punto, pero a cambio de esto, se incrementa la pérdida total del enlace, afectando así básicamente el alcance de la misma.

Así, la cantidad de pruebas que se pueden realizar, dependerá de cómo está construida la red, y los tipos de pruebas posibles serán los mismos que en los enlaces punto a punto, con algunas consideraciones especiales.

En las redes PON / FTTx, se pueden realizar pruebas con un VFL, típicamente desde el inicio, y verificar que exista luz en cada una de las salidas de los POS o puntos terminales de la red. Esto siempre y cuando la potencia del VFL soporte las pérdidas de inserción introducidas por los POS de la red.

Si la potencia es adecuada, la luz se podrá ver en todas las salidas y puntos de prueba, y por ende se podrá diagnosticar (al igual que en las redes punto a punto) si la fibra está rota o no.

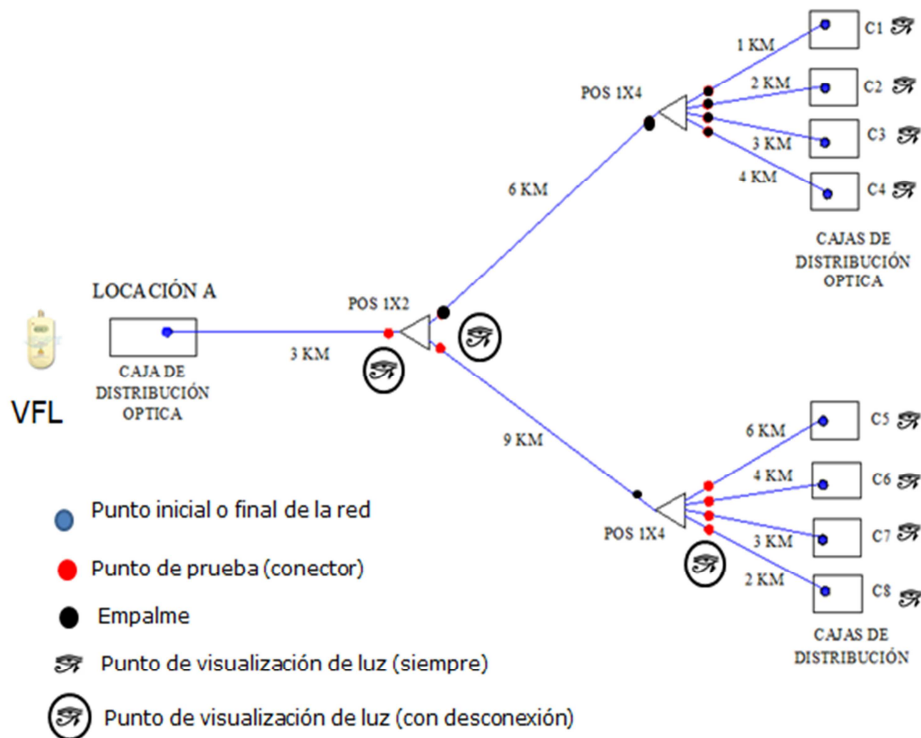


Figura 4.22: Pruebas con un VFL en una red PON / FTTx¹⁵²

En la figura 4.22, se puede apreciar que si se inyecta luz visible al inicio de la red (locación A), la misma podrá ser visualizada siempre en los puntos terminales de la red (C1 a C8). Así mismo, la luz podrá ser visualizada en los puntos donde existe un conector y se haga la

¹⁵² Elaboración propia del autor.

respectiva desconexión para la verificación. En los puntos donde la red está empalmada, esta verificación resulta imposible.

El uso del OLTS se explicó en el punto 4.5, y la principal ventaja, es que permite conocer la atenuación total del enlace, o si existen puntos de prueba, la atenuación de cada tramo e inclusive la atenuación del POS, tal como se explicó en el punto **“4.3 Medición de atenuación en un splitter”**

Cuando se trabaja con redes PON, se recomienda que la certificación sea ya no sólo a 1310 [nm] y a 1550 [nm], sino también a 1490 [nm], ya que esta longitud de onda se usa en la transmisión de datos.

Si se requiere usar un OTDR, primero se debe verificar que éste sea optimizado para redes PON, lo cual implica que pueda pasar las pérdidas introducidas por los POS (que no las vea como fibras rotas y que no se genere demasiado ruido).

Al igual que en los casos anteriores, si existen puntos de prueba, se puede certificar la red PON por tramos, y sin considerar POS.

Si cada tramo de la red está en buen estado (certificados con OTDR), y si los POS también pasan la certificación (con OLTS), la red estará

consecuentemente en buen estado. Esta sería la recomendación más adecuada para certificar redes PON en su etapa de construcción, y no se debe olvidar que los parámetros a certificar son la pérdida de inserción y la pérdida de reflexión.

Si se desea tomar una traza con la red lista para su funcionamiento (no por tramos), existen dos opciones, hacer la prueba desde un cliente final o desde la oficina central, caso en el cual las trazas obtenidas toman la siguiente forma:

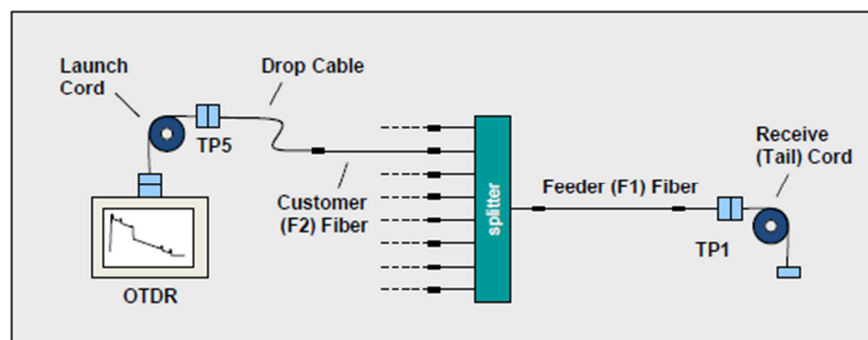


Figura 4.23: Medición desde cliente con OTDR en una red PON¹⁵³

¹⁵³ Testing_FTTx_(PON)_Networks_Using_the_OFLL280_FlexTester_-_2010.12.08_

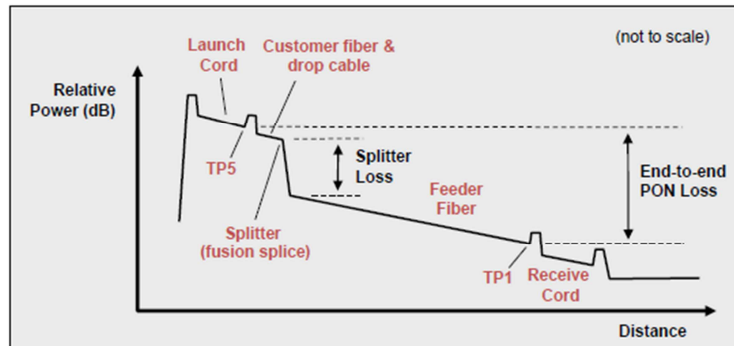


Figura 4.24: Traza obtenida desde un cliente con OTDR en una red PON ¹⁵⁴

Quando se realiza la prueba desde un cliente, se puede certificar cada elemento de la red, incluidos los POS. Esta prueba se debe realizar desde cada cliente o punto de prueba disponible.

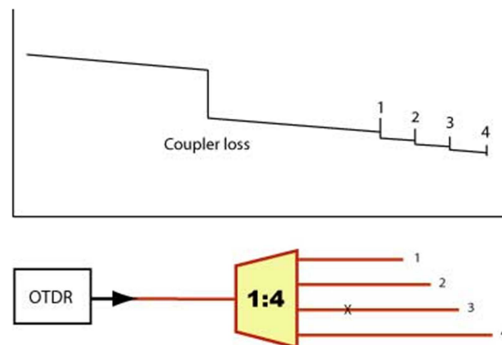


Figura 4.25: Medición esquemática desde OC con OTDR en una red PON con un POS 1x4 ¹⁵⁵

¹⁵⁴ Testing_FTTx_(PON)_Networks_Using_the_OFL280_FlexTester_-_2010.12.08_

¹⁵⁵ <http://www.thefoa.org/tech/ref/apln/FTTH-test.html>

Cuando se realiza la prueba desde la OC, lo que se aprecia es un evento reflectivo en cada punto terminal de la red, con lo cual se puede verificar pérdida en POS y distancia hacia cada cliente en un sólo barrido.

Sin embargo, no es común realizar esta prueba ya que su interpretación es muy compleja, tal como se aprecia a continuación:

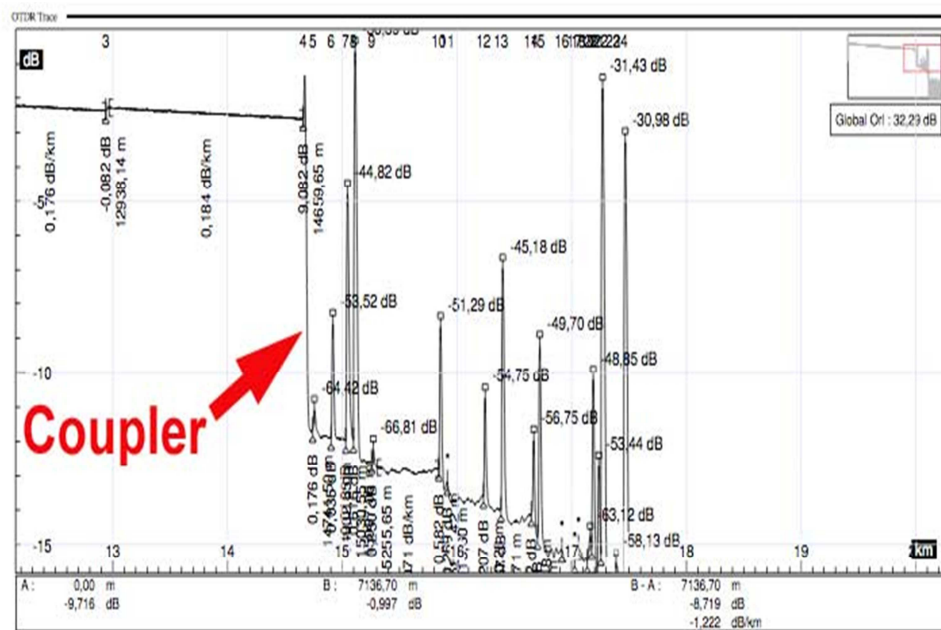


Figura 4.26: Traza real obtenida desde OC con OTDR en una red PON con un POS1x4 y varios puntos de prueba ¹⁵⁶

¹⁵⁶ <http://www.thefoa.org/tech/ref/appln/FTTH-test.html>

4.5.1.2 Red PON en operación [15] [19] [20] [22]

Cuando una red PON FTTx está en operación, y se requieren realizar mediciones, básicamente se cuenta con dos alternativas que son el uso de PM y el uso del OTDR.

Con el PM, se pueden tomar medidas de potencia recibida ya sea en el usuario, o en un punto de prueba, siempre y cuando intervenir en el punto de prueba no implique la caída de otros clientes, lo cual dependerá de la topología de la red.

Así, al colocar el PM en el punto terminal de la red, se podrá medir la potencia recibida desde el OLT (notar que la red está operativa), y verificar si este valor es suficientemente alto para ser leído por el ONT, y garantizar de esta manera servicio.

Este procedimiento es muy usado para habilitación de clientes nuevos cuando la red PON está instalada y operando pero no a su máxima capacidad, resultando ser un mecanismo sencillo, rápido y confiable y que además no afecta a los usuarios con servicio en la red.

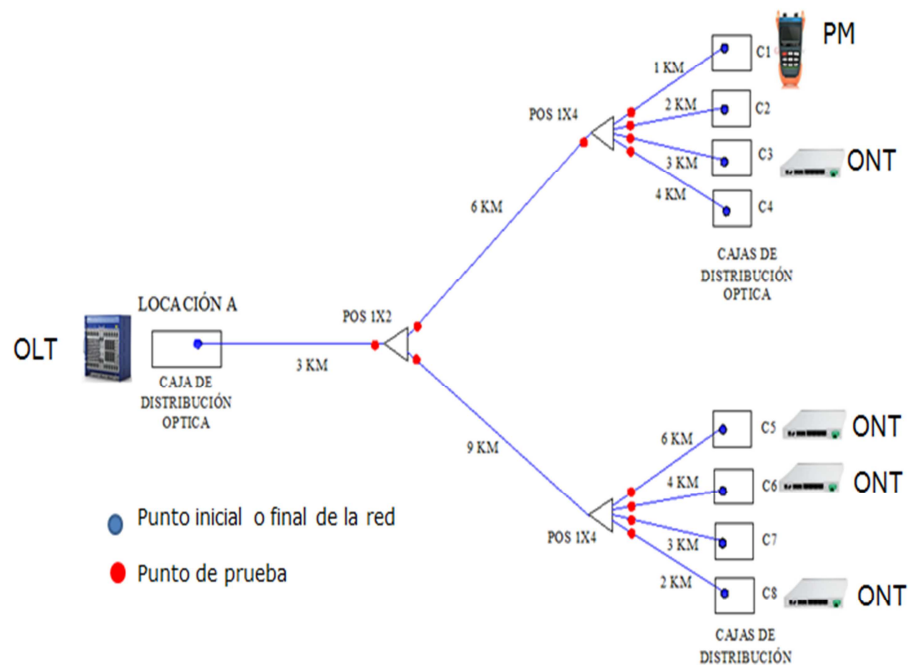


Figura 4.27: Medición de potencia con PM en una red PON FTTx operativa¹⁵⁷

En la figura 4.27 se puede apreciar que al realizar la medición de potencia en la caja C1, se puede verificar la energía recibida desde el OLT sin afectar a los otros usuarios.

Para realizar una medición con ODTR en una red PON operativa, el principal requisito es que el ODTR trabaje en la ventana de 1625 [nm],

¹⁵⁷ Elaboración propia del autor.

acorde a la recomendación ***“UIT L.66 Optical fibre cable maintenance criteria for in-service fibre testing in access networks”***

El fin de este requerimiento es que los pulsos inyectados por el OTDR a la red en funcionamiento no interfieran con el tráfico cursante (1310,1490 y 1550 [nm]). Así, esta prueba se realiza típicamente desde el ONT, aunque como se verá más adelante, también es posible realizarla desde el OLT. El resultado de esta prueba es el mismo que cuando se realiza las pruebas con ODTR en redes PON en construcción desde el ONT (ver figuras 4.23 y 4.24)

Este tipo de prueba no tiene fines de certificación sino más bien de mantenimiento y reparación. Esto será tratado más adelante en la parte concerniente a reparaciones y detección de daños en redes PON. Sin embargo en la figura 4.28 se indica cómo se debe realizar la prueba con OTDR en una red PON operativa:

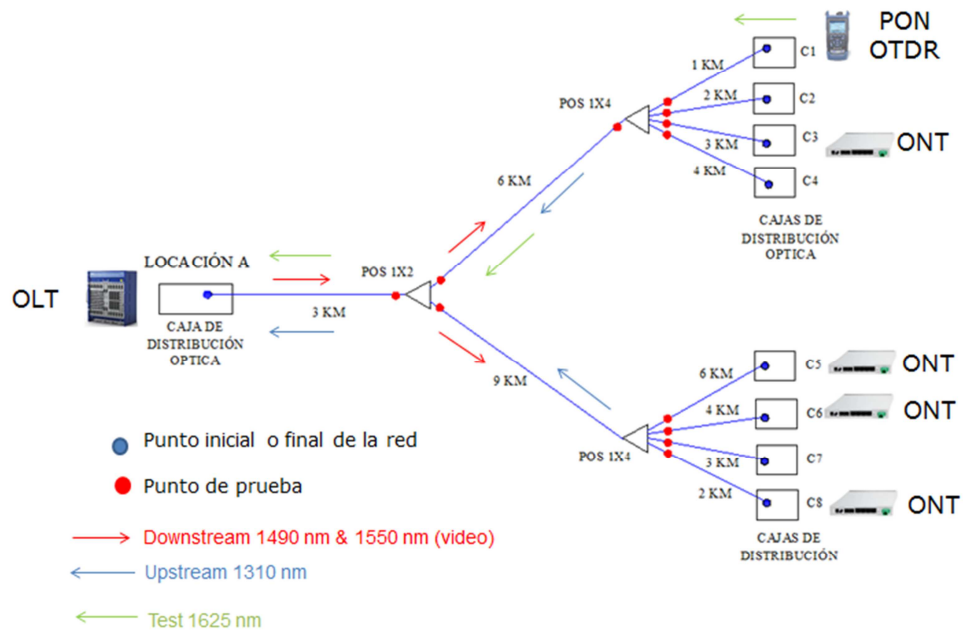


Figura 4.28: Prueba reflectométrica en una red PON FTTx operativa¹⁵⁸

4.6 Registros para tabulación de resultados

Una vez que se ha realizado las mediciones requeridas según cada caso, es recomendable tabular los datos obtenidos para visualizar los resultados de manera global y directa, y de esta manera obtener las conclusiones respectivas.

¹⁵⁸ Elaboración propia del autor.

Según el tipo de prueba a realizar, se debe indicar los parámetros técnicos que intervienen en dicha prueba, tales como datos del enlace, longitud de onda, equipos de medición, dirección de medición, tipo de fibra, etc.

Así mismo, en los registros deben aparecer todos los datos informativos de la certificación, tales como dueño de la red, ejecutor de pruebas, fecha, locación, número de contrato, etc.

Aunque no exista un formato definido o normado para la presentación de resultados o la elaboración de registros, lo que se debe tener en cuenta es que en el registro aparezca suficiente información para entender el tipo de prueba que se está realizando, el proyecto al que pertenece el registro (datos informativos) y los valores que se están tabulando, de la manera más amigable posible.

Se adjunta al presente trabajo modelos de registro que pueden servir como base para la elaboración de registros personalizados según los requerimientos particulares de cada proyecto. **(ANEXO 1)**

Los modelos de registro que se adjuntan son:

- Registro de pérdida de inserción en empalme

- Registro de atenuación total de enlace y/o de potencia
- Registro de pérdida de inserción y de reflexión en conectores
- Registro de atenuación en fibra
- Registro de continuidad

En los modelos adjuntos, las casillas en azul deben ser llenadas según los datos de las pruebas realizadas.

4.7 Síntesis de normativas relacionadas con certificación de redes ópticas pasivas [1] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [22]

En esta sección se analizarán normas internacionales relacionadas con la certificación de redes pasivas de fibra óptica, y principalmente los puntos de las mismas que sirven como soporte para lo desarrollado en el presente trabajo.

Se lleva a cabo este análisis para validar los procedimientos ya descritos y que éstos, aparte de servir como guía para la certificación de redes ópticas pasivas, sean aceptados como válidos por operadoras, contratistas y empresas de comunicaciones en general.

4.7.1 UIT G.650.3: Test methods for installed single-mode optical fibre cable links [1]

En esta recomendación se indican métodos para certificar redes pasivas de fibra óptica, las mismas que no contienen elementos activos.

Entre los principales puntos que se indican en la misma, y que se relacionan con el presente trabajo están:

Inspección de Conectores: Se indica que previo a cualquier actividad de certificación, se debe proceder con la limpieza e inspección de conectores, particularmente en la superficie de la ferrula.

Atenuación de Enlace: Se recomienda lo siguiente:

- Las pruebas de certificación se deben realizar en las ventanas en las cuales va a trabajar el enlace.
- Las ventanas más recomendadas para aplicaciones generales son 1310 [nm] y 1550 [nm], y si se trabaja en la banda L, se debe realizar las pruebas también a 1625 [nm].

- Las pruebas deben ser realizadas en 2 direcciones, ya que es difícil determinar en qué sentido transportará la luz cada hilo de un enlace.

Pérdida de Empalme, ubicación de empalme, uniformidad en fibra y longitud de las secciones de cable y de enlace: Se dan las siguientes indicaciones:

- Uso del OTDR para medir la atenuación total del enlace.
- Uso de las bobinas de lanzamiento o supresores de pulso en los extremos de la red para medir las pérdidas en conectores al inicio y fin del enlace.
- Uso de OTDR para medir la pérdida de retorno o reflexión, tanto en cada evento reflectivo de la red como en la totalidad del enlace.
- Uso de OTDR para medir la atenuación de un empalme. Se indica también que la pérdida total de un empalme se la obtiene realizando la medición en dos direcciones y promediando los valores obtenidos de dichas mediciones. Se menciona también que con este procedimiento se soluciona la obtención de eventos no reflectivos con pérdidas negativas (ganancias) cuando se fusionan fibras con diferentes campos modales (aun tratándose de fibras del mismo tipo y bajo la misma norma de fabricación, pero de diferentes fabricantes).

$$\text{Splice loss} = \frac{\alpha_{A-B} + \alpha_{B-A}}{2}$$

Ecuación 4.3: Ecuación para el cálculo de la pérdida de un empalme, según la UIT G.650.3 ¹⁵⁹

Dónde:

α_{A-B} es la atenuación obtenida de la medición desde el punto A al punto B de un enlace

α_{B-A} es la atenuación obtenida de la medición desde el punto B al punto A de un enlace

- Se da el formato base de una traza de OTDR y de una tabla de eventos, así como la simbología para cada evento, tal como se indica en las figuras 4.29 y 4.30 y tabla 4.9:

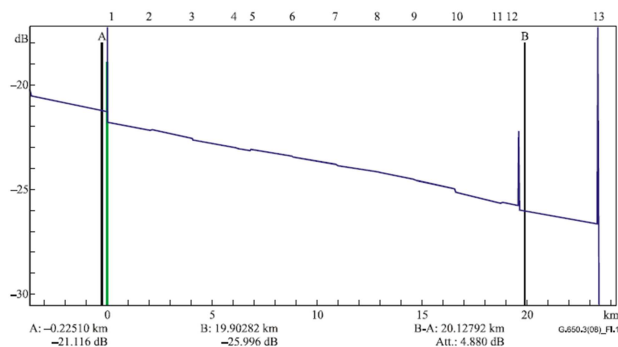


Figura 4.29: Formato base de traza de OTDR (atenuación en función de la distancia), según la UIT G.650.3 ¹⁶⁰

¹⁵⁹ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 5.

Table I.1 – OTDR event table from trace in Figure I.1














	Event (13)	Distance (km)	Attenuation (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. dist. (km)	Link budget (dB)
1		0.00000	0.534	-52.39	0.200	3.68282	
2		2.07258	-0.038		0.198	2.07258	0.944
3		4.10104	0.076		0.190	2.02846	1.291
4		6.15188	0.007		0.196	2.05084	1.768
5		6.82591	-0.094		0.203	0.67402	1.912
6		8.83262	0.004		0.191	2.00672	2.202
7		10.96404	-0.034		0.194	2.13142	2.619
8		12.94837	0.029		0.192	1.98433	2.966
9		14.82975	0.025		0.190	1.88138	3.353
10		16.65293	0.362		0.184	1.82318	3.714
11		18.71848	-0.062		0.190	2.06555	4.468
12		19.61185		-53.69	0.187	0.89337	4.574
13		23.40722			0.193	3.79537	5.484

Tabla 4.9: Formato base de tabla de eventos, según la UIT

G.650.3¹⁶¹





-  denotes a connector interface at the start or end of a launch or tail lead
-  denotes a fusion splice (non-reflective loss event) in the link under test
-  denotes a connector (reflective loss event) in the link under test
-  denotes the end of the fibre under test (when the tail lead has not been used)

Figura 4.30: Simbología de eventos, según la UIT G.650.3¹⁶²

¹⁶⁰ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 8.

¹⁶¹ UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 9.

4.7.2 UIT 671: Transmission Characteristics of Passive Optical Components [9]

En esta recomendación se indican los parámetros de transmisión de los elementos pasivos de una red óptica. Entre los elementos relacionados con el presente trabajo se destacan:

- Conectores ópticos: Se los define como un elemento adherido a un hilo de fibra óptica con la finalidad de permitir la conexión de dicho hilo con otro componente de la red.

Se indica que, para conectores, la pérdida de inserción máxima es de 0.5 [dB] para fibra SM y de 1 [dB] para fibra MM, y que la pérdida de reflexión debe ser de mínimo 35 [dB] (tabla 4.10).

Subclause	Parameter	All networks	
		Max	Min
6.9.1	Insertion Loss (dB)	0.5 for single fibre (Note 1) 1.0 for multifibre (Note 1)	Not applicable
6.9.2	Optical Reflectance (dB)	-35 (Notes 1 and 2)	Not applicable
6.9.3	Operating Wavelength Range (nm) (Note 3)	1580 1360	1480 1260
6.9.4	Polarization Dependent Loss (ΔdB)	0.1	Not applicable

Tabla 4.10: Características de conectores, según la UIT G.671 ¹⁶³

¹⁶² ¹⁶² UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3 :Test methods for installed single-mode optical fibre cable links, página 9.

¹⁶³ UIT-T. (1996). Recomendación UIT-T G..671 : Transmission characteristics of passive optical

- Empalme Óptico: Se lo define como la unión permanente o temporal de dos fibras con la finalidad de transmitir potencia de la una a la otra.

Se indica que, para empalmes la máxima pérdida de inserción admitida es de 0.5 [dB] para el caso de empalmes mecánicos, 0.3 [dB] para empalmes por fusión con alineación activa, y de 0.5 [dB] para empalmes por fusión con alineación pasiva. Así mismo, se señala una pérdida de reflexión de mínimo 40 [dB] para empalmes mecánicos y de 50 [dB] para empalmes por fusión (ver tabla 4.11).

Subclause	Parameter	All networks	
		Max	Min
6.10.1	Insertion Loss (dB) (Notes 1 and 2)		
	Mechanical splice	0.50	Not applicable
	Fusion Splice (Active Alignment)	0.30	Not applicable
	Fusion Splice (Passive Alignment)	0.50	Not applicable
6.10.2	Optical Reflectance (dB)		
	Mechanical splice	-40	Not applicable
	Fusion splice	-70	Not applicable
6.10.3	Operating Wavelength Range (nm) (Note 3)	1580 1360	1480 1260
6.10.4	Polarization Dependent Loss (Δ dB)	Under study	Not applicable
6.10.5	Polarization Dependent Reflectance (Δ dB)	Under study	Not applicable

Tabla 4.11: Características de empalmes, según la UIT G.671 ¹⁶⁴

components, página 16.

¹⁶⁴ UIT-T. (1996). Recomendación UIT-T G..671 : Transmission characteristics of passive optical components, página 16

4.7.3 UIT L.36: Conectores de fibra óptica monomodo [10]

En esta recomendación se abarcan puntos concernientes a conectores ópticos, describiendo entre otros puntos, las características ópticas de los mismos. Entre los principales aspectos que se indican en la misma, y que se relacionan con el presente trabajo se menciona que:

- Las terminaciones de los extremos de la férula pueden ser PC con un radio de curvatura de 10 a 25mm, o APC con una inclinación de 8 o 9 grados para fibra G.652
- La atenuación (pérdida de inserción) en un conector viene dada por:

$$A = -10 \cdot \text{Log} \frac{P_i}{P_0} \text{ dB}$$

Ecuación 4.4: Atenuación de un conector, según la UIT L.36¹⁶⁵

Donde

Pi es la potencia después del conector

Po es la potencia antes del conector

¹⁶⁵ UIT-T. (1998). Recomendación UIT-T L.36 : Conectores de fibra óptica monomodo, página 3

- La pérdida de retorno en un conector viene dada por:

$$RL = 10 \cdot \text{Log} \frac{P_r}{P_0} \text{ dB}$$

Ecuación 4.5: Pérdida de retorno en un conector, según la UIT

L.36¹⁶⁶

Donde

Pr es la potencia reflejada por el conector

Po es la potencia en la interfaz de la conexión

- La pérdida de inserción de los conectores es:

Grado P: valor medio máximo 0.35 dB, valor máximo 1 [dB]

Grado Q: valor medio máximo 0.30 dB, valor máximo 0.6 [dB]

- La pérdida de retorno de los conectores es:

Clase S: mínimo 25 [dB], pulido PC

Clase T: mínimo 35 [dB], pulido PC

Clase U: mínimo 50 [dB], pulido PC

Clase V: mínimo 55 [dB], pulido APC

- El código de colores para la identificación de conectores es en general azul para PC y verde para APC, acorde al siguiente detalle (tabla 4.12):

¹⁶⁶ UIT-T. (1998). Recomendación UIT-T L.36 : Conectores de fibra óptica monomodo, página 3

Cuadro I.1/L.36 – Código de colores de los conectores ópticos

Tipo de contacto	Clase de atenuación	Clase de pérdida de retorno	Cuerpo del enchufe	Base	Otros elementos (Nota)
PC	P	25 dB 35 dB 50 dB	AZUL	Amarillo Azul Blanco	Por definir
PC	Q	25 dB 35 dB 50 dB	AZUL	Amarillo Azul Blanco	Por definir
APC 8°	P Q		VERDE	VERDE	Por definir
APC 9°	P Q		VERDE	ROJO	Por definir

NOTA – Se debe definir otra parte o elemento para distinguir los conectores de clase P y Q. Como propuesta, se podría añadir un anillo en el extremo de la base con la marca "P" o "Q".

Cuadro I.2/L.36 – Código de colores de los conectores ópticos

Tipo de contacto	Atenuación	Clase de pérdida de retorno	Cuerpo del enchufe	Base
PC	No especificada	≥ 30 dB ≥ 40 dB ≥ 55 dB	Azul	Rojo Blanco Azul oscuro
APC 8°	No especificada	≥ 60 dB	Verde	Verde
APC 9°	No especificada	≥ 60 dB	Verde	Verde

Tabla 4.12: Código de colores para identificación de conectores, según la UIT L.36¹⁶⁷

¹⁶⁷ UIT-T. (1998). Recomendación UIT-T L.36 : Conectores de fibra óptica monomodo, página 8

4.7.4 Telcordia GR326 Core: Generic Requirements for Singlemode Optical Connectors and Jumper Assemblies [12]

En esta recomendación se expone una completa gama de requerimientos que deben ser cumplidos por los conectores monomodo de fibra óptica para que se considere que se ajustan a la misma (se excluye conectores de forma pequeña LC y conectores MM).

Entre estos requerimientos se puede mencionar dimensiones, temperatura de operación, resistencia al impacto, resistencia a la torsión, desempeño en la transmisión, desempeño óptico, flexibilidad, resistencia a la vibración, resistencia a la corrosión, entre otras.

En relación con el presente trabajo, los aspectos más relevantes que se debe considerar para los conectores de FO SM son:

- Considerar como unidad de conector básica al conjunto de 2 conectores unidos por un adaptador, tal como se indica en la siguiente figura:

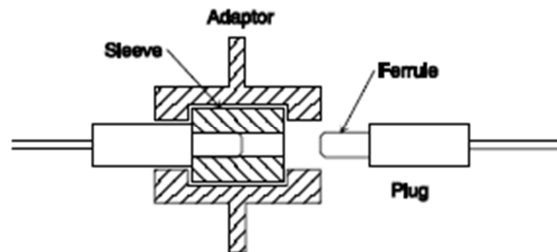


Figura 4.31: Unidad Básica de Conector, según Telcordia GR 326 Core

168

- El código de colores según la pérdida de reflexión de cada conector, así

Rojo: < -30 dB

Blanco: < -40 dB

Negro / Azul: < -55 dB

Verde: Conector con pulido angulado (el color verde puede estar en el cuerpo del conector o en su bota)

- Los conectores deben ser probados a 1310 [nm] y a 1550 [nm].
- Las pérdidas de inserción de una unidad básica de conector, tanto a 1310 [nm] como a 1550 [nm], son:

Máximo: 0.5 [dB]

Objetivo: 0.3 [dB]

¹⁶⁸ Telcordia Technologies Generic Requirements. (1999). Generic Requirements for Singlemode Optical Connectors and Jumper Assemblies, página 27

- Las pérdidas de reflexión de una unidad básica de conector, tanto a 1310 [nm] como a 1550 [nm], son:
 - Mínimo: 40 [dB]
 - Objetivo: 60 [dB]
- Los equipos de medición deben cumplir con las siguientes características básicas:
 - Capacidad de realizar mediciones a 1310 [nm] y 1550 [nm]
 - Longitud de onda central de las fuentes: 1310 [nm] +/- 20 [nm] & 1550 [nm] +/- 20 [nm]
 - Ancho espectral de las fuentes: menor a 75 [nm]
 - Exactitud en la medida de pérdida de inserción: +/- 0.05 [dB]
 - Exactitud en la medida de pérdida de retorno: +/- 2 [dB] hasta 65 [dB] y +/- 5 [dB] hasta 80 [dB]

4.7.5 UIT G.984.1 Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics & UIT G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos [7] [8] [22]

En estas recomendaciones se dan las principales características de una red GPON y los principales lineamientos de la capa física de la misma, y entre los aspectos más relevantes están:

G.984.1

- Define las velocidades de subida y bajada en redes PON, existiendo 2 opciones:
 - 1.2 Gbit/s up, 2.4 Gbit/s down;
 - 2.4 Gbit/s up, 2.4 Gbit/s down
- La distancia máxima entre OLT y ONT puede ser 20km, lo cual define el alcance de la red GPON a implementarse.
- Se soportan niveles de spliteo de hasta 1x64, y se menciona que en futuras aplicaciones, se soportarán niveles de hasta 1x128.

G.984.2

- Las ventanas de trabajo para redes GPON son:
 - 1550 [nm] en sentido descendente para video
 - 1490 [nm] en sentido descendente para datos
 - 1310 [nm] en sentido ascendente para datos
- Se indica que la transmisión y recepción de información se deben realizar sobre un solo hilo de fibra usando técnicas WDM.
- Se indican los umbrales de TX y RX de OLTs y ONTs, así como el presupuesto de potencia a cada longitud de onda, el cual se considera generalmente de 28 [dB] (ver tabla 4.13), aunque éste

valor puede variar según la clase de Red de Distribución Óptica – **Optical Distribution Network** – ODN (A, B, o C, etc).

ITEMS	UNIDAD	Fibra simple
OLT		
Potencia de Lanzamiento Media Min.	Launch Mean PWR MIN	dBm 1.5
Potencia de Lanzamiento Media Max.	Launch Mean PWR MAX	dBm 5.0
Sensibilidad Mínima	MIN Sensitivity	dBm -28.0
ONU		
Potencia de Lanzamiento Media Min.	Launch Mean PWR MIN	dBm 0.5
Potencia de Lanzamiento Media Max.	Launch Mean PWR MAX	dBm 5.0
Sensibilidad Mínima	MIN Sensitivity	dBm -27.0
Presupuesto Optico		
LINK BUDGET		
Pérdida Min. a 1490nm	MIN Loss @1490 nm	dB 13.0
Pérdida Min. a 1310nm	MIN Loss @1310 nm	dB 13.0
Pérdida Máx. a 1490nm	MAX Loss @ 1490 nm	dB 28.0
Pérdida Máx. a 1310nm	MAX Loss @ 1310 nm	dB 28.0

Tabla 4.13: Valores de Potencia para OLTs y ONTs, según la UIT G.984.2¹⁶⁹

4.7.6 TIA-EIA-568-B.3: Optical Fiber Cabling Components Standard [13]

En esta recomendación se especifican tanto los componentes como los requerimientos de transmisión de redes ópticas con fibra MM (con core de 50 μm y de 62.5 μm) y con fibra SM (con core de 9 μm), y las características aquí mencionadas se aplican para cables, conectores y patchcords.

¹⁶⁹ FTTH Council. (2011). Fiber to the Home: FTTH - ODN and OLT-ONT Design Considerations, página 89

Entre los principales aspectos que se indican en la misma, y que se relacionan con el presente trabajo se menciona que:

- Código de colores definido por la “**ANSI/TIA/EIA-598-A-1995, Optical Fiber Cable Color Coding**”: Azul, naranja, verde, café, gris, blanco, rojo, negro, amarillo, violeta, rosado, turquesa.
- Las pérdidas en fibras SM y MM, acorde a su longitud de onda, deben ajustarse a los valores indicados en la tabla 4.14:

Optical fiber cable type	Wavelength (nm)	Maximum attenuation (dB/km)
50/125 μm multimode	850	3.5
	1300	1.5
62.5/125 μm multimode	850	3.5
	1300	1.5
singlemode inside plant cable	1310	1.0
	1550	1.0
singlemode outside plant cable	1310	0.5
	1550	0.5

Tabla 4.14: Valores de atenuación para fibras SM y MM según su aplicación y longitud de onda, acorde a la TIA-EIA-568-B.3 ¹⁷⁰

¹⁷⁰ ANSI / TIA / EIA. (2000). TIA/EIA-568-B.3 Optical Fiber Cabling Components Standard, página 7

- Los cables ópticos para cableados horizontales y centralizados en interiores deben soportar un radio de curvatura de 25mm sin carga, y un radio de curvatura de 50mm cuando están sometidos a una carga de 222N durante la instalación.
- Los cables interiores para aplicaciones generales (no centralizados ni horizontales) deben soportar un radio de curvatura de 10 veces el diámetro externo del cable sin carga y de 20 veces el diámetro externo del cable cuando se los está instalando (acorde a la tensión que soporta el cable según su fabricante)
- Los cables para planta externa deben soportar una tensión mínima de 2670 [N] o 600 [lbf].
- Los cables de planta externa deben soportar un radio de curvatura de 10 veces el diámetro externo del cable sin carga y de 20 veces el diámetro externo del cable cuando se los está instalando (acorde a la tensión que soporta el cable según su fabricante).
- Los cables drop o de acometida deben soportar una tensión mínima de 1335 [N] o 300 [lbf].
- Las cajas terminales deben ser diseñadas de tal manera que el hilo de fibra tenga siempre un radio de curvatura mínimo de 25 [mm].

- Los empalmes ópticos, mecánicos o por fusión, no deben superar los 0.3 [dB] para pérdidas de inserción (tanto en MM como en SM) ni tener una pérdida de reflexión menor a 20 [dB] en fibra MM y menor a 26 [dB] en fibras MM. Cuando se tiene aplicaciones de video, la pérdida de reflexión debe ser mínimo de 55 [dB]
- La pérdida máxima en conexiones “**Conector + Adaptador + Conector**” (típicamente presentes en ODF y cajas terminales) no debe superar una pérdida de inserción de 0.75 [dB]

4.7.7 UIT L.12: Optical fibre splices [11]

En esta recomendación se especifica el procedimiento a seguir y los parámetros recomendados para empalmes por fusión o mecánicos, ya sean éstos realizados en fibras SM o MM.

Entre los principales aspectos que se indican en la misma, y que se relacionan con el presente trabajo se menciona que:

- La pérdida total real de un empalme e puede conseguir mediante mediciones bidireccionales con OTDR (se aclara que una medida unidireccional no arroja un valor real debido a las tolerancias del diámetro del campo modal).

- La pérdida indicada por la fusionadora al momento de realizar una fusión es un dato referencial, pero no puede ser considerado como válido.
- Se indica que la pérdida máxima en un empalme mecánico es de 0.2 [dB] en promedio y de 0.5 [dB] máximo.
- Se indica que la pérdida máxima en un empalme por fusión es de 0.1 [dB] en promedio y de 0.2 [dB] máximo.

La siguiente tabla muestra un resumen de lo mencionado:

6.1 Recommended characteristics for single-mode fibre splices

Table 1 – Recommended characteristics for single-mode fibre splices

Nº	Test	Method	Severity	Mechanical splice (single fibre) (Note 3)	Fusion splice with protector (single fibre) (Note 3)
6.1.1	Attenuation/ Insertion loss (IL)	IEC 61300-3-7	IL at 1310 nm, 1550 nm and 1625 nm	≤ 0.2 dB average ≤ 0.5 dB max in 97%	≤ 0.1 dB average ≤ 0.2 dB max in 97%
6.1.2	Return loss (RL)	IEC 61300-3-6 method 1 or 2	RL at 1310 nm, 1550 nm and 1625 nm	When straight cleaved: ≥ 35 dB (grade 3) ≥ 45 dB (grade 2) When angle cleaved: ≥ 60 dB (grade 1)	≥ 60 dB
6.1.3	Vibration (sinusoidal)	IEC 61300-2-1	Sweep 10-55 Hz Amplitude 0.75 mm 15 cycles 3 directions X-Y-Z	During and after test, the IL and RL values specified in 6.1.1 and 6.1.2 shall be met	During and after test, the IL and RL values specified in 6.1.1 and 6.1.2 shall be met
6.1.4	Shock	IEC 61300-2-9	500 g 1 ms pulse 3 axes	After test, the IL and RL values specified in 6.1.1 and 6.1.2 shall be met	After test, the IL and RL values specified in 6.1.1 and 6.1.2 shall be met
6.1.5	Torsion	IEC 61300-2-5	Load 2N ≈ 180° 10 cycles	After test, the IL and RL values specified in 6.1.1 and 6.1.2 shall be met	After test, the IL and RL values specified in 6.1.1 and 6.1.2 shall be met

Tabla 4.15: Valores de atenuación para empalmes en fibras SM por fusión y mecánicos, acorde a la UIT L.12 ¹⁷¹

¹⁷¹ UIT-T. (2008). Recommendation UIT-T L.12 : Optical fibre splices, página 10

4.8 Solución de Problemas y Detección de Daños [15] [17] [22] [24]

Cuando se instalan redes de fibra óptica, es posible que las mismas presenten daños, ya sea por causas propias de la instalación (empalmes mal hechos, curvas demasiado cerradas, materiales mal seleccionados, etc.) o debido a agentes externos (obras civiles en la ruta de la red, caída de postes, accidentes, deslizamientos de tierra, intervención de terceros, etc.).

Es importante mencionar que tanto para la detección de daños, como para certificación de redes, los equipos seleccionados deben ser compatibles con las características ópticas de la red instalada, y también estos equipos deben estar calibrados y presentar un correcto desempeño. Se parte de esta premisa básica tanto para la certificación de redes como para la detección de daños, ya que sin la misma, ninguna medida será confiable y resultará imposible emitir un criterio o ejecutar una acción válida.

Para proceder con la respectiva reparación, es importante primero detectar dónde está la falla y luego determinar el tipo de falla. En base a

estos dos indicadores, se procede con la reparación adecuada, tal como se indica a continuación:

4.8.1 Detección de daños en enlaces punto a punto [15] [17] [22] [24]

Cuando se tienen enlaces punto a punto, y uno de los hilos del enlace presenta rupturas o no pasa los parámetros de certificación requeridos, se debe primero determinar si la red es corta o larga, y según esto continuar con los procedimientos respectivos para detectar el daño.

4.8.1.1 Distancias cortas [15] [17] [22] [24]

Tal como se mencionó anteriormente, para certificar redes cortas se usa el OLTS, el mismo que nos puede indicar básicamente 2 tipos de daño:

1. Fibra rota: Este daño se diagnostica cuando no se tiene lectura de potencia en el PM.

En este caso, se realiza el siguiente procedimiento:

- Verificar con el VFL que los hilos en los ODFs estén en el orden adecuado, es decir, que la luz inyectada en el hilo 1 de un extremo

del enlace, no se visualice en ningún otro hilo del otro extremo del enlace (esta inspección es visual).

- Verificar con el VFL que el hilo en tratamiento no esté roto en la bandeja de ninguno de los ODFs que constituyen el enlace (esta inspección es visual).
- Realizar un recorrido por la ruta de la red (la misma que es corta) y verificar que el cable no presente daños físicos en su recorrido.
- Verificar que no existan daños en los componentes de los ODFs tales como pigtails y adaptadores. En el caso de los adaptadores, la inspección es visual, mientras que en el caso de los pigtails, se debe cortar el pigtail fusionado y verificar su continuidad con el VFL.

En alguno de los puntos indicados, debe aparecer obligatoriamente el daño, por lo que la reparación consistirá, según el daño detectado, en:

- Ordenamiento de hilos en ODF.
- Repetición de fusión.
- Cambio de cable.
- Cambio de componentes de la red hasta que el daño se solucione.

Cabe mencionar que tal como se indicó anteriormente, en redes cortas, si el cable está roto, no se deben realizar empalmes sino se debe reemplazar todo el tramo del cable.

2. Fibra atenuada Este daño se diagnostica cuando la medición de pérdida supera el valor teórico calculado.

En este caso, se sigue el siguiente procedimiento:

- Verificar que todos los conectores de los pigtails estén correctamente sujetos a los adaptadores de los ODFs.
- Realizar limpieza de conectores y adaptadores.
- Verificar con el VFL que el hilo en tratamiento no esté atenuado en la bandeja de ninguno de los ODFs que constituyen el enlace (esta inspección es visual).
- Realizar un recorrido por la ruta de la red (la misma que es corta) y verificar que el cable no presente curvas muy cerradas en su recorrido.
- Verificar que no existan daños en los componentes de los ODFs tales como pigtails y adaptadores. En el caso de los adaptadores, la inspección es visual, mientras que en el caso de los pigtails, se debe cortar el pigtail fusionado y verificar su continuidad con el VFL.

En alguno de los puntos indicados, debe aparecer obligatoriamente el daño, por lo que la reparación consistirá, según el daño detectado, en:

- Peinado adecuado de hilos en bandeja o repetición de fusión.
- Arreglo de curva o cambio de cable.
- Cambio de componentes de la red hasta que el daño se solucione.

Cabe mencionar que como en este caso la fibra no está rota, luego de cada acción se debe realizar mediciones de potencia para verificar si el inconveniente ha sido solventado.

Los pasos hasta aquí indicados son los básicos y más comunes para detectar daños en redes cortas, sin embargo, pueden existir variaciones de forma y orden según las condiciones de campo, las mismas que deben ser evaluadas y ser solventadas en sitio con las herramientas disponibles.

4.8.1.2 Distancias largas [15] [17] [22] [24]

Tal como se mencionó anteriormente, para certificar redes largas se usa el OTDR. En esta sección se analizará únicamente la detección de daños en la red, sin considerar los ODFs, ya que este procedimiento se describe

más adelante. Por lo tanto, los pasos indicados asumen que la fibra en el ODF no tiene problemas y por lo tanto las trazas para la detección de daños se deben realizar sin supresor de pulsos.

Para detectar daños en redes largas, es imprescindible contar con planos, en los cuales al menos se debe indicar la longitud del enlace, la ubicación de reservas y su longitud y la ubicación de los empalmes en caso de que existan.

En base a lo mencionado, el OTDR nos permite detectar básicamente 2 tipos de daños:

1. Fibra rota: Este daño se diagnostica cuando la distancia del enlace indicada en la traza no coincide con la distancia del enlace indicada por el plano, siendo la distancia de la traza menor a la indicada en el plano.

En este caso, se sigue el siguiente procedimiento:

- Verificación del tipo de cable instalado (Tubo Holgado Trenzado- Stranded Loose Tube - SLT o Tubo Holgado Central - Central Loose Tube - CLT)¹⁷²
- En caso de ser un cable SLT, se debe calcular la distancia en cable a la cual se ubica el evento de fibra rota, dividiendo el valor de distancia obtenido en la traza para 1+ factor helicoidal (referido a 1).
- En caso de ser un cable CLT, la distancia en cable a la cual se ubica el evento es la misma distancia que la indicada por la traza obtenida con el OTDR.
- Determinar la ubicación del evento, luego de hacer la corrección de distancia en base al factor helicoidal y siempre considerando las reservas de cable existentes en la red.
- Ya determinada la ubicación del evento, se debe verificar si dicha ubicación coincide con un empalme.
- En caso de coincidir con un empalme, se debe reparar el mismo (repitiendo la fusión) y verificar si el daño se ha solucionado con el apoyo del OTDR.

¹⁷² Los cables **Stranded Loose Tube** – Tubo Holgado Trenzado son aquellos en los que los hilos del cable forman un espiral alrededor del elemento de fuerza, por lo que la longitud del hilo de fibra es mayor que la longitud del cable, en un factor típico entre un 2% y 4% (dependiendo del fabricante) y que se denomina factor helicoidal.

¹⁷² Los cables **Central Loose Tube** – Tubo Holgado Central son aquellos en los que los hilos del cable van por el centro de la parte interior de la chaqueta del cable, por lo que la longitud del hilo de fibra es igual que la longitud del cable (factor helicoidal=1). El factor helicoidal 1 se aplica también a cables **drop**, muy usados en tecnologías GPON.

- En caso de no coincidir con un empalme, se debe realizar un recorrido a pie por la ruta del cable en la zona en la cual se detectó el daño, y hallar el punto de ruptura del cable (tramo intermedio, poste, reserva, pozo, etc.). Este tipo de daños son generalmente fáciles de ubicar.
- Finalmente se procede con la reparación del cable realizando un empalme en el punto de ruptura (el mismo que regularmente es visible).
- En caso de que el daño aparentemente coincida con un empalme, y al repararlo no se solventa el problema, quiere decir que la falla no está en la manga, y se debe proceder como si la misma no existiera y buscar la ruptura en un punto cercano al empalme, acorde a las distancias obtenidas con el OTDR.

Fibra atenuada Este daño se diagnostica cuando el OTDR marca un evento con un valor de atenuación superior al esperado, ya sea en un empalme, en una reserva, en una curva, en un herraje o en un punto intermedio de la red.

En este caso, se sigue el siguiente procedimiento:

- Detectar la ubicación del evento, considerando todo lo indicado para el caso de fibras rotas.
- Acudir a campo a la zona de incidencia y verificar si el daño coincide con una reserva, herrajes o curva en pozo.
- Si la ubicación coincide con alguno de los puntos mencionados, se debe ampliar los radios de curvatura en reserva, en curvas en pozo o poste, o reemplazar los herrajes (estos 4 casos son los más frecuentes cuando la fibra está atenuada).
- Se debe recordar que un indicador para determinar una curva muy cerrada, es que el evento no deseado presenta una mayor atenuación a 1310nm que a 1550nm.
- Luego se debe verificar si el daño fue solventado con nuevas mediciones de OTDR.
- En caso de coincidir con un empalme, se debe reparar el mismo (repitiendo la fusión) y verificar si el daño se ha solucionado con el apoyo del OTDR.
- Si la ubicación de la fibra atenuada coincide con un tramo intermedio en el cual no hay nada de lo indicado en los puntos anteriores, y no se aprecia un daño visible en el cable (maltrato, huellas, pérdida de geometría uniforme, abolladuras, raspones, etc.) se debe usar el OTDR en tiempo real (opción en la cual el OTDR no

obtiene una traza con tabla de eventos, sino únicamente dibuja la traza e indica distancias de manera constante).

- Con el OTDR trabajando en tiempo real, se manipula el cable realizando dobleces manuales controlados en la zona de incidencia, hasta que la traza del OTDR (en tiempo real) sufra alguna modificación.
- El punto en el cual la traza se altera corresponde al punto del daño.
- Se procede a la reparación de dicho daño con el uso de una manga de empalme.
- Luego se debe verificar si el daño fue solventado con nuevas mediciones de OTDR.

Los pasos hasta aquí indicados son los básicos y más comunes para detectar daños en redes largas, sin embargo, pueden existir variaciones de forma y orden según las condiciones de campo, las mismas que deben ser evaluadas y solventadas en sitio con las herramientas disponibles.

A continuación se presentan trazas ilustrativas para ejemplificar una red en buen estado, una fibra rota y una fibra atenuada.

La siguiente traza representa a un enlace de 5000m con una bobina de lanzamiento de 1000m:

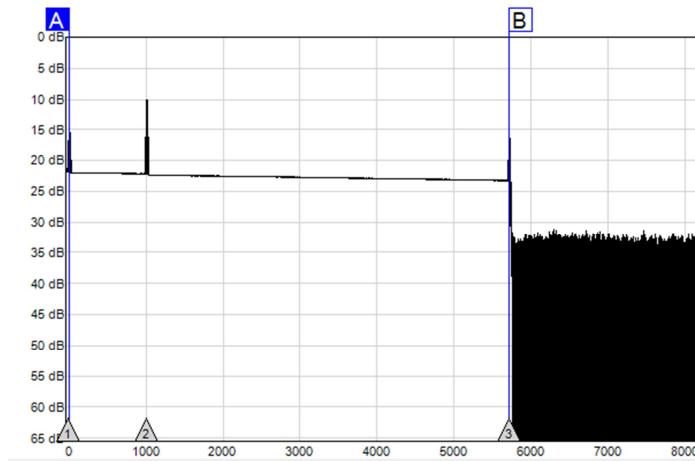


Figura 4.32: Trazar Reflectométrica de enlace sin daños¹⁷³

La siguiente traza representa al mismo enlace de 5000m con una bobina de lanzamiento de 1000m, pero con una atenuación a aproximadamente 3300m, punto en el cual no existen empalmes.

¹⁷³ Información facilitada por Optytech.

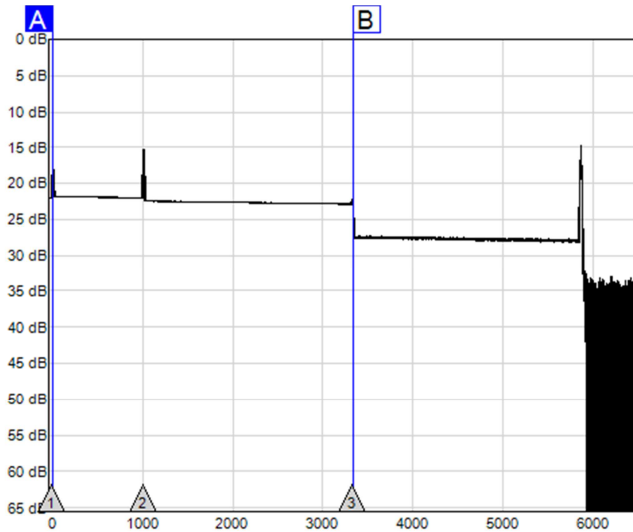


Figura 4.33: Trazar Reflectometrica de enlace con fibra atenuada

174

La siguiente traza representa al mismo enlace de 5000m con una bobina de lanzamiento de 1000m, pero con una ruptura a aproximadamente 3300m:

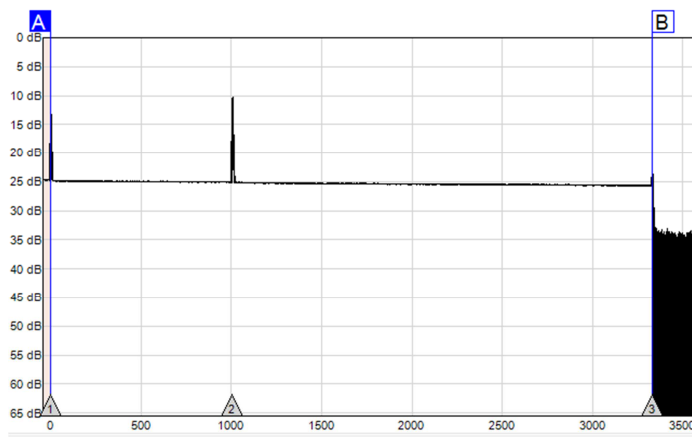


Figura 4.34: Trazar Reflectometrica de enlace con fibra rota¹⁷⁵

¹⁷⁴ Información facilitada por Optytech.

En esta última traza, cabe indicar que se determina que la fibra está rota dado que se sabe que el enlace es de 5000m. Sin este dato, es imposible determinar la ruptura, ya que se podría considerar a esta traza como válida para un enlace de 3300m.

4.8.1.3 Redes directamente enterradas [15] [17] [22] [24]

Cuando se trabaja con redes directamente enterradas, se sigue un procedimiento similar al indicado en los puntos anteriores, con la diferencia de que en este caso, dado que el cable está directamente enterrado, el daño no es visible ni fácilmente accesible.

Por lo tanto, en caso de existir una ruptura, se debe ubicar la zona de incidencia (tal como ya se indicó), y si no existe un daño visible en la ruta (regularmente deslizamientos de tierra u obras civiles), se debe abrir una zanja, cortar el cable y exponer los hilos de las puntas.

Una vez cortado el cable, se debe verificar continuidad desde ambos extremos del enlace (con VFL u OLTS, según la distancia). Dado que el

¹⁷⁵ Información facilitada por Optytech.

cable está roto, no va a existir continuidad desde uno de los extremos del enlace.

En el lado de la punta en la cual no hay continuidad desde el respectivo extremo del enlace, es en el cual se ubica el daño, por lo que se debe regresar hacia el ODF una distancia de aproximadamente 50m, cortar el cable nuevamente y volver a verificar continuidad.

Se repite este proceso de manera sucesiva hasta que se tenga continuidad, y de esta manera se asegure que se ha detectado el tramo en el cual está la ruptura original.

Encontrado el daño, se procede con el reemplazo de todo el tramo afectado, los empalmes (2) y las respectivas pruebas de certificación.

Para el caso de fibras atenuadas, es imposible realizar reparaciones sin incurrir en altos costos y tiempos demasiado largos. En general, no se recomienda la instalación de cables directamente enterrados (se prefiere usar ducterías y canalizaciones).

4.8.2 Detección de daños en paneles de fibra óptica [1]

El ODF puede presentar básicamente 3 tipos de daños: conectores y/o adaptadores defectuosos, fibras rotas en bandejas de empalme y fusiones inadecuadas en pigtail, y todas éstas se traducen en una atenuación demasiado elevada en el evento correspondiente al ODF.

Dado que el ODF siempre está al inicio de una red, para poder analizarlo es necesario usar un supresor de pulsos y un OTDR (en esta sección se asume que el supresor de pulsos está en buen estado, tanto su fibra como sus conectores).

1. Conectores y/o adaptadores defectuosos

Cuando un conector está defectuoso, el evento correspondiente a éste presenta un valor de atenuación muy elevado. En este caso, el procedimiento de solución es el siguiente:

- Limpiar el conector del pigtail con los accesorios adecuados (estos accesorios se mencionarán más adelante)
- Verificar visualmente que el adaptador no esté tapado (si no está en buen estado, se debe reemplazar el adaptador).

- Verificar con un microscopio si la férula del conector del pigtail está en buen estado (si no está en buen estado, se debe reemplazar el pigtail y repetir la fusión).
- Verificar que el conector del pigtail esté bien conectado al adaptador.
- Repetir la prueba para verificar si el nivel de atenuación mejora.

2. Fibras rotas en bandejas de empalme

Si se ha realizado el chequeo del conector del pigtail y del adaptador del ODF, y la atenuación sigue elevada, se realiza lo siguiente:

- Inyectar luz visible con un VFL en el hilo bajo prueba y verificar si no existen iluminaciones del hilo en la bandeja.
- Si el hilo se ilumina, quiere decir que está roto (ya sea en el hilo del cable o en el hilo del pigtail, según el punto de iluminación)
- En este caso, se debe reemplazar el pigtail o volver a preparar el cable y repetir la fusión.
- Finalmente se debe repetir la prueba para verificar si el nivel de atenuación mejora.

3. Fusiones inadecuadas

- Si en la prueba de luz visible, el hilo no se ilumina, se debe repetir la fusión.
- Luego se repite la prueba y se verifica.
- En caso de que no se consiga bajar la atenuación con ninguno de las indicaciones anteriores, se debe reemplazar pigtails y adaptadores.

4.8.3 Detección de daños en redes PON [15] [17] [22] [24]

Para la detección de daños en redes PON operativas, adicional a los parámetros ópticos, a la distancia de los enlaces y al tipo de instalación, se debe realizar un análisis de la red y una serie de consideraciones particulares según cada caso, tal como se describe a continuación:

4.8.3.1 Análisis de topología y red [15] [17] [22] [24]

Cuando se detectan daños en una red PON, lo primero que se debe analizar es el tipo de daño y donde puede estar ubicado, lo cual se consigue analizando el diagrama de red.

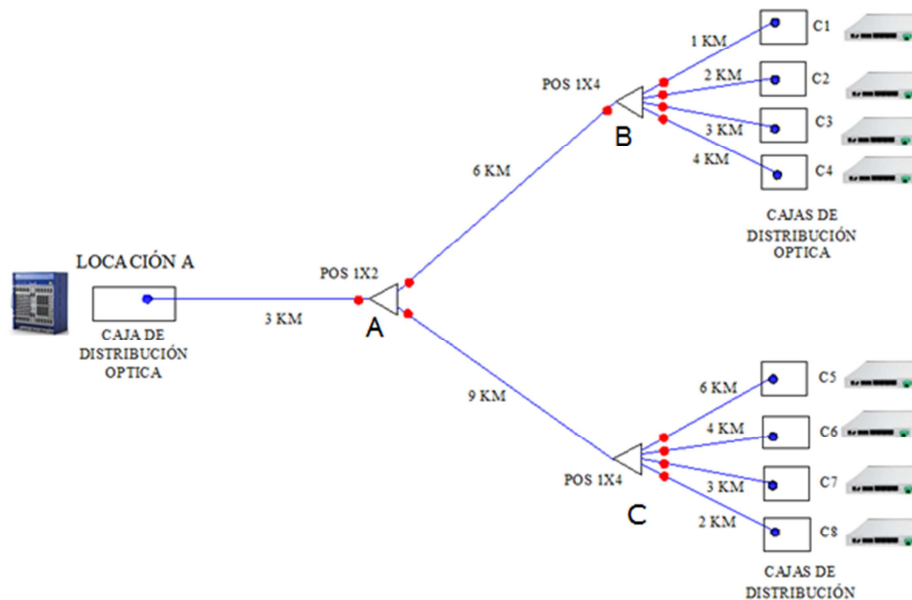


Figura 4.35: Esquema típico de una red PON ¹⁷⁶

Así por ejemplo, en la figura 4.35, se pueden considerar los siguientes escenarios:

1. **Caída sólo de C1:** Daño en el cable que conecta a POS B con C1
2. **Caída desde C1 hasta C4:** Daño en POS B o en el cable que conecta POS A con POS B.
3. **Caída desde C1 hasta C16:** Daño en POS A o en el cable que conecta POS A con OLT.

¹⁷⁶ Elaboración propia del autor.

4. **Caída de C5 y C6:** Fibra que conecta POS A con POS C atenuada. No se puede considerar fibra rota debido a que de ser así, se cayeran desde C5 hasta C8. Para este escenario, y por fines explicativos, se asume que se caen los clientes más lejanos, que serían los que más se afectarían por una fibra atenuada, mientras que C7 y C8, por estar más cercanos al OLT soportarían una atenuación adicional.

Los casos analizados son explicativos pero constituyen la base del análisis que se debe realizar para determinar, aun sin equipos de medición, el tramo en el cual está ubicado el daño.

Cabe mencionar que pueden existir más escenarios y múltiples combinaciones, las cuales deben ser analizadas de manera análoga y siempre acorde al diagrama de red en cuestión.

4.8.3.2 Pruebas en caliente [15] [17] [22] [24]

Realizar las pruebas en caliente implica que se harán mediciones cuando existe tráfico cursando por la red.

Esta tipo de prueba se realiza cuando se ha producido fallas en la red (caída de clientes), y se ha detectado el tramo en el cual existe la falla, tal

como se explicó en el punto “**4.8.3.1 Análisis de topología y red**”, pero queda pendiente detectar el punto exacto de la falla.

La ubicación exacta de la falla, tal como se ha explicado anteriormente, se consigue con el uso de un OTDR, y dado que la red está operativa, debe ser un OTDR optimizado para redes PON (capacidad de realizar mediciones a 1625 [nm]) y la medición se debe realizar desde el punto de prueba disponible más adecuado (ONT o punto intermedio de la red), según como haya sido construida la red y según el tramo en el cual se ubica el daño.

Siempre se debe buscar un punto de prueba que al ser desconectado no afecte al resto de la red.

Así por ejemplo, si se tiene una caída de C1 hasta C4, un punto de prueba pueden ser justamente cada uno de los ONTs desde C1 hasta C4, o desde cualquier punto de prueba junto a POS B.

El detalle de cómo realizar estas pruebas y los resultados que se obtienen fue ya explicado en la sección “**4.5.1.2 Medición de atenuación en enlace punto a multipunto - Medición de eventos en redes PON (FTTx) - En operación**”

4.8.3.3 Diferencia entre fibra rota y fibra atenuada [15] [17] [22] [24]

En algunos casos, es posible que exista caída de clientes no necesariamente por una ruptura de fibra, sino por una atenuación de fibra ocasionada por algún accidente o evento fortuito suscitado en la red. Si la atenuación producida es muy alta, vendrá acompañada de la caída de clientes.

Se procederá entonces a realizar el análisis de red y de topología tal como se indicó anteriormente, y se podrá verificar que no es posible diagnosticar el tramo en el cual está el daño de manera directa.

Así por ejemplo, si se tiene la siguiente topología de red:

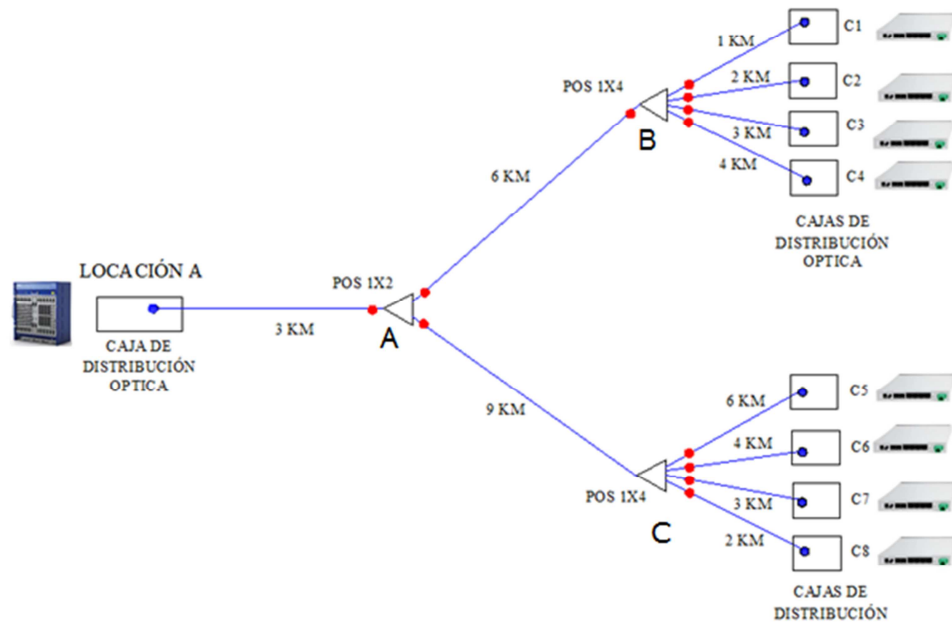


Figura 4.36: Esquema típico de una red PON ¹⁷⁷

Es posible que exista una caída de C5 y C6, lo cual puede implicar una atenuación ya sea entre POS A y POS B, o entre OLT y POS A. Dado que la fibra está atenuada y no rota, los clientes más cercanos no pierden servicio (su umbral en recepción soporta esta atenuación adicional), y la posibilidad de que se rompan simultáneamente las dos acometidas hacia C5 y C6 es muy baja (especialmente en redes con mayor número de clientes, coincidencias de este tipo son prácticamente imposibles).

¹⁷⁷ Elaboración propia del autor.

Bajo el esquema explicado, se debe proceder a realizar mediciones de potencia con PM en C5 y C6, mediciones en las cuales se podrá verificar que la potencia recibida no es nula, sino de un valor muy bajo, y que no puede ser leída por los ONTs respectivos. Con esta medición, se ratifica que la fibra está atenuada y no rota.

El siguiente paso sería realizar mediciones con OTDR optimizado para redes PON, verificar exactamente dónde está el evento y proceder con la respectiva reparación.

Cabe indicar que en estos casos, las mediciones se deben realizar preferentemente desde el ONT afectado, ya que puesto que la red está en servicio, entrar a otro punto de prueba disponible, puede implicar la caída de más clientes, lo cual se debe evitar al máximo.

4.8.3.4 Elementos de demarcación [23]

Para facilitar los trabajos de mantenimiento, detección de daños y reparación, se sugiere instalar elementos reflectivos en la red PON (específicamente adaptadores), ya que los mismos, generan una forma de curva características cuando se hacen mediciones con OTDR. De esta forma, por ejemplo, el uso de un adaptador en las premisas del cliente,

nos permitirá determinar la longitud del enlace, el fin de la fibra y si la fibra está rota o no.

Esto requiere un profundo análisis y entendimiento de las trazas arrojadas por el OTDR, y en varias longitudes de onda. Esta técnica se puede usar en diferentes puntos de la red (puntos de demarcación) para determinar los diferentes segmentos que la componen.

El problema de esta técnica es la pérdida de inserción de cada adaptador instalado en la red, ya que cada adaptador en la red implica una pérdida de aproximadamente 2 km de cobertura en la red, así como de los inconvenientes que se puede ocasionar por pérdidas de reflexión.

Por lo expuesto, si se decide usar elementos de demarcación para facilitar la futura operación de la red y su mantenimiento, se debe tener cuidado de su incidencia en el presupuesto de potencia, así como de las limitaciones que implica el uso de los mismos al alcance de la red.

4.8.3.5 Mediciones desde OLT [15] [17] [22] [24]

En caso de que se requieran realizar pruebas reflectométricas desde el OLT (con OTDR), se debe considerar, durante la etapa de construcción de

una red PON, la inclusión de un acoplador WDM previo a la conexión al OLT, el mismo que tenga un canal para 1625 [nm], el que permanecerá regularmente desconectado y cuya función será únicamente la de permitir la conexión de un OTDR optimizado para redes PON cuando se requiera realizar una prueba desde este punto de la red.

A pesar de que este tipo de mediciones no son comunes, es como se ha explicado que se consigue realizar estas pruebas.

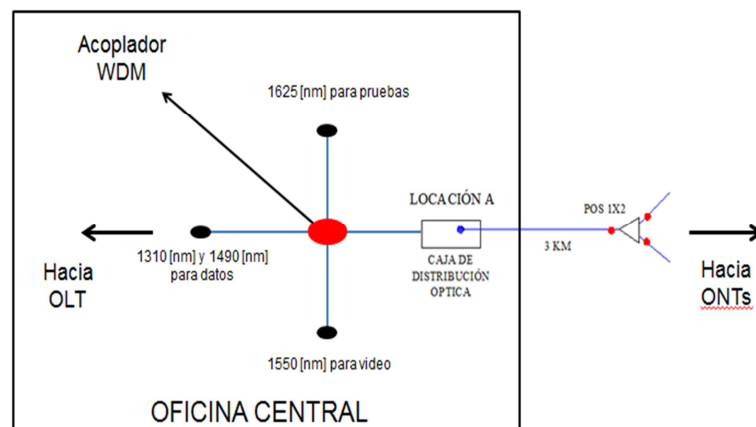


Figura 4.37: Acoplador WDM para pruebas con ODTR desde OLT en redes PON ¹⁷⁸

Cabe indicar que adicional a todas las recomendaciones y procedimientos descritos en la presente sección para detección y reparación de daños

¹⁷⁸ Elaboración propia del autor.

en redes PON, se mantienen todas las indicaciones y recomendaciones ya mencionadas para trabajo en redes punto a punto, ya que en último término, una red punto a multi punto es una agrupación de enlaces punto a punto, por lo que en las redes PON también se debe considerar aspectos tales como atenuación en empalme, daños en paneles ópticos, fibra atenuadas, pérdidas por longitud, pérdidas de reflexión, etc.

4.8.4 Arreglo de empalme [10]

Cuando se tiene un enlace óptico, uno de los principales puntos de falla son los empalmes, ya que son puntos en los cuales la fibra se ha manipulado y ha perdido la condición de continuidad original.

Si al hacer la certificación con OTDR, se diagnostica que el empalme está mal hecho (su valor de pérdida de inserción supera el valor aceptado como máximo), se debe repetir dicha fusión (una vez ubicado el punto de empalme), lo cual implica:

- Desarmar la manga de empalme.
- Ubicar el hilo atenuando.
- Despeinarlo de la bandejas de empalme.
- Repetir la fusión.

- Peinar el hilo nuevamente.
- Cerrar la manga.
- Repetir la prueba de ODTR y verificar que el problema se ha resuelto.

Cabe indicar que para diagnosticar que el empalme está defectuoso, su valor debe ser elevado tanto a 1310nm como a 1550nm, y en ambas direcciones, y se debe considerar el valor final de pérdida de empalme, utilizando la ecuación indicada por la recomendación UIT G.650.3.

En muchos casos, el problema no es directamente el empalme, sino el peinado del hilo en la casetera (sin respetar radios de curvatura), o un buffer demasiado apretado (con una amarra plástica), por lo que previo a romper el hilo atenuado, se debe revisar el peinado de las bandejas y el armado general de la manga, y tratar de solventar el problema sin volver a fusionar.

Se dan estas indicaciones ya que acceder a las mangas suele ser complicado, puesto que las mismas están en postes, en pozos, con reservas, en lugares de difícil acceso, etc., por lo que en muchos casos acceder a la manga toma más tiempo que la reparación del hilo en sí, por tanto, si es posible evitar reparar la fusión se lo debe hacer, incluso

para no correr el riesgo de dañar hilos en buen estado al momento de corregir el hilo atenuado.

Los problemas con empalmes atenuados ocurren principalmente cuando se instala el cable en su totalidad, luego se realizan los empalmes, luego se fusionan los ODFs y finalmente se procede con las pruebas de certificación.

Una práctica muy adecuada para no tener problemas con las atenuaciones en empalmes, y prácticamente garantizar que no se necesitará acceder nuevamente a la manga de empalme, consiste en lo siguiente:

- Tender la primera bobina del enlace.
- Fusionar el ODF en el extremo del enlace.
- Tender la segunda bobina del enlace.
- Empalmar las 2 bobinas y al mismo tiempo, realizar las mediciones con OTDR (en dos ventanas y en una dirección).
- Si un hilo está atenuado, repetir la fusión ese mismo momento.
- Proceder de esta forma con todos los hilos y cerrar la manga.

La ventaja del procedimiento mencionado es que repetir una fusión es muy fácil si se tiene acceso a la manga abierta y se está en la ubicación de la misma y con todos los equipos de trabajo. El problema es acceder a una manga luego de cerrada e instalada.

Adicionalmente, si un empalme es adecuado en dos ventanas y en una dirección, es muy poco probable que presente problema en la otra dirección.

Con los procedimientos indicados, se debe conseguir que todos los empalmes de una red presenten un adecuado nivel de atenuación.

4.8.5 Arreglo de conector [12]

El conector es otro de los puntos críticos de la red ya que, al igual que en un empalme, la fibra pierde su continuidad original, pero adicionalmente está expuesto a conexiones y reconexiones y además se enfrenta también a problemas de suciedad.

A diferencia del empalme, en el conector existen más puntos de falla, y no sólo la fusión en sí o el radio de curvatura. En un conector, puede haber problemas en los siguientes puntos:

- Conector de pigtail.
- Fibra de pigtail.
- Fusión.
- Adaptador.

Así, para reparar un conector se siguen los pasos indicados en el punto **“4.8.2 Detección de daños en paneles de fibra óptica”**, lo cual consiste básicamente en limpiar el conector, y luego cambiar elementos y repetir fusiones hasta que el evento del conector del ODF se ajuste a los parámetros requeridos, tanto a nivel de pérdida de inserción como de reflexión.

Lo importante en último término es que todos los conectores estén en buen estado.

4.8.6 Arreglo de enlace [1] [2]

Si los empalmes y los conectores de un enlace están en buen estado, y la red no presenta problemas puntuales de fallas tales como reservas demasiado apretadas, curvas muy cerradas o herrajería mal seleccionada en el caso de tendidos aéreos, en ningún punto específico de

la ruta, la pérdida real del enlace debería ser menor o igual a la pérdida teórica calculada. Si a pesar de cumplir con todos los puntos mencionados la pérdida medida es mayor que la teórica, el único elemento que puede dar problemas es el cable como tal.

Esto puede ocurrir básicamente por 3 razones:

1. **Temperatura de trabajo inadecuada para el cable:** Este fenómeno se suscita cuando por alguna razón, se exceden los rangos de temperatura de operación del cable y de la fibra, en casos tales como haber realizado una zanja demasiado profunda (y por ende demasiado fría) en la tierra e instalar al cable directamente enterrado, o cuando se instala el cable en plantas industriales, en las cuales puede haber zonas en donde la temperatura de operación sea demasiado elevada. En estos dos ejemplos, las condiciones climáticas (naturales o provocadas) ocasionan que la fibra se atenúe en un valor superior al indicado por la norma u hoja técnica.
2. **Inadecuada instalación en tendidos aéreos o canalizados:** Cuando se instala fibra en tendidos aéreos, particularmente cables auto soportados, se deben respetar tanto el SPAN como el SAG dados por el fabricante. El SPAN o vano es la máxima distancia entre postes que

soporta el cable para su instalación y se expresa en metros. El SAG es el pando que debe tener el cable entre poste y poste ya que a la fibra nunca se la instala en línea recta, sino siempre con cierta holgura, y se expresa como un porcentaje de la distancia entre postes (dato dado por el fabricante y que típicamente oscila entre 2% y 4% de la distancia entre postes). Si uno de estos dos parámetros no se respeta durante la instalación, la fibra presentará niveles de atenuación elevados.

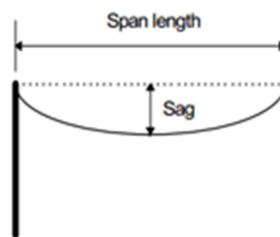


Figura 4.38: Span y SAG en un tendido aéreo ¹⁷⁹

Tanto en el caso de cables canalizados como aéreos, un problema similar puede ocurrir si durante la instalación de la red se excedió la máxima tensión de halado que soporta el cable (valor especificado por el fabricante según el tipo de cable)

3. **Errónea selección de tipo de cable:** Al igual que en los casos anteriores, es posible que la fibra aumente su nivel de atenuación si

¹⁷⁹ <http://www.ofilsystems.com/news/ADSS.html>

para un tendido aéreo, se utilizan cable diseñados para ser instalados en ductería.

Si luego de verificar que ninguno de estos tres inconvenientes aplica a la red instalada, y aun así la pérdida medida es mayor que la teórica, se debe analizar la atenuación en [dB/km] en fibra por tramos (según la longitud del enlace) con el OTDR, y verificar si existe un tramo dañado o de fibra defectuosa, caso en el cual en se lo debe reemplazar.

Si luego de hacer la verificación con el OTDR se determina que en general la fibra presenta un nivel de atenuación por longitud elevado, la única manera de arreglar el enlace es reemplazando el cable en su totalidad.

4.8.7 Limpieza de conectores y equipos [15] [19]

Tal como se ha mencionado, la limpieza es crítica en las redes de fibra óptica. Lo importante es evitar el uso de consumibles y herramientas no diseñadas para redes de fibra, tales como algodón, servilletas, tela, paños de bebés, etc.

Entre los principales accesorios para limpieza de conectores y elementos de red se pueden mencionar:

Paños libres de pelusa: Papel adecuado para limpieza de férulas y limpieza de hilo previo a la fusión. Su principal característica es que no deja pelusa luego de la limpieza.



Figura 4.39: Paños libres de pelusa ¹⁸⁰

Hisopos libres de pelusa: Palillos con punta de algodón especial (libre de pelusa) y de dimensiones acordes a las férulas de los conectores (2.5mm o 1.25mm), adecuados para limpieza de puertos de equipos activos y de medición, así como para limpieza de puertos de ODF que tienen conectado un pigtail. Se embonan en un adaptador.

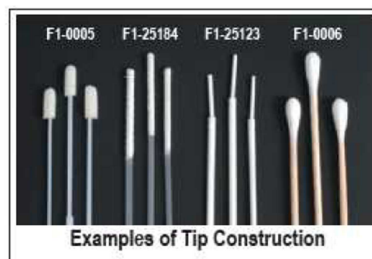


Figura 4.40: Hisopos libres de pelusa ¹⁸¹

¹⁸⁰ <http://www.fiberinstrumentsales.com/consumables/cleaning-wipes/fis-low-lint-wipes-280-wipes-box.html>

Limpiadores de Impacto: Lápices con punta plástica acorde a férrulas de los conectores y con una cinta giratoria en su extremo que realiza la limpieza en sí. Sirve para limpieza de férrulas de conectores y de puertos de ODFs con pigtailes conectados y trabaja realizando un golpe de inserción en el punto que se desea limpiar.



Figura 4.41: Limpiador de Impacto ¹⁸²

Alcohol Isopropílico: Alcohol de alta concentración y de rápida evaporación. Sirve para limpiar el hilo previo a la fusión y para limpieza de conectores. Se usa en conjunto con paños secos y libres de pelusa.



Figura 4.42: Alcohol Isopropílico ¹⁸³

¹⁸¹ <http://www.fiberinstrumentsales.com/consumables/cleaning-swabs-sticks.html>

¹⁸² <http://www.fiberinstrumentsales.com/consumables/one-click-ibc-cleaners.html>

¹⁸³ <http://www.fiberinstrumentsales.com/consumables/cleaning-accessories.html>

Aire Comprimido: Usado para limpieza general de puertos y/o conectores



Figura 4.43: Aire Comprimido ¹⁸⁴

Cabe mencionar que los accesorios hasta aquí mencionados, son los más representativos del mercado, pero existe una gran variedad de alternativas en cuanto a marcas y modelos.

Lo importante, como ya se dijo, es seleccionar el producto adecuado según cada aplicación, y por supuesto la verificación de que los accesorios usados sean fabricados exclusivamente para trabajos con fibra óptica.

¹⁸⁴ <http://www.fiberinstrumentsales.com/consumables/canned-air.html>

4.9 Caso práctico de aplicación

Con el fin de aplicar los conceptos, definiciones, recomendaciones y procedimientos revisados en el presente trabajo, se expone a continuación un caso práctico y real de certificación de redes pasivas de fibra óptica, con el cual se pretende visualizar la coyuntura de gran parte de lo hasta aquí analizado.

4.9.1 Descripción de caso

Se tiene como información inicial por parte del dueño de la red que existe un enlace de fibra óptica de las siguientes características:

- Tipo de fibra: SM G.652
- Cable: Armado 12 hilos Stranded Loose Tube (directamente enterrado)
- Distancia del enlace: 2.8km (aproximadamente)
- Tipo de conectores en ODFs: SC
- Factor helicoidal del cable usado de 2%

Cabe indicar que en principio, éstos son los datos básicos requeridos para realizar la certificación de la red, ya que con esto se puede seleccionar equipos y tipos de pruebas a realizar.

Adicionalmente y como dato informativo, se indica que el cable es marca Corning y los paneles de fibra óptica son marca Siemon.

La solicitud de certificación obedece a que el cable ha sufrido una ruptura por trabajos en la vía, por lo que se ha procedido a la reparación respectiva, la misma que consiste en la instalación de 2 mangas de empalme (marca Corning) y los respectivos empalmes por fusión; se usan 2 mangas de empalme ya que el cable está directamente enterrado (anteriormente se explicó que cuando el cable es directamente enterrado, no se dejan reservas, por lo que en caso de un daño, se debe usar un tramo extra de cable y realizar 2 empalmes). El daño fue visible, por lo que la ubicación del mismo resulta fácil y directa (sin equipo de medición).



Figura 4.44: Daño producido ¹⁸⁵



Figura 4.45: Daño producido ¹⁸⁶



Figura 4.46: Zona de incidencia ¹⁸⁷

¹⁸⁵ Información facilitada por Optytech.

¹⁸⁶ Información facilitada por Optytech.

¹⁸⁷ Información facilitada por Optytech.



Figura 4.47: Empalme 1 ¹⁸⁸



Figura 4.48: Empalme 2 ¹⁸⁹

Hecha la reparación, se requiere verificar el estado de la misma, por lo cual se procede con la respectiva certificación.

Se indica también que el daño está ubicado a aproximadamente 1000m desde el punto denominado PIA y a 1800m desde el punto

¹⁸⁸ Información facilitada por Optytech.

¹⁸⁹ Información facilitada por Optytech.

denominado PATH 3 (estos datos son proporcionados por el propietario de la red). Finalmente se tiene el dato que las mangas de empalme están a 30m la una de la otra.

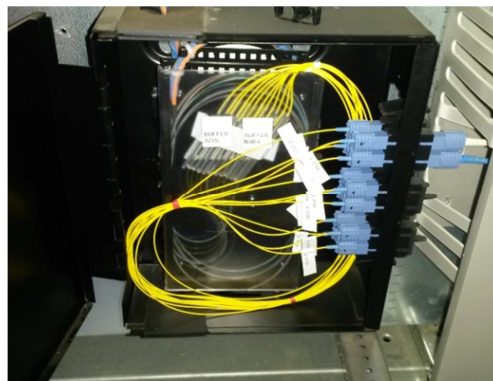


Figura 4.49: ODF en PIA ¹⁹⁰

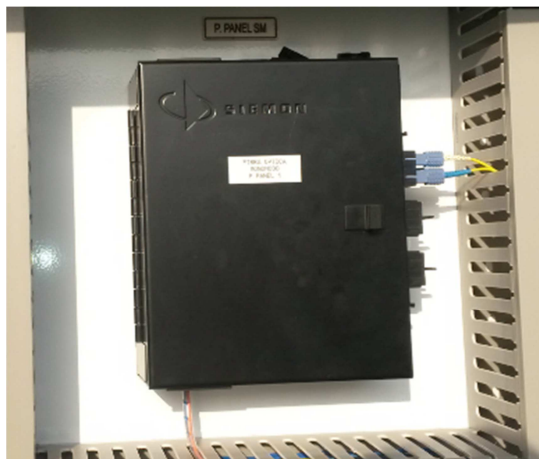


Figura 4.50: ODF en PATH 3 ¹⁹¹

¹⁹⁰ Información facilitada por Optytech.

¹⁹¹ Información facilitada por Optytech.

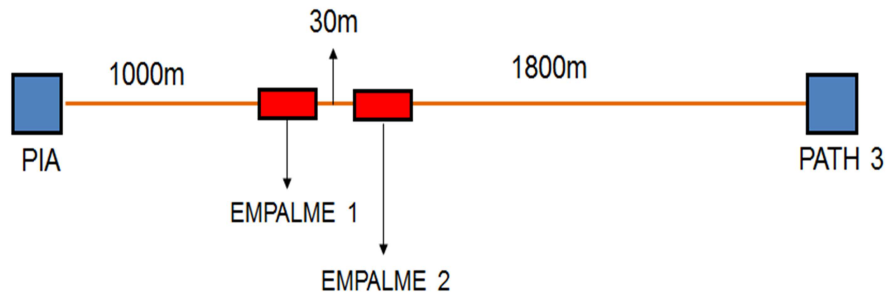


Figura 4.51: Diagrama esquemático de estado actual de red a certificar ¹⁹²

4.9.2 Tipos de pruebas a realizar y análisis de pérdidas

El punto más importante a considerar de la presente certificación es el estado de los empalmes, ya que es el nuevo trabajo realizado y por ende se desea verificar la calidad del mismo.

Sin embargo, llegado al acuerdo con el dueño de la red, y dado que se realizarán pruebas que arrojarán más información, se procederá a analizar también las pérdidas de inserción y reflexión en los conectores, así como la atenuación de la fibra y la pérdida total del enlace.

Se verificará adicionalmente si existen otras novedades en la red.

¹⁹² Elaboración propia del autor.

De esta manera, se verificará si los empalmes pasan la certificación y adicionalmente se podrá caracterizar la red, para informar a su propietario si se deben realizar más arreglos en la misma o si la red es óptima para su operación.

4.9.2.1 Pérdida de inserción en empalmes

Para la pérdida de inserción en los 2 empalmes ejecutados, se realizarán pruebas en 2 ventanas (1310 [nm] y 1550 [nm]) y 2 direcciones con OTDR y sin bobina de lanzamiento.

Luego se sacará un solo valor para cada longitud de onda promediando la suma del valor obtenido en cada dirección. Este procedimiento se acoge a la recomendación “**UIT G.650.3 Test methods for installed single-mode optical fibre cable links**”

Por requerimiento del cliente, se acepta una pérdida de inserción máxima de 0.1 dB por cada fusión, lo cual implica que se deberá tener una pérdida máxima de 0.2 dB en la zona de los empalmes. Se los trata como un solo evento ya que al estar las fusiones tan cercanas, es muy posible que, según la dirección de prueba, el segundo empalme caiga en

la zona muerta de evento. Se aplica este valor máximo de atenuación acorde a la recomendación ***“IUT L.12 Optical fibre splices”***.

4.9.2.2 Pérdida en inserción y reflexión en conectores

Para la pérdida de inserción en los conectores de cada extremo del enlace, se realizarán pruebas en 2 ventanas (1310 [nm] y 1550 [nm]) y 2 direcciones con OTDR y con una sola bobina de lanzamiento.

Dado que se usará una sola bobina de lanzamiento, no se analizará la pérdida bidireccional en cada conector sino únicamente unidireccional.

Por requerimiento del cliente, se acepta una pérdida de inserción máxima de 0.5 dB y una pérdida de reflexión mínima de 50 [dB] en cada conector. Estos parámetros se acogen a la recomendación ***“UIT L.36 Conectores de fibra óptica monomodo.”***

4.9.2.4 Pérdida por longitud en fibra

Para analizar la pérdida por longitud en fibra, se utilizarán las mismas trazas obtenidas para el análisis de pérdidas en empalmes.

Se verificará cuál es el valor de atenuación en tramos en los cuales no existan eventos reflectivos ni no reflectivos. Este análisis se realizará siempre en el mismo tramo y en una sola dirección, pero en ambas ventanas (1310 [nm] y 1550 [nm]), ya que medir la atenuación por longitud de fibra en el enlace total no dará un valor real ya que sumarían las pérdidas de los otros eventos existentes en la red. Este procedimiento se define en conversaciones con el dueño de la red.

Los valores máximos de atenuación por fibra serán 0.34 [dB/km] para 1310 [nm] y de 0.22 [dB/km] para 1550 [nm]. Estos parámetros se acogen a la recomendación “**UIT G.652 Características de las fibras y cables ópticos monomodo**”

4.9.2.5 Pérdida total de enlace

Para el cálculo de la pérdida total teórica del enlace, se utilizará la ecuación dada por la recomendación “**UIT G.652 Características de las fibras y cables ópticos monomodo**”, según la cual la atenuación total teórica de un enlace se obtiene sumando la pérdidas de cada uno de los eventos existentes en la red y la atenuación total por longitud de fibra.

Así, para el presente caso se tiene:

A (pérdida teórica) [dB] = (longitud del enlace x atenuación por longitud a la longitud de onda indicada) [dB] + (número de conectores x pérdida en conectores) [dB] + (número de empalmes x pérdida en empalmes) [dB]

Para 1310 [nm]:

$$A \text{ [dB]} = (2.8 \times 0.34) \text{ [dB]} + (2 \times 0.5) \text{ [dB]} + (2 \times 0.1) \text{ [dB]}$$

$$A \text{ [dB]} = (0.952) \text{ [dB]} + (1) \text{ [dB]} + (0.2) \text{ [dB]}$$

$$A \text{ [dB]} = 2.152 \text{ [dB]}$$

Para 1550 [nm]:

$$A \text{ [dB]} = (2.8 \times 0.22) \text{ [dB]} + (2 \times 0.5) \text{ [dB]} + (2 \times 0.1) \text{ [dB]}$$

$$A \text{ [dB]} = (0.616) \text{ [dB]} + (1) \text{ [dB]} + (0.2) \text{ [dB]}$$

$$A \text{ [dB]} = 1.816 \text{ [dB]}$$

Para este análisis, se realizan pruebas con OTDR y sin bobina de lanzamiento. Así, si el valor medido es menor que el valor teórico para cada longitud de onda, se considerará que la pérdida total del enlace pasa la certificación.

Es decir que la misma prueba realizada para obtener el valor de pérdida en el empalme se usará para obtener el valor de pérdida total del enlace.

Para que la red se considere certificada, tanto los conectores, como los empalmes, las pérdidas por longitud de fibra y la pérdida total del enlace deberán ajustarse a los valores indicados.

4.9.3 Correlación con presupuesto de potencia disponible

Para el enlace en cuestión, a nivel de equipos activos para la conexión del enlace, se cuenta con módulos SFP (en switches) marca Cisco, modelo 1000BASE-LX / LH, los mismos que acorde a su especificación trabajan con FO SM, a 1310 [nm] y tienen un alcance máximo de 10 km.

Revisando las especificaciones de estos módulos, se tienen los siguientes umbrales:

- Umbral de TX mínimo: -9.5 [dBm]
- Umbral de TX máximo: -3 [dBm]
- Umbral de RX mínimo: -20 [dBm]
- Umbral de RX máximo: -3 [dBm]

Optical Specifications

Table 2 gives optical parameters for the SFPs.

Table 2. Main Optical Parameters

Product	Transmit Power (dBm)	Receive Power Range (dBm)
1000BASE-SX	-3 to -9.5	0 to -17
1000BASE-LX/LH	-3 to -9.5	-3 to -20
1000BASE-ZX	+5 to 0	-3 to -23
1000BASE-BX10-D 1000BASE-BX10-U	-3 to -9	-3 to -19.5

Tabla 4.16: Especificaciones de módulos SFP usados en el enlace¹⁹³

Tal como se explicó anteriormente, con estos valores se puede calcular el presupuesto de potencia, el mismo que es la diferencia entre el umbral de TX mínimo (peor caso) y el umbral de RX mínimo.

Así, para el caso de estudio, el presupuesto de potencia es de 10.5 [dB] (20[dBm] - 9.5 [dBm]). Esto implica que aunque no se consigan los valores de pérdidas teóricos explicados en el punto anterior, el enlace podrá trabajar, sin embargo, esto no quiere decir que porque el enlace levante, la red de FO está en buen estado.

¹⁹³ Cisco (2008). Cisco SFP Optics for Gigabit Ethernet Applications, página 3

Se hace esta aclaración ya que en muchos casos la red de fibra proporciona conectividad aun sin ser óptima, lo cual aunque pueda ser práctico, no es coherente con el objetivo del presente trabajo. Más bien se debe tener en cuenta que si la red de fibra está en buen estado, y los equipos activos son seleccionados correctamente, se podrá garantizar conectividad en el enlace.

4.9.4 Tabulación y presentación de resultados

Una vez realizadas las pruebas, se debe tabular los resultados obtenidos en los respectivos registros para una adecuada y fácil visualización de los eventos de la red, tal como se indica a continuación en las tablas 4.17, 4.18, 4.19 y 4.20:

EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED + LOGO (OPCIONAL)							
CERTIFICACION EMPALMES DE FIBRA ÓPTICA							
REGISTRO DE PERDIDA EN EMPALMES							
DATOS GENREALES							
Tipo de Cable:	Canalizado (12 HILOS)		Tipo de Fibra:	SM G.652D			
Enlace	PIA - PATH 3		Valor Máximo Permitido [dB]	0.1			
Longitud del Enlace	2800 m		Operador:	Raúl Barragán			
Ubicación del Emplame	1000m desde PIA y 1800m desde PATH 3		Fecha:	07/05/2015			
Equipos:	EXFO AXS-100 HANDHELD OTDR + FUJIKURA FSM 60S						
A1	Valor de atenuación medido desde PIA hacia PATH 3						
A2	Valor de atenuación medido desde PATH 3 hacia PIA						
Nº de Fibra	Medición de Atenuación en Empalme				Atenuacion Total	Atenuacion Total	OBSERVACIONES
	1310 [nm]		1550 [nm]		1310 [nm]	1550 [nm]	
	Pérdida[dB]		Pérdida[dB]		[dB]	[dB]	
	A1	A2	A1	A2	(A1 + A2) / 2	(A1 + A2) / 2	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	

OBSERVACIONES:

Empalme no es visible por equipode medición, por lo que lo considera certificado y en buen estado.

Realizado por
Raúl Barragán B.

Tabla 4.17: Registro de Pérdida de Inserción en Empalme 1 ¹⁹⁴

¹⁹⁴ Elaboración propia del autor.

EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED + LOGO (OPCIONAL)							
CERTIFICACION EMPALMES DE FIBRA ÓPTICA							
REGISTRO DE PERDIDA EN EMPALMES							
DATOS GENERALES							
Tipo de Cable:	Canalizado (12 HILOS)			Tipo de Fibra:	SM G.652D		
Enlace	PIA - PATH 3			Valor Máximo Permitido [dB]	0.1		
Longitud del Enlace	2800 m			Operador:	Raúl Barragán		
Ubicación del Emplame	1030m desde PIA y 1770m desde PATH 3			Fecha:	07/05/2015		
Equipos:	EXFO AXS-100 HANDHELD OTDR + FUJIKURA FSM 60S						
A1	Valor de atenuación medido desde PIA hacia PATH3						
A2	Valor de atenuación medido desde PATH3 hacia PIA						
N° de Fibra	Medición de Atenuación en Empalme				Atenuación Total		OBSERVACIONES
	1310 [nm]		1550 [nm]		1310 [nm]	1550 [nm]	
	Pérdida[dB]		Pérdida[dB]		[dB]	[dB]	
	A1	A2	A1	A2	(A1 + A2) / 2	(A1 + A2) / 2	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Hilo pasa certificación	

OBSERVACIONES:

Empalme no es visible por equipo de medición, por lo que lo considera certificado y en buen estado.

Realizado por
Raúl Barragán B.

Tabla 4.18: Registro de Pérdida de Inserción en Empalme 2¹⁹⁵

¹⁹⁵ Elaboración propia del autor.

EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED + LOGO (OPCIONAL)					
CERTIFICACION DE CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA					
REGISTRO DE PÉRDIDA DE INSERCIÓN Y DE REFLEXIÓN EN CONECTORES					
Datos del Cable					
Tipo de Cable:	Canalizado (12 HILOS)	Tipo de Fibra: SM G.652D	Valor Pérdida de Inserción Máximo Permitido [dB]: 0.5 Valor Pérdida de Reflexión Máximo Permitido [dB]: 50		
Enlace	PIA - PATH 3	FECHA:	07/05/2015	OPERADOR:	RAUL BARRAGAN
Equipo:	EXFO AXS-100 HANDHELD OTDR + BOBNA DE LANZAMIENTO FIS SM G.652D 1000M				

N° de Fibra	PIA				OBSERVACION
	INSERCIÓN		REFLEXIÓN		
	Medición [dB]		Medición [dB]		
	1310 [nm]	1550 [nm]	1310 [nm]	1550[nm]	
1	0.848	0.598	46.300	47.500	Hilo no pasa certificación
2	0.735	0.570	46.600	48.000	Hilo no pasa certificación
3	0.911	0.650	46.600	47.700	Hilo no pasa certificación
4	2.039	1.500	46.800	48.000	Hilo no pasa certificación
5	1.910	1.320	57.400	54.900	Hilo no pasa certificación
6	1.051	0.860	45.300	46.700	Hilo no pasa certificación
7	2.680	1.890	46.300	47.600	Hilo no pasa certificación
8	1.340	0.880	46.200	47.400	Hilo no pasa certificación
9	1.320	0.900	45.600	46.300	Hilo no pasa certificación
10	0.627	0.470	46.600	46.700	Hilo no pasa certificación
11	2.430	1.730	47.100	47.900	Hilo no pasa certificación
12	0.735	0.570	46.60	48.000	Hilo no pasa certificación

N° de Fibra	PATH 3				OBSERVACION
	INSERCIÓN		REFLEXIÓN		
	Medición [dB]		Medición [dB]		
	1310 [nm]	1550 [nm]	1310 [nm]	1550[nm]	
1	2.130	1.830	-46.600	-47.500	Hilo no pasa certificación
2	0.958	0.941	-47.200	-48.200	Hilo no pasa certificación
3	1.840	1.550	-49.000	-49.600	Hilo no pasa certificación
4	N/A	N/A	N/A	N/A	Señal se queda en conector
5	1.740	1.410	-46.000	-46.700	Hilo no pasa certificación
6	1.030	0.909	-47.400	-48.000	Hilo no pasa certificación
7	2.210	1.790	-47.500	-48.300	Hilo no pasa certificación
8	0.986	0.917	-43.400	-44.300	Hilo no pasa certificación
9	0.750	0.780	-44.300	-45.000	Hilo no pasa certificación
10	1.320	0.990	-47.000	-47.600	Hilo no pasa certificación
11	1.670	1.360	-47.000	-47.600	Hilo no pasa certificación
12	2.300	1.880	-47.90	-48.600	Hilo no pasa certificación

OBSERVACIONES:

Conectores en mal estado en PIA
Conectores en mal estado en PATH3

Realizado por
Raúl Barragán B.

Tabla 4.19: Registro de Pérdida de Inserción y Reflexión en Conectores¹⁹⁶

¹⁹⁶ Elaboración propia del autor.

EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED + LOGO (OPCIONAL)								
CERTIFICACION ENLACE DE FIBRA OPTICA								
REGISTRO DE ATENUACION TOTAL DE ENLACE								
DATOS GENERALES								
Tipo de Cable:	Canalizado (12 HILOS)			Tipo de Fibra:	SM G.652D			
Enlace	PIA - PATH 3			Operador:	Raúl Barragán			
Longitud del Enlace	2800 m			Fecha:	07/05/2015			
Equipos:	EXFO AXS-100 HANDHELD OTDR							
A1	Valor de atenuación medido desde PIA hacia PATH 3							
A2	Valor de atenuación medido desde PATH 3 hacia PIA							
DATOS DEL ENLACE								
Longitud Cable [km]	Cantidad Empalmes	Cantidad Conectores en ODF's	Longitud de Onda [nm]	Atenuación max. Permitido			Valor Esperado [dB]	Longitud óptica [m] (HEX = 2%)
				Fibra [dB/km]	Empalme [dB]	Conector [dB]		
2.800	2	2	1550	0.22	0.10	0.50	1.816	2.8560
2.800	2	2	1310	0.34	0.10	0.50	2.152	2.8560
N° de Fibra	Medición de Atenuación en Enlace				Atenuación Total	Atenuación Total	OBSERVACIONES	
	1310 [nm]		1550 [nm]		1310 [nm]	1550 [nm]		
	Pérdida[dB]		Pérdida[dB]		[dB]	[dB]		
	A1	A2	A1	A2	(A1 + A2) / 2	(A1 + A2) / 2		
1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Hilo roto a 333m desde PATH 3 y a 2462m desde PIA	
2	3.6	3.65	3.11	3.43	3.63	3.27	Pérdida medida mayor a pérdida teórica	
3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Hilo roto a 333m desde PATH 3 y a 2462m desde PIA	
4	5.46	5.42	4.49	1.9	5.44	3.20	Pérdida medida mayor a pérdida teórica	
5	4.58	N/A	3.79	2.175	N/A	2.98	Pérdida medida mayor a pérdida teórica	
6	4.19	3.84	3.58	2.02	4.02	2.80	Pérdida medida mayor a pérdida teórica	
7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Hilo roto a 333m desde PATH 3 y a 2462m desde PIA	
8	5.79	5.65	4.74	5.65	5.72	5.20	Pérdida medida mayor a pérdida teórica	
9	5.31	5.67	4.45	5.23	5.59	4.84	Pérdida medida mayor a pérdida teórica	
10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Hilo roto a 333m desde PATH 3 y a 2462m desde PIA	
11	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Hilo roto a 333m desde PATH 3 y a 2462m desde PIA	
12	3.37	5.17	3.13	3.153	4.27	3.14	Pérdida medida mayor a pérdida teórica	

OBSERVACIONES:

Red en mal estado, se pueden observar daños
 Red no pasa certificación de enlace
 Existe una fractura en el cable a 333m desde PATH 3 y a 2462m desde PIA

Realizado por
 Raúl Barragán B.

Tabla 4.20: Registro de Atenuación de Enlace ¹⁹⁷

¹⁹⁷ Elaboración propia del autor.

Se anexa al presente trabajo las trazas reflectométricas obtenidas en campo y de las cuales se toman los valores de los registros presentados **(ANEXO 2)**.

4.9.5 Análisis de resultados

En base a la tabulación de resultados, se concluye lo siguiente respecto al enlace analizado:

- Los empalmes realizados están en buen estado y pasan la certificación.
- Los conectores tanto de PIA como de PATH 3 están defectuosos y deben ser reparados.
- Existe una fractura en el cable a 393m desde PATH 3 y a 2462m desde PIA, la misma que debe ser reparada.
- El enlace en general, no pasa la certificación y está en mal estado. Debe ser reparado tanto a nivel de rupturas de cable y de conectores en ODF, y de ser posible, se debe reemplazar todo el enlace.
- No se registra atenuación en fibra ya que la red está en mal estado, y los resultados no darían información válida sobre este parámetro.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1 Conclusiones

- En base a los estudios, análisis y descripciones teóricas y prácticas realizadas de los elementos de una red de fibra óptica pasiva y de los eventos existentes en la misma, y acorde a los parámetros y recomendaciones establecidos tanto en normas internacionales como en aquellos dados por los fabricantes, el presente documento constituye un manual de procedimientos para la certificación de redes pasivas de fibra óptica considerando pérdidas por longitud de enlace en fibra, pérdidas por inserción en conectores y empalmes y pérdidas de reflexión en conectores.
- Los tipos de pérdidas presentes en una red de fibra óptica, los elementos asociados a dichas pérdidas y los criterios de verificación y certificación de los mismos se resumen en la siguiente tabla:

Tipo de Pérdida	Elemento Asociado	Prueba de Verificación	Criterio de Certificación
Pérdida por longitud	Hilo de fibra óptica	Medición de potencia y/o reflectometría óptica	Normativas Internacionales
Pérdida por inserción	Empalme, conector y/o POS	Medición de potencia y/o reflectometría óptica	Normativas Internacionales para empalmes y conectores y hoja de datos de fabricante para POS
Pérdida de reflexión	Conector y/o POS	Reflectometría óptica y/o medición de pérdida de retorno	Normativas Internacionales para conectores y hoja de datos de fabricante para POS
Pérdida por macro curvatura	Hilo de fibra óptica	Reflectometría óptica	No debe existir
Pérdida por micro curvatura	Hilo de fibra óptica	Reflectometría óptica	No debe existir

Tabla 5.1: Pérdidas en una red de fibra óptica pasiva, elementos asociados, verificación y certificación

- Las principales normas internacionales para certificación de redes pasivas de fibra óptica, su descripción, campo de aplicación y parámetros o tipos de pérdidas que describen se resumen en la siguiente tabla:

Normativa	Descripción	Campo de aplicación	Tipo de Pérdida Asociada / Parámetro
UIT G.652: Características de las fibras y cables ópticos monomodo	Describe las principales características de un hilo de fibra óptica monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm. El hilo aquí descrito puede también trabajar en la ventana de 1550 nm.	Hilo de fibra óptica	Atenuación por longitud en hilo de fibra monomodo y pérdida total de un enlace
UIT G.653: Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada	Describe las principales características de un hilo de fibra óptica monomodo con dispersión nula desplazada a la región de los 1550 nm.	Hilo de fibra óptica	Atenuación por longitud en hilo de fibra monomodo y pérdida total de un enlace

<p>UIT G.655: Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula</p>	<p>Describe las principales características de un hilo de fibra óptica monomodo con coeficiente de dispersión cromática diferente de cero en la gama de longitudes de onda 1530 nm a 1565 nm. Recomendada para aplicaciones DWDM.</p>	<p>Hilo de fibra óptica</p>	<p>Atenuación por longitud en hilo de fibra monomodo y pérdida total de un enlace</p>
<p>UIT G.657: Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso</p>	<p>Describe las principales características de un hilo de fibra óptica monomodo que soporta menores radios de curvatura que las fibras tradicionales. Recomendada para aplicaciones FTTx.</p>	<p>Hilo de fibra óptica</p>	<p>Atenuación en hilo de fibra monomodo</p>
<p>UIT G.650.3: Test methods for installed single-mode optical fibre cable links</p>	<p>En esta recomendación se indican métodos para certificar redes pasivas de fibra óptica, las mismas que no contienen elementos activos.</p>	<p>Enlaces de fibra óptica</p>	<p>Medición de atenuación en enlace, medición de atenuación en conectores y medición de atenuación en empalmes</p>

<p>UIT 671: Transmission Characteristics of Passive Optical Components</p>	<p>En esta recomendación se indican los parámetros de transmisión de los elementos pasivos de una red óptica.</p>	<p>Conectores ópticos y empalmes</p>	<p>Pérdida de inserción en conectores y empalmes y pérdida de reflexión en conectores</p>
<p>UIT L.36: Conectores de fibra óptica monomodo</p>	<p>En esta recomendación se abarcan puntos concernientes a conectores ópticos, describiendo entre otros puntos, las características ópticas de los mismos.</p>	<p>Conectores ópticos</p>	<p>Pérdida de inserción y de reflexión en conectores</p>
<p>Telcordia GR326 Core: Generic Requirements for Singlemode Optical Connectors and Jumper Assemblies</p>	<p>En esta recomendación se expone una completa gama de requerimientos que deben ser cumplidos por los conectores monomodo de fibra óptica para que se considere que se ajustan a la misma. Entre estos requerimientos se puede mencionar dimensiones, temperatura de operación, resistencia al impacto, resistencia a la torsión,</p>	<p>Conectores ópticos</p>	<p>Pérdida de inserción y de reflexión en conectores</p>

	<p>desempeño en la transmisión, desempeño óptico, flexibilidad, resistencia a la vibración, resistencia a la corrosión, entre otras.</p>		
<p>UIT G.984.1 : Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics</p>	<p>En estas recomendaciones se dan las principales características de una red GPON y los principales lineamientos de la capa física de la misma</p>	<p>Redes PON</p>	<p>Velocidades, distancias y niveles de spliteo en redes GPON</p>
<p>UIT G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos</p>	<p>En estas recomendaciones se dan las principales características de una red GPON y los principales lineamientos de la capa física de la misma</p>	<p>Redes PON</p>	<p>Ventanas de trabajo, formas de multiplexación y presupuesto de potencia óptica en redes GPON</p>

<p>TIA-EIA-568-B.3: Optical Fiber Cabling Components Standard</p>	<p>En esta recomendación se especifican tanto los componentes como los requerimientos de transmisión de redes ópticas con fibra MM (con core de 50 μm y de 62.5 μm) y con fibra SM (con core de 9 μm), y las características aquí mencionadas se aplican para cables, conectores y patchcords.</p>	<p>Enlaces de fibra óptica</p>	<p>Atenuación por longitud en hilos de fibra monomodo y multimodo, pérdida de inserción en conectores y empalmes y pérdida de reflexión en conectores</p>
<p>UIT L.12: Optical fibre splices</p>	<p>En esta recomendación se especifican el procedimiento a seguir y los parámetros recomendados para empalmes tanto por fusión o mecánicos, ya sean estos realizados en fibras SM o MM.</p>	<p>Empalmes</p>	<p>Pérdida de inserción en empalmes</p>

Tabla 5.2: Normas internacionales para certificación de redes pasivas de fibra óptica, descripción, aplicación y parámetros

➤ Las máximos valores de pérdidas admisibles en los elementos pasivos de una red óptica, las como las principales recomendaciones de las normas internacionales para certificación de redes pasivas de fibra, se resumen en la siguiente tabla:

Normativa	Valores Admisibles / Recomendación	
UIT G.652: Características de las fibras y cables ópticos monomodo	Atenuación máxima a 1310 [nm]: 0.4 [dB/km] (para fibra G.652D)	Atenuación máxima a 1550 [nm]: 0.3 [dB/km] (para fibra G.652D)
UIT G.653: Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada	Atenuación máxima a 1550 [nm]: 0.35 [dB/km] (para fibra G.653A y G.653B)	
UIT G.655: Características de fibras y cables ópticos monomodo con	Atenuación máxima a 1550 [nm]: 0.35 [dB/km] (para fibra G.655C)	Atenuación máxima a 1625 [nm]: 0.4 [dB/km] (para fibra G.655C)

dispersión desplazada no nula					
UIT G.657: Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso	Atenuación máxima a 1310 [nm]: 0.4 [dB/km] (para fibra G.657A)			Atenuación máxima a 1550 [nm]: 0.3 [dB/km] (para fibra G.657A)	
UIT G.650.3: Test methods for installed single-mode optical fibre cable links	N/A: En esta normativa se indican procedimientos, mas no valores				
UIT 671: Transmission Characteristics of Passive Optical Components	Pérdida de inserción máxima en conectores SM: 0.5 [dB]	Pérdida de inserción máxima en conectores MM: 0.5 [dB]	Pérdida de reflexión mínima en conectores SM y MM: 35 [dB]	Pérdida de inserción máxima en empalmes por fusión: 0.3 [dB]	Pérdida de inserción máxima en empalmes mecánicos: 0.5 [dB]

<p>UIT L.36: Conectores de fibra óptica monomodo</p>	<p>Pérdida de inserción máxima en conectores : 0.6 [dB]</p>	<p>Pérdida de reflexión mínima en conectores UPC: 50 [dB]</p>	<p>Pérdida de reflexión mínima en conectores APC: 55 [dB]</p>	
<p>Telcordia GR326 Core: Generic Requirements for Singlemode Optical Connectors and Jumper Assemblies</p>	<p>Pérdida de inserción máxima en conectores: 0.5 [dB]</p>		<p>Pérdida de reflexión mínima en conectores : 40 [dB]</p>	
<p>UIT G.984.1 : Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics</p>	<p>Velocidades de Transmisión: 1.2 [Gbps] up, 2.4 [Gbps] down, o 2.4 [Gbps] up, 2.4 [Gbps] down</p>		<p>Distancia entre OLT y ONT: 20 [km]</p>	<p>Nivel máximo de spliteo: 1 x 64</p>

UIT G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos	Longitudes de onda de operación: 1550 [nm] en sentido descendente para video 1490 [nm] en sentido descendente para datos 1310 [nm] en sentido ascendente para datos		Transmisión de datos mediante WDM	Presupuesto de potencia óptica típico de 28 [dB]	
TIA-EIA-568-B.3: Optical Fiber Cabling Components Standard	Atenuación máxima a 850 [nm]: 3.5 [dB/km] (para fibra MM de 62.5 y 50 μ m)	Atenuación máxima a 1300 [nm]: 1.5 [dB/km] (para fibras MM de 62.5 y 50 μ m)	Atenuación máxima a 1310 y 1550 [nm] : 0.5 [dB/km] (para fibra MM)	Pérdida de inserción máxima en empalmes por fusión o mecánicos: 0.3 [dB]	Pérdida de inserción máxima en conectores: 0.75 [dB]
UIT L.12: Optical fibre splices	Pérdida de inserción máxima en empalmes por fusión: 0.1 [dB]		Pérdida de inserción máxima en empalmes mecánicos: 0.2 [dB]		

Tabla 5.3: Máximos valores de pérdidas admisibles en los elementos pasivos de una red óptica y recomendaciones según normas internacionales

- Los principales equipos disponibles en el mercado para la certificación de redes de fibra óptica, los parámetros que miden, así como el tipo de prueba para la cual se usan, se describen a continuación:

Tipo de Pérdida / Tipo de Prueba	Equipo de Prueba
Medición de continuidad en enlaces y patchcords	VFL y teléfonos ópticos
Verificación de ruptura de pigtails en ODFs	VFL
Medición de atenuación en enlaces	OLTS y OTDR (el segundo con bobinas de lanzamiento)
Pérdida de inserción de patchcord	OLTS
Pérdida de inserción en empalmes	OTDR
Pérdida de inserción y de reflexión en conectores	OTDR (con bobina de lanzamiento)
Pérdida de reflexión en enlaces	Medidor de ORL

Calidad de férula de conector	Microscopio
Presencia de tráfico en fibra	Identificador de fibra, PM y OTDR
Pérdida de inserción en POS	OLTS
Pérdida de reflexión en POS	Medidor de ORL y OTDR optimizado para redes PON
Ejecución de fusiones	Fusionadora
Pérdida por curvatura en fibra	OTDR
Pérdida por longitud en fibra	OTDR y OLTS

Tabla 5.4: Equipos para certificación de redes ópticas pasivas disponibles en el mercado y tipo de prueba que realizan

- Para solucionar problemas en redes de fibra óptica de manera adecuada y en un tiempo óptimo, se debe contar con los adecuados criterios teóricos de certificación, correcta referencia de normas internacionales y los equipos de medición apropiados.

- Los fabricantes coinciden en que, debido al gran dinamismo de las redes PON-FTTx (redes de acceso para atención masiva), la certificación y reparación de estas redes debe ser dividida en 3 etapas:
- Durante la etapa de construcción de la parte troncal de red, en la cual regularmente no se llega hasta los clientes finales, se debe certificar la red en frío, con el uso de OTDRs optimizados para redes PON y de OLTs para garantizar la calidad y desempeño de los POS y de la red en general.
- Durante la etapa de activación de los clientes, dado que la troncal se supone ya certificada y la red tiene tráfico cursante, se debe usar el PM (equipo no invasivo para tráfico en la red) en la premisas de cliente para garantizar que lleguen los niveles de potencia requeridos para levantar el enlace.
- Para realizar reparaciones cuando sea necesario, se debe recurrir a un OTDR optimizado para redes PON el cual sea capaz de obtener una traza de la red sin afectar al tráfico cursante para detectar el daño y proceder con la reparación respectiva.

- Aplicando los procedimientos, criterios, recomendaciones y formatos desarrollados en el presente trabajo, se ha podido determinar el estado de un enlace de fibra óptica real y dar la recomendaciones necesarias para la reparación del mismo.

- Las pérdidas aceptables en una red óptica pasiva dependerán del nivel de exigencia del propietario de la misma, y de las normativas que dicho propietario tome como referencia, por lo cual es muy importante definir cuál es la norma que rige los parámetros de certificación requeridos en la construcción de una red.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda a operadoras, carriers, ISP y empresas de telecomunicaciones en general, definir el conjunto de normativas de las cuales se tomarán los parámetros de referencia para la elaboración de los criterios de certificación que se usarán para analizar una red específica previa a la construcción de la misma, y en base a estos parámetros elaborar los respectivos manuales de procedimiento y protocolos de pruebas.

- Se recomienda a constructores, instaladores y contratistas contar con todos los equipos descritos en el presente trabajo para certificar las redes que se construyan, ya que como se ha analizado, no existe un equipo que por sí solo solviente las necesidades de certificación y de reparación, sino que todos los equipos (OTDR, VFL, OLTS, medidor de ORL, etc.) cumplen una función específica y complementaria a la vez.

- Se recomienda tanto a operadoras como a contratistas, la calibración periódica de los equipos disponibles para la certificación de redes (en base a la recomendación de los fabricantes), ya que un equipo des calibrado arrojará resultados poco confiables, lo cual dará como consecuencia una pérdida excesiva de tiempo y recursos tanto para la certificación de una red como la solución de daños.

- Se recomienda realizar un estudio similar al presente trabajo, pero analizando otros parámetros existentes en redes pasivas, tales como dispersión cromática y dispersión por modo de polarización, de igual forma, tomando recomendaciones internacionales como punto de referencia.

- Se recomienda elaborar un manual de procedimientos para la verificación de la calidad de los elementos que constituyen una red óptica pasiva, de tal forma que los elementos puedan ser probados previo a su instalación en la red, esto con el objetivo de evitar reemplazos de elementos ya instalados e inclusive de tener establecidos procedimientos de homologación y/o aceptación de materiales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.650.3: Test methods for installed single-mode optical fibre cable links. Suiza.
- [2] UIT-T. (2005). Recomendación UIT-T G.652: Características de las fibras y cables ópticos Monomodo, Suiza.
- [3] UIT-T. (2006). Recomendación UIT-T G.653: Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada. Suiza.
- [4] UIT-T. (2006). Recomendación UIT-T G.655: Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula. Suiza.
- [5] UIT-T. (2006). Recomendación UIT-T G.657: Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso. Suiza.
- [6] UIT-T. (1998). Recomendación UIT-T G.651: Characteristics of a 50/125 mm multimode graded index optical fibre cable. Suiza.
- [7] UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.984.1: Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. Suiza.
- [8] UIT-T. (2003). Recomendación UIT-T G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos. Suiza.

- [9] UIT-T. (1996). Recomendación UIT-T G.671: Transmission characteristics of passive optical. Suiza.
- [10] UIT-T. (1998). Recomendación UIT-T L.36: Conectores de fibra óptica monomodo. Suiza.
- [11] UIT-T. (2008). Recommendation UIT-T L.12: Optical fibre splices. Suiza.
- [12] Telcordia Technologies. (1999). GR326 Core: Generic Requirements for Singlemode Optical Connectors and Jumper Assemblies. Estados Unidos de Norteamérica.
- [13] ANSI/TIA/ EIA. (2000). TIA/EIA-568-B.3 Optical Fiber Cabling Components Standard. Estados Unidos de Norteamérica.
- [14] ISO/IEC. (2006). Information technology – Implementation and operation of customer premises cabling – Part 3: Testing of optical fibre cabling. Suiza.
- [15] EXFO. (2011). La Guía FTTH PON Realización de pruebas de redes ópticas pasivas. Canadá.
- [16] EXFO, Simard M. (2009). OTDR PON Testing: The Challenges – The Solution. Canadá.
- [17] JDSU. (2014). Maintenance & Troubleshooting of a PON Network with an OTDR. Estados Unidos de Norteamérica.
- [18] JDSU, Adams M. (2012). Comparing Optical Return Loss (ORL) Measurement Methods. Estados Unidos de Norteamérica.

[19] JDSU, Donega C. (2012). Mejores Prácticas en el Manejo y Medición de Fibras Ópticas. Estados Unidos de Norteamérica.

[20] AFL. (2009). Testing FTTx (PON) Networks Using the OFL280 FlexTester. Japón.

[21] CORNING. (2001). Mode-Field Diameter Measurement Method. Estados Unidos de Norteamérica.

[22] FTTH Council, Guitarte G. (2011). Fiber to the Home: FTTH - ODN and OLT-ONT Design Considerations. Estados Unidos de Norteamérica.

[23] Ehrhardt, F. Escher, L. Schürer, H.-M. Foisel, A. Templin, M. Adamy, C. Gerlach. (2011). PON Measurements and Monitoring Solutions for FTTH Networks During Deployment and Operation. Alemania.

[24] Ferrari N., Greborio L., Montalti F., Regio P. OTDR Characteristics for PON Measurements. *International Wire & Cable Symposium*. 27-35.

[25] S. P. Singh † and N. Singh, Nonlinear Effects in Optical Fibers: Origin, Management and Applications.

Disponible en:

<http://onlinewww.jpier.org/PIER/pier73/13.07040201.Singh.S.pdf>

[26] López G., Toledo A., Ordóñez H, Agredo P., Nonlinear Effects and their Relationship to a WDM Network Transmission's Parameters.

Disponible en:

<http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3914165.pdf>

[27] Agrawal P., Nonlinear Effects in Optical Fibers.

Disponible en:

http://www.imedea.uib.es/~salvador/coms_optiques/addicional/agrawal/NLOF.pdf

ANEXOS

ANEXO A: Modelos de registro para tabulación de resultados de mediciones obtenidas

EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED + LOGO (OPCIONAL)			
CERTIFICACION DE ATENUACIÓN POR LONGITUD			
REGISTRO DE ATENUACION EN FIBRA POR LONGITUD			
DATOS GENERALES			
Tipo de Cable:	Colocar tipo de cable	Tipo de Fibra:	Colocar tipo de fibra
Enlace	Colocar Origen y Destino	Valor Máximo Permitido [dB/km]	Colocar máximo valor aceptado para atenuación por cada longitud en fibra
Fecha:	Colocar fecha	Operador:	Colocar nombre de operador
Equipos:	Colocar equipos de medición usados para la obtención de resultados (OTDR)		

<i>Nº de Fibra</i>	Medición de Atenuación en Fibra por Longitud		OBSERVACIONES
	Longitud de Onda 1	Longitud de Onda 2	
	Pérdida[dB/km]	Pérdida[dB/km]	
1	Valor obtenido	Valor obtenido	Comentarios respectivos
2			
3			
N			

OBSERVACIONES:

Realizado por

Anexo A.1: Registro para tabulación de pruebas de atenuación en fibra por longitud

EMPRESA PROPIETARIA DE LA RED + LOGO (OPCIONAL)					
CERTIFICACION DE CONTINUIDAD					
REGISTRO DE CONTINUIDAD EN ENLACES CON LUZ VISIBLE					
Datos del Cable					
Tipo de Cable:	Colocar tipo de cable y fibra (SM o MM)	Longitud del Enlace	Colocar longitud del enlace		
Enlace	Colocar Origen y Destino	FECHA:	Colocar fecha	OPERADOR:	Colocar nombre de operador
Equipo:	Colocar equipos de medición usados para la obtención de resultados (VFL)				

Hilo	Pasa Luz (SI/NO)
1	Resultado obtenido
2	
3	
N	

OBSERVACIONES:

Realizado por

Anexo A.2: Registro para tabulación de pruebas de continuidad en fibra

ANEXO B: Trazas reflectométricas obtenidas en campo y de las cuales se toman los valores de los registros presentados en el caso práctico de aplicación.

[*Reflectometrias Opticas.zip*](#)

GLOSARIO DE TÉRMINOS

APC	Angled Pulished Contact (contacto con pulido angulado)
APD	Avalanche Photo Diode (foto diodo tipo avalancha)
BACKBONE	Estructura de transmisión de la red de datos
BACKUP	Respaldo de enlace principal
CLADDING	Revestimiento secundario de hilo de fibra óptica
CLT	Central Loose Tube (tubo holgado central)
CORE	Núcleo de hilo de fibra óptica.
DSL	Digital Subscriber line (línea de suscriptor digital)
FBT	Fused Biconical Taper (cinta bicónica fundida)
FTTX	Fiber to the X (fibra hasta X)
FWM	Fourth Wavelength Mixing (mezcla de la cuarta longitud de onda)
LAN	Local Area Network (red de área local)
LED	Light Emitter Diode (diodo emisor de luz)
LS	Light Source (fuente de luz)

MM	Multimodo
MPLS	Multiprotocol Label Switching (switchero con etiquetas multiprotocolo)
ODF	Optical Distribution Frame (panel de distribución óptica)
ODN	Optical Distribution Network (red de distribución óptica)
OLT	Optical Terminal Line (terminal de línea óptica)
OLTS	Optical Loss Test Set (set de pruebas de pérdida óptica)
ONT	Optical Network Terminal (terminal de red óptica)
ONU	Optical Network Unit (unidad de red óptica)
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer (reflectómetro óptica en el dominio del tiempo)
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy (jerarquía digital plesiócrona)
PIN	Positive Intrinsic Negative (positivo intrínseco negativo)
PLC	Planar Wavelength Coupler (divisor planar de longitud de onda)
PM	Power Meter (medidor de potencia)

PON	Passive Optical Network (red óptica pasiva)
POS	Passive Optical Splitter (divisor óptico pasivo)
SDH	Synchronous Digital Hierarchy (jerarquía digital síncrona)
SFP	Small Form-Factor Pluggable Transceptor (transceptor de factor de forma pequeño conectable)
SM	Monomodo
SPLICE CLOSURE	Cierre óptico (manga de empalme)
UPC	Ultra Pulished Contact (contacto con ultra pulido)
VFL	Visual Fault Locator (detector de fallas visual)
WAN	Wide Área Network (red de área extendida)
WDM	Wavelength Division Multiplexing (multiplexación por división de longitud de onda)