

“AÑO DEL BUEN SERVICIO AL CIUDADANO”

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE EMPALMERIA DE FIBRA OPTICA DE PLANTA EXTERNA DEL ENLACE CARIPA-TARMA - LA MERCED DE LA RED DE TRANSMISIÓN DE FIBRA ÓPTICA DE LA EMPRESA AMERICA MOVIL.

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

EISTEN DIONISIO DEL PINO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

HUANCAYO – PERÚ

2017

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Eco. Casio Aurelio Torres López
PRESIDENTE

Mg. Ing. Jowel Cabrera Padilla
JURADO

Mg. Ing. Magno Teófilo Baldeón Tovar
JURADO

Ing. Rafael Edwin Gordillo Flores
JURADO

Mg. Miguel Angel Carlos Canales
SECRETARIO DOCENTE

DEDICATORIA

A mis padres, y de forma especial a mi madre por su incondicional apoyo. A todos mis hermanos, Alan, Obed y Darwin por su confianza incondicional y también mi gratitud para todos aquellos que buscan desarrollarse cada día para ser mejores y buscar oportunidades para los que vienen.

Gracias a toda la plana docente que fue participe en mi formación académica, así como también al equipo administrativo de la facultad de ingeniería por su apoyo incondicional.

INDICE	
HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xx
CAPÍTULO I.....	21
ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO	21
1.1. Descripción de las organizaciones	21
1.2. Nuestros valores	23
1.3. Planteamiento del problema.....	24
1.3.1. Antecedentes	24
1.3.2. Situación problemática.....	26
1.4. Definición del Problema	28
1.5. Objetivos	29
1.5.1. Objetivo General	29
1.5.2. Objetivos Específicos.....	29
1.6. Factibilidad	29
1.6.1. Factibilidad Técnica	29
1.6.2. Factibilidad Económica.....	30
1.7. Justificación del proyecto	31
CAPITULO II.....	34
MARCO TEÓRICO.....	34

2.1. Antecedentes	34
2.1.1. Antecedentes Generales.....	34
2.1.2. Antecedentes Específicos	36
2.2. Bases teóricas.....	40
2.2.1. Avances de la comunicación tecnológica.....	40
2.2.2. Evolución de la fibra óptica	41
2.3. Características generales de la fibra óptica	42
2.4. Tipos de fibra óptica por su fabricación.....	44
2.5. Tipos de fibra óptica por su propagación	45
2.5.1. Fibra monomodo estándar SM/ST	46
2.6. Características del cable de fibra óptica.....	51
2.7. Elementos que forman el cable.....	51
2.8. Parámetros del cable de obligado cumplimiento	56
2.9. Marcado de la cubierta externa	58
2.10. Códigos de colores.....	59
2.10.1. Para las fibras	59
2.10.2. Para los tubos	59
2.11. Pérdidas y dispersión en fibra óptica	62
2.12. Conectores de fibra óptica.....	63
2.13. Estándares para la instalación de fibra óptica	68
2.14. Especificaciones de parámetros de fibra óptica.....	69

2.15.	Degradación de la señal en la fibra óptica	74
2.15.1.	Atenuación	74
2.15.2.	Pérdidas por absorción del material	77
2.15.3.	Pérdidas por curvas de la fibra óptica	81
2.15.4.	Pérdidas por conexión y empalmes	82
2.15.5.	Dispersión temporal	84
2.15.6.	Dispersión temporal intramodal.....	85
2.15.7.	Dispersión temporal intermodal o modal	86
2.15.8.	Dispersión del modo polarizado	86
2.15.9.	Ventanas de operación u ópticas	88
2.16.	Empalmes y conectores de fibra óptica	90
2.16.1.	Empalmes	91
2.16.2.	Principales causas de pérdidas en empalmes	92
2.16.3.	Corte de la fibra.....	93
2.16.4.	Tipos de empalmes	94
2.16.5.	Técnicas de alineamiento de fibras.....	100
2.16.6.	Protección del empalme	102
2.16.7.	Cajas de empalme	103
2.16.8.	Distribuidores para centrales.....	104
2.16.9.	Máquinas de empalme de fibras	105
2.16.10.	Realización de un Empalme.....	106

2.17.	Mediciones y procedimientos.....	111
2.17.1.	Testeo de Empalmes	111
2.17.2.	Aceptación del empalme	111
2.17.3.	Prueba de aceptación de empalme del distribuidor de fibra óptica 112	
2.17.4.	Medición de pérdida total	113
2.17.5.	Atenuación por tramo	113
2.17.6.	Atenuación por empalme	113
2.17.7.	Medición de atenuación total de un tramo (Medición de potencia) 115	
2.17.8.	Medición de atenuación por conectores.....	116
2.17.9.	Equipo básico para mediciones ópticas	118
CAPITULO III.....		129
ANALISIS DE REQUERIMIENTOS		129
3.1.	Estado de la red existente	129
3.2.	Requerimientos técnicos de trasmisión	132
3.2.1.	Requerimientos de Cables y Número De Hilos	134
3.2.2.	Requerimientos Específicos de Empalmería.....	136
A.	Elección del tipo de empalme	137
B.	Empalme por Arco Eléctrico	138
C.	Consideraciones de la empresa América Móvil para los empalmes	139

3.2.3. Requerimientos Específicos de pruebas Reflectométricas de la empresa América Móvil	140
3.2.4. Entregables del proyecto.....	146
CAPITULO IV	149
DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL ENLACE	149
4.1. Topología física.....	149
4.2. Topología lógica.....	150
4.3. Cálculo del cable de fibra óptica.....	153
4.4. Enlaces Dorsales.	154
4.5. Enlaces IP	156
4.6. Tabla de Valores de Margen permitido por Enlace.	160
4.7. Cronograma del Proyecto	160
CAPITULO V	161
DISCUSION DE RESULTADOS	161
5.1. Resultado de las pruebas reflectométricas	165
5.1.1. Enlaces Dorsales	165
5.1.2. Enlaces IP	184
5.2. Estado Final de la Red Dorsal de la Empresa América Móvil.	216
CONCLUSIONES.....	224
RECOMENDACIONES	225
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	226
ANEXOS.....	229

ANEXO 1. Protocolos de Aceptación de enlace FO- Pruebas de atenuación de las bobinas de F.O. antes de tendido-MAAT.....	230
ANEXO 2. Trazas reflectométricas de cada enlace	236
ANEXO 3. Reporte fotográfico	250

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. <i>Red de telecomunicaciones del enlace Caripa-Tarma-La Merced mediante el uso de la tecnología microondas.</i>	25
Gráfico 2. <i>Kmz de la red de telecomunicaciones microondas del enlace Caripa-Tarma-La Merced.</i>	25
Gráfico 3. <i>Topología de la red dorsal de telecomunicaciones de la empresa.</i>	26
Gráfico 4. <i>Metodología del proyecto</i>	33
Gráfico 5. <i>Ceremonia de Firma de contrato- Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica.</i> ..	34
Gráfico 6. <i>Trabajadores en trabajo de campo del proyecto RDNFO</i>	35
Gráfico 7. <i>Cuadro informativo de la red dorsal nacional de fibra óptica.</i>	36
Gráfico 8. <i>Representación gráfica de la red de telecomunicaciones de la empresa telefónica en el departamento de Amazonas.</i>	37
Gráfico 9. <i>Estadística del incremento de la demanda de internet y telefonía móvil.</i>	38
Gráfico 10. <i>Ventanas de transmisión de las fibras ópticas.</i>	43
Gráfico 11. <i>Estructuras de una fibra óptica.</i>	44
Gráfico 12. <i>Tipos de fibra monomodo y multimodo</i>	45
Gráfico 13. <i>Dimensiones de fibra óptica monomodo y multimodo.</i>	46
Gráfico 14 <i>Código de colores utilizado.</i>	59
Gráfico 15. <i>Código de colores del cable de 16 fibras</i>	60
Gráfico 16 <i>Código de colores del cable de 64 fibras</i>	60
Gráfico 17 <i>Código de colores del cable de 128 fibras</i>	61
Gráfico 18. <i>Conector FC Multimodo-Monomodo.</i>	64
Gráfico 19. <i>Conector ST.</i>	65
Gráfico 20. <i>Conector SC Multimodo-Monomodo.</i>	66
Gráfico 21. <i>Conector LC Multimodo-Monomodo.</i>	66

Gráfico 22. <i>Conector MTRJ Multimodo-Monomodo.</i>	67
Gráfico 23. <i>Conector MU Multimodo-Monomodo.</i>	67
Gráfico 24. <i>Enlace de fibra óptica de 150 metros con identificación de conectores y empalmes.</i>	72
Gráfico 25 <i>División de la atenuación según el factor que la produce.</i>	77
Gráfico 26. <i>Espectro de atenuación teórico para los mecanismos de pérdidas intrínsecas en vidrios de SiO₂-GeO₂</i>	78
Gráfico 27 <i>Espectro de absorción del ión OH⁻ en la sílice.</i>	80
Gráfico 28. <i>Pérdidas por curvaturas y micro curvaturas.</i>	82
Gráfico 29. <i>Defectos en el alineamiento de las fibras: (a) desalineamiento lateral; (b) desalineamiento de entrehierro; (c) desalineamiento angular; (d) acabado superficial.</i>	83
Gráfico 30. <i>Representación esquemática del ensanchamiento de los pulsos de luz según se transmiten por la fibra óptica.</i>	84
Gráfico 31. <i>Representación gráfica de la Dispersión por Modo de Polarización. Tomada de www2.uah.es</i>	87
Gráfico 32 <i>Pérdidas totales en función de la longitud de onda.</i>	88
Gráfico 33. <i>Alineamiento de fibras mediante ranuras en V: substratos duro y blando.</i> 95	
Gráfico 34. <i>Empalme de múltiples fibras utilizando varillas de cristal y adhesivos^c.</i>	96
Gráfico 35. <i>Empalme mecánico mediante abrazadera y varillas^c.</i>	96
Gráfico 36. <i>Empalme mecánico mediante abrazadera y ranuras en plástico^d.</i>	96
Gráfico 37. <i>Procedimiento de empalme de fibras por fusión.</i>	98
Gráfico 38. <i>Mangas termocontráctiles.</i>	103
Gráfico 39. <i>Caja de empalmes.</i>	104
Gráfico 40. <i>Máquina empalmadora RSU 12 de Ericsson.</i>	105

Gráfico 41 <i>Medición de empalmes promediados^a</i>	114
Gráfico 42. <i>Representación de atenuaciones controladas^b</i>	115
Gráfico 43. <i>Medición de la atenuación producida por conectores</i>	117
Gráfico 44. <i>Medidor con ambos módulos (emisor y receptor)</i>	118
Gráfico 45. <i>Medidor reflectométrico de fibra óptica (OTDR)</i>	120
Gráfico 46. <i>Fuentes y medidores ópticos. Fuente Variable EXFOFLS-210^a, Medidor de potencia EXFO FOT-90, Kit Fuente y Medidor Wandel & Goltermann</i>	120
Gráfico 47. <i>Atenuador de señal de fibra óptica</i>	121
Gráfico 48. <i>Identificador de fibras y fallas Wavetek VFF5 (Visual Fault Finder)^h</i>	121
Gráfico 49. <i>Detector de Tráfico EXFO LFD-200</i>	122
Gráfico 50. <i>Medidor de señal de fibra óptica</i>	122
Gráfico 51. <i>Equipos de medición PMD</i>	123
Gráfico 52. <i>Conexión para la medición de PMD</i>	125
Gráfico 53. <i>Racks o armarios repartidores ópticos</i>	127
Gráfico 54. <i>Bandejas de repartición óptico</i>	127
Gráfico 55. <i>Medidor de potencia óptica</i>	128
Gráfico 56. <i>Topología de la red dorsal de América Móvil</i>	130
Gráfico 57. <i>Red Unifilar de la red Dorsal de la empresa América Móvil</i>	131
Gráfico 58. <i>Kmz del enlace de radiofrecuencia de America Movil en la selva central</i>	132
Gráfico 59. <i>Representación esquemática del procedimiento de empalme por fusión</i>	137
Gráfico 60. <i>Empalmadora Fujikura 70 S</i>	143
Gráfico 61. <i>Traza de atenuación y reflectancia (TRC)</i>	146
Gráfico 62. <i>Traza bidireccional de atenuación y reflectancia</i>	147
Gráfico 63. <i>Formatos de atenuación de enlaces</i>	148

Gráfico 64. <i>Ruta de Ampliación de la red dorsal de fibra óptica de la empresa América móvil.</i>	150
Gráfico 65. <i>Topología de la Red Dorsal de América Móvil.</i>	152
Gráfico 66. <i>Topología lógica del enlace Caripa-Tarma.</i>	154
Gráfico 67. <i>Topología de la red dorsal Tarma-La Merced.</i>	155
Gráfico 68. <i>Topología de la red de conexión Tarma-Unión Leticia.</i>	156
Gráfico 69. <i>Topología de la red de conexión Tarma-Unión Leticia.</i>	157
Gráfico 70. <i>Topología de la red de conexión Tarma-Palca.</i>	158
Gráfico 71. <i>Topología de la red de conexión Tarma-Palca.</i>	159
Gráfico 72. <i>Cronograma del proyecto de fusión de fibra óptica.</i>	160
Gráfico 73. <i>Medición de hilos de fibra óptica de la red de América Móvil.</i>	162
Gráfico 74. <i>Fusión de hilos de fibra óptica en un cierre de empalme.</i>	163
Gráfico 75. <i>Proceso de ordenamiento de los hilos fusionados de acuerdo al código de colores por cada buffer.</i>	164
Gráfico 76. <i>Calculo teórico de atenuación del enlace Caripa-Tarma.</i>	172
Gráfico 77. <i>Estadística de atenuación del enlace Caripa-Tarma.</i>	172
Gráfico 78. <i>Diagrama de empalme del enlace Caripa-Tarma.</i>	173
Gráfico 79. <i>Calculo teórico de atenuación del enlace Tarma-La Merced.</i>	181
Gráfico 80. <i>Estadística de atenuación del enlace Tarma-La Merced.</i>	181
Gráfico 81. <i>Diagrama de empalme del enlace dorsal Tarma-La Merced</i>	183
Gráfico 82. <i>Calculo teórico de atenuación de enlace Unión Leticia-Tarma.</i>	189
Gráfico 83. <i>Estadística de atenuación del enlace Unión Leticia- Tarma.</i>	190
Gráfico 84. <i>Diagrama de empalme del enlace dorsal Unión Leticia-Tarma.</i>	191
Gráfico 85. <i>Calculo teórico de atenuación de enlace Acobamba-Tarma.</i>	197
Gráfico 86. <i>Estadística de atenuación del enlace Acobamba- Tarma</i>	198

Gráfico 87. <i>Diagrama de empalme del enlace dorsal Acobamba-Tarma</i>	199
Gráfico 88. <i>Calculo teórico de atenuación del enlace Palca-Tarma</i>	205
Gráfico 89. <i>Estadística de atenuación del enlace Palca- Tarma</i>	206
Gráfico 90. <i>Diagrama de empalme del enlace Palca-Tarma</i>	207
Gráfico 91. <i>Calculo teórico de atenuación del enlace San Ramón-La Merced</i>	213
Gráfico 92. <i>Estadística de atenuación del enlace Ramón-La Merced</i>	214
Gráfico 93. <i>Diagrama de empalme San Ramón-La Merced</i>	215
Gráfico 94. <i>Diagrama unifilar final de la red dorsal Caripa-Tarma-La Merced</i>	218
Gráfico 95. <i>Diagrama Unifilar de conexión de la red dorsal La Oroya-Caripa-Tarma-La Merced</i>	219
Gráfico 96. <i>Diagrama Topológico de la selva central perteneciente a la red Dorsal de América Móvil</i>	220
Gráfico 97. <i>Velocidad promedio por usuario de ancho de banda</i>	221
Gráfico 98. <i>Velocidad promedio por usuario de telefonía 4G</i>	222
Gráfico 99. <i>Fórmula para la estimación de tráfico</i>	222

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	47
Tabla 2	48
Tabla 3	48
Tabla 4	48
Tabla 5	49
Tabla 6	50
Tabla 7	50
Tabla 8	50
Tabla 9	56
Tabla 10	57
Tabla 11	58
Tabla 12	58
Tabla 13	60
Tabla 14	61
Tabla 15	62
Tabla 16	68
Tabla 17	72
Tabla 18	73
Tabla 19	73
Tabla 20	75
Tabla 21	79
Tabla 22	93
Tabla 23	106
Tabla 24	108

Tabla 25	133
Tabla 26	135
Tabla 27	136
Tabla 28	138
Tabla 29	142
Tabla 30	144
Tabla 31	154
Tabla 32	155
Tabla 33	156
Tabla 34	157
Tabla 35	158
Tabla 36	159
Tabla 37	160
Tabla 38	166
Tabla 39	169
Tabla 40	170
Tabla 41	171
Tabla 42	175
Tabla 43	178
Tabla 44	180
Tabla 45	185
Tabla 46	188
Tabla 47	189
Tabla 48	193
Tabla 49	196

Tabla 50	197
Tabla 51	201
Tabla 52	204
Tabla 53	205
<i>Tabla 54</i>	209
Tabla 55	212
Tabla 56	213
Tabla 57	216
Tabla 58	223

RESUMEN

En el presente trabajo de suficiencia laboral, tiene como objetivo el diseño e implementación de empalmería de los enlaces Caripa-Tarma-La Merced pertenecientes a la red dorsal de la empresa América Móvil, empresa que viene realizando la ampliación tecnológica de la red operativa en nuestro país. Opto por una red mediante fibra óptica en razón de las ventajas que brinda, como es la fiabilidad en la transmisión de datos y el gran ancho de banda que esta nos otorga.

El problema que se tiene al enlazar dos puntos distantes mayores a 40 Km mediante fibra óptica, es necesario implementar la tecnología DWDM en la red de transporte, este tipo de red requiere que en el proceso de empalme de la fibra óptica se obtengan valores ínfimos de atenuación entre 0 y 0.100 decibeles.

Se realizaron empalmes en los extremos del cable de fibra óptica que fueron tendidos a lo largo de los distintos enlaces, esto a razón que se adquirieron bobinas que contenían 4000 metros de fibra óptica continua. Los empalmes fueron acondicionados en cajas de cierre de empalme en cada punto de fusión. El análisis de requerimientos y de los valores y niveles de atenuación permitidos para este proyecto fueron entregados por la empresa América Móvil, quien también exigió cumplir con los estándares internaciones como la ITU y ANSI/TIA/EIA.

Se diseñó una metodología propia de acuerdo a estos parámetros, gracias a la cual adquirimos los equipos necesarios para dar cumplimiento a lo requerido. Se optó por la fusión por arco eléctrico debido a los niveles bajos de atenuación óptica que obtuvimos en cada fusión. Se utilizó el equipo de medición reflectométrico OTDR EXFO, el cual nos permitió observar los valores obtenidos en cada cierre de empalme con el objetivo de corregir fusiones con niveles altos de perdida.

Los resultados obtenidos en este informe fueron satisfactorios, ello es sustentado y plasmado en los protocolos de aceptación que fueron entregados a la empresa América Móvil, estos protocolos contienen estadísticos con valores promedios de atenuación por cada hilo de cada enlace, los cuales se encuentran dentro de los valores máximos permitidos considerados en el capítulo IV.

En conclusión, se logró diseñar e implementar la empalmería de la red dorsal de la empresa América Móvil a través de la fusión mediante arco eléctrico y pruebas reflectométricas, cumpliendo los parámetros del estándar internacional ITU, TIA/EIA y los requerimientos de la empresa América Móvil.

SUMMARY

In the present work of job sufficiency, aims at the design and implementation of empalmería Caripa-Tarma-La Merced links belonging to the backbone of the company América Móvil, a company that has been making the technological expansion of the operational network in our country. I opt for a fiber optic network because of the advantages it offers, such as the reliability of data transmission and the high bandwidth that this gives us.

The problem that exists when linking two distant points greater than 40 km by means of optical fiber, it is necessary to implement the DWDM technology in the transport network, this type of network requires that in the process of fiber optic splicing, tiny values of attenuation between 0 and 0.100 decibels.

Splices were made at the ends of the fiber optic cable that were laid along the different links, this being the reason that coils containing 4000 meters of continuous optical fiber were acquired. The splices were conditioned in splice closure boxes at each melting point. The analysis of requirements and of the values and attenuation levels allowed for this project were delivered by América Móvil, who also demanded compliance with international standards such as the ITU and ANSI / TIA / EIA.

We designed our own methodology according to these parameters, thanks to which we acquired the necessary equipment to comply with the requirements. Electric arc fusion was chosen due to the low levels of optical attenuation we obtained in each fusion. The OTDR EXFO reflectometric measurement equipment was used, which allowed us to observe the values obtained in each splice closure in order to correct fusions with high levels of loss.

The results obtained in this report were satisfactory, this is supported and reflected in the acceptance protocols that were delivered to the company América Móvil, these protocols contain statistics with average values of attenuation for each thread of each link, which are within the maximum permitted values considered in chapter IV.

In conclusion, it was possible to design and implement the empaxería of the dorsal network of the company América Móvil through the fusion by means of electric arc and reflectometric tests, fulfilling the parameters of the international standard ITU, TIA / EIA and the requirements of the company América Móvil .

INTRODUCCIÓN

El diseño e implementación de red de transmisión óptica tiene como finalidad determinar la factibilidad tecnológica del tendido de fibra óptica. Este proyecto es fundamental para los objetivos de la empresa América móvil y para las provincias de Tarma y Chanchamayo, lugares donde la cantidad de clientes viene incrementándose exponencialmente y con ello la necesidad de contar con mayores capacidades en el ancho de banda.

Este proyecto se empeña en desarrollar las técnicas y conocimientos necesarios para realizar el diseño e implementación de empalmería de planta externa en transmisiones ópticas de largo alcance, quedando como precedente para posteriores proyectos de tendido de fibra óptica ejecutados en nuestro país por operadores de telecomunicaciones nacionales y extranjeros.

CAPITULO I: Aquí exponemos la actualidad de la empresa Claro América Móvil que viene realizando sus operaciones comerciales mediante el uso de la tecnología Microondas, transmitiendo señales de televisión, telefonía celular e internet. La creciente demanda de estos servicios requiere un cambio tecnológico en las operaciones de la empresa América Móvil, cambios que permitan ampliar la capacidad de transmisión y seguridad de la información de sus clientes.

CAPITULO II: Exponemos la actualidad de la fibra óptica como nueva tendencia en telecomunicaciones, su evolución durante las últimas décadas, los tipos de fibra óptica existentes por su propagación y fabricación, los tipos de conectores utilizados y los tipos de cierres de empalme. Otro aspecto importante tratado en este capítulo son los estándares de calidad en el tendido de fibra óptica.

CAPITULO III: se encuentra el análisis de requerimientos del proyecto, requerimientos técnicos de construcción, tipo de fibra a utilizar, niveles máximos permitidos de los empalmes y pruebas reflectométricas que los niveles de pérdida permitidos en el tendido de fibra óptica.

CAPITULO IV: se desarrolla el modelo unifilar de empalmes de fibra óptica, pruebas reflectométricas OTDR para la validación del nivel de pérdida permitida por enlace. Finalmente brindamos conclusiones y recomendaciones.

Eisten Dionisio.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

1.1. Descripción de las organizaciones

América Móvil es una empresa mexicana de telecomunicaciones con presencia en 18 países de América, con más de 260 millones de usuarios, y actualmente la cuarta compañía de telecomunicaciones más grande e importante del mundo. Opera en varios países con el nombre de Claro y junto a Telmex son controladas por el Grupo Carso, cuyo accionista mayoritario es el multimillonario Carlos Slim.

Nace tras la extinción de los activos de telefonía celular, televisión por cable, Cablevisión (ahora Izzi Telecom) y otros activos internacionales pertenecientes a Teléfonos de México, Telmex.

En Estados Unidos (incluyendo Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos), América Móvil posee la compañía de telefonía de celular prepago Tracfone Wireless, que funciona bajo el sistema de Operador Móvil Virtual. También forma parte de América Móvil la compañía de telefonía celular Claro, que posee filiales en países como Brasil, Colombia, Perú, Chile, Costa Rica, Ecuador, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Guatemala, Puerto Rico, República Dominicana, Argentina, Paraguay, Uruguay y Panamá.

Este proyecto es desarrollado a solicitud de la empresa América Móvil Perú S.A.C. – Claro, quien luego de haber realizado estudios de mercado y tecnológicos opto por ampliar la red dorsal existente(capa física), realizando tendidos de fibra óptica desde el site de agregación Caripa, enlazando a los sites de agregación Tarma y la Merced, tendido que tiene como labores pendientes el empalme de mufas(cajas de cierre de empalme) y posteriores pruebas reflectométricas que nos permitirán certificar la calidad del enlace.

América Móvil Perú S.A.C.

Claro (registrada como América Móvil Perú SAC) es la filial peruana de la compañía latinoamericana de telecomunicaciones Claro. Es la segunda empresa más grande entre las tres empresas de telefonía celular en el país y forma parte del Grupo América Móvil. El 1 de octubre de 2010, Claro absorbe a Telmex y distribuye los servicios ofrecidos por esa empresa (televisión digital, telefonía e internet) bajo la marca «Claro».

La operadora utiliza la tecnología GSM (Global System for Mobile Communications, por sus siglas en inglés), así como su evolución a GPRS (General Packet Radio Service Transmisión) y EDGE (velocidades de datos mayor para GSM Evolution).

Su sólido programa de inversión orientado a continuar con el despliegue de la red 4G LTE, incrementar la plataforma de 3G y ampliar el alcance de las conexiones de fibra disponibles en nuestros sitios móviles, permitirán continuar aportando al desarrollo del Perú y la región.

- **Visión y Misión**

Nuestra Visión. Ser la empresa líder en telecomunicaciones en el Perú.

Nuestra Misión. Proveer servicios de telecomunicaciones con la más alta calidad, más amplia cobertura y constante innovación para anticiparnos a

las necesidades de comunicación de nuestros clientes; generar el mayor bienestar y desarrollo personal y profesional de nuestros trabajadores, proporcionar bienestar y desarrollo a la comunidad y exceder los objetivos financieros y de crecimiento de nuestros accionistas.

1.2. Nuestros valores

- **Honestidad.** Como personas y como empresa, actuamos y tomamos decisiones dentro de lo que indica la ley, nuestro código de ética y nuestros valores. La honestidad tiene que ver con la honradez, la decencia, la transparencia, la rectitud, la confiabilidad, y el respeto hacia la empresa y hacia las demás personas dentro y fuera de ella.
- **Manos en la Operación.** Todos los niveles de la operación participamos y conocemos los detalles del área de la cual somos responsables. Buscamos conocer el mercado y negocio con información de primera mano; no tomamos decisiones basadas exclusivamente en conceptos teóricos.
- **Actitud de Servicio.** La actitud de servicio tiene que ver con cuidar los intereses del cliente (interno y externo), con amabilidad, disposición a servir, rapidez, proactividad, y el privilegiar al cliente antes que al interés personal. Las áreas y las personas dentro de la empresa se relacionan entre sí como clientes y proveedores; por ello, es indispensable y obligatorio que cada quien conozca su rol en esta relación. Una empresa sin cultura de servicio al cliente interno no podrá satisfacer las necesidades del cliente final. La atención a los usuarios es responsabilidad de todos los empleados de la empresa.
- **Orden y Disciplina.** El orden y disciplina tiene que ver con eficiencia, con dinamismo, con acatar las políticas y lineamientos de la dirección. Reflejan el grado de compromiso que las personas tienen con nuestra empresa y son la base para obtener resultados de manera más rápida. La rapidez es un elemento indispensable para ser competitivo en nuestra industria.

- **Eficiencia.** Buscamos la eficiencia y rentabilidad en todas nuestras acciones sobre todo en períodos de prosperidad. Enfocamos nuestros gastos en lo estrictamente necesario para alcanzar el éxito de la operación.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Antecedentes

En telecomunicaciones, la expansión de la capacidad de la red es fundamental para lograr ofrecer a los clientes particulares y corporativos un mayor número de servicios. Por tal razón, para la empresa la incorporación de nuevos enlaces en todo momento es necesaria. Aunque el factor principal que determina este proceso es el tráfico, en los últimos años el espacio disponible en torres y estaciones se ha tornado un aspecto importante a la hora de determinar las modificaciones en la red.

En las ciudades de Tarma y La Merced ubicadas en cuadrante 18L en las coordenadas UTM 424856.85 m E, 8737564.81 m S y 463431.98 m E, 8777165.99 m S respectivamente, ciudades importantes de la Región Junín y zonas de influencia de este proyecto, actualmente se encuentran enlazadas vía microondas brindando los servicios de telefonía, inter fijo y televisión. **Ver Gráfico 1.**

El enlace vía microondas que viene utilizando américo móvil atraviesa diferentes pisos altitudinales, involucrando a sierra y selva.

Para llevar a cabo transmisiones a largas distancias, se utiliza la concatenación de enlaces punto a punto entre antenas situadas en torres adyacentes, hasta cubrir la distancia deseada. **Ver Gráfico 2.**

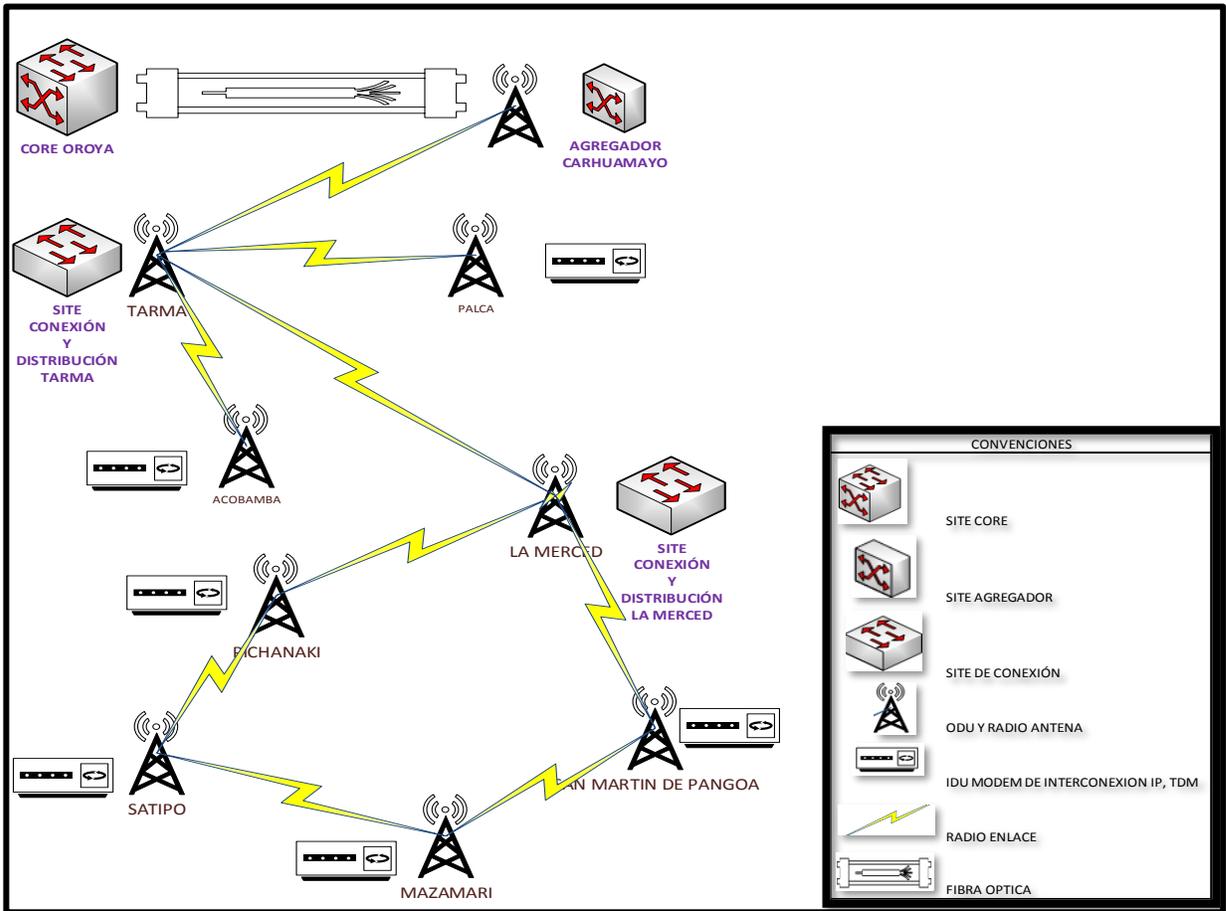


Gráfico 1. Red de telecomunicaciones del enlace Caripa-Tarma-La Merced mediante el uso de la tecnología microondas.



Gráfico 2. Kmz de la red de telecomunicaciones microondas del enlace Caripa-Tarma-La Merced.

1.3.2. Situación problemática

La creciente demanda de los servicios de la empresa América Móvil viene afectando la calidad del servicio brindado a los clientes, debido a las limitaciones del tráfico saliente de la red transporte de la dorsal de Cajamarca – La Oroya (sistema de transporte), donde la capacidad de transmisión total viene siendo afectada por la conexión microondas del Site Agregador Carhuamayo, este enlace microondas de capacidad máxima de transmisión de 1 Gbps, que abastece Tarma, La Merced, tiene la capacidad saturada, esto debido a la masificación del uso de datos de los medios electrónicos que en su mayoría son celulares, está saturado el ancho de banda de Internet y la telefonía móvil en horas de alta demanda de estas localidades. Además, los BTS o Sites en el recorrido: Acobamba, Palca y San Ramón presentan las mismas características de congestión de tráfico de la red. **Ver Gráfico 3.**

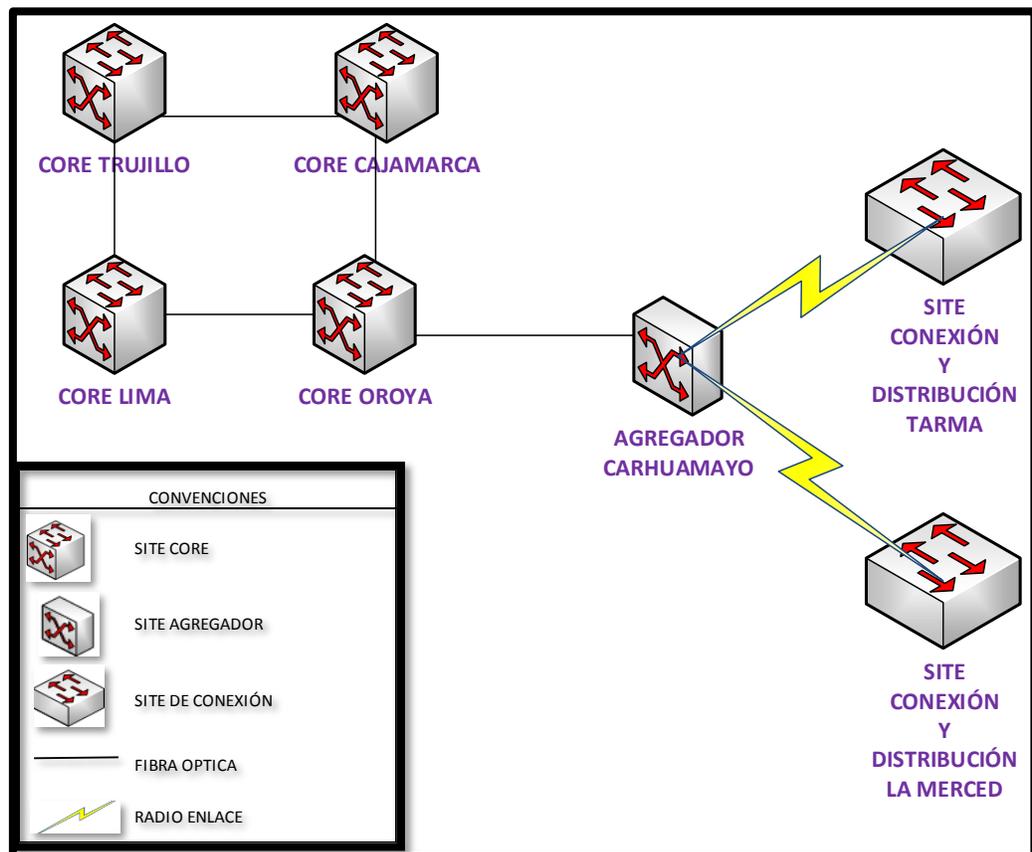


Gráfico 3. Topología de la red dorsal de telecomunicaciones de la empresa América Móvil.

Actualmente el Site La merced tiene la función de ser un Site de conexión y distribución de la red dorsal de la empresa América móvil. Además de ser parte de la red de acceso por radio - RAN (radio Access network), enlazando a las provincias y distritos de Pichanaki, Satipo Mazamari y Pangoa, razón por la cual el tráfico de red que se requiere en este Site es de mayor capacidad en comparación a la que actualmente viene sosteniendo.

Otro factor condicionante del servicio brindado por América móvil, son las condiciones atmosféricas en esta parte del país, que no son favorables para los enlaces de radioenlace, debido a que usualmente el enlace es afectado y atenuado producto de las condiciones meteorológicas.

La comunicación de microondas de radio también se ve afectada por la humedad pesada, nieve, vapor, lluvia y niebla. Esto ocasiona que la señales se desvanezcan (degradación de la señal y la distorsión).

Es por todos estos factores que la Empresa América Móvil, opto por el despliegue de una red de transmisión tipo DWDM Oroya – Tarma, DWDM Tarma – La Merced, IP Tarma – Unión Leticia, IP Tarma-Acobamba, IP Tarma – Palca e IP La Merced-San Ramón.

Los enlaces DWDM tienen una capacidad de ancho de banda de hasta 180 Gbps, esta característica de la tecnología DWDM que se implementa en enlaces de larga distancia, requiere que la red de fibra óptica implementada presente pérdidas o atenuaciones mínimas dentro de los parámetros permitidos. Estas redes de largo alcance con fibra óptica deben ser unidas en sus extremos por cajas de cierre de empalme (MUFAS) o armarios de distribución óptica (ODF) cada 4 km aproximadamente en rango de parámetros establecidos. Por ello, existe la necesidad de realizar la conexión de las terminales del cable de fibra óptica, esta labor es muy importante pues nos permite dar continuidad al cableado de fibra óptica que permitan la transmisión óptima la los laser de luz que se transmiten por

dichos hilos de FO considerado como capa física o de transporte dentro del modelo de red OSI.

Son las organizaciones como la ITU y ANSI/TIA quienes establecen los estándares de las redes DWDM, para un óptimo diseño e implementación de este tipo de redes.

La fusión de fibra óptica es un factor importante en la fase de implementación, pues dependerá del tipo de empalme a elegir y los equipos que se adquieran, dar cumplir con los estándares requeridos. Cabe señalar que en este proyecto existe una gran variabilidad de altitudes y climas, contando con zonas de trabajo con temperaturas -10°C hasta zonas de trabajo con temperaturas de hasta 40°C , factor que se deberá tener en cuenta para la adquisición de los equipos que nos aseguren su correcto funcionamiento en diferentes altitudes geográficas y climas.

1.4. Definición del Problema

1.4.1. Problema general

¿Cómo garantizar la óptima conectividad del enlace Caripa-Tarma-La Merced mediante el diseño e implementación de empalmes de la red transmisión de la empresa América Móvil?

1.4.2. Problema específico

- a. ¿Qué estándares y parámetros deberá cumplir la red óptica?
- b. ¿Qué equipos y accesorios se utilizarán en el empalmado de la fibra óptica?
- c. ¿Qué tipo de pruebas se realizarán para comprobar la calidad de la conectividad?
- d. ¿Qué protocolos de aceptación de enlace se utilizarán en la entrega del enlace?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Realizar el Diseño e implementación de empalmes de Fibra óptica, para garantizar la conectividad del enlace Caripa –Tarma –La Merced de la Empresa América Móvil.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar mediciones reflectométricas punto a punto (desde cada Site) para analizar y mejorar los niveles de atenuación y pérdida por cada enlace.
- Determinar mediante un análisis técnico los equipos y accesorios existentes en el mercado que mejor se adecuen al proyecto.
- Determinar los parámetros básicos que debe cumplir la red óptica.
- Completar los formatos de protocolos de atenuación y pérdida por enlace, a partir de las pruebas reflectométricas.

1.6. Factibilidad

1.6.1. Factibilidad Técnica

Partiendo de las condiciones establecidas en la etapa previa, se procede a considerar cuales son las opciones existentes para ejecutarlas en relación a los equipos necesarios, los accesorios, la topología y protección de la red, la capacidad y especificaciones del cable entre otros detalles que se deben considerar.

Simultáneamente, se realizan inspecciones a las estaciones que se desean interconectar mediante el diseño de la red óptica para confirmar a nivel de espacio y accesibilidad y establecer la ruta que seguirá el cable en la planta externa hasta los terminales ODF, es decir el recorrido que ejecutara el cable de fibra desde la derivación del anillo principal hasta los equipos dentro del nodo.

El diseño de la red está sujeto a los convenios con las empresas UNACEM y ELECTROCENTRO, quienes deberán ceder el uso de sus infraestructuras según el resultado del diseño. A partir de este diseño se realizarán otros expedientes en las especialidades de Ingeniería eléctrica, electromecánica para poder conseguir la viabilidad operativa.

Actualmente América Móvil cuenta con un convenio de uso de postes con Electrocentro, además se ampara en la ley N° 29022 Ley para la expansión de infraestructura en telecomunicaciones. Por otra parte, UNACEN ha solicitado a América Móvil mejoras en la prestación del servicio del Site Condorcocha y conexión de Fibra óptica para su planta en un servicio de 1:1 síncrono.

Siendo factible técnicamente el desarrollo del presente proyecto.

1.6.2. Factibilidad Económica.

El ingreso de nuevas operadoras, viene modificando la segmentación del mercado, la nueva operadora Viettel captó el 4% del mercado y la empresa chilena Entel viene cubriendo el 11% del mercado. En tanto, Movistar retrocedió del 54.4% al 48% del mercado y Claro retrocedió de 39.2% a 37%, al último trimestre del año pasado. Las líneas móviles llegaron a 37 millones 7190 mil al cierre del 2016, aumentando en 10.3% respecto al 2015. En este contexto la estrategia de Claro es mantener su participación en el mercado y la ampliación de infraestructura en telecomunicaciones será vital para cumplir este objetivo.

Dentro del plan de expansión de redes con fibra óptica, América Móvil Perú desea tener cobertura en la zona de la selva central del Perú y para ello cuenta con presupuesto designado por México. Claro tiene la intención de consolidar su cobertura de red con mejores servicios en la selva central para obtener mayores ingresos de facturación en dichas provincias generando una mayor rentabilidad.

1.6.3. Factibilidad Social

El Diseño de Implementación Red de Transmisión Óptica Caripa – Tarma – La Merced (Planta Externa), beneficiará a todos los clientes del operador generando un impacto social de mejor comunicación, siendo este un pilar de desarrollo en la economía de la región y del país. El objetivo de la ampliación de las redes en telecomunicaciones es disminuir la brecha digital en el país, poniendo a disposición de los ciudadanos mayor cobertura celular y acceso a mayores velocidades de navegación en internet a bajo costo. En el siguiente grafico muestra el cómo año tras año vienen creciendo de las conexiones móviles en el país

La construcción de redes dorsales de fibra óptica y su puesta en funcionamiento vienen poniendo a disposición toda una infraestructura de redes que disminuirán la brecha tecnológica y de comunicación en los próximos. Las operadoras móviles del país en la actualidad vienen utilizando redes dorsales propias o rentadas con el objetivo de mejorar sus áreas de cobertura y adquirir nuevos usuarios para sus redes.

1.7. Justificación del proyecto

1.7.1. Justificación Práctica.

Para llevar a cabo el funcionamiento de una red DWDM es esencial contar con enlaces mediante fibra óptica, fibra que debe contar con continuidad e interconexión confiable que permita y soporte la transmisión de datos.

1.7.2. Justificación Metodológica.

Al tratarse de una investigación de tipo tecnológico debemos tener bien en claro qué paradigma domina dentro de este terreno, es así que el paradigma dominante en este campo es el materialista - mecánico.

Generalmente casi todas las ciencias tienen su aplicación práctica - transformadora, y ella es su correlato tecnológico.

La investigación tecnológica designa un ámbito de producción de conocimiento tecnológico validado, que incluye el producto cognitivo, descripciones, técnicas, tecnologías, maquinaria, patentes, etc.; como las actividades que se desarrollan para producir y validar dichos productos y conocimientos.

En realidad, la investigación tecnológica es un proceso social que busca innovar o alcanzar nuevas soluciones a necesidades humanas, que se traducen en artefactos, conocimientos y acciones. Alcanzar nuevas soluciones implica desarrollar nuevas tecnologías, inventar productos o procesos nuevos que sirvan para la transformación de la realidad que se apunta, para ello se requiere de ingentes recursos económicos, institucionales, logísticos y de gran potencial humano; podríamos decir, que es una acción que se realiza institucionalmente.

Pues así vemos que “innovar”, parte de una tecnología utilizada, pero que es modificada para aumentar su eficiencia, su competitividad o el impacto social del producto o del proceso innovado. Generalmente, es una actividad incremental, producto de la experiencia que se entiende en el manejo de la tecnología, y por tanto las exigencias económicas y logísticas son de menor cuantía. Llegando a este punto, es necesario mencionar que en el diseño de implementación de la red de transmisión óptica Caripa – Tarma –La Merced (Planta Externa), como el que plantea el informe, estableceremos un procedimiento de cambio tecnológico mediante la siguiente metodología.

Es preciso mencionar que en este proyecto desarrollamos los empalmes de fibra óptica y mediciones reflectométricas, que nos permitirán tomar decisiones respecto a la calidad de transmisión de la red dorsal, rediseñando el enlace óptico si hubiese la necesidad de hacerlo tal y como se ve en el diagrama metodológico, metodología que tiene como objetivo garantizar la calidad de transmisión de la red dorsal perteneciente a la red óptica de la empresa América Móvil.

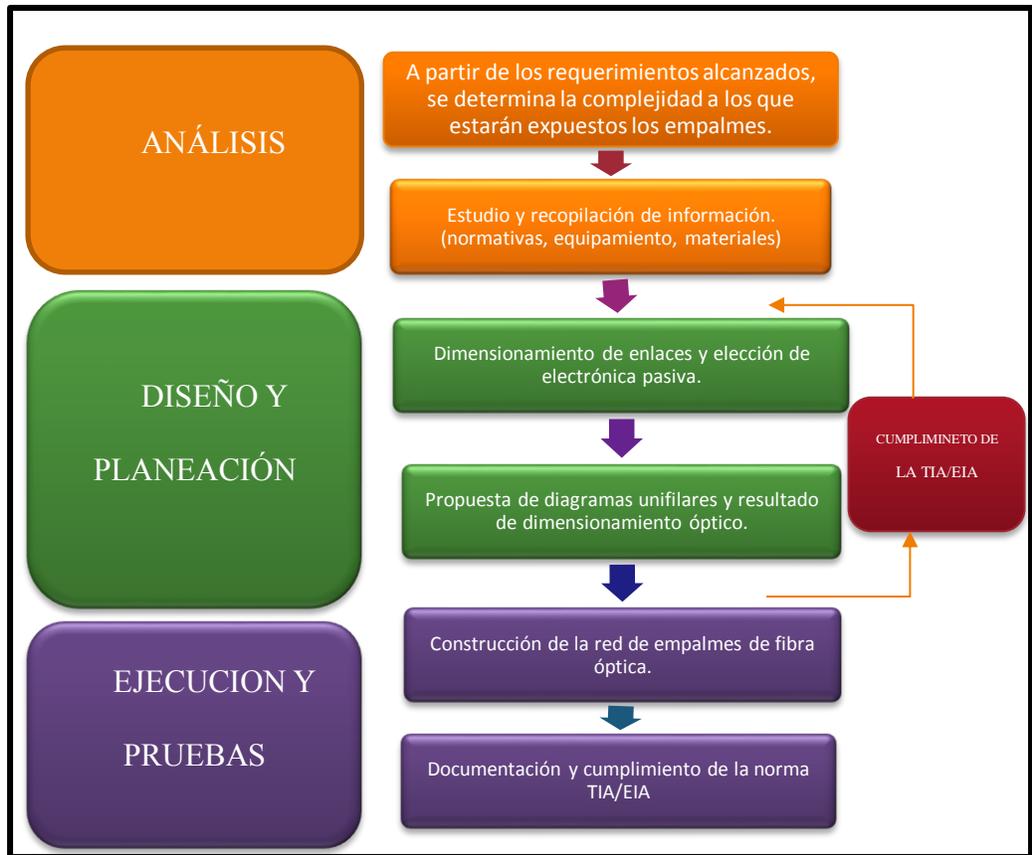


Gráfico 4. Metodología del proyecto

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Generales

El 17 de junio del 2014 se realizó la firma del contrato de concesión entre el Estado Peruano y el consorcio mexicano TV Azteca Comunicaciones para el Diseño, construcción, adquisición, puesta en funcionamiento, operación y mantenimiento de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica – RDNFO.



Gráfico 5. *Ceremonia de Firma de contrato- Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica.* El proyecto de Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica permitirá conectar a 22 capitales de región y 180 capitales de provincia, cuyo primer tendido se realizó el día 19 de diciembre de 2014 en la provincia de Huaytará,

región Huancavelica, con la participación del presidente de la República, a fin de hacer posible la conectividad de banda ancha fija y móvil y su masificación en todo el territorio peruano.



Gráfico 6. *Trabajadores en trabajo de campo del proyecto RDNFO*

De esta manera, se generará la inclusión digital de millones de peruanos que podrán contar con banda ancha y mejorar su calidad de vida al poder acceder a servicios de tele medicina, teleeducación, gobierno electrónico, además de potenciar la actividad comercial, educativa e industrial, entre otras; tendrá un despliegue aproximado de 13,500 kilómetros de fibra y una inversión de más de 333 millones de dólares.

En una primera etapa se ha previsto beneficiar a 7 capitales de provincia de la Región Huancavelica en marzo del 2015 y subrayó que la inversión prevista a realizar en esta región es de 12 millones 748,798 dólares, para un total de 453 kilómetros de fibra óptica.

Para junio del 2016 se ha previsto concluir con el despliegue de los 13,500 kilómetros de fibra óptica en todas las regiones.

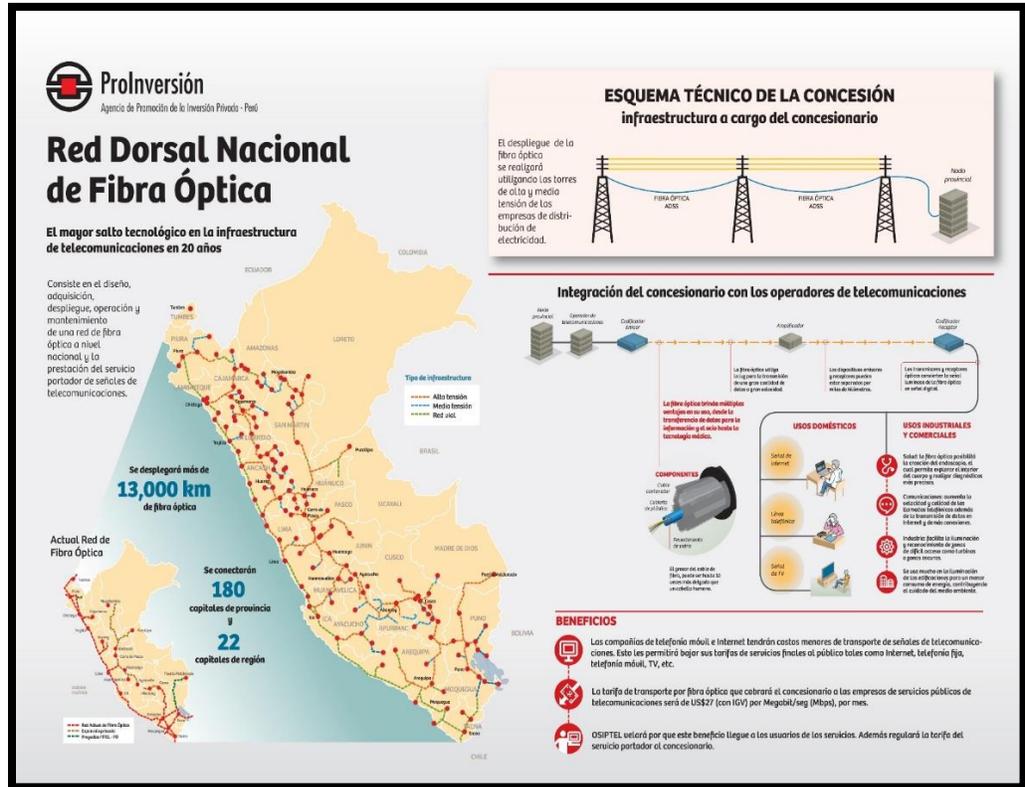


Gráfico 7. Cuadro informativo de la red dorsal nacional de fibra óptica.

2.1.2. Antecedentes Específicos

RED DE BANDA ANCHA MOVISTAR A MOYOBAMBA Y RIOJA

Problema

RED DE BANDA ANCHA MOVISTAR A MOYOBAMBA Y RIOJA

Movistar presentaba problemas en sus servicios de internet y telefonía celular en la zona de a Moyobamba y Rioja, no era factible ofrecer un servicio de internet veloz, desmejorando la experiencia de uso para sus clientes y no pudiendo permitir el acceso a contenidos, como videos de alta calidad o a un uso masivo de las redes sociales

Objetivo.

Desplegar una red de fibra óptica de 120 kilómetros a lo largo de la carretera que une a ambas ciudades con Tarapoto, para dotar con Internet de alta velocidad a Moyobamba y Rioja.

Resultados

El 05 de febrero de 2015 Telefónica del Perú inauguró su servicio de banda ancha para llevar Internet de alta velocidad y telefonía móvil 3G a las ciudades de Moyobamba y Rioja. La empresa completó una inversión de S/. 180 millones para desarrollar infraestructura de telecomunicaciones en las regiones de San Martín y Loreto.



Gráfico 8. Representación gráfica de la red de telecomunicaciones de la empresa telefónica en el departamento de Amazonas.

La implementación de esta red permitirá que la telefonía móvil pase de la tecnología 2G a la 3G, con un uso intensivo de datos, para lo cual se han instalado siete estaciones base en estas ciudades. Los servicios de Internet de alta velocidad móvil 3G en Moyobamba y Rioja están en operación desde los primeros días de febrero.

DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN EN EL SERVICIO DE BANDA ANCHA EN COISHCO (ANCASH)

Problema

¿Cómo mejorar la velocidad y capacidad de información en el servicio de internet, televisión digital, telefonía y servicios multimedia que incidan en los niveles de satisfacción para los usuarios de Coishco (Ancash)?

Objetivos

Diseñar una red que nos permita mejorar la velocidad y la capacidad de transmisión en internet, televisión digital, telefonía y servicios multimedia que incidan en los niveles de satisfacción para los usuarios de Coishco (Ancash).

Resultados

Se revisó, analizó y se investigó que a través de los años los servicios multimedia, internet, televisión digital y telefonía necesitan mayor ancho de banda.

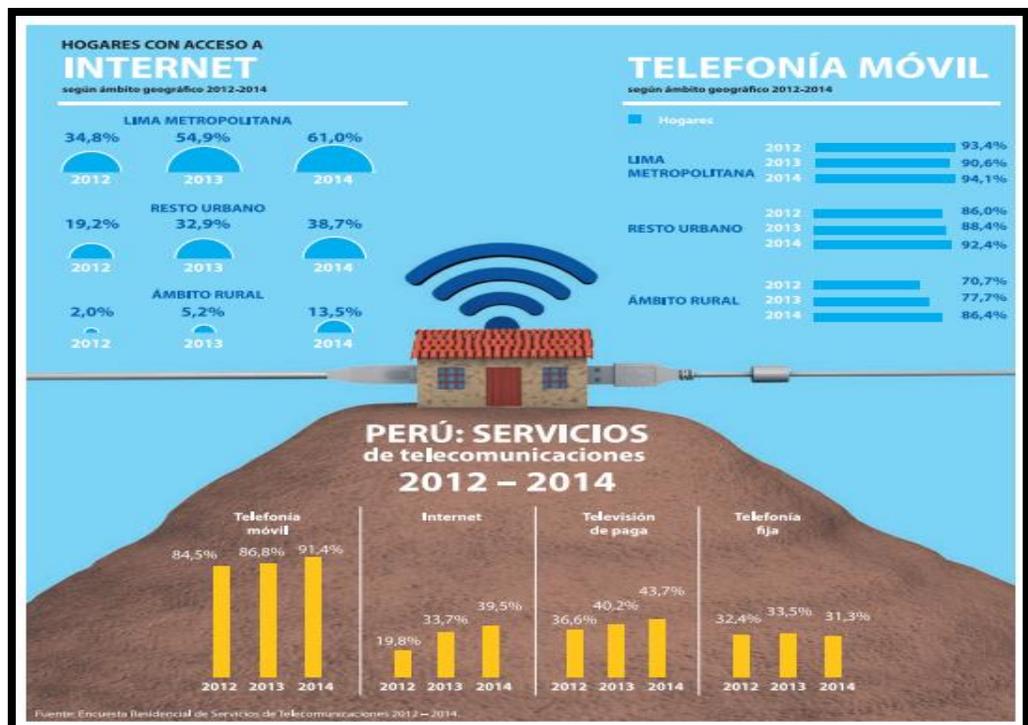


Gráfico 9. Estadística del incremento de la demanda de internet y telefonía móvil.

Se pudo determinar que el uso de nuevas tecnologías tiene un ancho de banda standard necesario de 2,5 Gbps, entonces los habitantes de Coishco requieren aproximadamente este valor.

Se identifica los elementos de red para precisamente poder implementar posteriormente esta red de fibra óptica para el hogar.

TRABAJO INFORME DE EXPERIENCIA LABORAL **“IMPLEMENTACIÓN DE ENLACE DE FIBRA ÓPTICA AREQUIPA – CUSCO”**

Problema

El Perú presenta una deficiencia en su red de transporte (medio de transmisión), lo cual ocasiona que se tenga servicios de telecomunicaciones deficientes o que no exista dichos servicios, en el Perú no se puede llegar a toda su población y el principal problema es la carencia de redes de transporte.

Los sistemas de telecomunicaciones requieren no sólo de redes de acceso para la prestación de sus servicios, sino que necesitan de una red de transporte (backbone) que permita transportar la información a altas velocidades entre ciudades. Es por ello que, estas redes se diseñan generalmente en base al tendido de fibra óptica, al ser un medio de transmisión de alta capacidad y velocidad.

En el Perú existen redes dorsales de gran capacidad implementadas en base a fibra óptica principalmente en la costa.

Si bien la red dorsal de fibra óptica desplegada recorre de norte a sur la costa peruana, en la región de la sierra el despliegue de las redes de alta capacidad está limitado a tres (03) ciudades Cajamarca, Huancayo y Puno, y en la región de la selva no se ha obtenido ningún desarrollo en ese aspecto.

La “Implementación del enlace de fibra óptica Arequipa – Cusco”, consiste en la implementación de un enlace de alta capacidad, por lo que Telefónica del Perú con Graña y Montero (Telecomunicaciones), implementan la red

DWDM entre Arequipa y Cusco, como parte de la primera etapa del proyecto de Fibra Óptica de los Andes, para posteriormente conectar a 8 departamentos de la sierra y selva del Perú.

Internexa (empresa líder en transporte de telecomunicaciones) es la encargada del tendido de la fibra óptica, utilizando las torres de alta tensión propiedad de Red Eléctrica del Perú (REP).

Objetivos

Llegar a Cusco por primera vez con fibra óptica, para después poder beneficiar al departamento de Apurímac (Abancay y Andahuaylas).

Permitir a miles de familias de la sierra acceder a un servicio de internet con las mismas características de Lima, Arequipa y otras ciudades del país y mejorar los servicios de telefonía fija y telefonía móvil.

Resultados

Con la implementación del enlace de fibra óptica entre Arequipa – Cusco, se mejora los servicios de telecomunicaciones del departamento de Cusco, incrementando la velocidad de las conexiones de internet, la capacidad y cobertura del servicio de telefonía móvil, la telefonía fija y el servicio de radiodifusión por cable.

La ciudad de Cusco es la primera etapa del desarrollo de fibra óptica en la sierra del país y este enlace es la base para poder expandirse a otras ciudades del Perú.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Avances de la comunicación tecnológica

Los enlaces en telecomunicaciones, como los sistemas inalámbricos o de fibra óptica, complementan al cable de cobre, y ayudan a mejorar la movilidad, así como aumentar la tasa de transmisión, es por ello que no se puede decir que van a sustituir definitivamente al cableado convencional. La fibra óptica utiliza pulsos de luz para transmitir datos a través de hilos de vidrio, como resultado,

se logra obtener alta tasa de transmisión a grandes distancias, ya que la luz tiene baja dispersión; evitando problemas de interferencia electromagnéticas debido a que el medio es un dieléctrico, a diferencia de los cables de cobre.

2.2.2. Evolución de la fibra óptica

Para llevar a cabo un sistema de comunicación de fibra óptica es necesario remontarnos a la historia, la naturaleza y las propiedades de la luz. La luz es una forma de energía electromagnética que puede usarse para transmitir información, alcanza su velocidad máxima en el vacío a 300 000 km/seg [1].

El físico irlandés John Tyndall en el año 1870, descubrió que la luz podía viajar dentro de un material y cuidar la curvatura de la línea de transmisión, gracias a la reflexión interna en las paredes del material. Lo realizó usando agua, como el medio en el que se propaga la luz [2].

En los años 50's del siglo XX, Narinder Singh Kapany, junto a Harold Hopkins, comenzaron a basarse en los estudios de John Tyndall, con el objetivo de crear una teoría con la cual poder desarrollar un material por el cual la luz viaje, y presentar alguna curvatura, logrando que el haz de luz se adapte, gracias a las reflexiones sobre el material. Fue Kapany quien utilizó el término fibra óptica en 1956 [3].

En su tesis doctoral, Sir Charles Kuen Kao en 1956, predijo que la atenuación de una fibra óptica no debía ser superior a los 20 decibeles por kilómetro, si se quería que ésta fuese apta para usarse en transmisiones de datos. En el año 1970 equipo de Corning Glass, en Corning, New York, desarrollaron una fibra óptica con atenuaciones de 0.5 dB/km, sumado al trabajo de los Laboratorios Bell en el desarrollo de láseres que eran capaces de funcionar a temperatura ambiente, propició que el 22 de abril de 1977, General Telephone and

Electronics mandará la primera transmisión telefónica a través de fibra óptica con una tasa de transmisión de 6 Mbits/seg [4].

A finales de los años 70's y principios de los 80's el estudio de los cables ópticos y el desarrollo de las fuentes de luz, abrieron la puerta al desarrollo de sistemas de comunicación de fibras ópticas de alta calidad, capacidad y eficiencia. A tal grado, que a finales de la década de 1980 las pérdidas en las fibras ópticas se redujeron hasta 0.16dB/km, y en 1988, la compañía NEC Corporation estableció un récord de transmisión a gran distancia, al enviar 10 Gbits/seg a 80.1 km de fibra óptica. A mediados de la década de 1990, las redes ópticas para voz y datos eran lugar común en Estados Unidos y en gran parte del mundo [2].

2.3. Características generales de la fibra óptica

La fibra óptica es un hilo fino de vidrio o de plástico, que permite transportar luz, generalmente en la banda infrarroja (longitudes de onda entre 750 nm y 1600 nm), por lo tanto, no es visible para el ojo humano. Esta luz modulada (analógica o digital), permite transmitir señales de información entre dos puntos a tasas de transmisión muy altas, con tasas de errores muy bajas; por ejemplo, en fibra óptica la tasa de error es de 10^{-9} , frente a 10^{-6} en cables metálicos [5].

La atenuación producida por una señal luminosa (en función de la longitud de onda) en el interior de una fibra óptica corresponde a la *Gráfico 10*. A esta relación se les llama ventanas de transmisión, la primera ventana corresponde a los 850 nm, en la segunda ventana de 1300 nm la atenuación era baja. Sin embargo, la tercera ventana de 1550 nm las atenuaciones era más baja y el ancho de banda mayor [6].

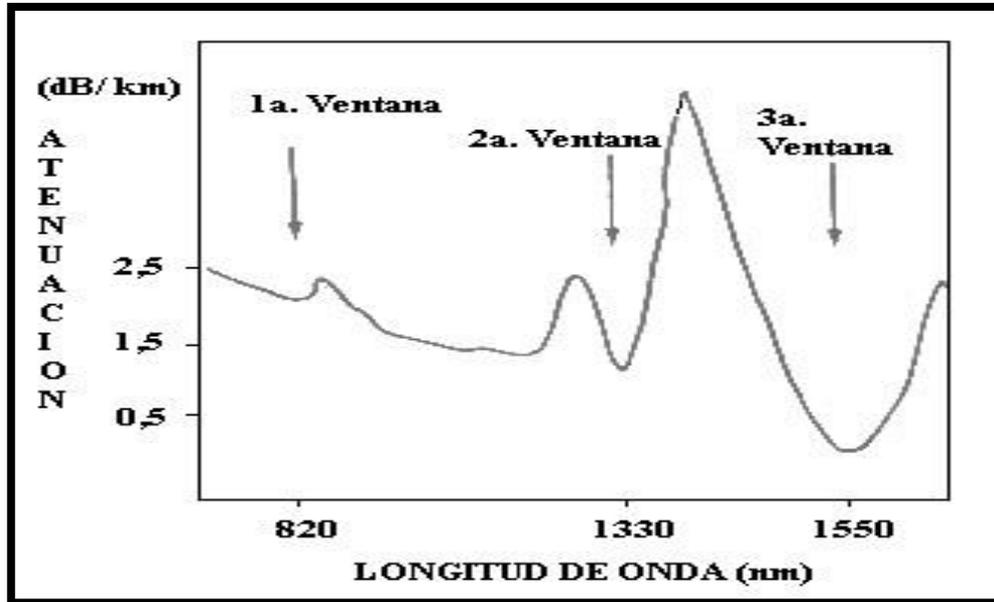


Gráfico 10. Ventanas de transmisión de las fibras ópticas.

La fibra óptica es utilizada en los circuitos de transmisión, ejemplo de ellos, en redes de área metropolitana (MAN). Así como en las Redes de Área Local (LAN) y en Redes de Área Extendida (WAN). Este medio de transmisión, presenta ventajas importantes respecto a los pares trenzados de conductores de cobre o coaxiales [4], tales como:

1. Baja atenuación por kilómetro, por lo tanto, se pueden alcanzar mayores distancias sin amplificar.
2. Total, inmunidad a las interferencias electromagnéticas, causadas por relámpagos, motores eléctricos y otras fuentes de ruido eléctrico. Además, no radian energía de RF, por lo tanto no pueden causar interferencia con otros sistemas de comunicación, por ejemplo antenas.
3. Potencias del orden de los Miliwatts (mW), así como las fuentes consumen menor energía.
4. Alta capacidad de transmisión, debido al mayor ancho de banda disponible.
5. Seguridad en cuanto a la posibilidad de que terceros no desaseados intercepten el cable.

6. Diámetros pequeños, flexibilidad y su poco peso, hacen que sean fáciles de instalar.
7. Resistentes al fuego y a la corrosión (dependiendo las características), soportando mejor los cambios atmosféricos.
8. El costo a largo plazo de un sistema de fibra óptica se proyecta que será menor a un sistema metálico.

La fibra óptica está constituida por dos capas, una central denominada núcleo (core) y una periférica llamada revestimiento (cladding). Cada una de estas capas está caracterizada por un índice de refracción distinto ($n_1 > n_2$), *Gráfico 11*. Es decir, el índice de refracción del núcleo debe ser mayor que el del recubrimiento; y, además, obtener una pérdida mínima a través de la cubierta [4].

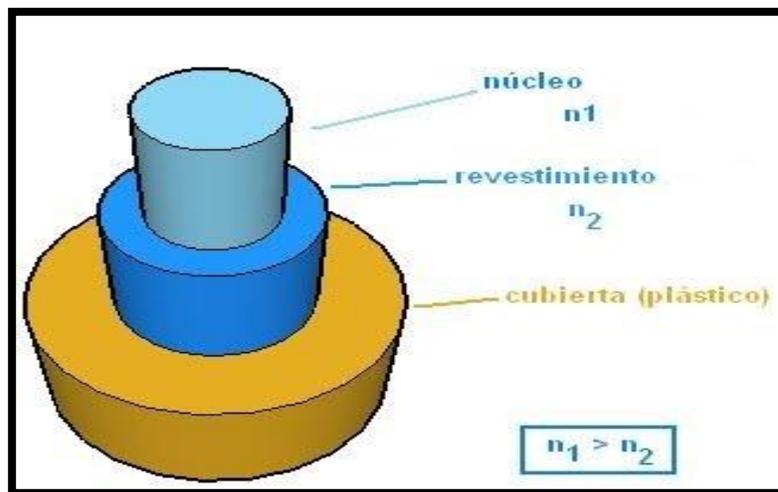


Gráfico 11. Estructuras de una fibra óptica¹.

2.4. Tipos de fibra óptica por su fabricación

Básicamente, las fibras ópticas se clasifican de dos formas: por el material con que se fabrican y por su modo de propagación.

¹ Página web : http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_1_1.htm (en línea)

Hay tres tipos de fibras ópticas, su material de fabricación son vidrio, plástico o una combinación de vidrio y plástico, estas son:

1. En núcleo y el revestimiento de plástico.
2. En núcleo y el revestimiento de vidrio.
3. En núcleo de vidrio y el revestimiento de plástico.

Las fibras de plástico son más flexibles, menos costosas, fáciles de instalar y resistentes, si lo comparamos con el vidrio. Sin embargo, no propagan la luz tan eficientemente como el vidrio [7].

Es por ello que, las fibras de plástico se instalan en distancias cortas, a diferencia de las fabricadas por vidrio. La selección de una fibra, va a depender de los requerimientos de la aplicación.

2.5. Tipos de fibra óptica por su propagación

En la terminología de fibra óptica, la palabra modo simplemente significa trayectoria. Si la luz que viaja en una trayectoria, se llama monomodo o modo sencillo. Si hay más de una trayectoria, se llama multimodo [8], como se ilustra en el *Gráfico 12*.

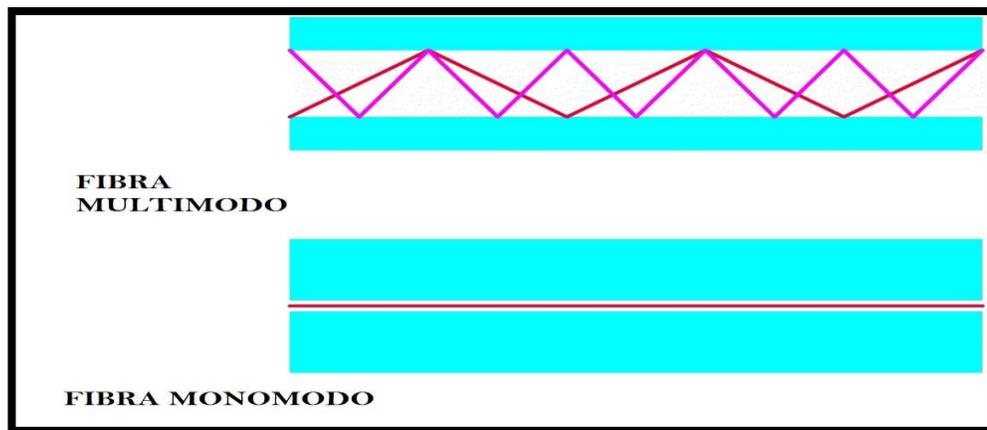


Gráfico 12. Tipos de fibra monomodo y multimodo²

² Página web: <http://www.proyectosapp.pe/modulos/JER/PlantillaProyecto.aspx?ARE=0&PFL=2&JER=5682> (en línea)

El núcleo de la fibra monomodo tiene aproximadamente un diámetro de 9mm, y el recubrimiento de 125 μ m. Mientras que en la fibra multimodo, el diámetro del núcleo es de 50 μ m y 62.5 μ m y el recubrimiento 125 μ m, como se ilustra en el *Gráfico 13*.

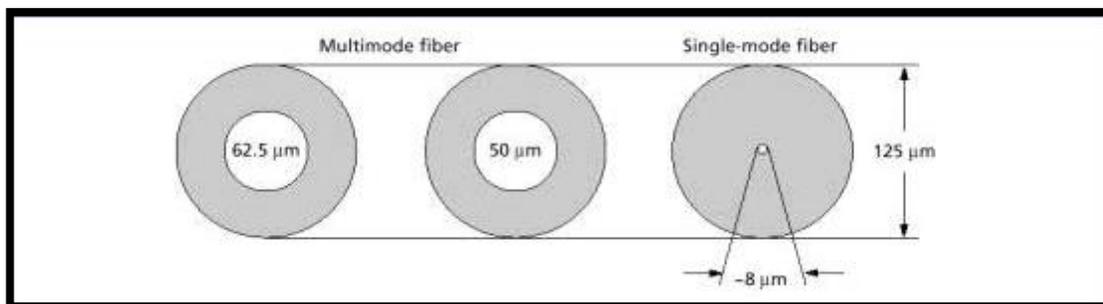


Gráfico 13. Dimensiones de fibra óptica monomodo y multimodo

Los cables objeto del suministro únicamente contendrán fibra monomodo, que será de dos tipos:

- Fibra óptica monomodo estándar identificada por SM/ST y que cumpla la recomendación ITU-T G.652.
- Fibra óptica monomodo de dispersión desplazada no nula identificada por SM/NZDS y que cumpla la recomendación ITU-T G.655.

2.5.1. Fibra monomodo estándar SM/ST

Este tipo de fibra cumplirá la recomendación ITU-T G.652, caracterizándose por las propiedades ópticas, geométricas, ambientales y mecánicas indicadas en las siguientes tablas.

En la Tabla 1 el diámetro de campo modal (MFD) a 1.310 nm se especifica por medio del valor nominal y de la tolerancia. Los valores de aceptación de la fibra para este parámetro vendrán determinados por el valor nominal ofertado por el fabricante (que deberá estar incluido en el rango dado en la Tabla 1), con una tolerancia máxima de $\pm 0,4$.

Tabla 1*Propiedades ópticas de la fibra SM/ST ITU-T G.652*

PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS FIBRAS MONOMODO ESTÁNDAR ITU-TG.652		
Parámetro	Condiciones	Criterio
Diámetro del campo modal [μm]	$\lambda = 1.310 \text{ nm}$	Valor nominal: 9,0-9,2 Tolerancia: $\leq \pm 0,4$
	$\lambda = 1.550 \text{ nm}$	$10,2 \pm 1,0$
Coeficiente de dispersión cromática [ps/(nm*Km)]	$\lambda = 1.285 \text{ nm} - 1.330 \text{ nm}$	$ D < 3,0$
	$\lambda = 1.550 \text{ nm}$	$\leq 17,0$
Longitud de onda de dispersión nula [nm]		1.310 ± 10
Pendiente de dispersión nula [ps/(nm ² *Km)]		$\leq 0,092$
Longitud de onda de corte [nm]	Después del cableado	≤ 1.260
Coeficiente de PMD [ps/Km ^{1/2}]	Después del cableado	$\leq 0,10$
Coeficiente de atenuación de la fibra cableada [dB/Km]	$\lambda = 1.310 \text{ nm}$	$\leq 0,36$
	$\lambda = 1.550 \text{ nm}$	$\leq 0,23$
Variación del coeficiente de	$1.285 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1.310 \text{ nm}$	$\leq 0,035$
PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS FIBRAS MONOMODO ESTÁNDAR ITU-T G.652		
Parámetro	Condiciones	Criterio
atenuación en ventana [dB/Km]	$1.310 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1.330 \text{ nm}$	$\leq 0,03$
	$1.525 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1.550 \text{ nm}$	$\leq 0,03$
	$1.550 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1.575 \text{ nm}$	$\leq 0,03$
Uniformidad de atenuación [dB]	$\lambda = 1.310 \text{ nm}$	$\leq 0,1$
	$\lambda = 1.550 \text{ nm}$	$\leq 0,1$
Incremento de la atenuación por macroflexión [dB]	1 vuelta, 32 mm de diámetro Medida a 1.550 nm	$\leq 0,5$
	100 vueltas, 60 mm de diámetro Medida a 1.550 nm	$\leq 0,05$

Tabla 2*Propiedades geométricas de la fibra SM/ST ITU-T G.652*

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LAS FIBRAS MONOMODO ESTÁNDAR ITU-T G.652	
Parámetro	Criterio
Diámetro del revestimiento [μm]	$125 \pm 1,0$
Diámetro del recubrimiento primario [μm]	$242 \pm 7,0$
Error de concentricidad núcleo-revestimiento [μm]	$\leq 0,6$
Error de circularidad del revestimiento [%]	$\leq 1,0$
Error de concentricidad revestimiento-recubrimiento [μm]	$\leq 12,0$
Rizado de la fibra (radio de curvatura) [m]	$\geq 4,0$

Tabla 3*Propiedades ambientales de la fibra SM/ST ITU-T G.652*

PROPIEDADES AMBIENTALES DE LAS FIBRAS MONOMODO ESTÁNDAR ITU-T G.652		
Parámetro	Condiciones	Criterio
Variación de la atenuación por ciclo de temperatura [dB/Km]	Medida a 1.310 y 1.550 nm Entre -60°C y $+85^\circ\text{C}$	$\leq 0,05$
Variación de la atenuación por ciclo de temperatura – humedad [dB/Km]	Medida a 1.310 y 1.550 nm Temperatura entre -10°C y $+85^\circ\text{C}$ Humedad relativa hasta 98 %	$\leq 0,05$
Variación de la atenuación por inmersión en agua [dB/Km]	Medida a 1.310 y 1.550 nm Inmersión en agua a $23 \pm 2^\circ\text{C}$	$\leq 0,05$
Variación de la atenuación por envejecimiento por calor [dB/Km]	Medida a 1.310 y 1.550 nm $85 \pm 2^\circ\text{C}$	$\leq 0,05$

Tabla 4*Propiedades mecánicas de la fibra SM/ST ITU-T G.652*

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS FIBRAS MONOMODO ESTÁNDAR ITU-T G.652	
Parámetro	Criterio
Prueba de resistencia mecánica a la tensión [kpsi]	≥ 100 (0,7 GPa) (Alargamiento $\geq 1\%$)
Fatiga dinámica (N_d)	≥ 20
Fuerza de pelado del recubrimiento [N]	1,3 – 8,9

Fibra monomodo de dispersión desplazada no nula SM/NZDS

Estas fibras cumplirán la recomendación ITU-T G.655, con las propiedades ópticas, geométricas, ambientales y mecánicas dadas en las siguientes tablas.

En la Tabla 5 el diámetro de campo modal (MFD) se especifica por medio del valor nominal y de la tolerancia. Los valores de aceptación de la fibra para este parámetro vendrán determinados por el valor nominal ofertado por el fabricante (que deberá estar incluido en el rango dado en la Tabla 5), con una tolerancia máxima de $\pm 0,5$.

Tabla 5

Propiedades geométricas de las fibras monomodo de dispersión desplazada no nula

PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS FIBRAS MONOMODO DE DISPERSIÓN DESPLAZADA NO NULA ITU-T G.655		
Parámetro	Condiciones	Criterio
Diámetro del campo modal [μm]	$\lambda = 1.550 \text{ nm}$	Valor nominal: 8,1-9,6 Tolerancia: $\leq \pm 0,5$
Coeficiente de dispersión cromática [$\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{Km})$]	$1.530 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1.565 \text{ nm}$	$ D = 5,5 - 10,0$
	$1.565 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1.625 \text{ nm}$	(+)NZDS: 7,5 - 13,8 (-)NZDS: -6,0 - -1
Longitud de onda de corte [nm]	Después del cableado	≤ 1.450
Coeficiente de PMD [$\text{ps}/\text{Km}^{1/2}$]	Fibra cableada, 20 cables $Q = 0,01 \%$	$\leq 0,10$
Área efectiva [μm^2]	Valor nominal	≥ 50
Coeficiente de atenuación [dB/Km]	$\lambda = 1.550 \text{ nm}$	$\leq 0,25$
	$\lambda = 1.625 \text{ nm}$	$\leq 0,25$
Variación del coeficiente de atenuación en ventana [dB/Km]	$1.525 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1.550 \text{ nm}$	$\leq 0,03$
	$1.550 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1.575 \text{ nm}$	$\leq 0,03$
	$1.550 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1.625 \text{ nm}$	$\leq 0,05$
Uniformidad de atenuación [dB]	$\lambda = 1.550 \text{ nm}$	$\leq 0,10$
Incremento de la atenuación por macroflexión [dB]	1 vuelta, 32 mm de diámetro Medida a 1.550 nm y 1.625 nm	$\leq 0,50$
	100 vueltas, 60 mm de diámetro Medida a 1.550 y 1.625 nm	$\leq 0,05$

Tabla 6*Propiedades geométricas de la fibra SM/NZDS ITU-T G.655*

Parámetro	Criterio
Diámetro del revestimiento [μm]	$125 \pm 1,0$
Diámetro del recubrimiento primario [μm]	$242 \pm 7,0$
Error de concentricidad núcleo-revestimiento [μm]	$\leq 0,6$
No circularidad del revestimiento [%]	$\leq 1,0$
Error de concentricidad revestimiento-recubrimiento [μm]	$\leq 12,0$
Rizado de la fibra (radio de curvatura) [m]	$\geq 4,0$

Tabla 7*Propiedades ambientales de la fibra SM/NZDS ITU-T G.655*

Parámetro	Condiciones	Criterio
Variación de la atenuación por ciclo de temperatura [dB/Km]	Medida a 1.550 y 1.625 nm Entre $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,05$
Variación de la atenuación por ciclo de temperatura – humedad [dB/Km]	Medida a 1.550 y 1.625 nm Entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ Humedad relativa hasta 98 %	$\leq 0,05$
Variación de la atenuación por inmersión en agua [dB/Km]	Medida a 1.550 y 1.625 nm Inmersión en agua a $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,05$
Variación de la atenuación por envejecimiento por calor [dB/Km]	Medida a 1.550 y 1.625nm $85\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\leq 0,05$

Tabla 8*Propiedades mecánicas de la fibra SM/NZDS ITU-T G.655*

Parámetro	Criterio
Prueba de resistencia mecánica a la tensión [kpsi]	≥ 100 (0,7 GPa) (Alargamiento $\geq 1\%$)
Fatiga dinámica (N_a)	≥ 20
Fuerza de pelado del recubrimiento [N]	1,3 - 8,9

2.6. Características del cable de fibra óptica

Los cables serán de estructura holgada, en los que las fibras se disponen en grupos de cuatro u ocho, protegidas por un tubo holgado.

- Los cables serán 16, 64 ó 128 fibras monomodo:
- Los cables de 16 fibras contarán con 16 fibras monomodo estándar (ITU-TG.652).
- Los cables de 64 fibras contarán con 56 fibras monomodo estándar (ITU-T G.652) y 8 fibras monomodo de dispersión desplazada no nula (ITU-T G.655). Estas últimas se dispondrán en un único tubo holgado, no debiendo coexistir fibras monomodo estándar y fibras monomodo de dispersión desplazada no nula en un mismo tubo.
- Los cables de 128 fibras contarán con 112 fibras monomodo estándar (ITU-T G.652) y 16 fibras monomodo de dispersión desplazada no nula (ITU-T G.655). Estas últimas se dispondrán en dos tubos holgados, no debiendo coexistir fibras monomodo estándar y fibras monomodo de dispersión desplazada no nula en un mismo tubo.

Se utilizará cable tipo PKP, cuya cubierta aplicada desde el alma del cable es de la siguiente forma:

- Cubierta de polietileno (P).
- Capa de fibras de aramida (tipo Kevlar) (K).
- Cubierta de polietileno (P).

A continuación, se determinan las características dimensionales, mecánicas y ambientales de los cables tipo PKP de 16, 64 y 128 fibras.

2.7. Elementos que forman el cable

En los apartados que vienen a continuación se especifican las características que como mínimo deberán cumplir cada uno de los elementos que forman el cable.

Elemento central del cable

El elemento central soportará los esfuerzos de tracción sobre el cable durante las fases de tendido y uso, así como las tensiones mecánicas provocadas por variaciones térmicas. Asimismo, actuará como soporte para el cableado de los tubos portadores de las fibras ópticas y las varillas de relleno.

El material o materiales que formen el elemento central deberán satisfacer los siguientes criterios:

- Ser dieléctricos (Elemento de tracción central no metálico).
- Elevado módulo de Young.
- Bajo coeficiente de dilatación térmica.
- Reducido peso por unidad de longitud.
- Flexibilidad suficiente que permita al cable adaptarse a las curvaturas de las canalizaciones.

El material del elemento central será tipo F.R.P. (Fibra de vidrio con Resinas Poliéster) o similares. Este elemento central puede utilizarse desnudo o recubierto con polietileno según la configuración de cada núcleo.

Relleno del alma

El alma del cable se rellena a alta presión de un compuesto hidrófugo de manera que ocupe todos los intersticios libres del alma. Este relleno asegurará la hermeticidad longitudinal del cable de fibra óptica y deberá cumplir las siguientes propiedades:

- Compatible con los demás materiales del cable.
- No tóxico.
- Fácilmente procesable.
- Insignificante efecto expansivo sobre las cubiertas.
- Limpieza relativamente fácil.
- Conservación de sus propiedades frente a cambios térmicos.

Como alternativa al relleno de gel, para evitar la penetración de agua a lo largo del alma del cable, se admitirá el uso de cabos de material bloqueante, hidroexpansible, dispuestos de forma helicoidal a lo largo del eje.

Tubo de protección secundaria

El tipo de protección secundaria será de tubo holgado. El material del tubo y su acabado deberán cumplir los siguientes criterios:

- Protección secundaria holgada y plástica para las fibras.
- Elevado módulo de Young para pequeñas elongaciones.
- Grado de elasticidad suficientemente alto para admitir radios de curvatura mínimos de 3 cm.
- Gran resistencia a la abrasión.
- Reducido coeficiente de fricción.
- Homogeneidad, estando libre de poros, grietas, abultamientos y otras imperfecciones.
- Uniformidad de las dimensiones transversales a lo largo del tubo.
- Conservación de las propiedades anteriores frente a cambios térmicos.

Los tubos deberán estar rellenos de un compuesto hidrófugo que envuelva y proteja a las fibras.

Para una identificación fácil y clara se dispondrán tubos de diferentes colores que deberán ser opacos e intensos.

Los tubos se cablearán en torno al elemento central en S-Z. Los tubos se dispondrán helicoidalmente en torno al eje del elemento central, cambiando el sentido de giro cada 6 pasos de hélice. En los puntos donde se produzcan los cambios de sentido de giro, los tubos deberán estar paralelos al eje del elemento central.

Tubos de relleno

Cuando la geometría y la estructura del cable así lo requieran, se utilizarán varillas de relleno. El diámetro exterior de estas varillas será igual al diámetro

externo de los tubos holgados, estarán hechas de un material que sea compatible con el resto de los materiales del cable y cumplirán las mismas propiedades mecánicas y térmicas que los tubos holgados. Todas las varillas de relleno serán del mismo color, el cual será diferente de los colores utilizados para los tubos holgados.

El tipo de cableado utilizado será el S-Z, del modo especificado anteriormente para los tubos de protección secundaria.

Envoltura del núcleo

Opcionalmente, el alma del cable se recubrirá con una o varias cintas de plástico. Esta envoltura protegerá el alma del cable en las fases posteriores de fabricación y servirá como barrera contra el agua y la humedad. Estas cintas se aplicarán longitudinalmente con un solape superior a 5 mm.

Para realizar el amarre del núcleo se dispondrán, sobre éste o sobre la cinta envolvente, uno o dos cabos de material no higroscópico de forma helicoidal a lo largo del eje del alma. Si para este amarre se emplean dos cabos, éstos tendrán sentidos de giro contrarios.

Cubierta interna

La cubierta interna del cable tipo PKP estará constituida por polietileno negro, de baja densidad y alto peso molecular, tipo I, clase C y categoría 5.

La cubierta interna deberá cumplir las siguientes propiedades:

- Espesor de cubierta interior de 1 mm.
- Uniformidad de las dimensiones transversales de la cubierta a lo largo del cable.
- Homogeneidad de la cubierta, no presentando poros, rayas ni defecto alguno.
- Superficie lisa, de tonalidad y brillo uniforme.
- Se deberá ceñir ajustadamente con el elemento de refuerzo.

Esta cubierta se aplicará mediante un proceso de extrusión sobre el alma del cable.

Elementos de refuerzo

Directamente sobre la cubierta interna se dispondrán longitudinalmente diversos cabos de aramida de alto módulo de elasticidad para conferir al cable el refuerzo a la tracción necesario y un bajo coeficiente de expansión térmica. Los cabos de aramida serán de 2.840 deniers.

Las ligaduras de aramida responderán a las características siguientes:

- Peso específico: 1,44 g/cm³.
- Módulo de elasticidad: > 10⁵.
- Resistencia a la tracción: > 2.300 N/mm².

Sobre primera cubierta y entre las hilaturas se dispondrá un compuesto de relleno hidrófugo que confiera estanqueidad al cable, de características similares a las especificadas para el relleno del núcleo.

Cubierta externa

La cubierta externa de los cables PKP estará constituida por polietileno negro, de alta densidad y alto peso molecular, tipo II, clase C y categoría 4. La cubierta deberá cumplir las siguientes propiedades:

- Espesor de cubierta exterior de 1,5 mm.
- Uniformidad de las dimensiones transversales de la cubierta a lo largo del cable.
- Homogeneidad de la cubierta, no presentando poros, rayas ni defecto alguno.
- Superficie lisa, de tonalidad y brillo uniforme.
- Se deberá ceñir ajustadamente al elemento de refuerzo.

Hilos de rasgado

Debajo de cada una de las dos cubiertas se dispondrá un cordón de rasgado, previamente impregnado en compuesto de relleno para evitar el paso del agua. El cordón tendrá la suficiente consistencia como para rasgar la cubierta, ya sea la interna o la externa, sin romperse.

Los hilos de rasgado deberán ser fácilmente distinguibles de cualquier otro componente, como los hilos de aramida.

Aspecto del cable

El aspecto exterior del cable debe ser uniforme en toda su longitud. En ningún caso deberá presentar poros, grietas o cualquier otro tipo de defecto o imperfección. A este respecto se valorará como sobre prestación cualquier característica adicional a las exigidas en el presente pliego.

2.8. Parámetros del cable de obligado cumplimiento

Dimensiones del cable

Las medidas del cable satisfacen como mínimo las indicadas en la siguiente

Tabla 9.

Tabla 9

Características dimensionales de los cables tipo PKP

CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES DE LOS CABLES TIPO PKP			
Parámetro	Criterio por tipo de cable (valor nominal)		
	16	64	128
Diámetro del elemento central [mm]	2,6	3,0	
Diámetro exterior del tubo holgado [mm]	2,0	2,8	
Diámetro interior del tubo holgado [mm]	1,2	2,0	
Espesor de la cubierta interna [mm]	1,0		
Espesor de la cubierta externa [mm]	1,5		
Diámetro exterior del cable [mm]	13	16	20
Peso [Kg/Km]	130	200	295

Mecánicas y Ambientales

Las especificaciones mínimas que deberá cumplir el cable son las siguientes:

- Margen de temperatura de funcionamiento sin afectar las características de transmisión óptica entre -30 y 70°C .
- La estructura del cable será completamente dieléctrica para evitar cargas inducidas que podrían resultar peligrosas.

Las dos tablas siguientes contienen valores de parámetros para los cables que son de obligado cumplimiento por parte del fabricante.

Tabla 10

Propiedades mecánicas de los cables tipo PKP

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS CABLES TIPO PKP		
Parámetro	Condiciones	Criterio
Tracción Incremento de la atenuación a 1.310 nm y 1.550 nm [dB/Km]	IEC 60794-1-E1 3.000 N	$\leq 0,05$
Aplastamiento Incremento de la atenuación a 1.310 nm y 1.550 nm [dB]	IEC 60794-1-E3 3.000 N/100 mm	$\leq 0,05$
Impacto Incremento de la atenuación a 1.310 nm y 1.550 nm [dB]	IEC 60794-1-E4 5 J	$\leq 0,05$
Torsión Incremento de la atenuación a 1.310 nm y 1.550 nm [dB]	5 ciclos, $\pm 180^{\circ}$ 10 Kg, 1 m IEC 60794-1-E7	$\leq 0,05$
Curvaturas Incremento de la atenuación a 1.310 nm y 1.550 nm [dB]	5 ciclos 10 vueltas en mandril 10xD IEC 60794-1-E11	$\leq 0,05$
Radio de curvatura estático Incremento de la atenuación a 1.310 nm y 1.550 nm [dB]	Radio mandril 15xD IEC 60794-1-E11	$\leq 0,05$
Radio de curvatura dinámico Incremento de la atenuación a 1.310 nm y 1.550 nm [dB]	Radio mandril 20xD IEC 60794-1-E11	$\leq 0,05$

Tabla 11*Propiedades ambientales de los cables tipo PKP*

PROPIEDADES AMBIENTALES DE LOS CABLES TIPO PKP		
Parámetro	Condiciones	Criterio
Temperatura de almacenamiento [°C]		De -30 a +70
Temperatura de instalación [°C]		De -15 a +50
Temperatura de operación [°C]		De -30 a +70
Ciclos térmicos Incremento de la atenuación a 1.310 nm y 1.550 nm [dB/Km]	IEC 60794-1-F1 Entre -30 °C y +70 °C	≤ 0,05
Penetración de agua	IEC 60794-1-F5 3 m de cable, 1 m de presión y 24 horas	Sin goteo en el extremo contrario del cable

2.9. Marcado de la cubierta externa

El cable se identifica con tinta blanca o amarilla que sea resistente al agua y a la abrasión. El cable se identifica a intervalos equidistantes no superiores a 1 metro con los siguientes campos:

- Fabricante del cable.
- Año de fabricación.
- Número de fibras seguido de las letras FO, según se indica en la siguiente tabla:

Tabla 12*Marcado de la cubierta del cable*

NÚMERO DE FIBRAS EN EL CABLE	MARCADO
16	16 G.652 FO
64	54 G.652 + 8 G.655 FO
128	112 G.652 + 16 G.655 FO

- Tipo de cable según denominación del fabricante, indicando tipo de cubierta interior - elemento de refuerzo - cubierta exterior (PKP).
- Metraje acumulativo (con error no superior al 1%), anteponiendo la inicial M.

2.10. Códigos de colores

2.10.1. Para las fibras

El código de colores que se seguirá para distinguir las fibras será el que se muestra a continuación:

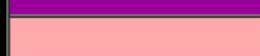
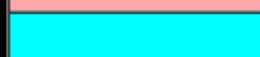
	1 = AZUL
	2 = NARANJA
	3 = VERDE
	4 = MARRON
	5 = GRIS
	6 = BLANCO
	7 = ROJO
	8 = NEGRO
	9 = AMARILLO
	10 = VIOLETA
	11 = ROSA
	12 = CELESTE

Gráfico 14 Código de colores utilizado

2.10.2. Para los tubos

Para los cables se utilizan los colores azul, naranja, verde y marrón que identifican cada tubo y el sentido de giro.

A continuación, se exponen los códigos de colores a utilizar para cada tipo de cable concreto:

Cable de 16 fibras ópticas

Cables de 48 fibras ópticas: contendrán un tubo azul, naranja, verde y marrón, del modo indicado a continuación:

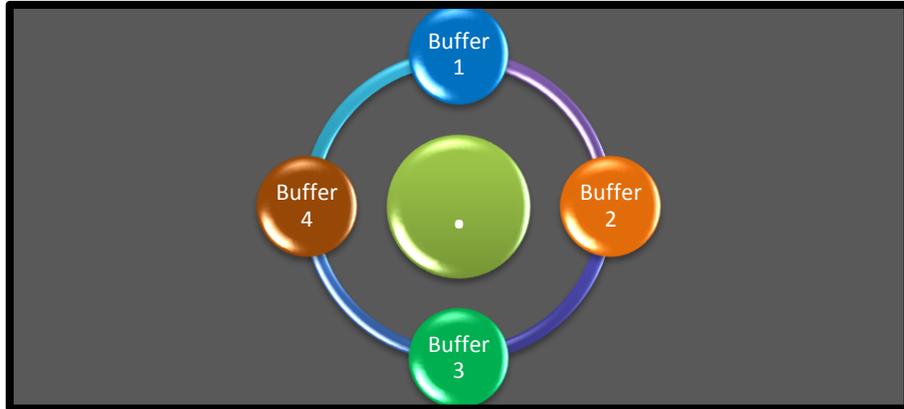


Gráfico 15. Código de colores del cable de 16 fibras

Tabla 13

Tubos y código de colores para el cable de 48 fibras

TUBOS	Nº de tubos	4
	Nº de fibras por tubo	12
CÓDIGO DE COLORES	Fibra nº 1: Azul Fibra nº 2: Naranja Fibra nº 3: Verde Fibra nº 4: Marron	

64 fibras ópticas

Cables de 64 fibras ópticas: contendrán dos tubos blancos, dos rojos, dos verdes, dos azules y dos blancos, del modo indicado a continuación:

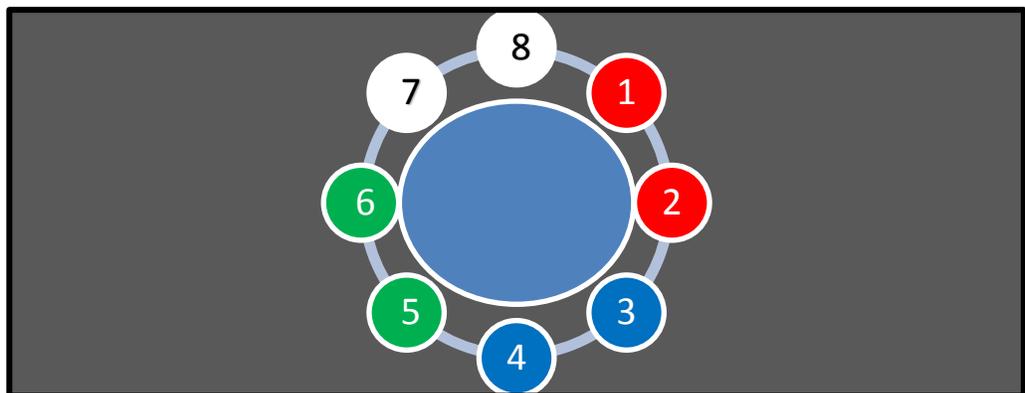


Gráfico 16 Código de colores del cable de 64 fibras

Tabla 14

Tubos y código de colores para el cable de 64 fibras

TUBOS	Nº de tubos	8
	Nº de fibras por tubo	8
CÓDIGO DE COLORES	Fibra nº 1: Verde	Fibra nº 5: Gris
	Fibra nº 2: Rojo	Fibra nº 6: Violeta
	Fibra nº 3: Azul	Fibra nº 7: Marrón
	Fibra nº 4: Amarillo	Fibra nº 8: Naranja

128 fibras ópticas

Cables de 128 fibras ópticas: contendrán cuatro tubos blancos, cuatro verdes, seis rojos y dos azules, del modo indicado a continuación:

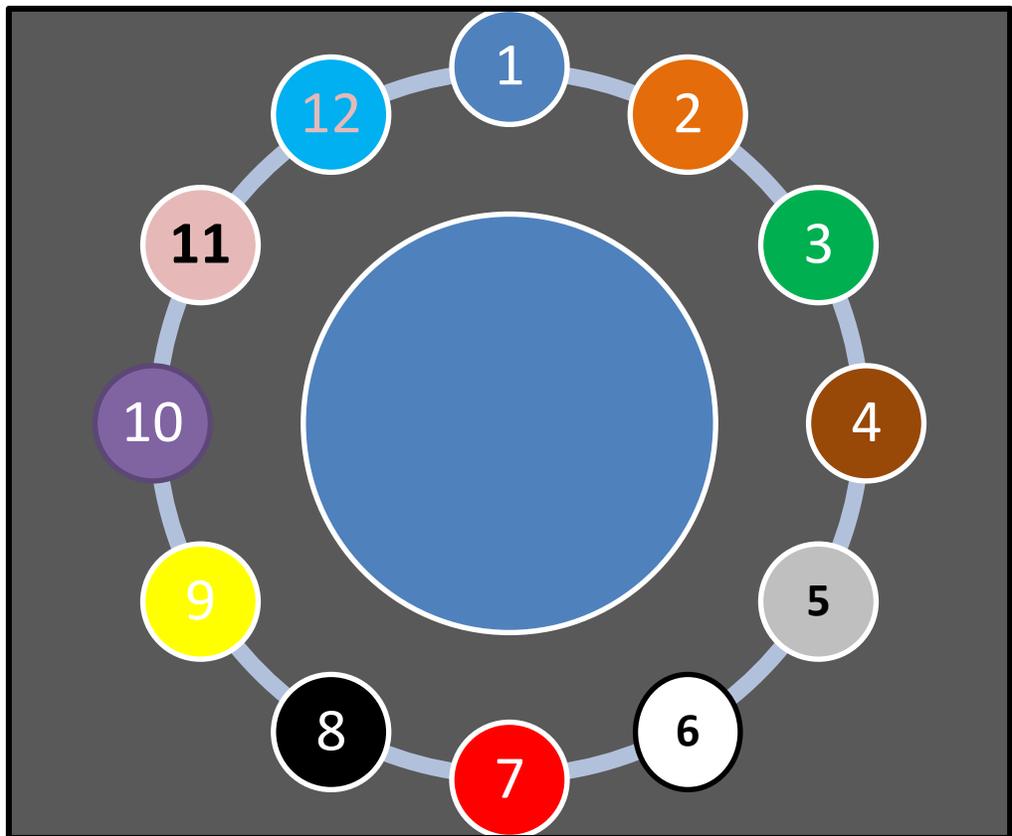


Gráfico 17 *Código de colores del cable de 128 fibras*

Tabla 15*Tubos y código de colores para cable de 128 fibras*

TUBOS	Nº de tubos	12
	Nº de fibras por tubo	8
CÓDIGO DE COLORES	Fibra nº 1: Azul Fibra nº 2: Naranja Fibra nº 3: Verde Fibra nº 4: Marrón Fibra nº 5: Gris Fibra nº 6: Blanco	Fibra nº 7: Rojo Fibra nº 8: Negro Fibra nº 9: Amarillo Fibra nº 10: Violeta Fibra nº 11: Rosado Fibra nº 12: Celeste

Estos colores se pintan con un material duradero y brillante que los hace fácilmente distinguibles.

2.11. Pérdidas y dispersión en fibra óptica

En telecomunicaciones se utiliza el decibel como unidad de medida para la potencia de una señal, es decir, la pérdida o la ganancia de un dispositivo está dada en decibelios (dB). Con frecuencia se llama atenuación a la pérdida de potencia, y produce una pérdida de potencia de la onda luminosa al atravesar el cable [3].

La atenuación tiene varios efectos adversos al funcionamiento de la fibra óptica, es decir, afecta en la rapidez de transmisión de información, la eficiencia y la capacidad general del sistema. Estos efectos que produce la atenuación dependen, del grado de pureza del material, de los tramos de fibra óptica instalada, de los grados de curvatura y de las técnicas de empalme o uniones entre las distintas partes del circuito óptico.

Por otra parte, la dispersión es el fenómeno por el cual un pulso se deforma a medida que se propaga a través de la fibra óptica, debido por las diferentes velocidades de transmisión, que llegan al receptor en distintos

instantes de tiempo. La dispersión se asocia con una limitación en el ancho de banda de la transmisión [9].

2.12. Conectores de fibra óptica

Los conectores se utilizan para conectar la fibra óptica a paneles o a dispositivos activos. De acuerdo al estándar ANSI/TIA/EIA 568-B.3, los conectores para fibras multimodo deben ser de color beige. Los conectores para fibras monomodo deben ser de color azul. Existen varios tipos de conectores, entre los más comunes se encuentran: ST (Straight Tip Bayonet Connector), SC (Subscriber Connector), FC (Fiber Connection), MPO (Multiple-Fiber Push-On/Pull-off) y LC (Lucent Conector) [2].

Se debe tener cuidado al manipular los conectores de fibra óptica. Los extremos del conector pueden rayarse fácilmente y causar más pérdidas en la transmisión. La suciedad o el polvo en el extremo del conector también son factores de cuidado. Cuando éstos no se utilizan, deben colocarse cubiertas protectoras en los extremos de los conectores, esto evitará que se acumule suciedad y los protegerá contra los rayones [10].

Las pérdidas que generan los conectores varían dependiendo el tipo, sin embargo, no debe ser mayor a 0.75 dB. Existen cordones de interconexión que intercambian tipos de conectores (SC-LC, LC- FC, etc.).

En el mercado existen dos tipos de conectores: los metálicos y los de plástico, que a su vez se pueden dividir en conectores para fibras múltiples y para fibras únicas. Los conectores de metálicos sirven para fibras de alta calidad, utilizadas en los sistemas de transmisión de un tráfico de información elevado, debiendo presentar muy bajas pérdidas. Los conectores de plástico requieren las mismas características de calidad, utilizándose en conectores de cubierta de plástico. Se usan con fibras de diámetro más elevado, con lo cual son más sencillos mecánicamente y, en consecuencia, más económicos.

Estos conectores, han de presentar unas características comunes:

- Pérdida de inserción baja (< 1.5 dB) y insensible a cambios de temperatura.
- Pérdida de retorno alta.
- Conectarse y desconectarse hasta 1000 veces sin degradación de la transmisión.
- Protección contra humedad y polvo.
- Resistir altas tensiones.

Algunos ejemplos de tipos de conectores que se usan actualmente son:

Conector FC (macho FC)

El conector FC “Fiber Connector” es un conector muy robusto utilizado principalmente en telecomunicaciones de larga distancia para aplicaciones de voz.



Gráfico 18. *Conector FC Multimodo-Monomodo.*

Es un conector muy usado en equipos técnicos y en laboratorios. Se atornilla en el adaptador: la fuerza y así el comportamiento óptico es dependiente del instalador.

Conector ST

El conector ST “Straight Tip” dispone de un mecanismo de sujeción en forma de bayoneta que fija la conexión al dar un cuarto de vuelta, disponible en versión multimodo y monomodo.

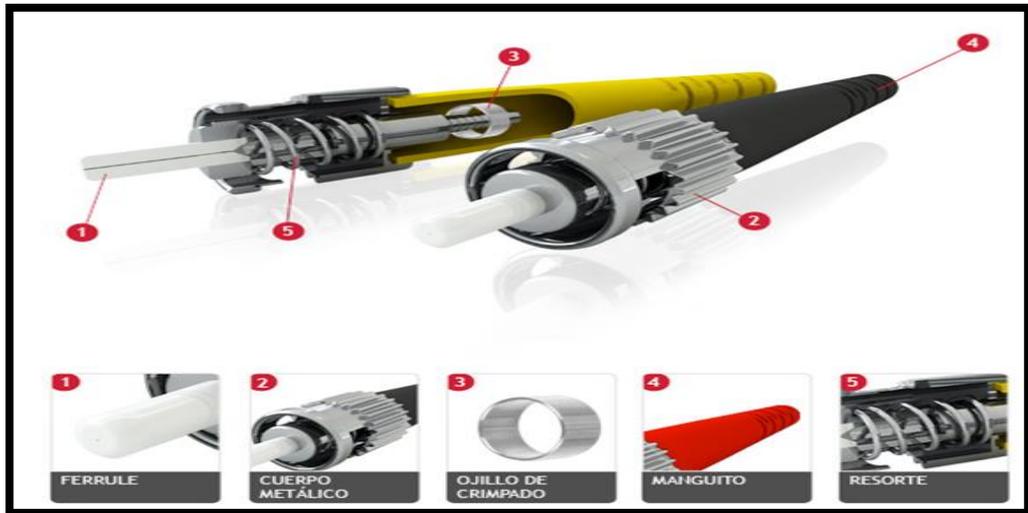


Gráfico 19. Conector ST.

En este conector, al insertar, el eje de la virola debe ser en línea con el eje de la manguita de la hembra.

Conector SC

El conector SC “Subscription Channel” es de encaje directo de tipo “Push Pull”. Disponible en estilo simplex y duplex, eliminando la necesidad de atornillar y destornillar conectores incrementando la densidad de puertos en un mismo espacio y reduciendo tiempo de conexión. Disponible en versiones Multimodo Simplex, Multimodo Light Simplex, Multimodo Duplex, Monomodo Simplex

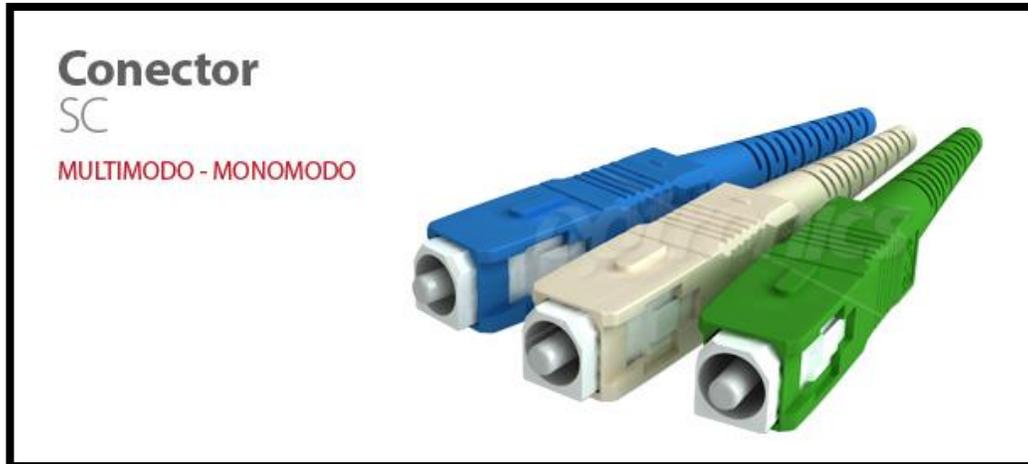


Gráfico 20. Conector SC Multimodo-Monomodo.

Es más utilizado en Europa y EEUU, Posee un indicador de final de la instalación mediante un `click'. Posee un comportamiento óptico muy estable, se puede conectar y reconectar muchas veces.

Conector LC

Es lo que se llama un conector `push- pull' (empuje- tire). Tiene obturador para impedir que la luz láser pueda llegar al ojo. Actualmente es muy popular.



Gráfico 21. Conector LC Multimodo-Monomodo.

Conector MTRJ

Tipo MTRJ El conector MTRJ “MT Ferrule, Register Jack latch” utiliza un “latching mechanism” similar al del conector RJ45, diseñado para sistemas de cableado horizontal y backbone, redes de área local y sistemas de telecomunicaciones.



Gráfico 22. Conector MTRJ Multimodo-Monomodo.

Conector MU

Es lo que se llama un conector `push-pull' (empuje- tire). Tiene obturador para impedir que la luz láser pueda llegar al ojo. Actualmente es muy popular



Gráfico 23. Conector MU Multimodo-Monomodo.

A continuación, en la siguiente tabla observaremos el nivel de pérdida de cada conector y sus aplicaciones.

Tabla 16

Nivel de pérdida de los conectores y aplicaciones.

Conector	Pérdidas de inserción	Repetibilidad	Tipo de fibra	Aplicaciones
FC	0,50 - 1,00 dB	0,20 dB	SM, MM	Comunicaciones de datos, Telecomunicaciones
FDDI	0,20 - 0,70 dB	0,20 dB	SM, MM	Redes de fibra óptica
LC	0,15 dB (SM), 0,10 dB (MM)	0,2 dB	SM, MM	Interconexiones de alta densidad
MT Array	0,30 - 1,00 dB	0,25 dB	SM, MM	Interconexiones de alta densidad
SC	0,20 - 0,45 dB	0,10 dB	SM, MM	Comunicaciones de datos
SC Dúplex	0,20 - 0,45 dB	0,10 dB	SM, MM	Comunicaciones de datos
ST	Tip. 0,40 dB (SM), Tip. 0,50 dB (MM)	Tip. 0,40 dB (SM), Tip. 0,20 dB (MM)	SM, MM	Edificios, Seguridad

2.13. Estándares para la instalación de fibra óptica

La mayoría de los estándares de cableado estructurado incluyen mejoras en: prácticas de tendido, seguridad, conexión y prueba de circuitos del cableado en telecomunicaciones, entre otras. Al instalar una solución de cableado basada en estándares, los trabajadores tendrán que aplicarlas, de lo contrario se puede limitar severamente la capacidad del enlace y disminuir su rendimiento.

Las cuatro organizaciones principales que emiten estándares son:

- IEEE - Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
- EIA - Asociación de Industrias Electrónicas
- TIA - Asociación de la Industria en Telecomunicaciones.
- ANSI - Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.

El estándar relacionado a la instalación de fibra óptica es ANSI/TIA/EIA-569-C, el cual hace referencia a espacios y canalizaciones para telecomunicaciones.

También el estándar ANSI/TIA/EIA-568-C.3, describe de los componentes del cableado de fibra óptica, incluyendo aspectos mecánicos, ópticos y requisitos de compatibilidad. Otro es ANSI/TIA/EIA 568-B.3, en el describe los empalmes de fibra óptica por fusión o mecánicos. A su vez el estándar ANSI/TIA/EIA 598-C describe el código de colores de la fibra óptica.

2.14. Especificaciones de parámetros de fibra óptica

Las mediciones típicas requeridas para caracterizar a los enlaces de Fibra Óptica son la Atenuación y la longitud de la fibra.

A diferencia del cableado UTP al cual hay que realizarle abundantes mediciones para caracterizar el enlace, en el caso de la fibra óptica, sólo una medición es necesaria para caracterizarla: ella es la atenuación. La longitud puede ser medida físicamente, o en el caso de fibras largas por medio del OTDR.

- Medición de la atenuación del enlace de Fibra Óptica.

Para la medición de la atenuación se usa un kit que cuenta con una fuente de energía óptica colocada a un extremo del enlace, y de un medidor de potencia colocado al otro extremo, determinando este medidor la potencia recibida y por consiguiente la atenuación.

En las fibras ópticas para LANs hay dos tipos de mediciones que se pueden realizar: Las pruebas de pérdida óptica OLTS y las OTDRs.

Las pruebas OTDR (Optical Domain Reflectometer - Reflectómetro del dominio óptico) son pruebas que requieren instrumentos mucho más sofisticados y permiten medir localización de rotura de la fibra, identificación

de conexiones defectuosas y medición de la longitud de la fibra, o sea, son mediciones para detección y localización de fallas. Estas pruebas son más comúnmente usadas para medir fibras monomodo debido a la mayor longitud y a los conectores usados. También pueden medir pérdida entre extremos, aunque estos medidores son menos precisos que los medidores de potencia óptica.

Ellos son poco usados en fibras multimodo debido a la menor cantidad de conectores (normalmente no más de 4) y a su menor longitud, de modo que son más fácilmente localizable el defecto.

Las pruebas de pérdida óptica OLTS (Optical Loss Test Set) permiten medir la atenuación del enlace requerida por las normas, por medio de una fuente óptica y de un medidor de potencia óptico.

La OLTS se basa en la medición de la pérdida de energía óptica de un extremo a otro del enlace óptico. Puede medirse la potencia transmitida, la potencia de la señal recibida o la pérdida del enlace. Las OLTS son pruebas relativamente económicas y las más usadas por el instalador de fibra óptica.

Para determinar el desempeño de una fibra óptica es necesario determinar la atenuación de la fibra a un mínimo de dos longitudes de ondas para asegurarse que la fibra cumpla con las expectativas de las tecnologías de redes más comunes. Las longitudes de ondas usadas por las redes LAN pueden ser 850, 1300 o 1550 nm y luego se comparan las lecturas con los valores límites fijados por las normas TIA 568A, la ISO 11801, la FDDI (1300 nm), la 10BaseF (850 nm), y otras.

Para certificación se determinan la Atenuación y la longitud del enlace. Ahora bien, hay que hacer una aclaración sobre la Atenuación. Normalmente, al realizarse la medición de atenuación, se determina la pérdida de potencia debido a las imperfecciones del tramo analizado, pero ese valor en sí no es un dato fiable para certificar que el enlace cumple con

los estándares. Esto es debido a que el valor relativo de atenuación no nos dice si una fibra corta y con muchos conectores es mala comparada con una fibra larga de pocas conexiones que presente igual valor de atenuación. Si bien, ambas fibras tienen igual valor de atenuación y caen por debajo de los límites mínimos, hay que distinguir en que la corta será de calidad inferior a la larga.

Para salvar esta dificultad de la relatividad del valor de atenuación, se debe determinar, en función de la configuración de ese enlace, el valor máximo OLB (Optical Link Budget).

El OLB es la suma de las atenuaciones permitidas por conectores, uniones (splice) y longitud de la fibra.

Las normas dan esos valores para los conectores, las uniones y la atenuación por km, de modo que, sumando las atenuaciones introducidas por cada conector o unión y la atenuación para la longitud del enlace, se puede saber cuál es la máxima atenuación permitida para ese enlace en particular. El valor leído por el instrumento de potencia óptica debe ser menor a ese OLB calculado.

Normalmente los instaladores no hacen esa determinación del OLB, lo cual dará una interpretación errónea de la lectura de atenuación, ya que puede certificarse como buena un enlace de fibra que en realidad de acuerdo a su configuración física no cumple dentro de los valores límites establecidos.

La TIA/EIA 568A y el ISO/IEC 11801 establecen la siguiente fórmula para determinar los valores límites máximos para cada enlace en particular:

$$OLB = \text{Atenuación del enlace} = \text{Coeficiente de atenuación del cable [dB/km]} \times \text{longitud del cable [km]} + (\text{número de conectores} \times \text{pérdida por conector [dB]}) + (\text{número de empalmes o uniones} \times \text{pérdida por empalme [dB]})$$

Cada norma da los coeficientes de pérdida para determinar esa expresión de acuerdo a las siguientes dos tablas.

Tabla 17

Coefficientes de atenuación del cable según tipo de fibra óptica

TIA/EIA-568-A

TIPO DE FIBRA	LONGITUD DE ONDA	COEFICIENTE DE ATENUACION DEL CABLE	PERDIDA POR CONECTOR	PERDIDA POR EMPALME
62.5/125	850 nm	3.75 dB/Km	0.75 dB	0.3 dB
62.5/125	1300 nm	1.55 dB/Km	0.75 dB	0.3 dB
50/125	850 nm	3.75 dB/Km	0.75 dB	0.3 dB
50/125	1300 nm	1.5 dB/Km	0.75 dB	0.3 dB
Monomodo	1310 nm	1.00 dB/Km	0.75 dB	0.3 dB
	1550 nm	0.23 dB/km	0.50 dB	0.1 dB

ISO/IEC 11801

TIPO DE FIBRA	LONGITUD DE ONDA	COEFICIENTE DE ATENUACION DEL CABLE	PERDIDA POR CONECTOR	PERDIDA POR EMPALME
62.5/125	850 nm	3.75 dB/Km	0.75 dB	0.3 dB
62.5/125	1300 nm	1.55 dB/Km	0.75 dB	0.3 dB
50/125	850 nm	3.75 dB/Km	0.75 dB	0.3 dB
Monomodo	1310 nm	1.00 dB/Km	0.55 dB	0.21 dB
	1550 nm	0.23 dB/km	0.50 dB	0.23 dB

(los valores de Atenuación corresponden a esa distancia. A distancias diferentes corresponden valores de atenuación diferentes).

Para clarificar, tomemos un enlace de 150 metros de Fibra Óptica de 62,5 μm a una longitud de onda de 850 nm y determinemos el OLB para ella.

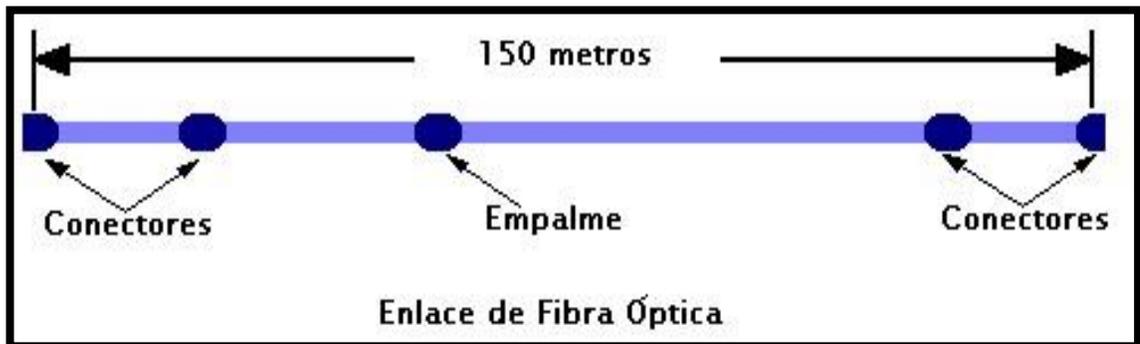


Gráfico 24. Enlace de fibra óptica de 150 metros con identificación de conectores y empalmes.

Tabla 18

Propiedades ópticas, geométricas y mecánicas conforme a UIT-T G.652, UIT-T G.653, UIT-T G.655, CEI 60793-2, ISO/IEC 11801 y EN 50173

		G.652.B ⁽¹⁾	G.652.C	G.652.D	G.653	G.655
Coeficiente Atenuación (dB/Km)	@ 1310 nm	≤ 0.38	≤ 0.38	≤ 0.34	≤ 0.50	≤ 0.40
	@ 1285 - 1330 nm	≤ 0.40	--	--	--	--
	@ 1385 nm	--	≤ 0.40	≤ 0.31	--	≤ 0.40
	@ 1550 nm	≤ 0.23	≤ 0.23	≤ 0.21	≤ 0.25	≤ 0.22
	@ 1525 - 1575 nm	--	--	--	≤ 0.27	--
	@ 1625 nm	--	--	≤ 0.24	--	≤ 0.25
Diámetro Campo Modal (μm)	@ 1310 nm	9.1 ± 0.3	9.2 ± 0.4	9.2 ± 0.4	8.4 ± 0.6	--
	@ 1550 nm	10.2 ± 0.4	10.4 ± 0.8	10.4 ± 0.5	--	8.4 ± 0.6
Dispersión Cromática (ps/nm.Km)	@ 1300 nm	--	--	--	≤ 20	--
	@ 1285 - 1330 nm	≤ 3	≤ 3	--	--	--
	@ 1550 nm	≤ 18	≤ 18	--	--	--
	@ 1525 - 1575 nm	--	--	--	≤ 3.5	--
	@ 1530 - 1565 nm	--	--	--	--	2.6 - 6.0
	@ 1565 - 1625 nm	--	--	--	--	4.0 - 8.9
Longitud Onda Dispersión Cero (nm)		≥ 1302 ≤ 1322	≥ 1302 ≤ 1322	≥ 1302 ≤ 1322	1550 ± 25	--
Índice de Refracción	@ 1310 nm	1.466	1.466	1.466	--	1.471
	@ 1550 nm	1.467	1.467	1.467	--	1.470
	@ 1625 nm	--	--	--	--	1.470
Área Efectiva (μm ²)	Típica	--	--	--	--	72
Longitud Onda Corte (nm)	Cable	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1350	≤ 1260
PMD (ps/√Km)	@ 1550 nm	< 0.5	< 0.5	< 0.1	--	< 0.1

$$OLB = 0,75 \text{ dB} \times 4 \text{ conectores} + 0,3 \text{ dB} \times 1 \text{ empalme} + 3,75 \text{ dB/km} \times 0,15 \text{ km} = 3,86 \text{ dB @ } 850 \text{ nm}$$

Tabla 19

Atenuación según la longitud de onda

Longitud	< = 90 m	91-1000 m	1001-2000 m	2001-5000 m
Atenuación @ 1310 nm	< = 2.0 dB	< = 3.0 dB	< = 3.3 dB	< = 4.7 dB

$$OLB == 3,86 \text{ dB @ } 850 \text{ nm según norma TIA}$$

2.15. Degradación de la señal en la fibra óptica

Las características de transmisión son de importancia primordial cuando se evalúa el uso de algún tipo de fibra. Las características de mayor interés son la atenuación (pérdidas de señal) y el ancho de banda.

Inicialmente el desarrollo de la fibra fue determinado por el tremendo potencial de las comunicaciones ópticas en lo que se refiere al ancho de banda de transmisión, pero la gran limitación venía fijada por las enormes pérdidas. De hecho, unos pocos metros de un bloque de vidrio eran suficientes para reducir la señal a niveles despreciables de señal.

El arranque de las posibilidades reales de la fibra surgió en 1970 cuando se anunció la consecución de una fibra con una atenuación de 20dB/Km., cantidad considerada la mínima para competir con las líneas de cobre. Desde entonces se han conseguido progresos considerables, las fibras comerciales tienen atenuaciones inferiores a 1dB/Km., algunas fibras especiales han llegado a 0.01dB/Km. lo que posibilita la transmisión a distancias razonables sin regeneración de la señal.

La otra característica importante a analizar es el ancho de banda real, éste nos determina el número de bits que pueden transmitirse por unidad de tiempo. Cuando se consiguió bajar la atenuación a valores aceptables se empezó a trabajar en dicho punto consiguiéndose anchos de banda de decenas de GHz. para distancias de varios km.^[8]

2.15.1. Atenuación

Es probable que la pérdida de potencia en un cable de fibra óptica sea la característica más importante del cable. Con frecuencia se llama *atenuación* a la pérdida de potencia, y se entiende como una pérdida de potencia de la onda luminosa al atravesar el cable. La atenuación tiene varios efectos adversos sobre el funcionamiento, que incluyen la reducción del ancho de banda del sistema, la rapidez de transmisión de información, la eficiencia y la capacidad general del sistema.

La fórmula normal con la que se expresa la pérdida total de potencia en una fibra es:

$$A_{(dB)} = 10 \log \frac{P_{sal}}{P_{ent}} \quad (2.1)$$

en la que:

$A_{(dB)}$ = reducción total de potencia (atenuación)

P_{sal} = potencia de salida del cable (watts)

P_{ent} = potencia de entrada al cable (watts)

En general, las fibras multimodo tienden a tener mayores pérdidas de atenuación que los cables monomodo, debido principalmente a la mayor dispersión de la onda luminosa, producida por las impurezas. La tabla 20 muestra la potencia de salida como porcentaje de la potencia de entrada para un cable de fibra óptica a distintos valores de pérdida en dB. Un cable con pérdida de 3dB reduce la potencia de salida a 50% de la potencia de entrada.

Tabla 20

Porcentaje de potencia de salida en función de la pérdida en dB.

Pérdida (dB)	Potencia de salida (%)
1	79
3	50
6	25
9	12.5
10	10
13	5
20	1
30	0.1
40	0.01
50	0.001

Aunque la pérdida total de potencia es de principal importancia, la atenuación de un cable óptico se expresa, en general, en dB de pérdida por unidad de longitud. La atenuación se representa con un valor positivo de dB, porque por definición es una pérdida. La potencia óptica, en Watts, medida a determinada distancia a una fuente de potencia, se puede calcular con la siguiente ecuación: [9]

$$P = P_t * 10^{-Al/10} \quad (2.2)$$

en la que

P = valor medido de la potencia (Watts)

P_t = valor de la potencia de transmisión (Watts)

A = pérdidas de potencia en el cable (dB/km)

l = longitud del cable (Km.)

De igual manera, la potencia óptica, en decibelios, es

$$P_{(dB)} = P_{(ent)}(dBm) - Al \quad (2.3)$$

en la que

P = valor medido de la potencia (dBm)

P_{ent} = potencia de transmisión (dBm)

A = pérdidas de potencia en el cable (dB/Km.)

Una vez que se sabe cómo se define la atenuación queda por conocer los mecanismos por los que ésta se produce. Estos mecanismos dependen de la composición de la fibra, la técnica de reparación y grado de pureza del material y la estructura de la fibra. Se dividen en áreas que incluyen la absorción del material, la dispersión del material (dispersión lineal y no lineal), pérdidas por curvaturas y micro curvaturas y pérdidas

por acoplamiento hacia modos no permitidos o con pérdidas. Cuando se analicen las pérdidas totales del sistema además se deberán tener en cuenta las debidas a empalmes y conectores. Estas áreas se resumen en el grafico 24.

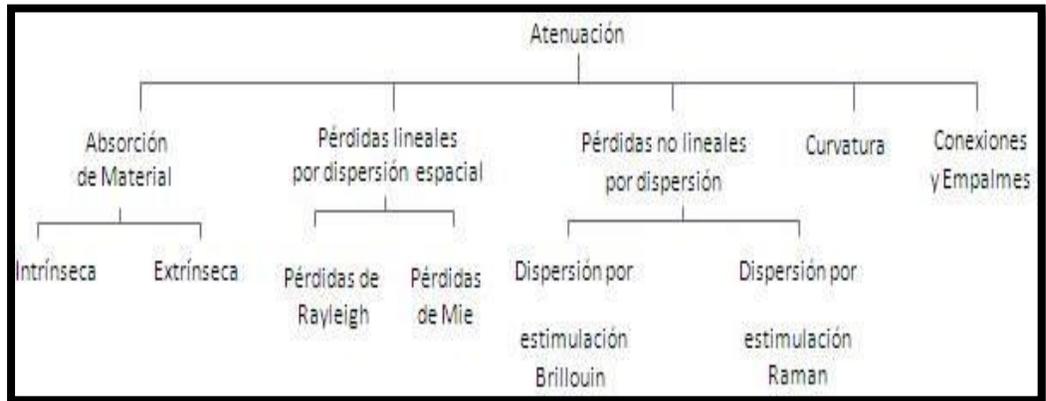


Gráfico 25 División de la atenuación según el factor que la produce³.

2.15.2. Pérdidas por absorción del material

Estas pérdidas son debidas a la composición de la fibra y al método de fabricación. La potencia perdida se transforma en calor en la fibra. La absorción puede ser intrínseca (causada por los componentes del vidrio) o extrínseca (causada por impurezas no deseadas).

Absorción intrínseca

Un vidrio de sílice tiene muy poca absorción debida a su estructura atómica en el rango espectral del infrarrojo cercano. Sin embargo, hay dos mecanismos de absorción intrínseca en otras zonas del espectro y que generan una absorción en el rango entre 0.8 y 1.7 μ m. Esto puede apreciarse en el grafico 25, donde se muestra la curva de atenuación en función de la energía del fotón y de la longitud de onda para un material sin ninguna impureza.

³ Tabla tomada de <http://www.iuma.ulpgc.es>

Se ven las colas de dos picos de absorción, uno fundamental situado en la zona ultravioleta que es debido a excitación electrónica (cambio de nivel de un electrón) y otro en el infrarrojo (alrededor de las 7 μm) que se produce por la interacción de los fotones con vibraciones moleculares. Estas absorciones son las relacionadas con enlaces como los siguientes: Si-O (9.2 μm), Ge-O (11.0 μm). La atenuación de las fibras para $\lambda > 1.5\mu\text{m}$ viene causada por las colas de estos picos.

Ambos picos de absorción, aunque lejanos de la zona de interés limitan la mínima atenuación que puede conseguirse.

Los efectos principalmente de la absorción debida a las vibraciones moleculares pueden limitarse. Por ejemplo, en algunos vidrios sin contenido en óxidos como los compuestos de fluoruros y cloruros tienen sus picos de absorción mucho más alejados de la zona de interés, por encima de las 50 μm , reduciendo mucho la atenuación producida por la cola del pico.

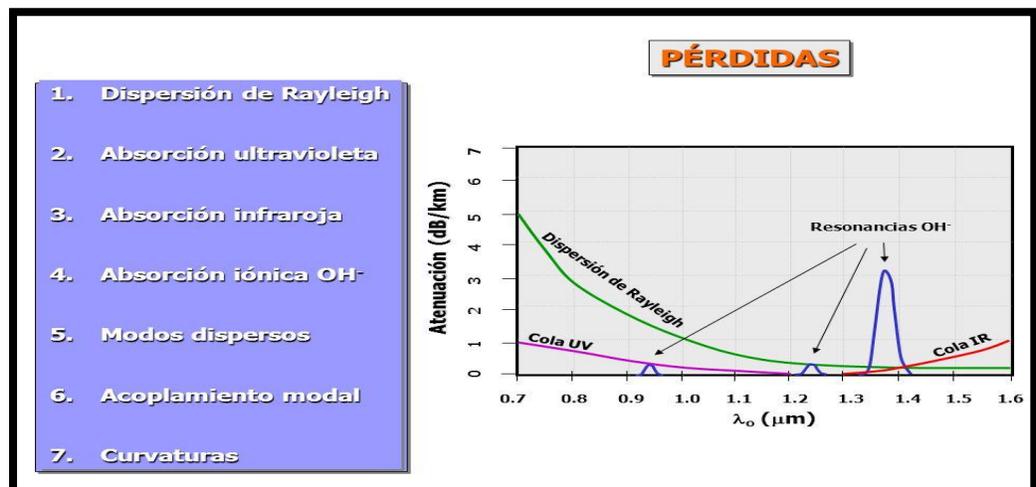


Gráfico 26. Espectro de atenuación teórico para los mecanismos de pérdidas intrínsecas en vidrios de $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$ ⁴

⁴ Figura tomada de <http://www.iuma.ulpgc.es>

Absorción extrínseca

En fibras comerciales fabricadas por medio de técnicas de manejo de material fundido las principales fuentes de atenuación son causadas por la absorción de materiales no deseados que son típicamente metales de transición. Algunas de las impurezas más típicas se muestran en la tabla 2.3, junto con la concentración necesaria para causar la mencionada atenuación. La contaminación por metales de transición puede reducirse a niveles de concentración de 10-10 mediante métodos como la oxidación en fase vapor que elimina gran parte de éste problema.

Otro problema relacionado con la absorción extrínseca es la causada por el agua (más concretamente el ión OH) disuelta en el vidrio. Este ión está ligado a la estructura del vidrio y tiene picos de absorción por vibración que pueden estar entre 2.7 y 4.2 μ m. dependiendo a que punto de la red del vidrio esté ligado. Estas vibraciones fundamentales dan sobre tonos que aparecen de forma armónica (como si de música se tratara) a 1.38, 0.95 y 0.72 μ m., como puede verse en el grafico 25. Además, aparecen combinaciones de los sobre tonos y las absorciones fundamentales del SiO_2 a 1.24, 1.13 y 0.88 μ m. con lo que se completa el grafico 26 Como todos los picos son bastante abruptos aparecen valles entre los picos en la zona de 1.3 y 1.55 μ m. donde la atenuación se reduce, aparecen lo que se han dado en llamar las ventanas de transmisión.

Tabla 21.

Tipos de impurezas. Pérdidas por absorción causadas por algunas impurezas metálicas ionizadas.

Impureza	Pico de Absorción (nm)	Atenuación (db/Km)
Cr^{3+}	625	1.6
C^{2+}	685	0.1
Cu^{2+}	850	1.1
Fe^{2+}	1100	0.68
Fe^{3+}	400	0.15
Ni^{2+}	650	0.1
Mn^{3+}	460	0.2
V^{4+}	725	2.7

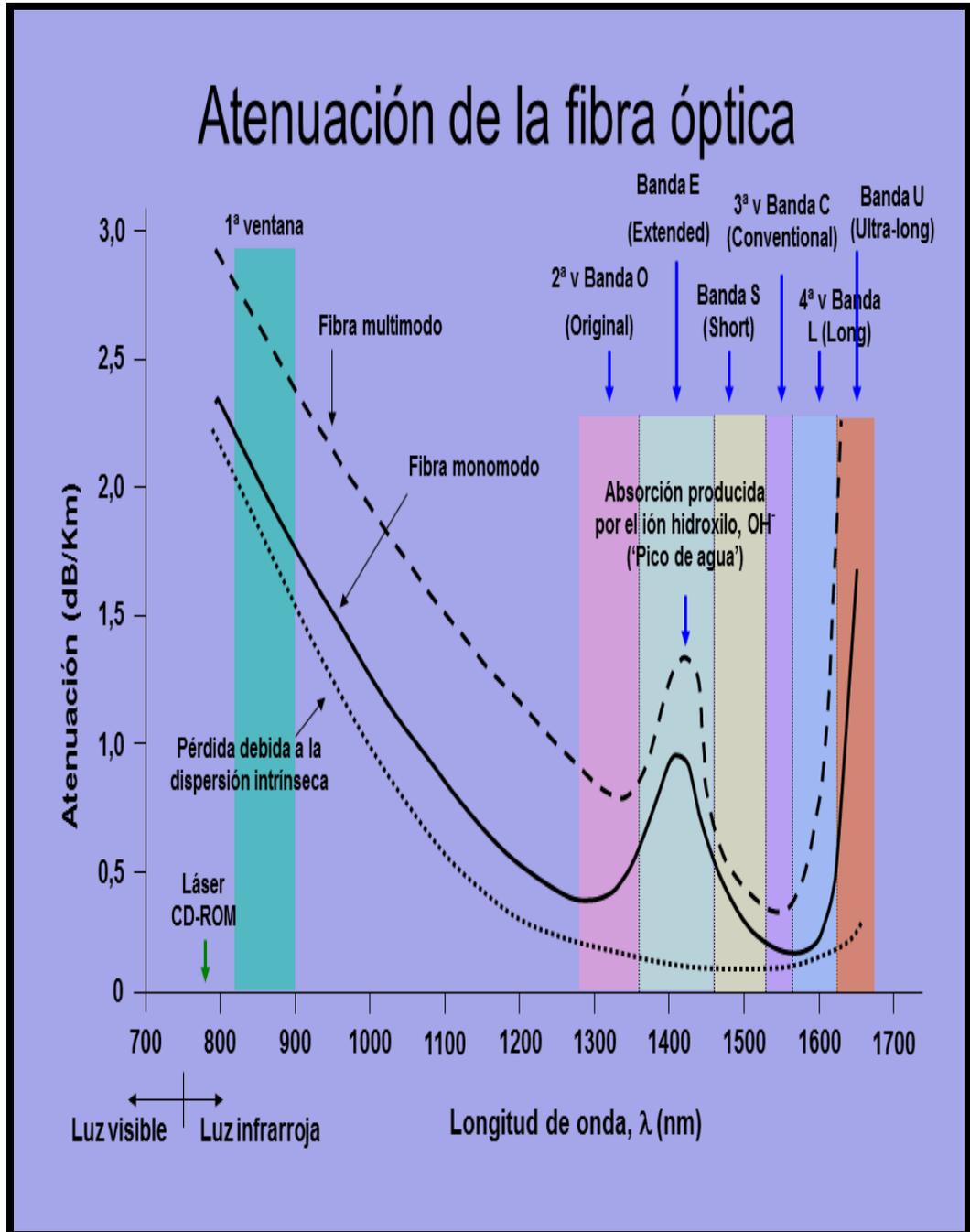


Gráfico 27 Espectro de absorción del ión OH^- en la sílice¹.

Hay tres ventanas, las dos anteriormente citadas más otra alrededor de $0.8\mu\text{m}$. Cuando en transmisión por fibra se habla de segunda ventana nos referimos a la transmisión en $1.3\mu\text{m}$. y en tercera ventana en $1.55\mu\text{m}$.

2.15.3. Pérdidas por curvas de la fibra óptica

Las pérdidas por curvatura como se puede ver en el gráfico N° 28 se producen porque los rayos de luz en el exterior de una curva pronunciada no pueden viajar con suficiente rapidez como para mantener el ritmo de los demás rayos, y se pierden. A medida que la luz recorre la curva, la luz del exterior de la misma debe viajar más deprisa para mantener una fase constante de la onda. Según se va reduciendo el radio de curvatura, se llega a un punto en que parte de la onda tendría que viajar más rápido que la velocidad de la luz. En ese punto, la luz del guía ondas se pierde. Las pérdidas por curvatura también pueden ocurrir en escala más pequeña. Curvas pronunciadas del núcleo de una fibra con desplazamientos de unos pocos milímetros o menos, causadas por la protección exterior de la fibra, la fabricación, el procedimiento de instalación, etc., pueden causar también pérdidas de potencia. Las cuales se denominan pérdidas por micro curvaturas y pueden ser significativas para grandes distancias.^[11]

Las micro curvaturas son pequeñas desviaciones y tortuosidades que por diversas causas presenta el eje de la fibra como se muestra en el gráfico N° 28, por ejemplo, cuando se aplica presiones irregulares a la fibra óptica después de su fabricación. Es necesario tener en cuenta este tipo de atenuación porque su causa es muy correcta y puede originar modificaciones de la atenuación de una fibra óptica cableada, respecto a los valores teóricos esperados que pueden superar todas las previsiones. En cambio, con un adecuado control de los procesos de fabricación, enfundado y cableado (incluso instalación) de la fibra óptica, se conseguirá mantener el coeficiente adicional de atenuación debida a micro curvaturas dentro de límites tolerables.^[12]

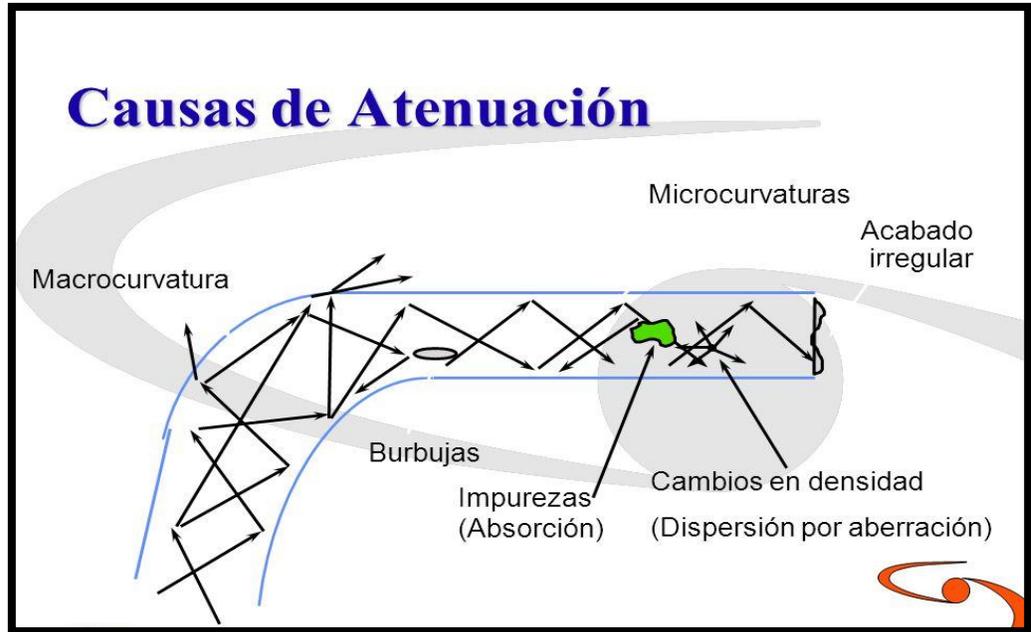


Gráfico 28. Pérdidas por curvaturas y micro curvaturas⁵.

2.15.4. Pérdidas por conexión y empalmes

En los cables de fibra pueden presentarse pérdidas por acoplamiento en cualquiera de los tres tipos siguientes de uniones ópticas: conexiones de fuente luminosa a fibra, conexiones de fibra a fibra y conexiones de fibra a foto detector. Las pérdidas en las uniones se deben, a uno de los siguientes problemas de alineación: des alineamiento lateral, des alineamiento de entrehierro, des alineamiento angular y acabados superficiales imperfectos. Estas imperfecciones se ven en el gráfico N° 29.

Des alineamiento lateral. Éste se ve en el Gráfico N° 29, y es el desplazamiento lateral o axial entre dos tramos de cables de fibra adjuntos. La cantidad de pérdida puede ser desde un par hasta varias décimas de dB, o hasta varios dB. Esta pérdida suele ser despreciable si los ejes de las fibras se alinean a menos de 5% del diámetro de la fibra menor.

⁵ Figura tomada de <http://www.yio.com.ar>

Des alineamiento de entrehierro. Éste se ve en el Gráfico N° 29, y a veces se llama *separación entre extremos*.

Cuando se hacen *empalmes* en fibra óptica, las fibras se deben tocar realmente. Mientras más alejadas queden, la pérdida de luz será mayor.

Des alineamiento angular. Éste se ve en el gráfico N° 28, y a veces se llama *desplazamiento angular*. Si el desplazamiento angular es menor que 2° , la pérdida será menor que 0.5 dB.

Acabado superficial imperfecto. Éste se ve en el gráfico N° 28. Los extremos de las dos fibras adjuntas deben estar muy pulidos y asentar entre sí. Si los extremos de las fibras están menos de 3° fuera de la perpendicular, las pérdidas serán menores que 0.5dB.^[9]

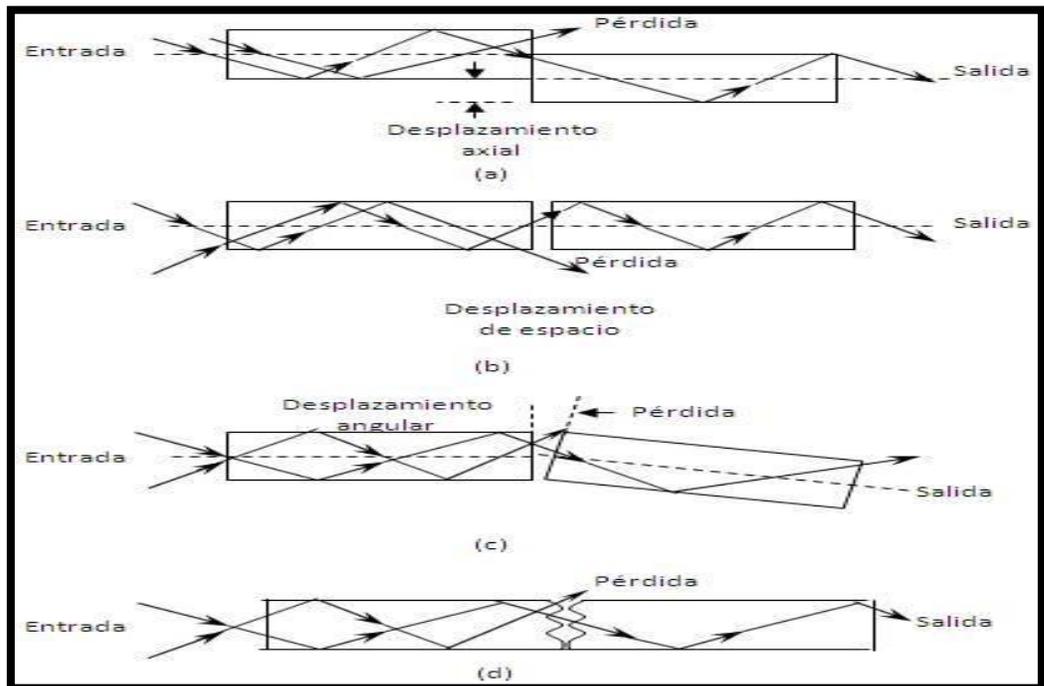


Gráfico 29. Defectos en el alineamiento de las fibras: (a) desalineamiento lateral; (b) desalineamiento de entrehierro; (c) desalineamiento angular; (d) acabado superficial⁶.

⁶ Figura tomada de <http://www.ub.edu.ar>

2.15.5. Dispersión temporal

La dispersión temporal de la señal óptica tiene los mismos efectos que para señales eléctricas, genera distorsión tanto en señales analógicas como digitales, es como pasar una señal a través de un filtro paso bajo. Si analizamos lo que le ocurre a una señal digital que se transmite como pulsos de luz a través de una fibra óptica los mecanismos de dispersión temporal ensanchan los pulsos según avanzan en la fibra. El fenómeno aparece representado en el gráfico N° 30 en la cual puede observarse cómo cada pulso se ensancha y acaba superponiéndose con sus vecinos llegando a ser indistinguible en la recepción. Este efecto se conoce como Interferencia entre Símbolos (en inglés ISI de Inter Symbol Interference), el número de errores en la recepción se incrementa cuando la ISI se incrementa. La dispersión temporal por si sola limita el ancho de banda para una longitud de fibra determinada cuando los símbolos ya no pueden separarse.

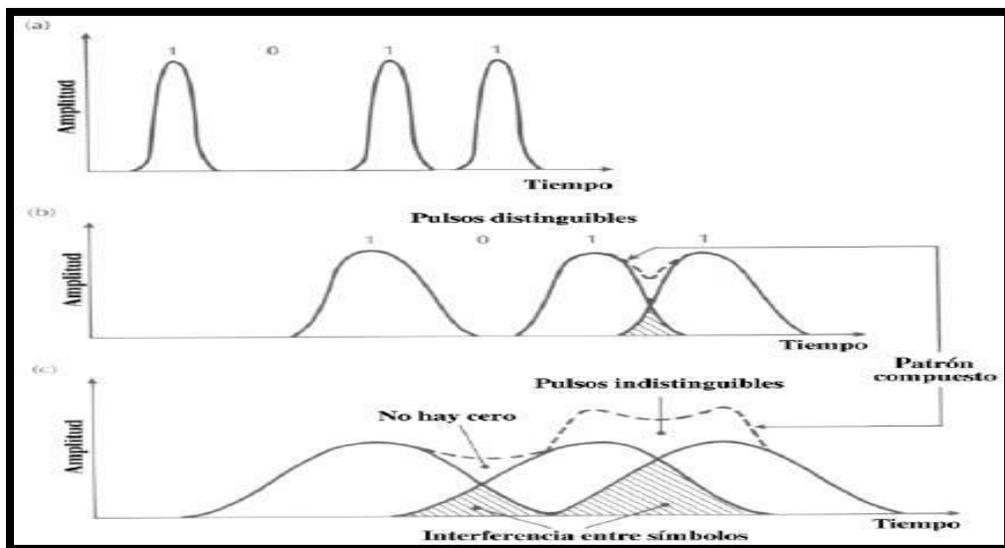


Gráfico 30. Representación esquemática del ensanchamiento de los pulsos de luz según se transmiten por la fibra óptica⁷.

⁷ Figura tomada de <http://www.iuma.ulpgc.es>

2.15.6. Dispersión temporal intramodal

La dispersión intramodal o cromática puede darse en todos los tipos de fibra y es debido a que el emisor óptico no es totalmente monocromático, sino que tiene un ancho de banda espectral. En el caso de los láseres el ancho de banda es pequeño, pero en los LED's ya es un porcentaje significativo respecto a la frecuencia central de emisión, este ancho de banda no nulo implica que puede haber diferencias en la velocidad de transmisión de cada una de las componentes espectrales de la señal. Las diferencias en la velocidad de transmisión ensancharán los pulsos de luz dentro de un modo, por ello se llama intramodal. Las diferencias en los retardos de las diferentes componentes cromáticas de cada modo pueden ser debidas a dos motivos, las propiedades dispersivas del material de la fibra (dispersión del material) y al guiado en la estructura de la fibra (dispersión de la guía-onda).

Dispersión del material

El ensanchamiento del pulso debido a la dispersión del material es el resultado de las velocidades de los distintos componentes cromáticos que forman parte del espectro del emisor. La velocidad de fase de una onda plana propagándose en el interior de la fibra varía de forma no lineal con la longitud de onda. El ensanchamiento del pulso debido a la dispersión del material puede obtenerse a partir del retardo de grupo t_g que es la inversa de la velocidad de grupo v_g .

Dispersión de la guía - onda

El fenómeno de guiado en el interior de la fibra también puede causar dispersión temporal. Es debido a la variación de la velocidad de grupo con la longitud de onda para un modo particular. Basándonos en la aproximación geométrica sabemos que un modo se define con el ángulo

que hay entre el rayo y el eje de la fibra. Si este ángulo se modificara al cambiar la longitud de onda tendríamos dispersión ya que los caminos recorridos serían distintos para cada longitud de onda.

Las fibras multimodo en las que los modos principales se transmiten lejos de la longitud de onda de corte están prácticamente libres de este fenómeno, de hecho, es despreciable frente a la dispersión del material. En las fibras monomodo el modo fundamental está cercano a la longitud de onda de corte y la dispersión de la guía-onda ya no es despreciable, aunque es difícil separar ambos tipos de dispersión de forma numérica.

2.15.7. Dispersión temporal intermodal o modal

El ensanchamiento de los pulsos debido a dispersión temporal intermodal, también llamada dispersión modal, es debida a los retardos de propagación entre distintos modos y por tanto no afecta a las fibras monomodo. Los distintos modos que constituyen un pulso lumínico tienen distintas velocidades de grupo y por tanto el ensanchamiento del pulso depende de las diferencias entre los tiempos de transmisión del modo más lento y más rápido. Este mecanismo genera la diferencia mayor en el comportamiento de las fibras. Las fibras multimodo sufren este fenómeno y entre ellas en mucha mayor medida las de índice abrupto, por tanto, a partir de ahora todos los comentarios irán dedicados a fibras multimodo.

El ensanchamiento en fibras graduales es mucho menor que el que se obtiene en fibras con índice abrupto, la relación entre ambas puede ser de 100. Esto implica que las fibras graduales tienen una gran ventaja por su mucho mayor ancho de banda.

2.15.8. Dispersión del modo polarizado

Un mecanismo que contribuye al ensanchamiento del pulso que se propaga por una guía onda óptica está relacionado con la birrefringencia de la fibra. Aunque el fenómeno viene caracterizado por magnitudes de

pequeño valor frente a la dispersión cromática, presenta gran importancia cuando se trabaja con fibras monomodo que tienen el cero de dispersión cromática en las proximidades de la ventana de trabajo. En fibras monomodo, las dos componentes del modo fundamental se encuentran polarizadas perpendicularmente entre sí como se puede apreciar en el gráfico 31.

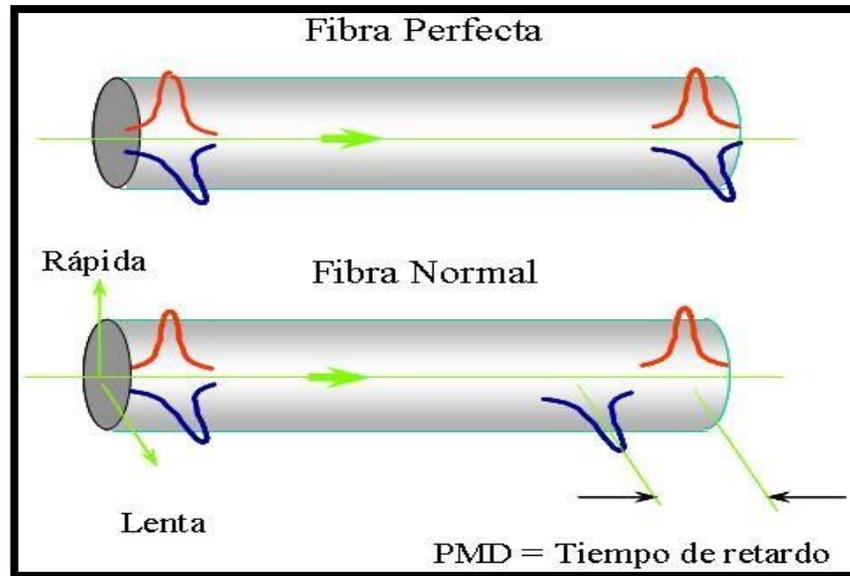


Gráfico 31. Representación gráfica de la Dispersión por Modo de Polarización⁸.
Tomada de www2.uah.es

Debido a las asimetrías del núcleo, es decir a no presentar exactamente el mismo índice de refracción ni el mismo diámetro, en las dos direcciones perpendiculares de cada componente del modo, estas se propagarán con velocidades de grupo diferentes y alcanzarán el extremo en tiempos distintos. Este fenómeno se conoce como dispersión del modo polarizado (PMD) y ha sido ampliamente estudiado en los últimos años, debido a su influencia en los sistemas que trabajan con amplificación óptica en la ventana de los 1550 nm. con fibras de dispersión desplazada (dispersión cromática casi nula en las longitudes de onda de trabajo).^[13]

⁸ Figura tomada de <http://www2.uah.es>

2.15.9. Ventanas de operación u ópticas

Como suma de todos los efectos enumerados anteriormente, si se mide la atenuación espectral que presenta una fibra óptica, se obtiene una curva similar a la reflejada en el gráfico N° 32. Aunque la forma sea similar para casi todas las fibras de sílice, la escala de atenuaciones dependerá de la naturaleza de la fibra: Proceso de fabricación empleado para obtenerla, materiales que contenga, estructura geométrica, etc.^[14]

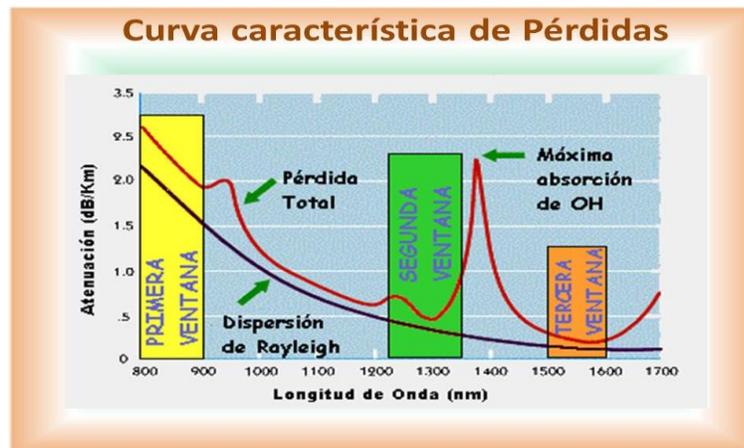


Gráfico 32 Pérdidas totales en función de la longitud de onda⁹.

Se ha descubierto por medio del análisis matemático y también a través de experimentos que en varios materiales existen las llamadas "ventanas ópticas". Esto significa que, a unas determinadas frecuencias, las ondas pasaran a través de esos materiales más fácilmente que a otras frecuencias (luminosas). Parece ser que, en el caso de las fibras ópticas, si tenemos frecuencias por encima de unas 1,28 micras (o en la región infrarroja), los efectos de dispersión y de las pérdidas de material debidas a la propagación de las ondas tienden a cancelarse unas con otras y crear "ventanas" (significando una transmisión a esas frecuencias realmente buena pues se han reducido las pérdidas en la fibra). Algunos

⁹ Figura tomada de <http://www ldc.usb.ve>

experimentos tienden a demostrar que trabajando en frecuencias aún mayores que las infrarrojas, se puede llegar a conseguir unas características de transmisión, incluso sobre distancias superiores que las que hasta ahora se habían alcanzado.

Lo que se desea es la "ventana" apropiada para que los rayos de luz puedan ser enviados a nuestros dispositivos entrada/salida y obtener las mejores características de computación, control y comunicación. Esto quiere decir que los dispositivos de salida deben ajustarse a la fibra óptica para la transmisión de las frecuencias de la luz apropiadas con la intensidad correcta, así como con el ángulo de entrada y la polarización adecuadas. El dispositivo de entrada debe ser diseñado de forma que acepte eficientemente esa polarización para asegurar un sistema lo más fiable, eficiente y de coste eficaz. ^[15]

Existen en el espectro tres ventanas de aplicación u ópticas:

- La ventana de 850nm que abarca desde 800nm a los 900nm. Los haces de luz en este rango tienen tonalidades rojas e infrarrojas y su potencia se considera como baja, la mayoría de los equipos de redes utilizan esta ventana. La fibra óptica multimodo trabaja con esta ventana.
- La ventana de los 1310nm que cubre desde los 1250nm hasta los 1350nm. Esta gama de luz es invisible y su potencia es alta, sólo los equipos de redes de excelente calidad o para cubrir largas distancias utilizan esta ventana. La fibra óptica monomodo trabaja con esta ventana y opcionalmente la multimodo.
- La ventana de los 1500nm que va desde los 1500nm hasta los 1600nm. Propiamente son emisiones láseres invisibles, su potencia se considera muy alta y sus aplicaciones comerciales se ven muy reducidas debido al alto costo de los equipos. Sólo la fibra óptica Monomodo soporta esta ventana. ^[16]

2.16. Empalmes y conectores de fibra óptica

En las instalaciones de sistemas de fibra óptica es necesario utilizar elementos de interconexión a modo de empalmes y conectores. A la hora de realizar estos empalmes y conexiones se debe procurar que las pérdidas sean lo más reducidas posibles. Se recurre al empalme cuando se quiere unir tramos de cable de fibra óptica en enlaces donde la distancia a cubrir es grande, utilizándose también para reparar cables ópticos ya instalados. Actualmente existen tres formas de realizar un empalme de fibras:

- Mediante un conector: Es totalmente desmontable, por lo que nos permite la conexión y desconexión repetitiva sin degradación de la transmisión. La única desventaja que esto tiene, es que la atenuación es mayor.
- Mediante fusión mecánica: une las fibras preparadas en un tubo ajustado de forma temporal.
- Mediante fusión térmica: Es un sistema permanente, el cual consiste en calentar hasta el punto de fusión las puntas preparadas de las dos fibras, las cuales se empalman con una máquina. Lo negativo de éste método es el coste que conlleva dicha máquina. ^[4].

Desde el año 1970 en que se fabricaron las primeras fibras ópticas con una atenuación de 20 dB/km. los sistemas de comunicaciones ópticas se han convertido en una realidad gracias a las continuas mejoras tecnológicas que han permitido alcanzar atenuaciones de 0,2 dB/km. Ahora bien, para aprovechar las bajas pérdidas de transmisión de las fibras ópticas resulta crucial el diseño óptimo de las tecnologías de conexionado de las mismas (empalmes y conectores).^[10].

Debido a que una bobina de cable de fibra óptica no llega a superar los 2Km de longitud, mientras que la distancia entre dos repetidoras o centrales

puede ser de 30 o 40Km, deben realizarse empalmes entre los tramos, entre cada final y los conectores. [23].

Los requisitos fundamentales que deben cumplir los distintos métodos de conexionado de fibras se pueden resumir en: reducida degradación de las propiedades de transmisión de la fibra (bajas pérdidas de conexión y/o reflexiones), alta fiabilidad de la conexión, manejo sencillo incluso para su realización en campo por parte de operarios e instaladores y, finalmente, bajo costo. El intenso trabajo de investigación llevado a cabo hasta el momento ha permitido satisfacer todos estos requisitos. [10].

2.16.1. Empalmes

En los empalmes de fibras ópticas, aseguramos una alta y estable calidad de transmisión en servicio, con un mínimo de mantenimiento, y sometidos a diferentes condiciones ambientales. La pérdida en los empalmes puede ser significativa, siendo especialmente muy sensible al ángulo de corte de los extremos de las fibras a empalmar y a la falta de acuerdo con el diámetro modal. Los empalmes se efectúan en un ambiente limpio, sin polvos en suspensión, bien iluminado, evitando en lo posible la exposición solar directa. La ejecución de los mismos debe ser realizada en el interior de un vehículo acondicionado especialmente para tal fin, así mismo se deja una cantidad suficiente de fibra en un arreglo holgado dentro de las cajas de empalmes, para rehacer eventualmente los mismos si las características finales no responden a las de aceptación. En los casos en que se utilicen sustancias químicas como agentes removedores (alcohol isopropílico, terpeno, dicloro metano) se efectúa una especial limpieza posterior, para evitar acciones residuales que podrían causar la degradación de la calidad del empalme.

Los empalmes se protegen convenientemente de acciones mecánicas y ambientales con los dispositivos adecuados como lo son las mangas termocontráctiles. Asimismo, se asegura que los radios mínimos de curvatura, en el arreglo de las fibras en las bandejas, se mantenga entre 60 y 75 mm. Para el empalme de una fibra se tienen en cuenta dos parámetros: la pérdida por empalme permitida y el número de intentos para realizar la unión con éxito. La atenuación por empalme ideal se encuentra entre 0,1 dB y 0.2 dB. [24].

2.16.2. Principales causas de pérdidas en empalmes

- **Pérdidas intrínsecas**

Dependen de la composición del vidrio, impurezas, etc., y no las podemos eliminar. Las ondas de luz en el vacío no sufren ninguna perturbación. Pero si se propagan por un medio no vacío, interactúan con la materia produciéndose un fenómeno de dispersión debida a dos factores:

Dispersión por absorción: la luz es absorbida por el material transformándose en calor.

Dispersión por difusión: la energía se dispersa en todas las direcciones. Esto significa que parte de la luz se irá perdiendo en el trayecto, y por lo tanto resultará estar atenuada al final de un tramo de fibra.

- **Pérdidas extrínsecas**

Son debidas al mal cableado y al empalme de la fibra.

Pérdidas por curvaturas. Se producen cuando le damos a la fibra una curvatura excesivamente pequeña (radio menor a 4 o 5cm) la cual hace que los haces de luz logren escapar del núcleo, por superar el ángulo máximo de incidencia admitido para la reflexión total interna.

También se dan cuando, al aumentar la temperatura y debido a la diferencia entre los coeficientes de dilatación térmica entre fibras y buffer, las fibras se curvan dentro del tubo.

Pérdidas por inserción. Es la atenuación que agrega a un enlace la presencia de un conector o un empalme.

Pérdidas de retorno o reflectancia. Es la pérdida debida a la energía reflejada, se mide como la diferencia entre el nivel de señal reflejada y la señal incidente, es un valor negativo y debe ser menor a -30 dB (típico -40dB). En ocasiones se indica obviando el signo menos. Un ejemplo de estas pérdidas se da en la siguiente tabla: [23]

Tabla 22

Pérdidas por inserción en los distintos tipos de conectores¹⁰.

Insertion Loss	< .2 dB tip < .3 dB max
Return loss PC	< -30 dB
Return loss Super PC	< -40 dB
Return loss Ultra PC	< -50 dB

2.16.3. Corte de la fibra

La calidad obtenida en el extremo de la fibra tras el corte afecta a las pérdidas del empalme posterior, resultando difícil obtener superficies pulidas mediante la técnica de empalme por fusión directa. Por este motivo, se han propuesto diversas técnicas de corte de fibras que no utilizan máquina de pulir. En cuatro de estas técnicas, a la fibra se le hace una muesca y posteriormente se dobla para realizar el corte. Entre las distintas posibilidades para producir dicha muesca se encuentran: un filo de cuchilla,

¹⁰ Tabla tomada de <http://www.yio.com.ar>

una descarga eléctrica, un alambre caliente o un láser de CO₂. Incluso existe otra posibilidad que consiste en realizar una muesca y tirar posteriormente de la fibra sin doblarla. De entre todos los métodos, el más ampliamente utilizado es el basado en la muesca con cuchilla o elemento similar y posterior doblez de la fibra.

2.16.4. Tipos de empalmes

- **Empalmes mecánicos y adhesivos**

Tanto los métodos mecánicos como la utilización de adhesivos para realizar el empalme de fibras no se basan en la generación de calor. Por lo tanto, ambos métodos presentan varios aspectos comunes en lo relativo al posicionamiento de las fibras. La técnica básica utiliza ranuras en V realizadas en distintos materiales, tanto duros como blandos (gráfico N° 33). En el caso de materiales blandos es posible realizar empalmes entre fibras de diferente diámetro, ya que el material se deforma para hacer coincidir los centros de ambos núcleos. El método usual de alineamiento que se utiliza es el fijo (alineamiento pasivo). Dado que ninguno de los dos métodos utiliza fusión, el posicionamiento de las fibras depende de la precisión del substrato y de su evolución con el tiempo. La clave se basa en un substrato preciso de baja pérdida y con fiabilidad a largo plazo. Existen multitud de materiales propuestos, tales como silicio, metales, plásticos y acero. Cuando el coeficiente de dilatación térmica del substrato es similar al de las fibras de sílice, resulta fácil eliminar la variación de las pérdidas con la temperatura y asegurar una fiabilidad a largo plazo.

Generalmente suelen emplearse materiales de adaptación entre las fibras en ambos métodos (mecánicos y adhesivos) para reducir las pérdidas del empalme y las reflexiones. Aunque las pérdidas del empalme no son sensibles al índice de refracción, la reflexión sí que resulta muy sensible. Por lo tanto, se necesita una adaptación de

índices muy precisa para suprimir las reflexiones. Cuando se requiere muy baja reflexión, también debe tenerse en cuenta la variación con la temperatura del índice de refracción del material de adaptación. Algunos.

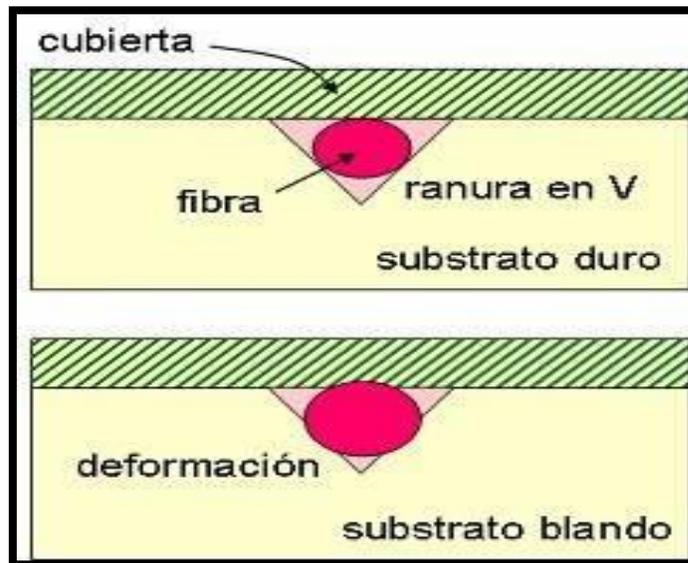


Gráfico 33. *Alineamiento de fibras mediante ranuras en V: sustratos duro y blando.*

ejemplos de materiales de adaptación serían el gel y resina de Silicio, adhesivos fotosensibles o resinas de epoxy. En el método de empalme basado en adhesivo se prefiere que éste sirva simultáneamente como material de unión y de adaptación.

Una unión mecánica utiliza una fuerza mecánica para mantener el alineamiento de las fibras, por lo que existe la posibilidad de volver a conectarse. No obstante, resulta generalmente bastante difícil en comparación con un conector óptico. Por otra parte, una unión adhesiva utiliza un material adhesivo para cumplir la función de mantener alineadas las fibras. En este sentido es similar a un empalme por fusión, dado que tiene la característica de ser permanente. Así pues, un empalme mecánico es similar a un conector óptico, mientras

que un empalme adhesivo es similar a un empalme por fusión. En el gráfico N° 34, 35 y 36 se muestran algunos ejemplos de empalmes mecánicos y adhesivos realizados con diversos materiales.

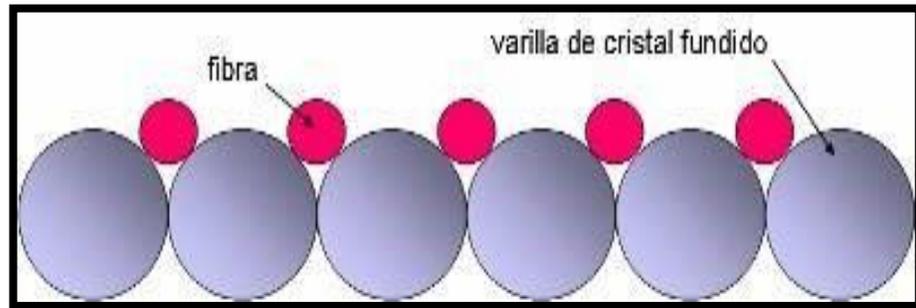


Gráfico 34. *Empalme de múltiples fibras utilizando varillas de cristal y adhesivos^c.*

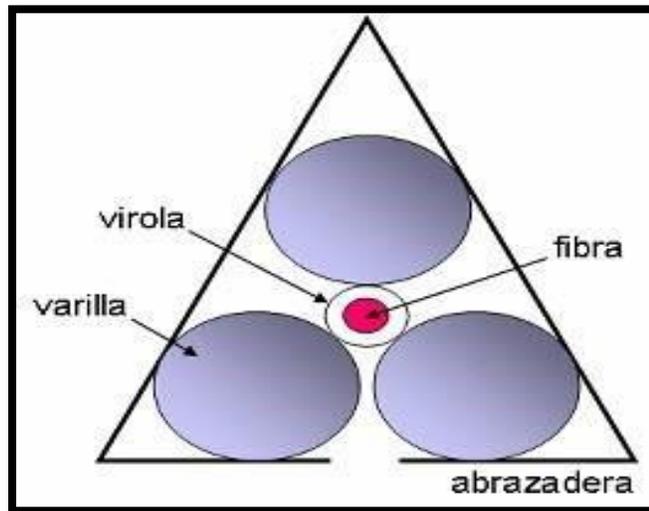


Gráfico 35. *Empalme mecánico mediante abrazadera y varillas^c.*

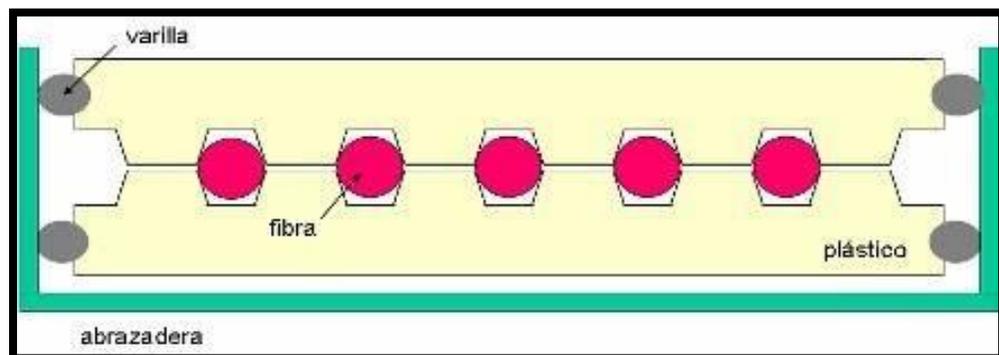


Gráfico 36. *Empalme mecánico mediante abrazadera y ranuras en plástico^d.*

- **Empalmes por fusión**

Empalme de fibras por fusión directa. Existen diversos métodos de empalme de fibras ópticas por fusión directa, todos ellos clasificados en base al tipo de fuente de calor utilizada: una descarga eléctrica, un láser gaseoso o una llama. El primero de ellos es el más ampliamente utilizado en el caso de fibras de sílice. En especial, se han desarrollado varias técnicas para realizar empalmes por medio de descarga eléctrica, tales como el método de prefusión, el método de descarga de alta frecuencia con un elevado voltaje de trigger (HHT), y el método de calentamiento uniforme para realizar empalmes de múltiples fibras.

Los métodos de empalme por fusión directa utilizan una fuente de calor para fundir y unir las fibras ópticas. A diferencia de otros métodos que utilizan materiales de adaptación o adhesivos, en este caso no existe ningún otro material más que la propia fibra en la región del empalme. Por lo tanto, este método posee inherentemente bajas pérdidas por reflexión y alta fiabilidad. El procedimiento de empalme de fibras por fusión utilizando descarga eléctrica se muestra en el gráfico 37.

En primer lugar, se quitan las cubiertas de las fibras y se cortan. Ambas fibras se sitúan con una cierta separación entre ellas en una máquina empalmadora de fibras y se pulsa un botón para comenzar el proceso. Hasta este punto el trabajo se realiza manualmente por parte de un operario. En el momento de pulsar el botón de la máquina, ésta comienza a mover las fibras para reducir la separación entre las mismas. Durante el movimiento de las fibras, se genera una descarga eléctrica que se mantiene durante un período de tiempo predeterminado. Este proceso tiene lugar de forma automática en la máquina empalmadora. Por último, la región donde se ha producido el

empalme se protege para facilitar el manejo de la fibra. Actualmente existen máquinas completamente automáticas que realizan todas las acciones: desde quitar las cubiertas hasta proteger el empalme.



Gráfico 37. Procedimiento de empalme de fibras por fusión.

Método de prefusión. Aparte de otros factores de pérdidas más comunes presentes al realizar empalmes, tales como desplazamiento lateral o inclinación, el único factor de pérdidas en el caso del método de empalme por fusión es la formación de burbujas confinadas entre ambos extremos de las fibras. Cuando se produce esto, las burbujas introducen elevadas pérdidas de unos pocos decibelios o incluso más. En los procedimientos de empalme anteriores a la existencia del método de prefusión, ambas fibras se presionaban ligeramente y posteriormente se fusionaban por medio de una descarga eléctrica. Sin embargo, cuando los extremos de las fibras no eran lisos se producían desplazamientos laterales y dobleces, además de una mayor

probabilidad de formación de burbujas como consecuencia del confinamiento de aire entre las superficies rugosas.

Precisamente para evitar todo esto se propuso el método de prefusión.

El procedimiento consiste en situar los extremos de ambas fibras con una separación de unas micras y posteriormente prefusionarlos con una descarga eléctrica, lo que produce unas superficies lisas. Entonces éstas se desplazan y presionan bajo la descarga. Tras tocarse los extremos, ambas fibras permanecen presionadas debido al movimiento. El calentamiento, por otro lado, continúa incluso una vez que ha cesado el desplazamiento. El tiempo de descarga para la prefusión es inferior a 1 segundo. Por otro lado, el tiempo global de descarga es de unos pocos segundos y para fibras monomodo resulta relativamente pequeño en comparación con el necesario para fibras multimodo. Con este método se obtienen bajas pérdidas en la región del empalme incluso para superficies no perfectas. Dado que es difícil obtener superficies perfectamente pulidas fuera del laboratorio, este método resulta beneficioso en la construcción de una máquina empalmadora para estos fines.

Método HHT. En la práctica existen dos tipos de descargas eléctricas que se clasifican en descarga de corriente continua (DC) y descarga de corriente alterna (AC). En general, una descarga AC se prefiere sobre una descarga DC. En el caso de una descarga DC solamente se gasta un electrodo, mientras que en la descarga AC se gastan simultáneamente y de forma simétrica los dos electrodos. El método HHT pertenece precisamente al grupo de descargas AC, y como se verá a continuación una descarga de alta frecuencia posee propiedades beneficiosas.

En el circuito de alimentación utilizado en el método HHT, un voltaje DC de entrada de 12 V se convierte a una señal pulsante de frecuencia 20-40 kHz mediante conmutación empleando dispositivos semiconductores. Estas frecuencias de trabajo son bastante comunes en el caso de circuitos de alimentación de potencia y existen gran cantidad de componentes semiconductores disponibles. El generador de disparo situado a la salida de un transformador y compuesto de diodos y condensadores se encarga de activar los electrodos de descarga.

Finalmente, existe un circuito de realimentación para el control de la conmutación.

2.16.5. Técnicas de alineamiento de fibras

Tanto los métodos de prefusión como de descarga estable son importantes para conseguir bajas pérdidas en los empalmes. Sin embargo, también resulta crucial un buen alineamiento previo de las fibras. Las distintas técnicas de alineamiento pueden clasificarse en fijas y móviles.

- **Técnica fija**

En la técnica fija las fibras no se desplazan lateralmente, sino que éstas se sitúan en posiciones predeterminadas. Éste método se conoce también como alineamiento pasivo y es ampliamente utilizado en las máquinas empalmadoras debido a su simplicidad. Cuando se utilizan fibras con una excentricidad de núcleo pequeña, este método es válido no sólo para fibras multimodo sino también para fibras monomodo. Dado que las tecnologías de fabricación de fibras han mejorado en la actualidad, es posible conseguir empalmes de varias fibras monomodo de forma simultánea con valores de pérdidas inferiores a 0,05 dB utilizando máquinas que emplean esta técnica.

- **Técnica móvil**

En las técnicas móviles las fibras se desplazan lateralmente hasta obtener posiciones precisas previamente a la descarga. Este método se conoce también con el nombre de alineamiento activo. Hasta la fecha se han propuesto múltiples técnicas para realizar el alineamiento, especialmente durante las primeras fases de desarrollo de los empalmes de fibras monomodo, las cuales presentaban una elevada excentricidad en el núcleo en comparación con las fibras actuales.

Técnicas de monitorización de la potencia óptica. Se basa en la medida de la potencia óptica transmitida para realizar el alineamiento. Existen tres posibilidades dependiendo de los puntos del sistema que se utilizan para realizar la medida. Tanto la inyección como la detección de potencia se realizan en la mayoría de los casos por medio de la curvatura de la fibra.

Métodos Visuales. Son otras de las técnicas no fijas de alineamiento de fibras. En una de las técnicas se utiliza un microscopio para observar en una dirección o en dos direcciones perpendiculares los diámetros exteriores de las dos fibras. Para observar las dos direcciones se coloca un espejo cerca de las fibras. La imagen aumentada puede verse directamente o indirectamente, en este último caso a través de un monitor de TV y una cámara. Dado que para el alineamiento se utiliza como referencia el diámetro exterior de las fibras, esta técnica es poco eficiente en el caso de fibras monomodo con excentricidad en el núcleo. Para ello debería utilizarse algún método de monitorización directa del núcleo, como, por ejemplo: el uso de la fluorescencia de un núcleo de sílice dopado con Germanio y excitado con luz ultravioleta, el uso de un microscopio de contraste por interferencia diferencial, el uso de un divisor de haz y luces inyectadas en ambas direcciones o el uso de un microscopio ordinario.

Técnica de sensado de luz. También pertenece al conjunto de técnicas móviles. En esta técnica se detectan las posiciones de las fibras en dos direcciones perpendiculares por medio de dos sensores de luz por cada fibra, por lo que son necesarios cuatro sensores en total.

En las técnicas móviles resulta imprescindible la presencia de mecanismos muy precisos para realizar los movimientos finos que se precisan durante el alineamiento. Algunos mecanismos propuestos consisten en una plataforma móvil de precisión controlada por un motor, un dispositivo piezoeléctrico o un dispositivo de deformación elástica. Las características de linealidad en el movimiento, desplazamiento máximo y tamaño dependen de la técnica de alineamiento y del diseño de la máquina empalmadora.

2.16.6. Protección del empalme

Generalmente la cubierta de las fibras se elimina previamente a la realización del empalme. Durante el proceso consistente en eliminar las cubiertas, cortar las fibras y situarlas en la máquina empalmadora, e incluso en el proceso de calentamiento, se producen grietas en las fibras que debilitan su resistencia. La resistencia de las fibras tras realizar un empalme se reduce en un 10% aproximadamente, por lo que se hace necesaria la posterior protección de la zona tratada.

A la hora de seleccionar un método de protección se deben considerar factores tales como:

fiabilidad (variación de las pérdidas de empalme y rotura), facilidad de manejo y coste. Cuando el método de protección o su diseño no es bueno, las pérdidas del empalme sufren gran variación con la temperatura. Si por el contrario se realiza de forma adecuada, las pérdidas varían tan sólo 0,02 dB para rangos de temperatura desde -30 °C hasta +60 °C. De entre

los distintos métodos de protección utilizados destacan: una ranura con forma de V (V-groove) de plástico con cubierta, un par de láminas de cristal cerámico, un tubo que se contrae con el calor junto con una varilla de acero o un molde de plástico. Finalmente, para la sujeción se utilizan como adhesivos una reacción química, la fundición del material o resinas fotosensibles. Un ejemplo de protección se muestra en la figura 4.6, las mangas termocontráctiles son las más comúnmente utilizadas en los empalmes por fusión. ^[10]



Gráfico 38. *Mangas termocontráctiles*¹¹.

2.16.7. Cajas de empalme

Los empalmes exteriores se protegen dentro de una caja de empalme, la cual posee en un extremo unos tubos cerrados que se cortarán en su extremo por donde deba pasar un cable, para luego sellarse con termocontraíbles. La caja posee una tapa o domo que se cierra sobre la base con una abrazadera sobre un o-ring. Sobre el domo se encuentra la válvula de presurización. En la base se encuentran las borneras para sujetar los elementos de tracción de los cables y la puesta a tierra que también asoma al exterior de la caja. También están las bandejas donde se sitúan la reserva de FO desnuda y los empalmes. Del otro lado de las

¹¹ Figura tomada de <http://www.radioptica.com>

bandejas hay espacio para situar la reserva (ganancia) de buffers aunque puede existir una bandeja para tal fin.



Gráfico 39. Caja de empalmes¹².

2.16.8. Distribuidores para centrales

En cada extremo de un enlace de FO se encuentran los distribuidores en donde se empalma cada fibra a un cable de una fibra con conectividad, denominado PIGTAIL. Estos están numerados y se conectan a uno de los extremos de un acoplador fijado al gabinete, a donde luego se conectarán los jumpers de los equipos de transmisión o de los medidores. Poseen tapas atornilladas para tapar los conectores y además unos cassettes o bandejas donde residen los empalmes y la reserva. Tienen además borneras de sujeción para los elementos de

¹² Figura tomada de <http://www.yjo.com.ar>

tracción del cable o boquillas cónicas para sujetarlo. Van atornillados en rieles arriba y abajo en el "vertical", o en un rack.^[23].

2.16.9. Máquinas de empalme de fibras

Existen disponibles comercialmente multitudes de máquinas de fácil manejo para realizar automáticamente el empalme de diversos tipos de fibras ópticas: monomodo, multimodo, fibras de dispersión desplazada, fibras mantenedoras de polarización, etc. La mayoría emplean los métodos de prefusión y HHT para realizar la unión. Para su funcionamiento disponen de una pequeña batería interna de 12 V o de conexión a la red. En la figura 4.8 se muestra un ejemplo de una de estas máquinas y en la tabla 4.2 se resumen sus principales características.^[10]



Gráfico 40. Máquina empalmadora RSU 12 de Ericsson.

Tabla 23*Características de la máquina empalmadora RSU 12 de Ericsson¹³*

Tipos de Fibra	<ul style="list-style-type: none"> • Monomodo, Multimodo y DSF • Una sola fibra 125/250 μm o una cinta de fibras (hasta 12) 125/900 μm
Pérdidas típicas de empalme	0.005 dB para cinta de 12 SMF's
Posicionamiento de fibras	<ul style="list-style-type: none"> • Ranuras en V fijas para alineamiento radial • Motores de alta precisión para alineamiento axial
Alimentación	100-200 VAC, 50-60 Hz, batería adicional o conexión a la del coche (12 VDC)
Entorno de operación	0-45°C, humedad máxima 98% RH no condensada
Monitor	6.5" TFT
Tamaño	223x346x165 mm.
Peso	5.3 kg.

2.16.10. Realización de un Empalme

- **Preparación de las puntas de la fibra**

Para comenzar con la preparación se corta el cable dejando la longitud apropiada de acuerdo al tipo de empalme a realizar. Desde el extremo del cable se mide una longitud de 1.5m, se efectúa un corte en forma circular y transversal al cable en todo el espesor de la cubierta externa. Las cintas de ligadura y envoltura del núcleo se cortan, y una vez eliminado el

¹³ Figura tomada de <http://radioptica.com>

compuesto de relleno se procede a secar los tubos. Finalmente se procede a identificar las ataduras que contienen las fibras.

- **Preparación de caja de empalmes**

Comprende las operaciones de apertura de la caja, remoción de bandejas, selección de bocas de entrada y salida para los cables, remoción de obturadores de bocas, etc. Se procede con la fijación de los cables, según se trate de un cable cortado o una sangría para un empalme de derivación. En el caso de cable cortado, se suplementa la cubierta del cable en el extremo, para lograr su adaptación al tamaño de la brida de sujeción, sí el diámetro fuera menor al de la brida, y se adaptará también a la altura de la boca de obturación. Se sujeta el cable con la brida y se anclan las fibras y los elementos de refuerzo. En caso de existir más cables se repetirán las operaciones detalladas. Sí se hiciera un empalme con sangría, se retirarán tres metros de cubierta externa e interna evitando dañar los tubos, usando el pelador de cubierta. Se cortarán del mismo modo las fibras a 30cm. y se trenzarán. Los dispositivos que servirán de fijación a los tubos de fibras sin cortar, los acondicionamos luego en el interior.

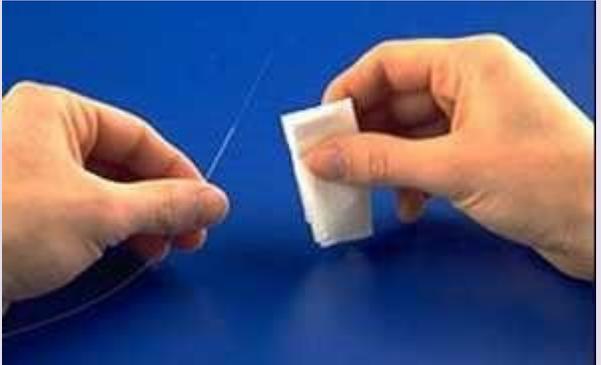
- **Ejecución y cierre de empalmes por sistema de fusión**

Antes de proceder al empalme de las fibras, distribuimos uniformemente los tubos en las bandejas. Se eliminan hasta unos 2cm. hasta el punto de fijación en la bandeja, removiendo por lo menos 20cm. y dejando las fibras al descubierto con su primera protección. Se realiza la limpieza de las fibras con alcohol. Una vez fijados los tubos ejecutamos los empalmes por fusión. Las fibras se cortan utilizando un "cleaver", que asegura una buena calidad de corte. Se colocan las fibras dentro de la máquina de

empalmar para lograr la alineación correcta, tomando como referencia el núcleo de la fibra. El equipo mencionado permite esta precisa alineación, utilizando ópticas de aumento. El empalme es asistido a su vez por una cámara controlada por computadora y un procesado de imagen, de esta manera se asegura la calidad final del mismo. Una vez unida, se coloca una manga termo contráctil o tubito de soporte, en las partes desnudas de la fibra empalmada. El equipo se encarga también de contraer esta manga, a través de un horno dispuesto en el frente del mismo. También realiza un test de tracción. El empalme es sometido a 200gr. de tracción para comprobar su robustez. Este procedimiento se puede ver ilustrado paso a paso en la figura.

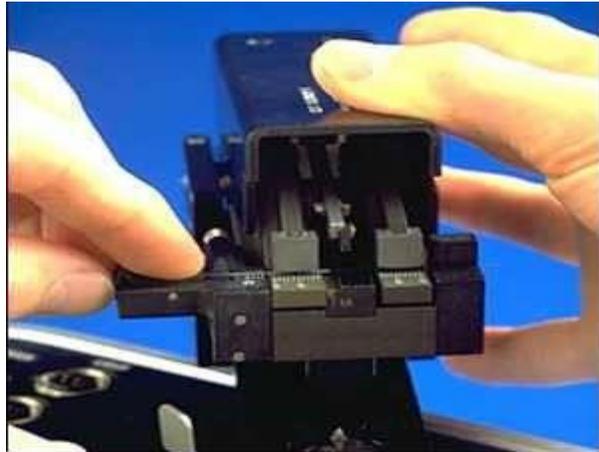
Tabla 24

Proceso de fusión de fibra óptica

<p>Con una pinza especial (125 u) se pela unos 5 cm de coating (color)</p>	 A close-up photograph showing a person's hands using a pair of special tweezers to strip the outer coating of an optical fiber. The fiber is held taut, and the tweezers are positioned to peel away a section of the coating. The background is a solid blue color.
<p>Se limpia con un papel suave y húmedo con alcohol isopropílico</p>	 A close-up photograph showing a person's hands cleaning the stripped end of an optical fiber. A small, white, rectangular piece of paper is being used to wipe the fiber's surface. The fiber is held taut, and the paper is held against it. The background is a solid blue color.

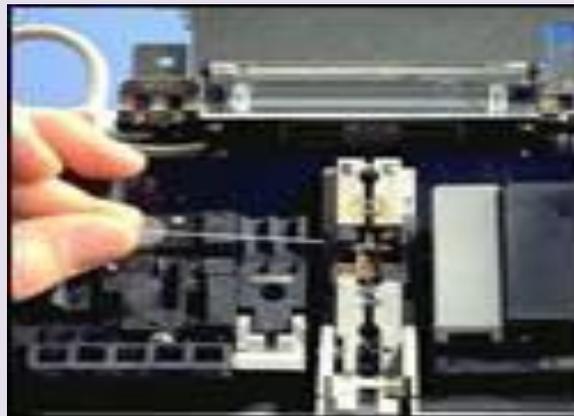
Se corta la fibra a unos 8 a 16mm con un cutter o cleaver, con hoja de diamante, apoyando la fibra dentro del canal, haciendo coincidir el fin de la cubierta con la división correspondiente a la medida.

Una vez cortada, la fibra no se vuelve a limpiar ni tocar.



Cuidando que la fibra no contacte con nada, se introduce en la zapata de la empalmadora, sobre las marcas indicadas.

Repetir el procedimiento con la otra fibra.



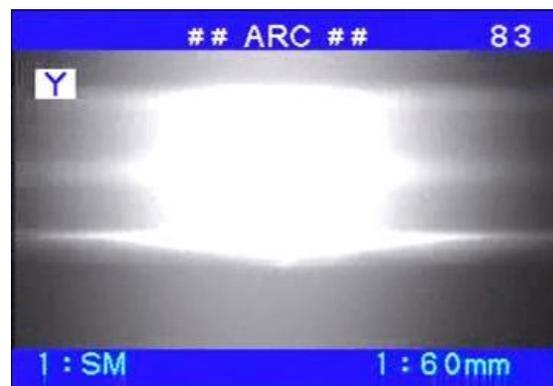
En el display se verán las dos puntas, pudiéndose observar si el ángulo es perfectamente recto, sino fuera así la máquina no nos permitiría empalmar.



Presionando el botón de empalme, estando la empalmadora ajustada en automático, la misma procederá a alinear en los ejes x e y, y a acercar las puntas a la distancia adecuada.



Una vez cumplido esto, a través de un arco eléctrico dado entre dos electrodos, aplicará una corriente de prefusión durante el tiempo de prefusión, y luego una corriente de fusión durante el tiempo de fusión.



Luego hará una estimación (muy aproximada) del valor de atenuación resultante.



2.17. Mediciones y procedimientos

2.17.1. Testeo de Empalmes

Como regla general, todas las mediciones reflectométricas se llevan a cabo en las ventanas de 1310nm y 1550nm. Las mediciones en la segunda ventana, permiten la evaluación de la instalación, mientras que la que se llevan a cabo en la tercera ventana demostrarán el impacto de las tensiones residuales y curvaturas en la fibra, lo que permite detectar defectos en la instalación. La tolerancia en la longitud de onda de trabajo del equipo es de 35nm para la segunda y tercera ventana. Cuando se analizan atenuaciones, las mismas son llevadas a cabo en ambas direcciones donde el valor real será la media aritmética en ambas direcciones. Si no conocemos el valor del índice de refracción, el valor adoptado es 1.4650.

2.17.2. Aceptación del empalme

Se entiende por sección a toda longitud de cable óptico comprendido entre dos terminaciones a nivel del distribuidor de fibra óptica o Patch Panel. La pauta de aceptación debe ser respetada para cada fibra óptica a nivel de sección. El valor de atenuación medio de todos los empalmes de fibra óptica no puede superar los 0.15dB.

El valor máximo de atenuación aceptado por empalme es de 0.2dB. Si el valor de atenuación del empalme resulta mayor de 0.2dB, el mismo se rehace hasta un máximo de tres intentos.

Todas las medidas de atenuación se efectúan en las longitudes de onda de 1310nm y 1550nm y en ambos sentidos, se considera como valor absoluto de pérdida el promedio obtenido en ambas mediciones.

2.17.3. Prueba de aceptación de empalme del distribuidor de fibra óptica

Dos tipos de configuraciones son diferenciados según utilicemos cable de acometida para terminaciones en edificios o se realice directo del cable exterior al distribuidor de fibra óptica debido a razones de implementación.

- ✓ *Acceso al edificio por medio de cable de acometida.* En esta configuración se entiende por conexión en el ámbito de distribuidor de fibra óptica al conjunto de discontinuidades de pérdida, formado por la pérdida intrínseca del conector, el empalme de unión pigtail-cable de acometida y el empalme de unión cable de acometida-cable exterior. La pérdida global no deberá ser superior a 0.8dB, considerando el promedio resultante de las mediciones efectuadas en ambos sentidos, a la longitud de onda de 1550 nm.
- ✓ *Acceso al edificio por medio del cable exterior.* En esta configuración, se entiende por conexión a nivel del distribuidor de fibra óptica al conjunto de discontinuidades de pérdida formado por la pérdida intrínseca del conector y el empalme de unión pigtailcable entrante. La pérdida global no deberá ser superior a 0.7dB, considerando el promedio resultante de las mediciones efectuadas en ambos sentidos, en las longitudes de onda de 1310nm y 1550nm.

Para la medición deberán utilizarse dos bobinas de fibra óptica de una longitud no inferior a 1000m. Cada bobina deberá ser de la misma tecnología de fibra óptica que la utilizada por los cordones pigtail, debiendo ser acompañada por la certificación correspondiente. A los efectos de poder realizar la medición, uno de los extremos de la bobina deberá ser pre conectado con el mismo tipo de conector empleado a nivel del distribuidor de fibra.

2.17.4. Medición de pérdida total

La pérdida total de cada sección (A), para cada fibra óptica deberá satisfacer la siguiente ecuación:

$$A < aL + n(E)*a(E) + n(C)*a(D).$$

Estos símbolos equivalen a:

A: Atenuación total en el tramo.

a: Atenuación nominal de la fibra a la longitud de onda especificada.

L: Longitud óptica total del tramo.

n(E): Número total de empalmes.

a(E): Valor medio de atenuación por empalme (dB).

n(C): Número de conectores.

a(D): Atenuación en la conexión a causa del distribuidor (dB).

donde:

$a = 0.22\text{dB/km}$ a 1550nm.

$a(E) = 0.15\text{dB}$.

$a(D) = 0.8\text{dB}$ ó 0.7dB

según corresponda.

2.17.5. Atenuación por tramo

Es debida a las características de fabricación propia de cada fibra (naturaleza del vidrio, impurezas, etc.) y se mide en dB/Km, lo cual nos indica cuántos dB se perderán en un kilómetro.

2.17.6. Atenuación por empalme

Cuando empalmamos una fibra con otra, en la unión se produce una variación del índice de refracción lo cual genera reflexiones y refracciones, y sumándose la presencia de impurezas, todo esto resulta en una atenuación. Se mide en ambos sentidos tomándose el promedio.

La medición en uno de los sentidos puede dar un valor negativo, lo cual parecería indicar una amplificación de potencia, lo cual no es posible en un empalme, pero el promedio debe ser positivo, para resultar una atenuación.

- **Empalmes promediados**

El resultado real de la medición de un empalme se obtiene midiéndolo desde un extremo, luego, en otro momento se medirá desde el otro, y finalmente se tomará como atenuación del empalme el promedio de ambas (suma sobre 2), como se muestra en el gráfico 41.

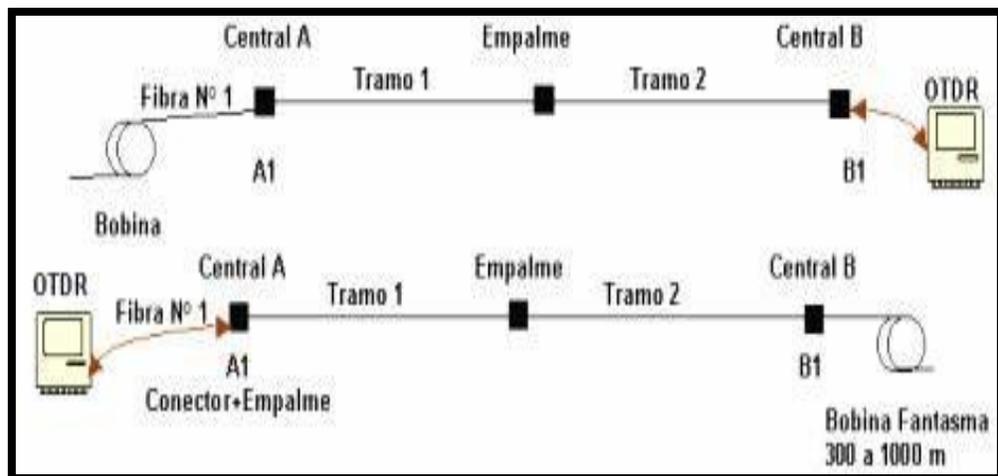


Gráfico 41 *Medición de empalmes promediados^a.*

- **Empalmes atenuados**

En algunos casos, la atenuación de un tramo de FO es tan baja que en el final del mismo la señal óptica es demasiado alta y puede saturar o dañar el receptor.

Entonces es necesario provocar una atenuación controlada y esto se hace con la misma empalmadora, con la función de empalme atenuado. En el gráfico 42 se pueden ver todos los causales de atenuación geométrica.

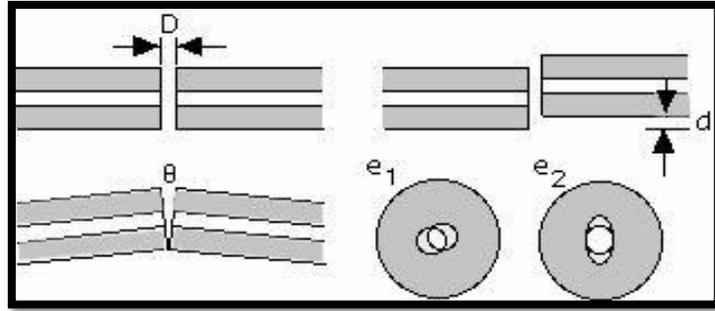


Gráfico 42. Representación de atenuaciones controladas^b.

Entonces, para realizar empalmes atenuados una empalmadora puede desalinear los núcleos o darle un ligero ángulo a una de las dos fibras.

2.17.7. Medición de atenuación total de un tramo (Medición de potencia)

Para medir la atenuación total de un enlace de fibra, se utilizan una fuente de luz y un medidor, que se conectarán en ambos extremos de la fibra a medir. Como se ilustra en la figura 6.3.

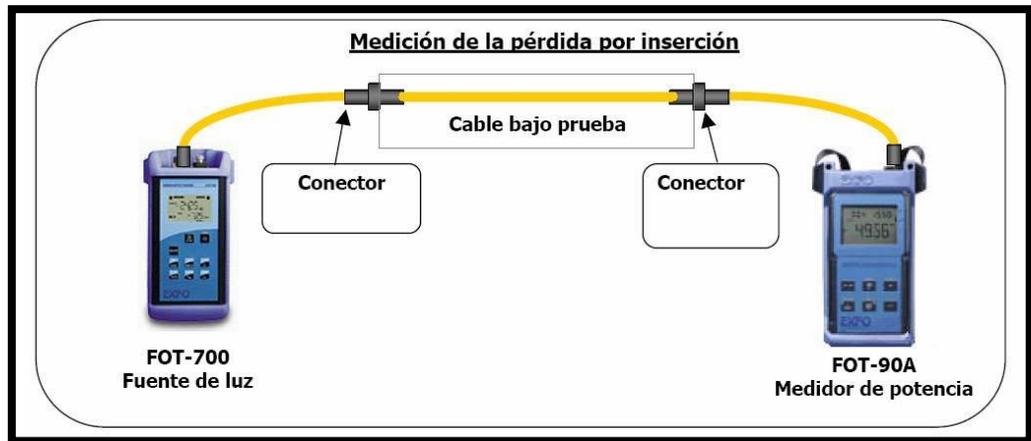


Figura 6.3. Medición de la atenuación total de un tramo¹⁴.

¹⁴ Figura tomada de <http://www.exfo.com>

Entonces una Medición de Atenuación Total podría ser:

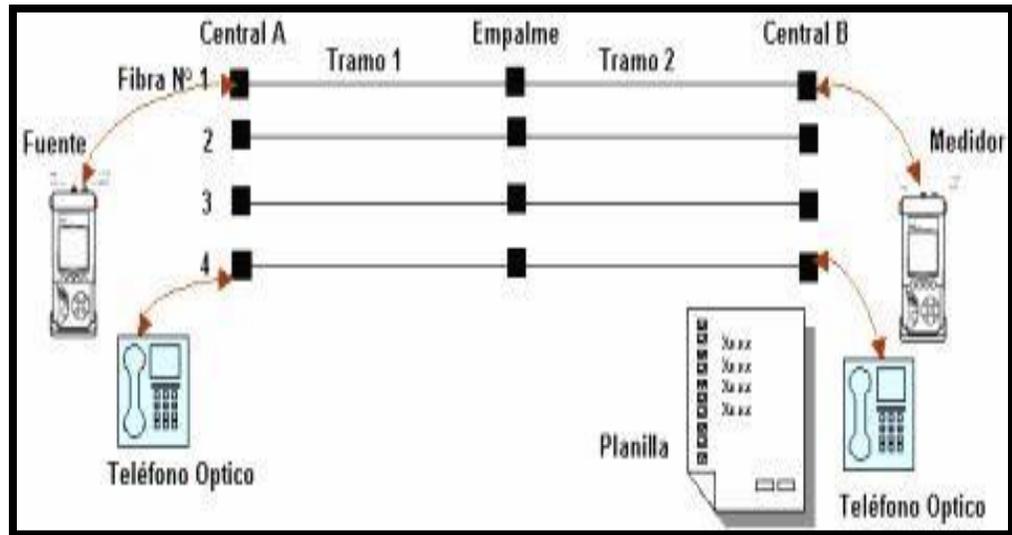


Figura 6.4. Ejemplo de una medición de atenuación total^d.

2.17.8. Medición de atenuación por conectores

Cuando necesitamos medir la atenuación total de un tramo o pérdida de potencia, debemos excluir las atenuaciones producidas por los jumpers usados en la medición. Para esto, antes de realizarla, debemos conectar la fuente de luz al medidor de potencia con los mismos jumpers y adaptadores que usaremos luego (vea la figura 6.5), y seguir estos pasos:

- ✓ Encendemos ambos equipos
- ✓ Los ajustamos a CW (continuous wave-onda continua no pulsante)
- ✓ Elegimos la ventana deseada
- ✓ Presionamos ahora en el medidor el botón ABS>REF para almacenar el nuevo valor de referencia
- ✓ Entonces, al desconectar los jumpers entre sí y conectarlos a la fibra bajo prueba obtendremos el valor de atenuación de la fibra.



Gráfico 43. Medición de la atenuación producida por conectores.

Los conectores utilizados a la salida de la fuente y a la entrada del medidor no deben desconectarse hasta no terminar todas las mediciones pues la atenuación producida por un conector varía cada vez que se vuelve a conectar. Para el caso de que un equipo posea los dos módulos en él, debe conectarse el jumper de medición entre su módulo emisor y su módulo medidor como se muestra en la figura 6.5, establecer la atenuación producida por este jumper para descontarla de la medición final, o, si el equipo lo permite, ajustar la referencia.

Paralelamente en el otro extremo de la fibra otro operador hará lo mismo con otro equipo. La ventaja de este método es que no es necesario que fuente y medidor deban encontrarse en el mismo lugar antes de medir.



Gráfico 44. Medidor con ambos módulos (emisor y receptor) .

2.17.9. Equipo básico para mediciones ópticas

Reflectómetro óptico (OTDR) Para lograr determinar con precisión la atenuación en el enlace de fibra, su longitud, las pérdidas por empalmes y conectores y la localización de estos, es posible usar un OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), que se basa en el fenómeno de retro esparcimiento de Rayleigh para poder localizar dichos eventos (efectos y procesos detectables que modifican la forma de propagación de la luz dentro de la fibra). Básicamente, un OTDR está compuesto conforme el diagrama de la Figura 9. Figura 9. Diagrama de bloques de un OTDR 6 Una fuente de luz estabilizada es aquella fuente que emite un haz sin variaciones de potencia luego de haberla encendido y esperado un tiempo determinado por el fabricante indicado en las hojas de especificaciones. 11 Ahora se describirá brevemente el funcionamiento del OTDR: Primero, el procesador ajusta al generador de pulsos en cuanto al ancho y duración, para crear un tren de pulsos eléctricos cortos que servirán para encender la fuente óptica, que por lo regular se trata de un láser, este tren de pulsos ópticos de alta potencia pasa por el acoplador direccional óptico con dirección a la fibra que se medirá. Mientras los pulsos

de luz viajan a lo largo de la fibra, sufrirán retro difusiones provocadas por el esparcimiento Rayleigh en una fibra óptica común y por irregularidades, ondulaciones, curvaturas, empalmes, conectores, agrietamientos, reflexiones en el extremo final, etc., lo cual se verá reflejado al resultar una pérdida de potencia luminosa, es decir, se presentará atenuación. Luego, los pulsos regresan al OTDR pasando de nuevo por el acoplador direccional, el cual se encarga de que las reflexiones sean re direccionadas y no dañen al equipo, entonces pasan ahora al medidor de potencia óptica y finalmente al procesador, el cual permitirá al operador la interpretación de las mediciones mediante el despliegue de una gráfica de la atenuación en decibelios contra longitud del cable de fibra óptica. Los OTDR permiten el ajuste de varios parámetros en la medición para poder hacer el mejor análisis según los requerimientos y características del enlace. Entre los parámetros variables están la longitud de onda que se seleccionará dependiendo de la ventana de transmisión utilizada en el enlace; el tiempo de adquisición que es el tiempo que dura el envío de los pulsos y entre mayor sea más resolución se tendrá en la gráfica; otro parámetro es el ancho del pulso, ya que un pulso más amplio permite un mayor alcance en distancia lo cual es útil en fibras largas⁷, pero esto involucra la disminución en la resolución haciendo más difícil la localización de eventos. En resumen, la mejor configuración para obtener mediciones correctas es la que más se requiera conforme a la estructura de la red de enlaces. Es notable la utilidad que un OTDR ofrece en la caracterización de fibras ópticas, ayudando a la rápida localización de cualquier inconveniente en el enlace, es por ello que cuanto más precisa sea la localización de los eventos, así como el alcance en distancia de la medición y el “rango dinámico” (intervalo de potencia que puede medir un OTDR que va desde el punto de saturación hasta el piso del ruido), el precio del equipo se incrementará. En la Figura 10 se presenta un OTDR de la marca japonesa Anritsu, este equipo

además de funcionar como un OTDR de gran resolución para localización de eventos, tiene la capacidad de hacer mediciones de potencia óptica funcionando como un MPO, también puede funcionar como un visualizador de fibra e incluso como una fuente de luz roja para la localización visual de fallas, es decir, es una completa herramienta para mantenimiento de instalaciones de fibra óptica.



Gráfico 45. Medidor reflectométrico de fibra óptica (OTDR).



Gráfico 46. Fuentes y medidores ópticos. Fuente Variable EXFOFLS-210^a, Medidor de potencia EXFO FOT-90, Kit Fuente y Medidor Wandel & Goltermann

Atenuadores ópticos variables

Tienen un conector de entrada y uno de salida. Producen una atenuación por fuga por curvatura (a través de un servomotor) o por algún otro método.



Gráfico 47. Atenuador de señal de fibra óptica.

Identificador lumínico de fibras y roturas

Inyecta una luz visible sobre una fibra. Si hay alguna rotura, en un pigtail por ejemplo, se verá la luz dispersada. O podemos identificar una fibra entre un manojo, produciéndoles una curva, y entonces la que disperse luz será la fibra correspondiente al conector donde colocamos el láser.^[23]

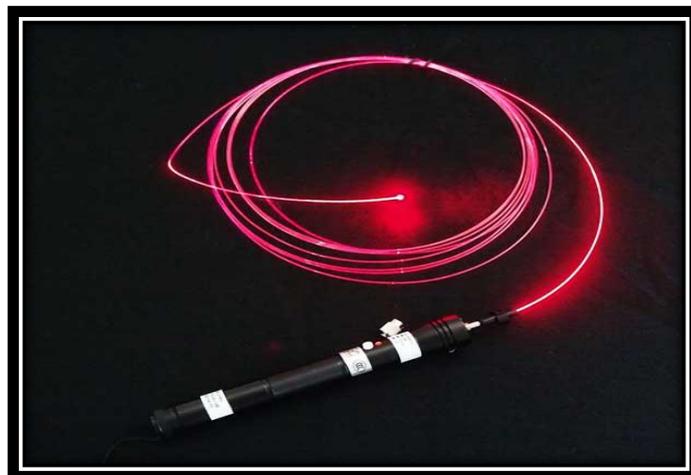


Gráfico 48. Identificador de fibras y fallas Wavetek VFF5 (Visual Fault Finder)^h.

Detector de tráfico

Su función es la de detectar el tráfico y medir la señal en cualquier punto de las fibras monomodo o multimodo sin tener que desconectarlas. Utiliza una técnica segura de macroflexión, al flexionar ligeramente la fibra, la luz escapa y es capturada por el detector.

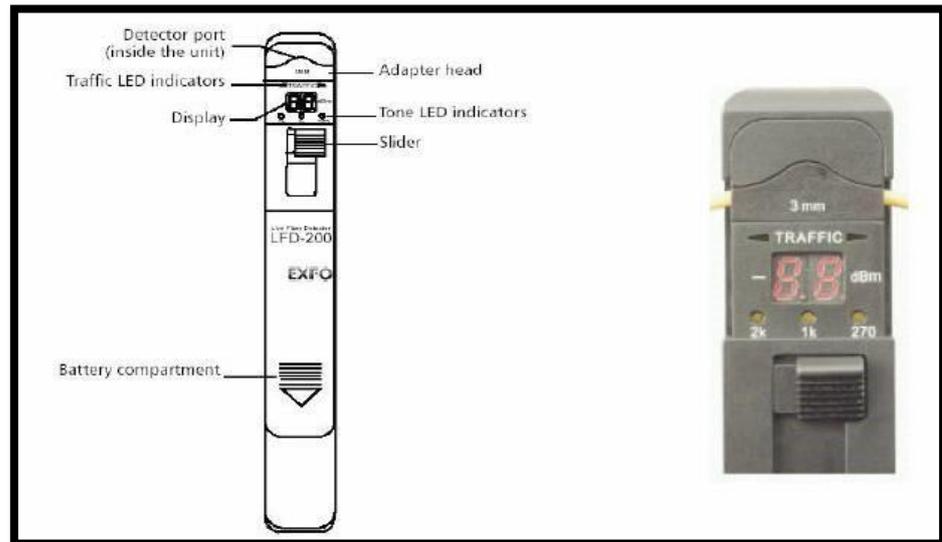


Gráfico 49. Detector de Tráfico EXFO LFD-200 .



Gráfico 50. Medidor de señal de fibra óptica.

Medición de PMD

Debido a las altas frecuencias normalmente utilizadas, la medición de la dispersión en tiempo real es poco práctica, así que se han propuesto dos planteamientos fundamentales para medir la PMD.

- ✓ El temporal o Barrido de longitudes de onda con transformación de Fourier.
- ✓ Método Interferométrico.
- ✓ El Espectral o Barrido de longitudes de onda con cuantificación de extremos.
- ✓ Método polarimétrico.

Según el primero, se evalúa la desviación promedio del tiempo de propagación de la señal en la fibra y, en el segundo caso, se calcula el promedio del retraso de los grupos diferenciales, que representan los diferentes estados de polarización. Dos métodos para medir la PMD derivan del primer enfoque y otros dos del segundo. El enfoque temporal hace uso del barrido de longitudes de ondas con transformación de Fourier y del método interferométrico, y el enfoque espectral propone el barrido de longitudes de ondas con cuantificación de extremos y el método polarimétrico.



Gráfico 51. Equipos de medición PMD

Procedimiento para medir la PMD

El método de medición de PMD requiere el módulo WDM +PMD del MTS5100 de Alcatel, un polarizador óptico variable OVP – 15 en un extremo del enlace y un generador de banda ancha OBS – 15 en el otro extremo del enlace.

La función del OBS – 15 es generar una señal de banda ancha por el enlace para determinar la distorsión que sufre la señal en el dominio de la frecuencia.

El OVP – 15 deja pasar solo un modo de polarización; se utiliza para tomar una referencia de la distorsión de amplitud sufrida por la señal y descartar esa distorsión al analizar la señal que representa la suma vectorial de los modos, dejando apenas los efectos de la distorsión causada por las diferencias de fase entre los modos de polarización.

El módulo del MTS compara el espectro medido y la referencia sin el OVP – 15 para obtener los valores de retardo de un grupo diferencial, en ps y el coeficiente de PMD en *ps km* .

- ✓ Conectar el módulo WDM – PMD en un extremo del enlace y el OBS – 15 en el otro extremo como se muestra en la figura 6.11.
- ✓ Hacer una medición de referencia sin conectar el polarizador OVP – 15.
- ✓ Una vez tomada la referencia, conectar el OVP – 15 con una polarización de 0° y presionar “START” en el MTS. Los resultados deben ser aproximadamente los mismos configurando cualquier ángulo de polarización en el OVP – 15.
- ✓ Esperar los resultados.

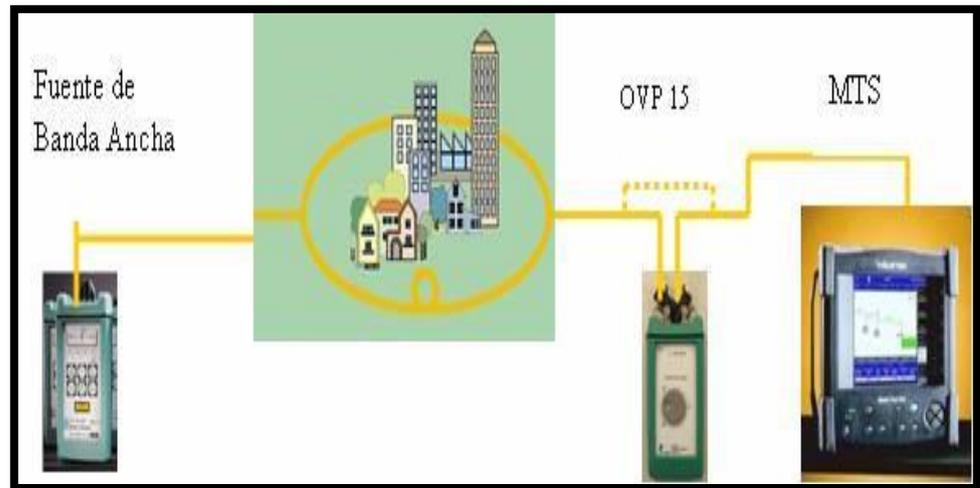


Gráfico 52. *Conexión para la medición de PMD .*

Interpretación de resultados

El valor del coeficiente de PMD es un factor que limita la distancia máxima de enlace en transmisiones TDM de alta velocidad (10Gbps ó 40Gbps). Según las recomendaciones de la ITU – T, el valor máximo de retardo es la décima parte de la duración de un pulso (a mayores velocidades, la duración de los pulsos es menor). La distancia máxima que se puede alcanzar está dada por la siguiente relación:^[33]

$$L \leq \Delta\tau^2 / \Delta\tau_c^2$$

Donde:

$\Delta\tau^2 =$ Coeficiente de PMD (ps/\sqrt{KM})

$\Delta\tau_c^2 =$ Retardo de PMD (ps)

Los suministros a realizar por los licitadores cumplirán las siguientes características

Armarios repartidores ópticos

El armario repartidor óptico a suministrar será modelo tipo EUCOMSA modelo ROM (Repartidor Óptico Modular) o similar,

adaptable según la capacidad necesaria en cada centro, y cumplirá las siguientes características:

- ✓ Rack ETSI según el número de fibras ópticas que deba albergar (128, 256 y 384).
- ✓ Deberá disponer de organizadores laterales de latiguillos a ambos lados del repartidor.
- ✓ Deberá presentar una distribución modular, es decir, sobre un mismo chasis se podrán ir añadiendo módulos portabandejas, los cuales contendrán las bandejas de empalme y conectores.
- ✓ Cada módulo portabandejas tendrá una capacidad mínima de 8 bandejas, ya sean de empalmes o de conectores.
- ✓ Cada módulo portabandejas encajará perfectamente en la estructura del rack.
- ✓ Las bandejas de empalmes tendrán una capacidad mínima de 16 empalmes por bandeja.
- ✓ Las bandejas de conectores tendrán una capacidad mínima de 8 adaptadores por bandeja.
- ✓ Las entradas de cable multifibra se deberán realizar mediante elementos prensaestopas.
- ✓ Los adaptadores de las bandejas de conectores deberán ser los correspondientes a los conectores FC/PC. Se considerará sobreprestación la posibilidad de utilización de otro tipo de conectores, como SC y ST.
- ✓ En la parte interior de las puertas frontales deberá colocarse un portaplanos.

Se suministrarán repartidores para 128, 256 ó 384 fibras según se especifique para cada centro, los cuales se instalarán subequipados según la definición de las unidades de obra.

En los espacios correspondientes a módulos no instalados deberán instalarse elementos de protección (máscaras) para proteger el interior del armario.

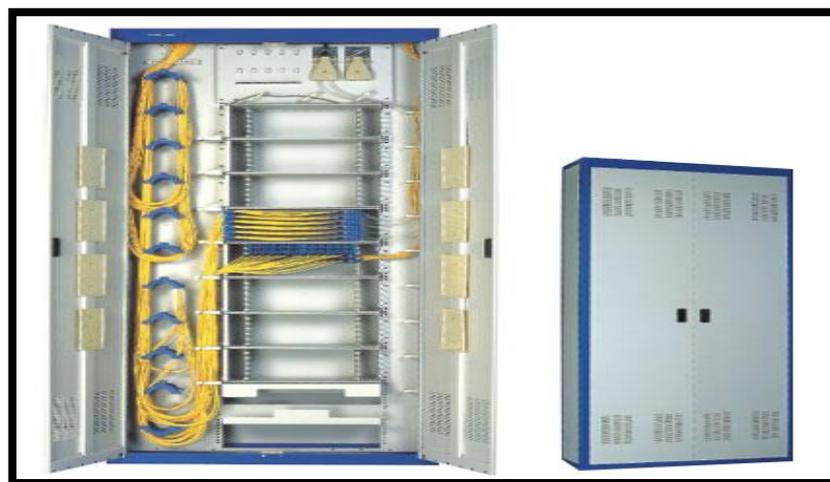


Gráfico 53. Racks o armarios repartidores ópticos.



Gráfico 54. Bandejas de repartición óptico.

Medidor de Potencia Óptica Un medidor de potencia óptica (MPO) es un dispositivo encargado de medir de forma absoluta o relativa la potencia de la luz que se tiene en un extremo de la fibra cuando una fuente de luz estabilizada⁶ emite desde el otro extremo, pudiendo determinar así la atenuación de la luz provocada por la fibra monomodo o multimodo, o la atenuación total de un enlace, de la misma manera se pueden determinar las pérdidas por inserción de algún dispositivo que se introduzca al enlace, también puede ser útil para establecer la sensibilidad de equipo terminal a utilizar y elegir el que cumpla dicha sensibilidad o para considerar la potencia que está mandando la fuente o saber que se está perdiendo potencia en algún punto del enlace, para lo

cual es de mayor utilidad el OTDR, del que se hablará en el siguiente subtema. A grandes rasgos, un medidor de potencia consta de un foto-receptor y un procesador, el foto-receptor recibe la luz que sale de la fibra a una determinada longitud de onda y la señal, ahora eléctrica, pasa al procesador que despliega el valor de la potencia óptica absoluta en dBm o en mW, o en dB en el caso que se mida una potencia relativa, los MPO también poseen la opción de crear una referencia para poder calibrarlos o para medir pérdidas por inserción. Es necesario recordar que el MPO debe estar bien calibrado para disminuir los errores de medición y generar problemas de comunicación, además, tanto con el medidor de potencia como con cualquier otro equipo de medición con conectores ópticos debe cuidarse la limpieza de conectores para evitar obtener datos erróneos.



Gráfico 55. *Medidor de potencia óptica.*

CAPITULO III

ANALISIS DE REQUERIMIENTOS

Los requerimientos ayudan a comprender de mejor manera la probable conducta de la red motivo de diseño. El primer paso hacia el diseño es la comprensión de las demandas actuales y futuras que serán hechas sobre la red.

En atención a la ejecución del diseño e implementación de empalmería de los enlaces Caripa-Tarma-La Merced, la empresa América Móvil entregó el pliego de requerimientos para el desarrollo de este proyecto, que será evaluada en función a los estándares y parámetros que están contenidos en los requerimientos establecidos por la empresa.

En tal sentido, en este capítulo desplegaremos el análisis de requerimientos de Ingeniería de Fibra Óptica en Planta Externa en dorsales para transmisiones de voz y datos de las provincias de Tarma, La Merced y distritos aledaños a la red dorsal, con el objetivo de mejorar la interconectividad y los servicios del operador de telecomunicaciones América Móvil S.A.C. quien en cumplimiento de las políticas de mejora continua de la empresa, viene ejecutando proyectos que benefician al usuario final, aumentando el servicio y confianza con el cliente.

3.1. Estado de la red existente

En la actualidad la red dorsal de los andes de la empresa Claro dispone de enlaces con Fibra Óptica proyecto realizado por la compañía Abengoa, uniendo el anillo Core Cajamarca, Trujillo, Lima y la Oroya.

El siguiente grafico nos representa la conexión del anillo Core con el Site Agregador de Carhuamayo y los sites de conexión y distribución de Tarma y La Merced.

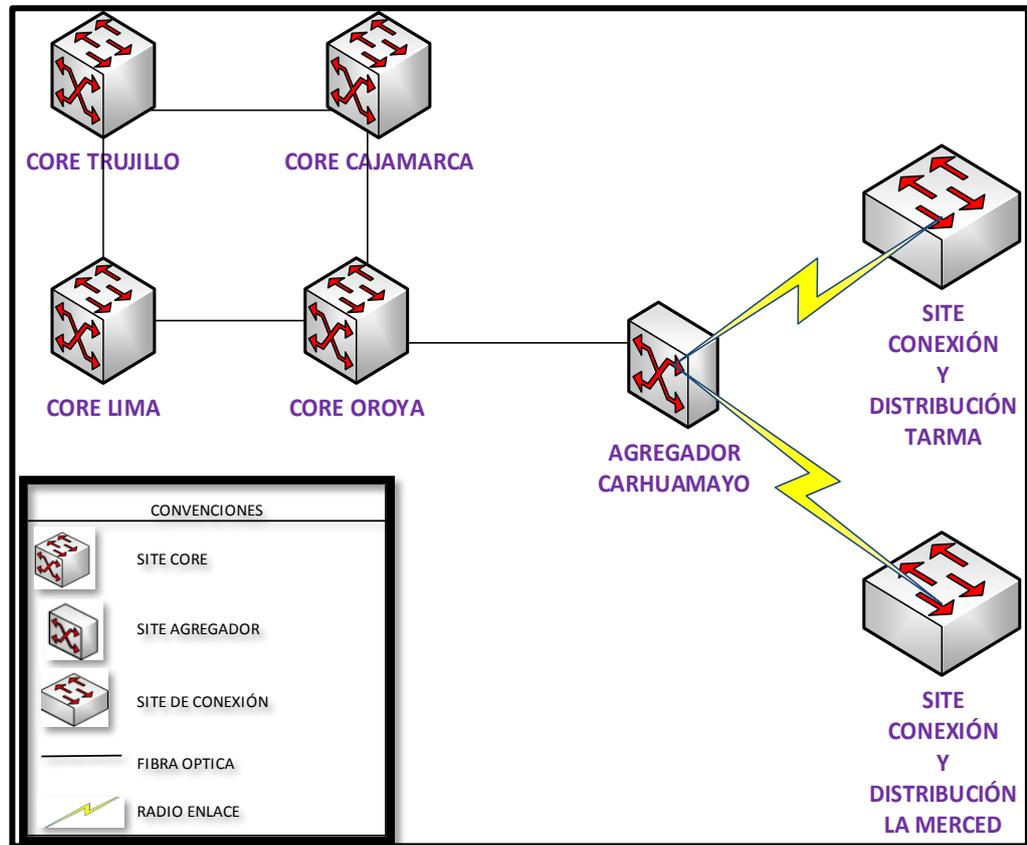


Gráfico 56. Topología de la red dorsal de América Móvil.

Dentro de la Red Dorsal de la empresa América Móvil el anillo Core Trujillo, Cajamarca, Oroya y Lima cuenta con conectividad a través de fibra óptica. El objetivo empresarial de la empresa América Móvil es extender los enlaces dorsales dentro de su red nacional. Dentro del recorrido del enlace Core Oroya y Core Cajamarca se encuentran los sites Agregadores de Carhuamayo y Pasco. Es del Site Carhuamayo donde se inicia el enlace a través de radiofrecuencia hacia la selva central.

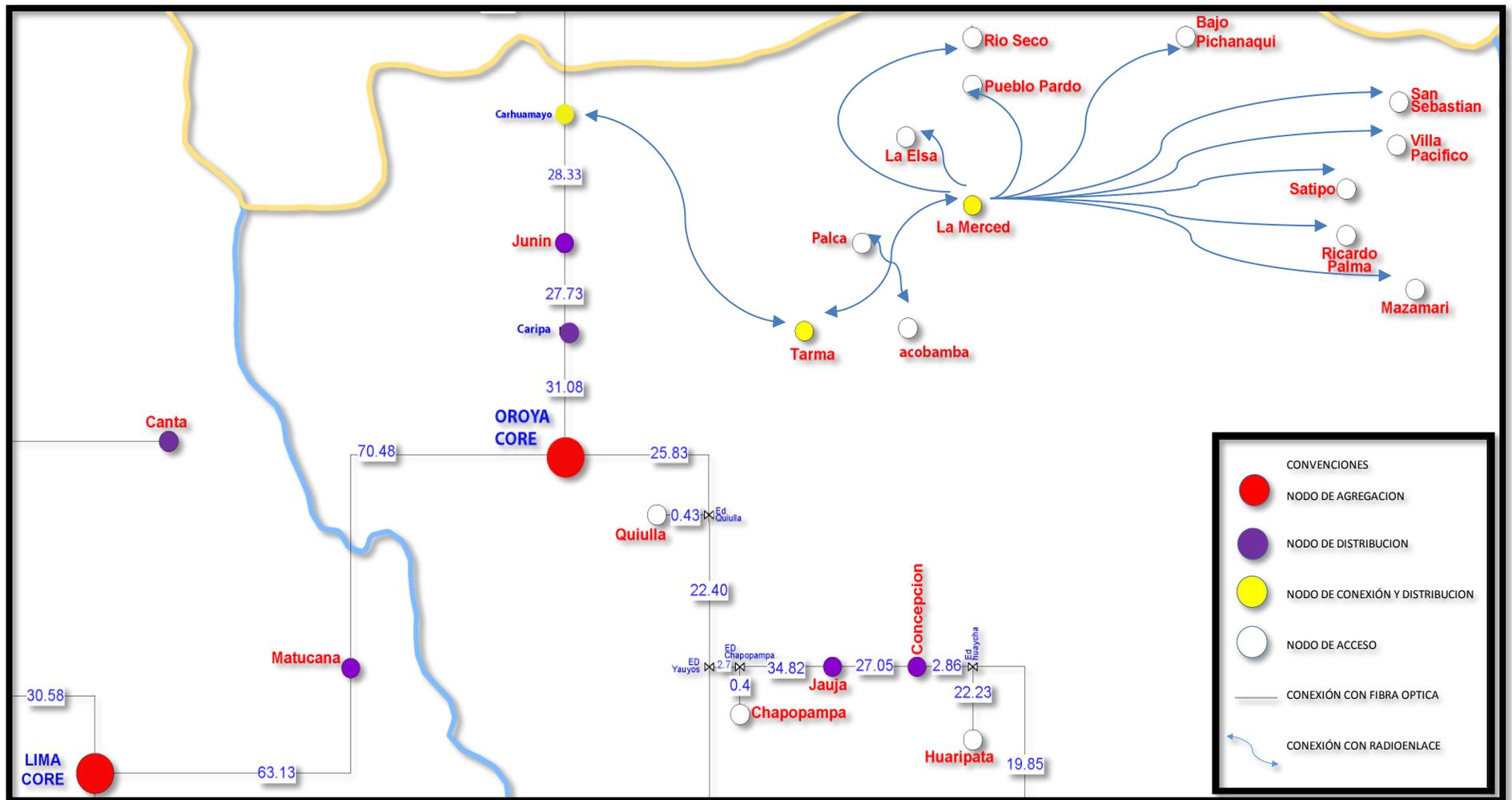


Gráfico 57. Red Unifilar de la red Dorsal de la empresa América Móvil

Esta red microondas conforma las backbones de la red de Claro hacia la selva central, pasando por los Sites Carhuamayo – Site Tarma - Site Palca – Site Carpapata – Site San Ramón – Site La Merced.

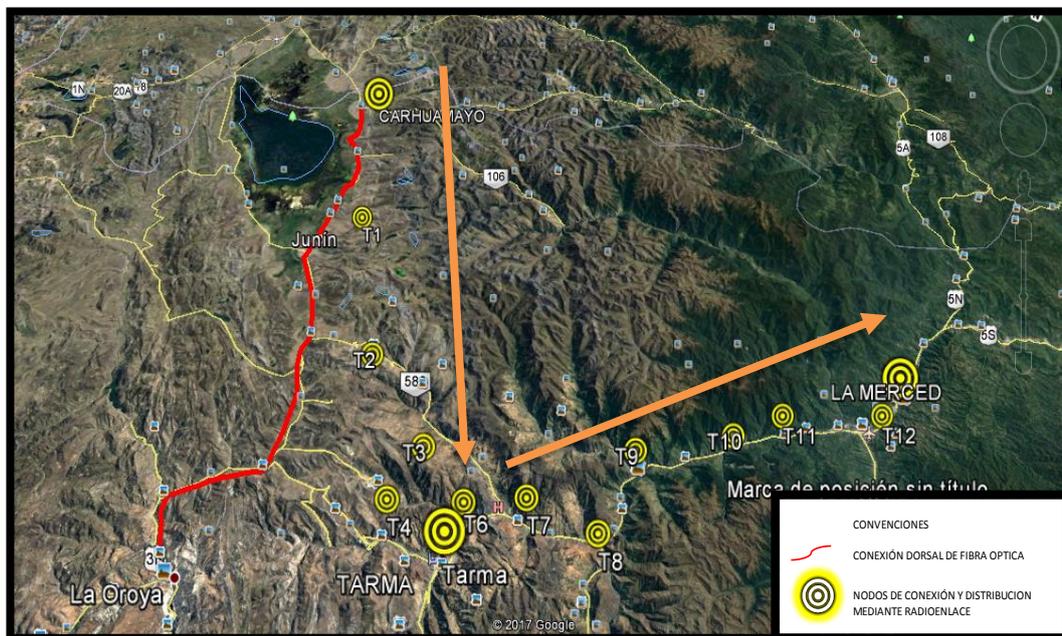


Gráfico 58. Kmz del enlace de radiofrecuencia de America Movil en la selva central.

Desde el Site La Merced actualmente se viene desplegando 2 troncales que son:

- Site Perene – Site Pichanaki – Site Satipo – Site Mazamari – Site San Martín de Pangoa.
- Site San Luis de Shuaro – Site Villa Rica – Site Oxapampa.

Todo el tráfico que viaja por la red, básicamente cubre el ancho de banda de comunicación por voz, dejando un margen limitado de ancho de banda para las aplicaciones de datos, HFC, clientes corporativos, entre otras aplicaciones.

3.2. Requerimientos técnicos de trasmisión

La red dorsal de la empresa América Móvil, tiene como objetivo conectar mediante fibra óptica y contar con sites dorsales en cada una de las capitales de provincia.

El proyecto se encuentra ubicado dentro de la región departamental de Junín – Perú, que abarca los distritos de La Unión Leticia, Tarma,

Acobamba, Palca, San Ramón y La Merced dentro de la jurisdicción de las provincias de Tarma y Chanchamayo. El recorrido de fibra tiene como punto de inicio la subestación eléctrica (SE) de Caripa con coordenadas UTM 402948 E y 8742798 S hasta el Site LJ2693 La Merced con coordenadas 464223 E y 8774300 S

En el presente proyecto se intervendrá 8 puntos de conexión, que serán nodos dorsales y sites secundarios para prestar servicios de datos en 3.5 G y 4G a través de las antenas de celulares.

Tabla 25
Lista de Sites a interconectar

Id	Site	Tipo
LJ8258	SE Caripa	Dorsal
NA	Site Unión Leticia	Acceso
NA	SE Condorcocha	Acceso
LJ2691	Site Tarma	Dorsal
LJ2727	Site Acobamba	Acceso
LJ2726	Site Palca	Acceso
LJ2692	Site San Ramón	Acceso
LJ2693	Site La Merced	Dorsal

- Para la interconectividad se deberá considerar las siguientes características en el estudio:
 - ✓ Altas tasas de transferencia de hasta 1 Gbps de disposición inmediata.
 - ✓ Disponibilidad permanente los 365 días del año, las 24 horas.
 - ✓ Escalabilidad hasta 100 Gbps.
 - ✓ Confiabilidad de la disponibilidad de la red.
 - ✓ Determinar la topología de la red
 - ✓ Determinar la cantidad de empalmería.
 - ✓ Determinar la cantidad de cajas de empalmes.
 - ✓ Soportar capacidad de transmisión CDWD.

- ✓ Soportar capacidad de transmisión DWDW.
- ✓ La fibra del backbone deberá trabajar en la ventana 1550 nm.
- ✓ La fibra óptica que ingresa a los Sites deberá soportar las ventanas 1310 y 1550 nm.

3.2.1. Requerimientos de Cables y Número De Hilos

- El cable de fibra óptica deberá de cumplir las siguientes características.
- Deberán ser soportados en las torres de alta tensión.
- Soportar la escalabilidad de la red para la atención de futuros servicios con la cantidad adecuada de hilos sin incrementar los costos.

De acuerdo a los estándares internacionales el cable de fibra óptica será de tipo ADSS, la identificación de fibras ópticas y sus hilos, debe de hacerse por colores. El cable bajo especificaciones G652.D está diseñado para resistir una fuerza de 1,400 N de jalado durante su instalación, la cual se realiza mediante dos varillas de fibra de vidrio dispuestas de manera diametralmente opuesta a lo largo del cable. La cubierta plástica es de polietileno que protege a las fibras ópticas en ambientes extremos en planta externa.

Características:

- Optimizado para máximo 48 fibras reduciendo así costos de instalación.
- Ideal para acometidas, por su peso y dimensiones reducidas.
- Cumple con las especificaciones G652.D para un desempeño confiable.
- Disponible con fibras ópticas monomodo
- Material para bloqueo de agua.
- Cubierta resistente al medio ambiente.

El cable deberá trabajar en los estándares de la G.652

La especificación ITU-T G.652 corresponde a fibras optimizadas para la transmisión en las longitudes de onda de 1310 nm a 1550 nm, incluida la región de 1383 nm y de acuerdo a la subcategoría G.652.D de la ITU-T.

La fibra monomodo G.652d presenta mejoras con relación a otras fibras G.652 ya que muestra baja atenuación entre los 1260 - 1625 nm (O, E, S, bandas C y L), presenta dispersión baja y PMD bajo favoreciendo la evolución de redes, por tal motivo no es necesario la instalación de compensadores de dispersión.

El núcleo está compuesto por dióxido de silicio dopado, rodeado por un recubrimiento de dióxido de silicio, el revestimiento está formado por dos capas de acrilato curado mediante UV.

Tabla 26

Características ópticas y geométricas.

Parámetros ópticos	Fibra no cableada	Fibra cableada	Parámetros geométricos	
Atenuación a 1310 nm	$\leq 0,35$ dB/Km	$\leq 0,37$ dB/Km	Diámetro de campo modal 1310 nm	$9,20 \pm 0,40$ μ m
Atenuación a 1383 nm	$\leq 0,35$ dB/Km	$\leq 0,37$ dB/Km	Diámetro de campo modal 1550 nm	$10,40 \pm 0,50$ μ m
Atenuación a 1550 nm	$\leq 0,21$ dB/Km	$\leq 0,24$ dB/Km	Error concentricidad núcleo/cladding	$\leq 0,4$ μ m
Atenuación a 1625 nm	$\leq 0,23$ dB/Km		Diámetro cladding	$125,0 \pm 0,50$ μ m
Atenuación en 1285-1625 nm	$\leq 0,40$ dB/Km		Error concentricidad coating/cladding	≤ 12 μ m
Punto de discontinuidad máxima en 1310 y 1550 nm	$\leq 0,05$ dB		No circularidad coating	≤ 10 %
Longitud de onda de corte	1100 - 1320 nm	≤ 1260 nm	Diámetro coating (coloreado)	250 ± 15 μ m
Punto de dispersión cero	1300-1324 nm			
Pendiente de dispersión cero	$\leq 0,090$ ps/nm ² .Km			
Dispersión cromática en 1285 -1330 nm	$\leq 3,5$ ps/nm.Km			
Dispersión cromática en 1550 nm	$\leq 18,0$ ps/nm.Km			
Dispersión cromática en 1625 nm	$\leq 22,0$ ps/nm.Km			
PMD fibra individual	$\leq 0,15$ ps/ \sqrt Km			
PMDq (Q=0,01%, N=20)	$\leq 0,08$ ps/ \sqrt Km			

Tabla 27*Características mecánicas y ambientales*

Características mecánicas	
Proof test level	1,2 % (120 kpsi, 0,86 GPa)
Radio de curvatura mínimo	30 mm
Atenuación inducida por macrocurvatura:	
1 vuelta sobre 32 mm a 1550 nm	$\leq 0,50$ dB
100 vueltas sobre 50 mm a 1310 nm	$\leq 0,05$ dB
100 vuelta sobre 50 mm a 1550 nm	$\leq 0,10$ dB
100 vuelta sobre 60 mm a 1625 nm	$\leq 0,50$ dB
Fuerza de pelado (F) (valor de pico)	$1,3 \text{ N} \leq F \leq 8,9$
Fuerza de pelado (F) (valor medio)	$1 \text{ N} \leq F \leq 5$
Fatiga dinámica (nd)	20 (valor típico)
Fatiga estática (ns)	20 (valor típico)
Características ambientales	
Atenuación inducida a 1310, 1550 y 1625 nm:	
-60°C ~ +85°C ciclo de temperatura	$\leq 0,05$ dE/Km
-10°C ~ +85°C/ hasta 98% RH. Ciclo temperatura y humedad	$\leq 0,05$ dE/Km
+85°C +/- 2° C. Calor seco	$\leq 0,05$ dB/Km
+23°C +/- 2° C. Inmersión en agua	$\leq 0,05$ dB/Km

En cuanto al número de hilos, se utilizarán 48 hilos distribuidos de la siguiente manera: 6 para las troncales, 6 para los sites IP y 36 libras para futuras aplicaciones.

3.2.2. Requerimientos Específicos de Empalmería.

El objetivo de un buen empalme de fibra es minimizar las pérdidas Reflectométricas el cual es medido en decibeles por kilómetro (Db/Km). Para ello, es preciso que las fibras estén perfectamente cortadas y sus núcleos alineados.

El siguiente gráfico muestra una representación esquemática del procedimiento de empalme por fusión.

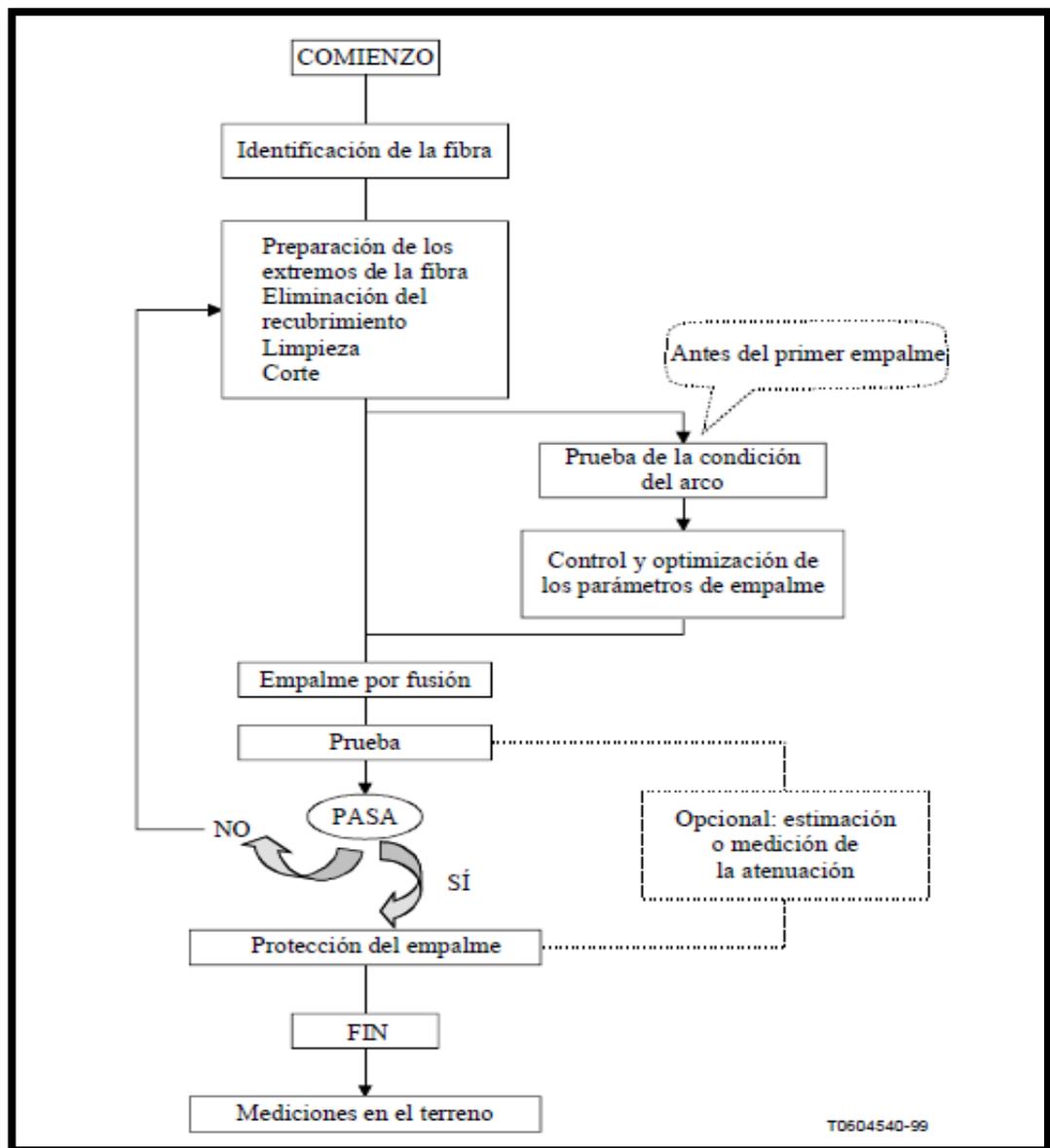


Gráfico 59. Representación esquemática del procedimiento de empalme por fusión.

A. Elección del tipo de empalme

El conocimiento de la tecnología de empalmes, es esencial para las empresas o técnicos de fibra óptica que participan en el campo de las telecomunicaciones. Hay dos tipos preferidos de métodos de empalme: empalme de fusión y de empalme mecánico. La comprensión de los pros y los contras de cada método de empalme es extremadamente importante para la toma de decisiones informada sobre el método de empalme a elegir.

El empalme mecánico se usa en el lugar de la instalación donde el desmontaje es frecuente, es importante que las caras del núcleo de la fibra óptica coincidan exactamente. Consta de un elemento de auto alineamiento y sujeción de las fibras y de un adhesivo adaptador de índice que fija los extremos de las fibras permanentemente. La pérdida en este tipo de empalme es alta (Pérdida típica: 0,3 dB).

A continuación, presentamos una tabla comparativa donde evidenciaremos los pros y contras de ambos tipos de empalme.

Tabla 28

Tabla comparativa de los tipos de fusión

TOPICOS	TIPO DE FUSION	
	MECANICO	ARCO ELECTRICO
GRADO DE DIFICULTAD POR EMPALME	BAJO	BAJO
TIEMPO DE FUSION	1-2 MIN	3-6 MIN
PERDIDA POR EMPALME	0.300 dB	0.100 dB
REFLECTANCIA	MAYOR	MENOR
INVERSION INICIAL EQUIPOS	\$ 1,000 - \$ 2,000	\$ 15,000-\$ 50,000
COSTO POR EMPALME	\$ 12 - \$ 40	\$ 0.50 - \$ 1.50
ENLACES DE LARGA DISTANCIA	NO RECOMENDABLE	RECOMENDABLE

En conclusión, es mucho más ventajoso realizar fusión mediante arco eléctrico, los equipos requeridos son costosos pero el costo por cada empalme es mucho menor que el costo de un empalme mecánico. En referencia a la pérdida por cada empalme, las pérdidas por arco eléctrico son más atractivas que las pérdidas por fusión mecánico, además de ser mucho más cara este último.

B. Empalme por Arco Eléctrico

A grandes rasgos, el empalme por arco eléctrico consiste en unir las dos fibras fundiendo el material de sus puntas mediante la aplicación de una fuente calorífica, que suele estar compuesta por dos electrodos entre los cuales se produce un arco eléctrico cuando se les aplica una fuente de alta tensión de 4000 a 5000

voltios con corriente controlada. La potencia calorífica del arco eléctrico dependerá de la corriente que en cada momento suministre la fuente de alta tensión.

El enlace Caripa-Tarma-La Merced posee una variabilidad climática y de altitud, se cuenta con cierres de empalme a una altitud de 4500 msnm como punto máximo y 750 msnm como el punto más bajo. La fusión por arco eléctrico nos asegura realizar los trabajos de empalme en los distintos climas variantes de este tramo, así como en diferentes altitudes, pero esta labor requiere calibrar los equipos para cada uno de los distintos niveles de altitud donde se encuentran los cierres de empalme, proceso que usualmente llega a tomar 5 minutos.

La fusión de fibra óptica por arco eléctrico nos asegura empalmes con pérdidas menores a 0.1 dB para enlaces Dorsales y hasta 0.3 dB para enlaces de acceso.

Se usará un sistema de conexión de fibras ópticas mediante fusión con pigtail (cordón de fibra con conectores en sus terminales) ya que es el más recomendable en los Sites o Nodos. El empalme por fusión del pigtail tiene la ventaja de que, ante un resultado fallido en el proceso de fusión, basta con cortar de nuevo tanto el pigtail como la fibra a fusionar y realizar de nuevo el proceso de fusión.

Los pigtail, debido a su corta longitud, apenas modifican el ancho de banda efectivo (fibras multimodo) o la dispersión cromática (fibras monomodo) de un enlace de fibras ópticas.

C. Consideraciones de la empresa América Móvil para los empalmes

- Los empalmes deben estar en un rango promedio de 0.1 dB para enlaces dorsales y de hasta 0.3 dB para enlaces de conexión, con pruebas Reflectométricas bidireccionales.
- Los empalmes deberán de protegerse con smouvs (manguitos de plástico) de 40 mm.

- Los empalmes deben fijarse en las cajas de empalme sin superar el límite máximo de curvatura, la cual debe ser menor o igual a 30 mm.

3.2.3. Requerimientos Específicos de pruebas Reflectométricas de la empresa América Móvil

Mediciones De Red

Los valores máximos permitidos en cada enlace que serán evidenciados por las pruebas reflectométricas de la Red de Transporte son:

- Atenuación por empalme dorsal. (0.100 dB)
- Atenuación por empalme de conexión (0.300 dB)
- Atenuación por kilómetro. (0.200 dB)
- Atenuación por conector. (0.500 dB)
- Pérdidas por Retorno (ORL). (-45 dB)

Consideraciones para las Mediciones

- Realizar mediciones de atenuación entre nodos, utilizando un OTDR de rango dinámico igual o superior a 42 dB, con certificado de calibración no mayor a un año.
- Protocolos y pruebas Reflectométricas (ODF a ODF)
- Las pruebas deberán ser bidireccionales.
- Se deberá tener como medida máxima de pérdida de enlace según la siguiente formula:

La pérdida total de cada sección ('A') para cada fibra óptica deberá satisfacer la siguiente ecuación:

$$A < a * L + En * ae + Nc * ac$$

- 'A' = Perdida total del tramo (dB)
- 'a' = Atenuación nominal de la fibra óptica a la longitud de onda especificada; (dB/km)
- 'L' = Longitud óptica total del tramo; (Km)
- 'En' = número total de empalmes. No se consideran los empalmes de acometida, si existieren y el empalme a pig tail.
- 'ae' = valor medio de atenuación por empalme; (dB)
- 'Nc' = Número de conectores.
- 'ac' = perdida de la conexión a nivel de distribuidor (dB)

Consideraciones para empalmería.

Luego de haber optado por el tipo de fusión por arco eléctrico y de contar con la información de los valores máximos permitidos de atenuación para cada tipo de enlace, se procedió a elegir los equipos que conlleven a cumplir los requerimientos establecidos por la empresa América Móvil.

Un factor importante es la variabilidad de altitud que fluctúan entre altitudes de 800 msnm a 4000 msnm, para ello se necesitara que los equipos sean calibrados en los diferentes pisos ecológicos donde se lleve a cabo el proceso de empalme, con la finalidad de lograr valores de empalme fiables.

Otro factor es el climático, debido a que los tramos a trabajar presentan temperaturas que fluctúan entre -10 °C y 38 °C, se tendrá que elegir equipos de fusión que puedan funcionar en estas condiciones.

En la actualidad se cuenta con 4 marcas de fusionadoras de tecnología japonesa líderes e innovadores en la fusión por arco eléctrico en el mundo.

En la siguiente tabla comparativa, analizaremos los beneficios y desventajas operativas que estas marcas ofrecen en el proceso de fusión de fibra óptica.

Tabla 29

Diferencias de características de los equipos de fusión de fibra óptica.

Manufacturer	FUJIKURA	SUMITOMO	FITEL	INNO
Model No.	FSM-70S	Type-81C	S178A	View 7
Metodo de Fusion	Alineamiento de nucleos	Alineamiento de nucleos	Alineamiento de nucleos	Alineamiento de nucleos
	SM(G. 652/657)	SM(G. 652/657)	SM(G. 652/657)	SM(G. 652/657)
Fibra Optica	MM(G.651)	MM(G.651)	MM(G.651)	MM(G.651)
	DS(G. 653)	DS(G. 653)	DS(G. 653)	DS(G. 653) NZDS(G. 655)
	NZDS(G. 655)	NZDS(G. 655)	NZDS(G. 655)	
Promedio de perdida	SM : 0.02dB	SM : 0.02dB	SM : 0.02dB	SM : 0.02dB
	MM : 0.01dB	MM : 0.01dB	MM : 0.01dB	MM : 0.01dB
	DS : 0.04dB	DS : 0.04dB	DS : 0.04dB	DS : 0.04dB
	NZ : 0.04dB	NZ : 0.04dB	NZ : 0.04dB	NZ : 0.04dB
Tiempo de fusion	10 sec : SM AUTO	7 sec : Quick Mode	7 sec : Semi-Auto Mode	7 sec : Quick Mode
	7 sec : SM FAST	7.5 sec : SMF Standard Mode	9 sec : Regular Mode	8 sec : Auto mode
		8sec : Auto Mode		
Tiempo de Calentamiento de motores	14 sec	28 sec (Dual)	25 sec : Pre-heat Mode	13 sec
			31 sec : Regular Mode	
Duracion de electrodos	3000 arc	3000 arc	/	3500 arc
Bateria	Typical 200 Cycles (4,000 mAh)	Typical 200 Cycles (4,600 mAh)	80 Cycles with single battery	Typical 355 Cycles (9,800 mAh)
			200 Cycles with two batteries	
Retorno de perida	≥60dB	/	≥60dB	≥60dB
Tipo de Fibra que soporta	Universal clamp (250um, 900um, loose buffer fiber)	/	/	With Universal Holder (250um, 900um, 3mm, indoor cable)
Programacion de empalme	Max 100 modes	Max 300 modes	Max 150 modes	Preset 35 modes Max 128 modes
Programas de calefaccion	30 modes	Max 100 modes	Max 18 modes	Max 32 modes
Tension	1.96 ~ 2.25N	1.96N (200gf)	1.96N	1.96 ~ 2.25N
Longitud de Escindido	con las abrazaderas cerradas 5 ~ 16mm	5 ~ 16mm, 10mm	5 ~ 16mm	8 ~ 16mm
Interfaz	4.73" Color LCD	4.1" Touch Color LCD	3.5" Color LCD	5" Touch Screen Color LCD
	/	/	/	GUI
Almacenamiento	Splice Data : 2000 Image Data : 100	Splice Data : 10000 Image Data : 64	Image Data : 100 + 24 to Splice Data : 2000 be stored permanently	Splice Data : 2000
Periféricos	USB 2.0	USB2.0(mini-B type)	USB 2.0	USB 2.0
		SD/SDHC Memory Card		MINI USB
				HDMI
Dimensiones	146W X 159L X150H(mm)	120W X 154L X130H(mm)	127W X 199L X105H(mm)	133W x 155L x 160H(mm)
	Excluding Rubber Foot	(without anti-shock rubber)	(not including shock absorber)	(excluding rubber bumper)
Peso	2.5kg with ADC-18	1.8kg (without Battery)	1.9kg without Battery	2.17KG (without battery)
	2.7kg with BTR-09	2.1kg with Battery	2.3 with two batteries	2.80KG (with battery)
Energia AC	100 to 240 AC	100 to 240 AC	100 to 240 AC	100 to 240 AC
DC	10 to 15V with ADC-18	10 to 15V	11 to 17V	9 to 14 V
	14.8V with BTR-09			
CONDICION OPERATIVA	0 to 5000 msnm	0 to 6000 msnm	0 to 5000 msnm	0 to 5000 msnm
	0 to 95% RH and	0 to 95%RH and	0 to 95%RH and	0 to 95%RH and
	-10 to 50 °C and	-10 to 50 °C and	-10 to 50 °C and	-40 to 80 °C and
	up to 15m/s	up to 15m/s	up to 15m/s	up to 15m/s
	Velocidad de ventilador	Velocidad de ventilador	Velocidad de ventilador	Velocidad de ventilador

Luego de la comparativa entre los 4 modelos existentes, se optó por adquirir la fusionadora Fujikura 70s, esto en función a que estos equipos se pueden configurar para la fusión de los siguientes tipos de fibras y redes: SM (G.652/657), MM (G.651), DSF (G.653), NZDSF (G.655), PON/FTTx, etc.

El tiempo de configuración está comprendida entre 1 y 3 minutos.
Tiempo de fusión: 7 segundos, contracción térmica: 14 segundos.



Gráfico 60. Empalmadora Fujikura 70 S.

Datos técnicos:

Tabla 30.

Ficha técnica empalmadora Fujikura 70s

Fusión / Contracción	
Tiempo de fusión típico	7 seg. (en el modo SM)
Tiempo de contracción típico	13 seg. para las mangueras de 60 mm
Tipos de fibras aplicables	SMF (ITU-T G.652) MMF (ITU-T G.651) DSF (ITU-T G.653) NZDSF (ITU-TG.655) CSF (ITU-T G.654) Fibra con baja sensibilidad a las dobladuras (ITU-T G.657) Fibras enriquecidas con erbio
Diámetros de fibras aplicables	80 – 150 μm
Diámetro de recubrimiento	100 ~ 1000 μm
Longitud de fibras peladas	5 – 16 mm (para el recubrimiento no más de 250 μm)
Pérdidas típicas de fusión	0,02 dB (SMF) 0,01 dB (MMF) 0,04 dB (DSF) 0,04 dB (NZDSF)
Evaluación de pérdidas en el punto de fusión	Por el núcleo Decalaje angular Deformación de fibra
Pérdidas de retorno	≤ 60 dB
Mangueras compatibles	60 mm 40 mm micro
Programas de fusión	100 ajustables
Programas de contracción	30 (10 pre-establecidos + 20 ajustables)
Memoria interna	hasta 2000 resultados y parámetros de fusión
Posibilidades adicionales	
Prueba de resistencia mecánica de zona de fusión	Fuerza de extensión 1,96 – 2,25 N
Tiempo de vida útil de electrodos	3 000 ciclos
Interfaces externas	USB 1.1, Mini-DIN
Visualización de información	
Tipo de pantalla	LCD giratoria con protección contra destellos
Diagonal	4.73"
A color	Si
Visualización del punto de fusión	Si (2 cámaras CMOS)
Aumento	x200
Alimentación	
Adaptador de red ADC-19	220 V AC
Batería recargable BTR-09	capacidad 4000 mA/h
Tiempo de funcionamiento de batería	hasta 200 ciclos completos (incluyendo contracción térmica)
Condiciones de explotación	
Temperatura	-10 ~ +50°C
Altura sobre el mar	0 ~ 5000 m

Humedad relativa	0 ~ 95% (sin condensación)
Velocidad del viento max.	15 m/s
Condiciones de almacenamiento	
Temperatura	-40 ~ +80 °C
Humedad relativa	hasta 95% (sin condensación)
Protección de factores externos	
Resistencia a las caídas	altura: 76 sm, cualquier superficie
Impermeabilidad al polvo	partículas de polvo de 0,1 a 500 µm
Impermeabilidad al agua	lluvia 10 mm/hora durante 10 min.
Dimensiones y peso	
Anchura	150 mm
Longitud	159 mm
Altura	146 mm
Peso	2,5 kg (con adaptador ADC-18) 2,7 kg (con batería BTR-09)

Kit de fusión. Para procedimiento de fusión.

Fujikura 70S "Kit-A" Plus

- Empalmadora de fibra óptica **Fujikura 70S** — 1 unidad.
- Cortadora de fibras automática Fujikura CT-30A — 1 unidad.
- Batería recargable **BTR-09** — 1 unidades.
- Cable para batería **DCC-18** — 1 unidades.
- Cable para conectar al encendedor del coche **DCC-12** — 1 unidad.
- Cable de alimentación para conectarse a la batería externa (con bornes tipo "caimán") **DCC-13** — 1 unidad.
- Fijadores adicionales para pigtales en tubo holgado CLAMP-S70D — 1 Unidad.
- Adaptador de red **ADC-18** — 1 Unidad.
- Cable de alimentación de red **ACC-15** — 1 Unidad.
- Electrodo de repuesto **ELCT2-20A** — 2 pares

- Cable USB **USB-01** — 1 Unidad.
- Herramienta para poner la manguera **SL-01** — 1 Unidad.
- Dispensador para alcohol **AP-01** — 1 Unidad.
- Destornillador **SC-01** — 1 Unidad.
- CD con el software Data Connection y videos demostrativos — 1 Unidad.
- Guía rápida de inicio — 1 Unidad.
- Talón de garantía de fábrica por 2 años con reemplazo de aparato durante su reparación — 1 Unidad.
- Maletín rígido **CC-30** — 1 Unidad.

3.2.4. Entregables del proyecto

a. Pruebas TRC y Bidireccionales

Se entregarán al final del proyecto las pruebas de atenuación y reflectancia (extensión .trc). Son trazas que contienen la tabla de valores de atenuación en relación a la distancia óptica adquirida.

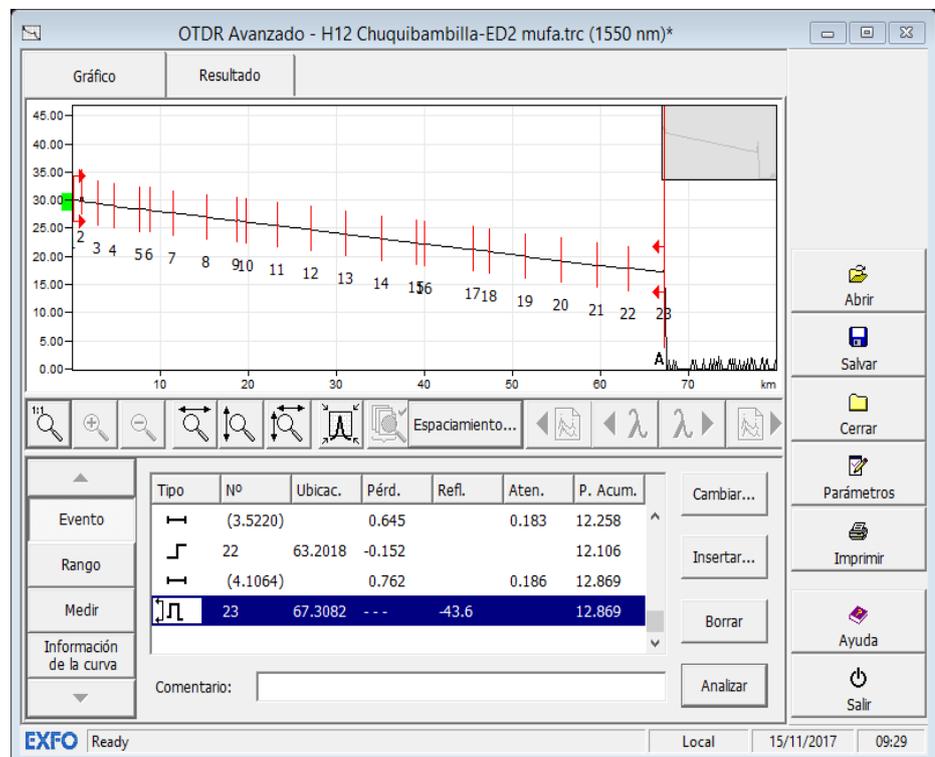


Gráfico 61. Traza de atenuación y reflectancia (TRC)

También se entregarán las pruebas bidireccionales de atenuación y reflectancia (extensión. bir), donde se hace un análisis cruzado de 2 trazas de atenuación de un mismo tramo.

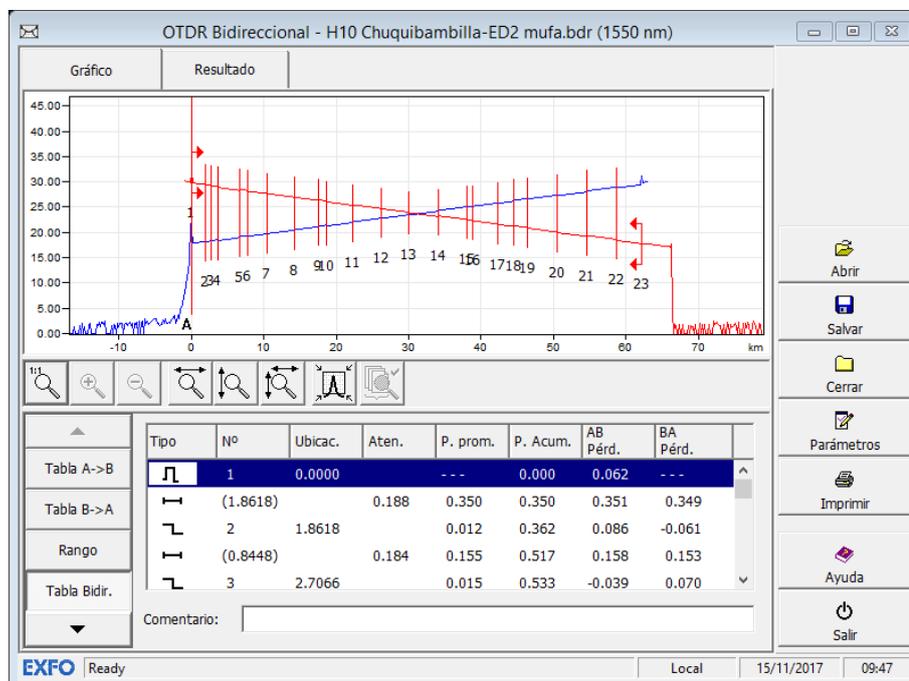


Gráfico 62. Traza bidireccional de atenuación y reflectancia.

b. Protocolos de Atenuación

Los protocolos de atenuación son formatos donde se vuelcan los datos de las trazas a unas tablas donde se promedian los valores obtenidos en cada punto de fusión. También se recopila los valores de atenuación total por enlace y los valores de perdida de inserción de conector.

Estos protocolos son más manejables y comprensibles que las trazas, debido a que los valores de cada traza son agrupados en una misma tabla, permitiendo realizar promedios y gráficos a partir de esta información.

En los siguientes gráficos mostramos ejemplos de estos formatos.

	FORMATO		Código: ACT-O2.2.5-ACPF35						
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - ATENUACION BIDIRECCIONAL DE EMPALMES		Versión: MTC						
			Fecha: 112-set-2017						
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura			Pág. 1 de 3						
Enlace:	CARIPA-TARMA	Fecha Ejecución:	21/09/2014	Long. Total:	37.570 km	Ancho Pulso:	275ns	Archivos A>B:	
Estación A:	CARIPA	Estación B:	TARMA	Tiempo muestreo:	60s	RBS:	-81.87	Archivos B>A:	
Equipo/Modulo:	FTB-7500E-023B-EA	Long. Onda:	1550	Fecha Calibración:		Ind. Refracción:	1.47	S/N Equipo:	1029222
						% Helocoidal:	0.00%		

	FORMATO		Código: ACT-O2.2.5-ACPF29	
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - MEDICION DE ATENUACIÓN TOTAL DEL ENLACE CON OTDR		Versión: 5	
			Fecha: 28-ago-2017	
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura			Pág. 1 de 1	

Hoja 1 de 1			
ENLACE:	Union Leticia-Tarma	FECHA:	21/04/2014
ESTACIÓN A:	Union Leticia	ESTACION B:	Tarma
MARCA EQUIPO A	EXFO	MARCA EQUIPO B	EXFO
S/N EQUIPO A:	884097	S/N EQUIPO B:	884097
LONG. ONDA:	1550 nm	RANGO DISTANCIA:	30
ANCHO DE PULSO:	100 ns	TIEMPO MUESTREO:	30 segundos
BOBINA LANZAMIENT		COEF. RAYLEIGH (RE	-81.87
LONGITUD ENLACE:	20.64	INDICE REFRACCION	1.46
		ARCHIVO:	

Gráfico 63. Formatos de atenuación de enlaces

CAPITULO IV

DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL ENLACE

La necesidad de ofrecer mayor conectividad de red a los usuarios, en base a la actualización de infraestructura óptica del enlace Caripa- Tarma-La Merced de la red óptica de la empresa América Móvil, fue motivo para emprender este proyecto, con la finalidad de instalar fibra óptica monomodo. La primera etapa de este proyecto fue: identificar las necesidades y problemas del enlace en cuestión y su infraestructura óptica. Por lo tanto, se tenía que conocer el estado actual y las capacidades de uso, de los registros existentes de Telecomunicaciones, así como las características de los equipos activos, para determinar si se requerirán de nuevos equipos ópticos; de este último análisis se encargó la empresa América Móvil debido a que se encuentra dentro de planta interna.

4.1. Topología física

Continuando en el apartado de análisis, se determinó realizar recorridos de campo a fin de identificar las trayectorias del tendido de fibra óptica, proyecto que fue ejecutado por la empresa Satelital Telecomunicaciones S.A.C.

El enlace de fibra óptica fue desplegado a través de torres de alta tensión de energía eléctrica propiedad de las empresas UNACEM y ELECTROCENTRO, con quienes la empresa América Móvil disfruta de buenas relaciones y convenios empresariales.

El enlace tendido parte de la sub estación Caripa con dirección al Site de agregación de la ciudad de la Merced, pasando por el Site de agregación de la ciudad de Tarma.

A continuación, se detalla la ruta del tendido existente:

- CARIPA-UNIÓN LETICIA.
- UNION LETICIA-TARMA.
- TARMA-ACOBAMBA.
- ACOBAMBA-PALCA.
- PALCA-SAN RAMON.
- SAN RAMÓN -LA MERCED.

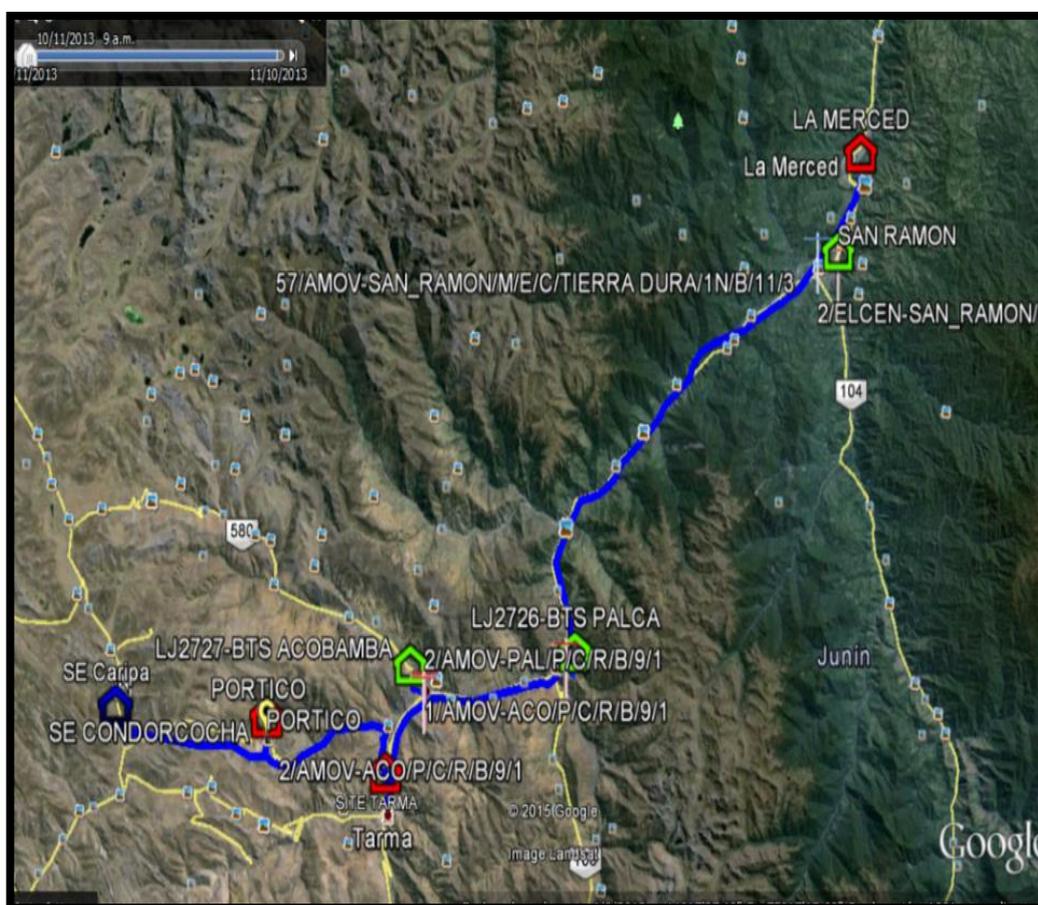


Gráfico 64. Ruta de Ampliación de la red dorsal de fibra óptica de la empresa América móvil.

4.2. Topología lógica

Dentro del diseño lógico tenemos el Site de Tarma con la función de ser el Agregador del resto de enlaces, además de contar con un equipo con

tecnología MPLC (Conmutación de etiquetas multiprotocolo) a través de la cual se cuenta con una VPN (red privada virtual) con la finalidad de conectar al Site de Agregación de La Merced, esta decisión se sustenta en las siguientes ventajas que ello otorga:

- Permitirá la implementación de futuros servicios en las capitales de cada provincia como transmisión de datos a alta velocidad, telefonía celular 4G, internet domiciliario, televisión, etc.
- Menor gasto en infraestructuras, reduciendo equipos, firewalls, servidores, etc.
- Menor gasto en mantenimientos.
- Menor consumo eléctrico.
- Mayor seguridad informática.
- Mayor rendimiento, menor número de saltos entre emplazamientos
- QoS Priorización del tráfico en tiempo real, uso de la misma red para todos los servicios.
- Diagnóstico de averías más rápido.
- Más económico y de fácil migración que otras soluciones existentes ya no requiere un hardware específico en el cliente.
- Recuperación ante desastres, conexiones redundantes en la nube mpls, fácil reconexión de un emplazamiento remoto a conexiones de backup.

En el siguiente gráfico se muestra la topología de la red dorsal que amplía su conectividad de fibra óptica desde el Site Core de la Oroya hasta el Site La Merced.

Para una correcta planificación de las instalaciones de cables con fibras ópticas es necesario considerar la atenuación total del enlace y el ancho de banda del cable utilizado.

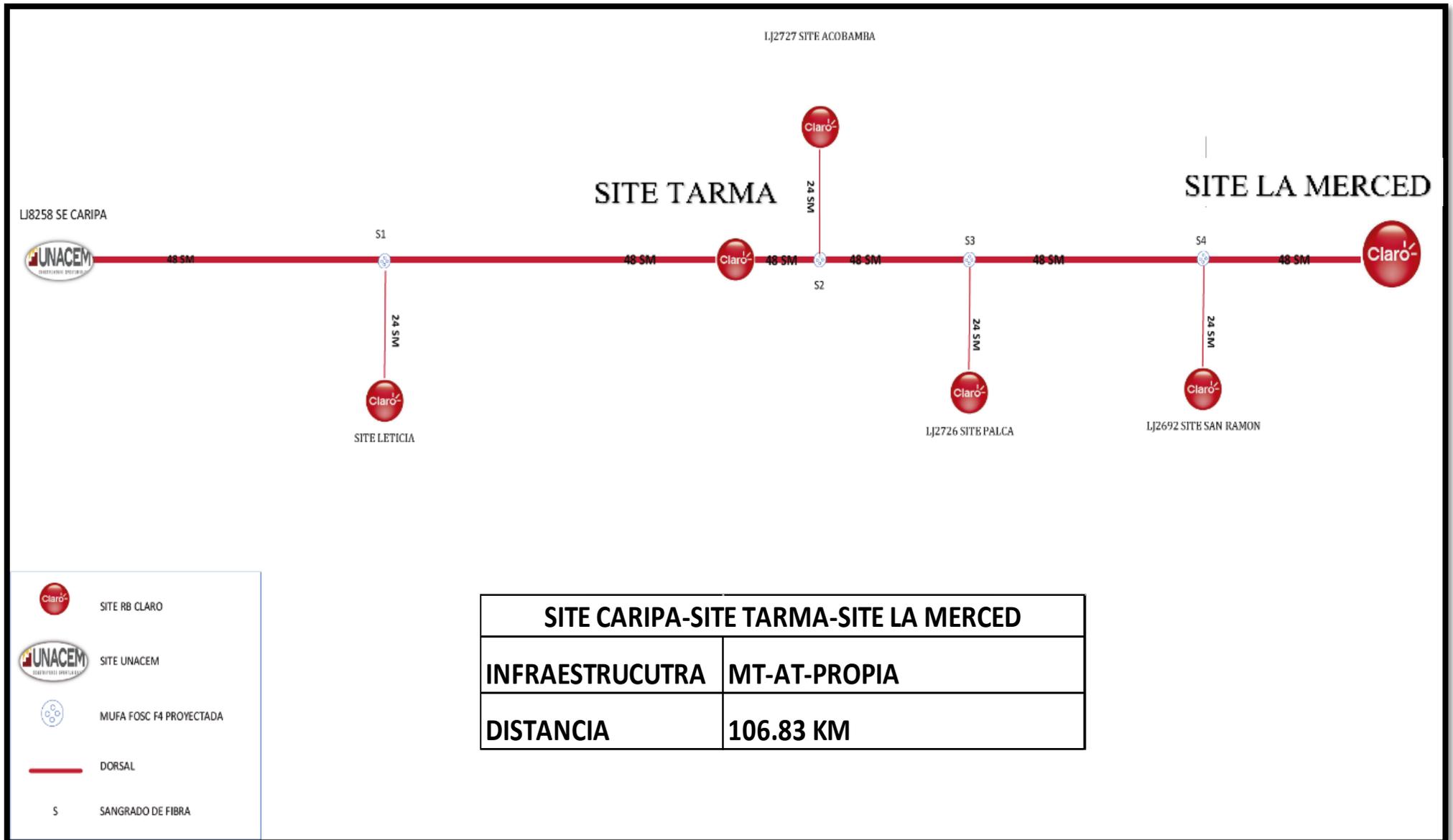


Gráfico 65. Topología de la Red Dorsal de América Móvil.

4.3. Cálculo del cable de fibra óptica

La atenuación total del cable considerando reserva será:

$$a_t = La_L + n_e a_e + a_r L$$

L = longitud del cable en *Km*.

a_L = coeficiente de atenuación en *dB/Km* = 0.2

n_e = número de empalmes

a_e = atenuación por empalme = 0.1

a_r = reserva de atenuación en *dB/Km* = 0.3

La reserva de atenuación (margen de enlace), permite considerar una reserva de atenuación para empalmes futuros (reparaciones) y la degradación de la fibra en su vida útil (mayor degradación por absorción de grupos OH).

La magnitud de la reserva depende de la importancia del enlace y particularidades de la instalación, se adopta valores entre 0.1 dB/Km y 0.6 dB/Km.

Las pérdidas en los empalmes se encuentran por debajo de 0.1 dB/Km no superan 0.5 dB/Km.

Tener en cuenta que cada bobina es de 4 Km.

Para el cálculo de empalmes: #12

Los siguientes cálculos teóricos, se realizan en función a los estándares TIA/EIA, estándar que nos permitirá diseñar e implementar la red de empalmes, acorde a los parámetros requeridos por un el tipo de enlace ya sea dorsal, que requiere de un trabajo de óptima calidad, así como también los enlaces IP, que requieren valores más holgados.

Para los realizar los cálculos teóricos, tenemos los siguientes enlaces dorsales y enlaces IP de la red de transmisión de la empresa América Móvil.

4.4. Enlaces Dorsales.

A. Enlace Dorsal Caripa – Tarma (ODF a ODF)

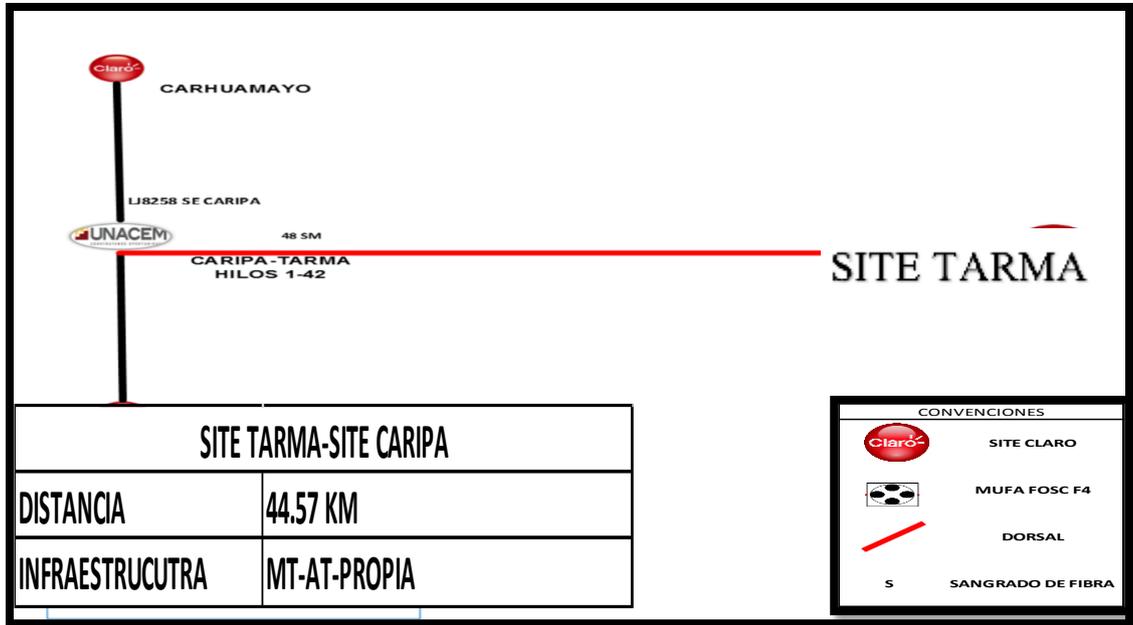


Gráfico 66. Topología lógica del enlace Caripa-Tarma.

Valor para el cálculo de pérdida de segmento.

Km	44.57
N° bobinas	9.275
N° empalmes	10

Tabla 31.

Calculo de pérdida de segmento del enlace dorsal Caripa-Tarma.

CALCULO DE PERDIDA DE SEGMENTO DEL ENLACE DORSAL CARIPA-TARMA			
DESCRIPCION	CANTIDAD	ATENUACION ITU	TOTAL
EMPALMES RECTOS	10	0.100 dB	1.00 Db
CONECTOR	2	0.500 dB	1.00 Db
DISTANCIA DEL ENLACE KM X 0.2 DB	45.57	0.200 dB	9.11 Db
			11.11 Db

Enlace Dorsal Tarma – La Merced (ODF-ODF)

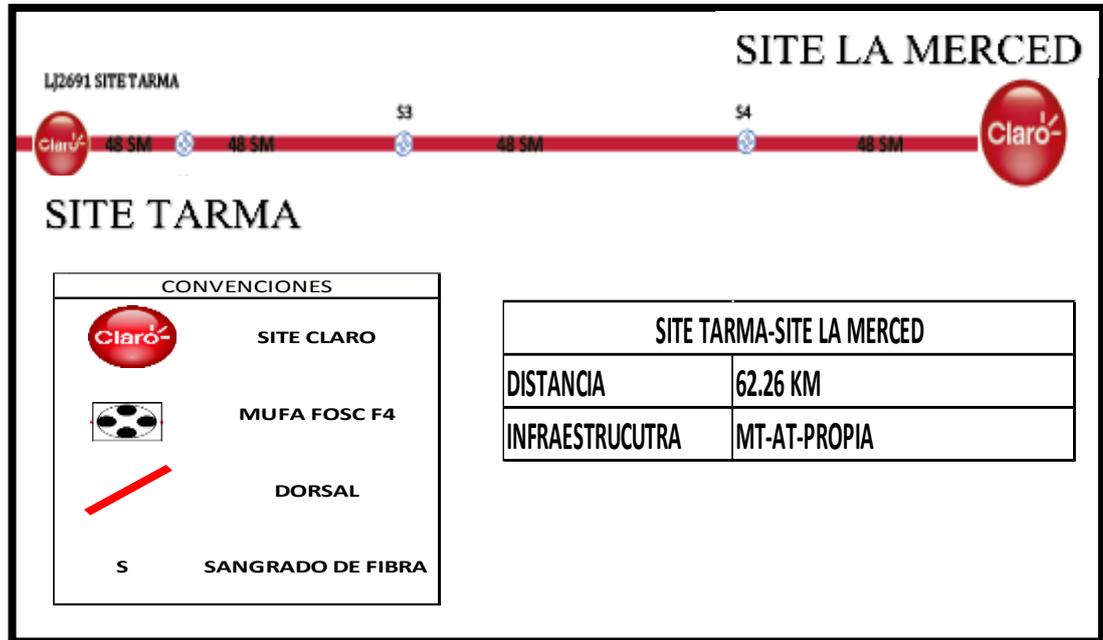


Gráfico 67. Topología de la red dorsal Tarma-La Merced.

Valor para el cálculo de pérdida de segmento.

Km	62.260
N° bobinas	16.225
N° empalmes	22

Tabla 32

Calculo de pérdida de segmento del enlace dorsal Tarma-La Merced

CALCULO DE PERDIDA DE SEGMENTO DEL ENLACE DORSAL TARMA-LA MERCED			
DESCRIPCION	CANTIDAD	ATENUACION ITU	TOTAL
EMPALMES RECTOS	22	0.100 dB	2.20 dB
CONECTOR	2	0.500 dB	1.00 dB
DISTANCIA DEL ENLACE KM X 0.2	62.26	0.200 dB	12.45 dB
			15.65 dB

4.5. Enlaces IP

A. Tarma- Unión Leticia

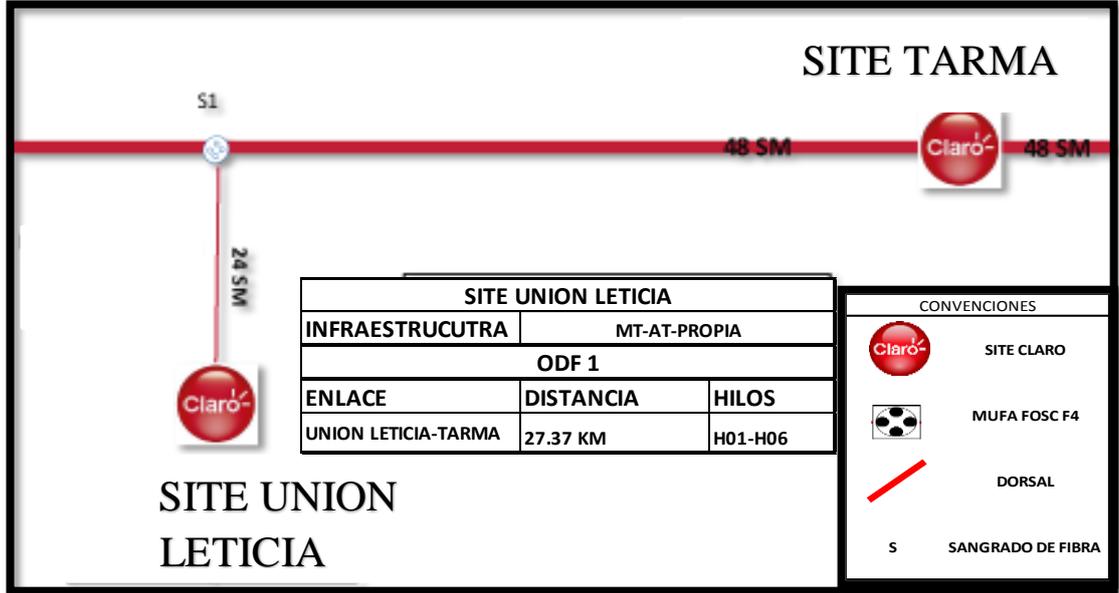


Gráfico 68. Topología de la red de conexión Tarma-Unión Leticia.

Valor para el cálculo de pérdida de segmento

Km	27.37
N° bobinas	6.850
N° empalmes	6

Tabla 33

Calculo de pérdida de segmento del enlace dorsal Tarma-Unión Leticia

CALCULO DE PERDIDA DE SEGMENTO DEL ENLACE DORSAL UNION LETICIA-TARMA			
DESCRIPCION	CANTIDAD	ATENUACION ITU	TOTAL
EMPALMES RECTOS	6	0.100 dB	0.60 dB
CONECTOR	2	0.500 dB	1.00 dB
DISTANCIA DEL ENLACE KM X 0.2 DB	27.37	0.200 dB	5.47 dB
			7.07 dB

B. Tarma- Acobamba

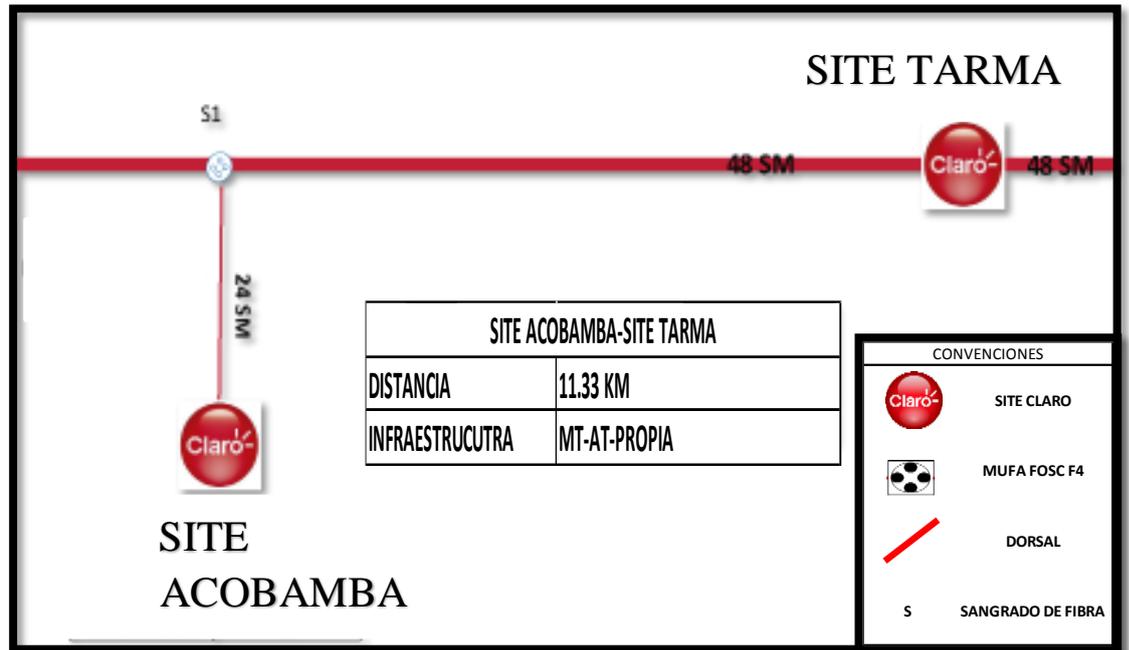


Gráfico 69. Topología de la red de conexión Tarma-Unión Leticia.

Valores para el cálculo de pérdida de segmento

Km	11.332
N° bobinas	2.875
N° empalmes	3

Tabla 34.

Calculo de pérdida de segmento del enlace dorsal Tarma-Acobamba.

CALCULO DE PÉRDIDA DE SEGMENTO DEL ENLACE DORSAL TARMA-ACOBAMBA			
DESCRIPCION	CANTIDAD	ATENUACION ITU	TOTAL
EMPALMES RECTOS	3	0.100 dB	0.30 dB
CONECTOR	2	0.500 dB	1.00 dB
DISTANCIA DEL ENLACE KM X 0.2 DB	11.32	0.200 dB	2.26 dB
			3.56 dB

C. Tarma – Palca

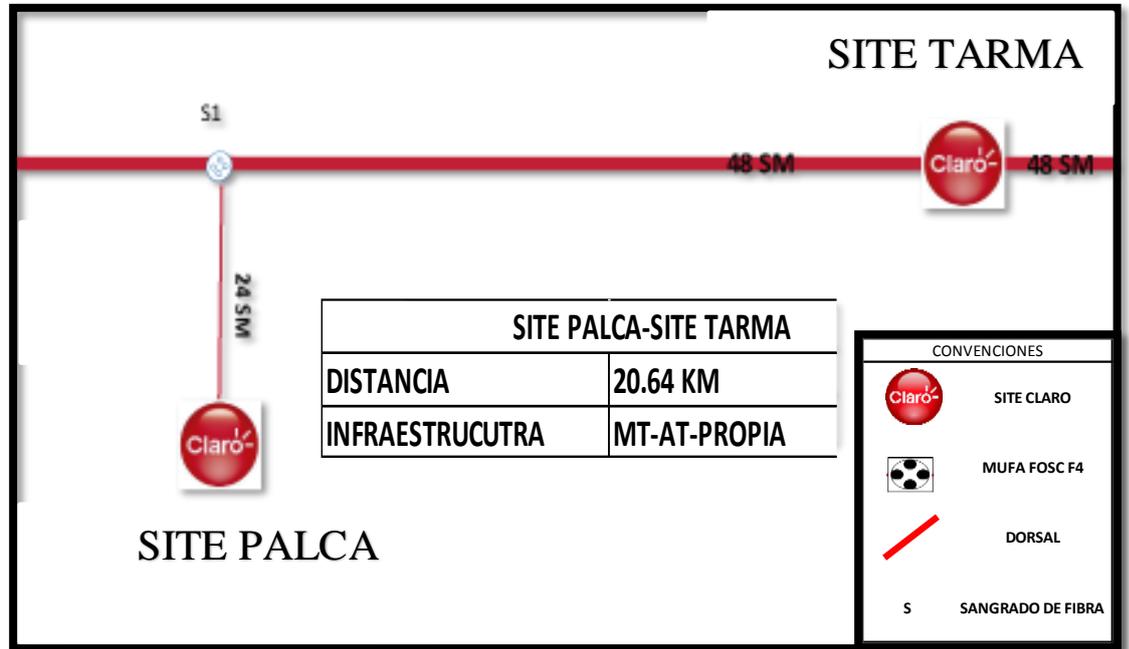


Gráfico 70. Topología de la red de conexión Tarma-Palca.

Valores para el cálculo de pérdida de segmento

Km	20.644
N° bobinas	5.245
N° empalmes	6

Tabla 35.

Calculo de pérdida de segmento del enlace dorsal Tarma-Palca.

CALCULO DE PERDIDA DE SEGMENTO DEL ENLACE DORSAL TARMA-PALCA			
DESCRIPCION	CANTIDAD	ATENUACION ITU	TOTAL
EMPALMES RECTOS	6	0.100 dB	0.60 dB
CONECTOR	2	0.500 dB	1.00 dB
DISTANCIA DEL ENLACE KM X 0.2 DB	20.64	0.200 dB	4.13 dB
			5.73 dB

D. La Merced – San Ramón

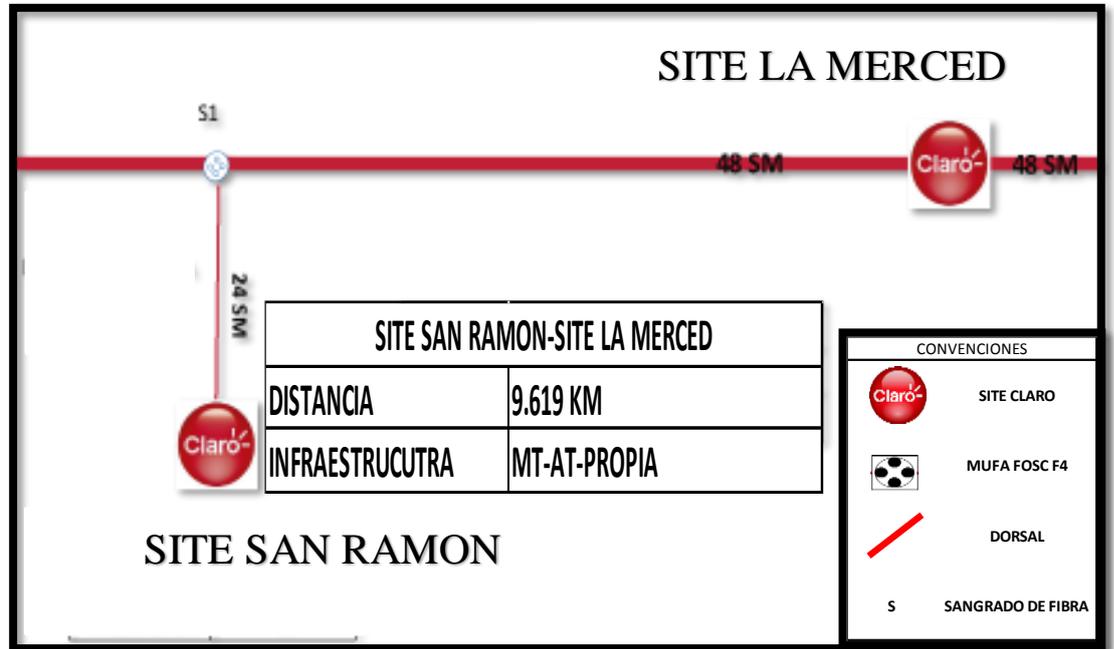


Gráfico 71. Topología de la red de conexión Tarma-Palca.
Valores para el cálculo de pérdida de segmento

Km	9.619
N° bobinas	2.475
N° empalmes	3

Tabla 36

Calculo de pérdida de segmento del enlace dorsal Tarma-Palca.

CALCULO DE PERDIDA DE SEGMENTO DEL ENLACE DORSAL SAN RAMON-LA MERCED			
DESCRIPCION	CANTIDAD	ATENUACION ITU	TOTAL
EMPALMES RECTOS	3	0.100 dB	0.30 dB
CONECTOR	2	0.500 dB	1.00 dB
DISTANCIA DEL ENLACE KM X 0.2 DB	9.62	0.200 dB	1.92 dB
			3.22 dB

4.6. Tabla de Valores de Margen permitido por Enlace.

Tabla 37.

Tabla de valores de margen de enlace permitido.

Tramo	Distancia	Cantidad de Empalmes	Atenuación		
			Maxima Estimada X Enlace	Maxima Permitida X Empalme	Estimada X Km
CARIPA – TARMA	44.57 Km	10	11.11 dB	0.10 dB	0.10 dB
TARMA – LA MERCED	62.26 Km	22	15.65 dB	0.10 dB	0.10 dB
TARMA-U. LETICIA	27.37 Km	6	7.07 dB	0.30 dB	0.20 dB
TARMA – ACOBAMBA	11.32 Km	3	3.56 dB	0.30 dB	0.20 dB
TARMA – PALCA	20.64 Km	6	5.73 dB	0.30 dB	0.20 dB
LA MERCED – SAN RAMON	9.62 Km	3	3.22 dB	0.30 dB	0.20 dB

4.7. Cronograma del Proyecto

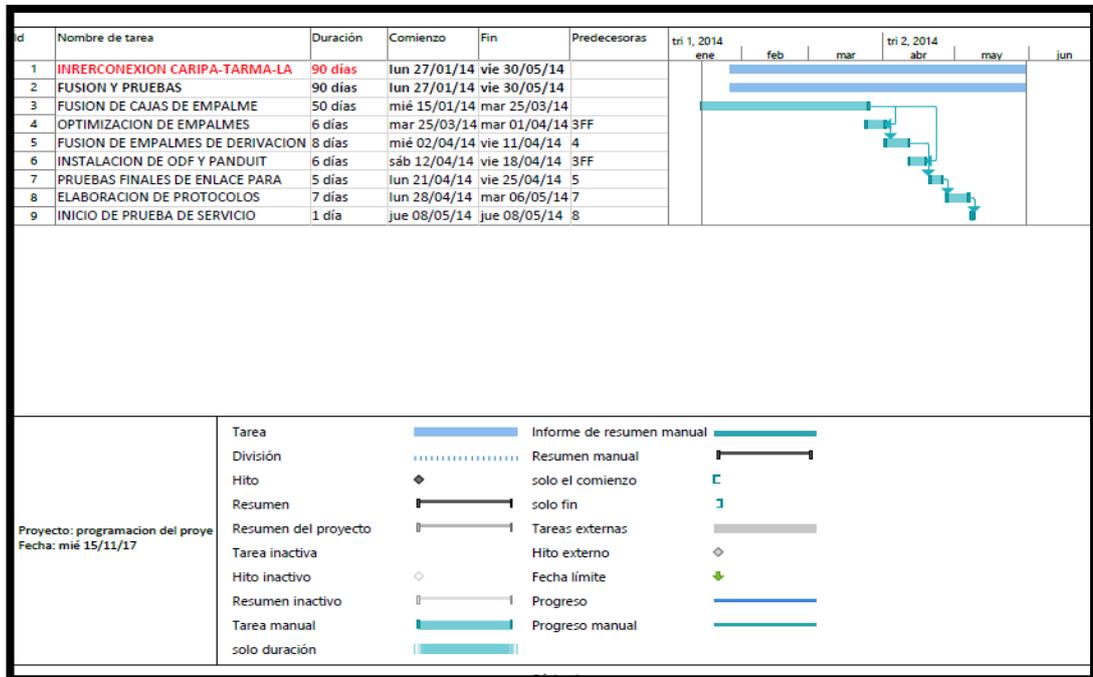


Gráfico 72. Cronograma del proyecto de fusión de fibra óptica.

CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

En términos generales, se cumplió ampliamente con el objetivo del proyecto, realizando el análisis, diseño e implementación del proceso de empalmes de fibra óptica de la red Dorsal de la empresa América Móvil. Dando como resultado la ampliación y actualización de la infraestructura tecnológica de telecomunicaciones, aportando una parte importante en el proceso de mejora y ampliación de servicios de banda ancha de la red, aumentado la capacidad del ancho de banda hasta 100 Gbps de la capa de transporte de los sites de agregación, conexión y distribución de la nueva red de américo móvil.

A continuación, describiremos los resultados y aportaciones detalladas de las etapas del proyecto.

En la etapa de análisis se mencionó el recorrido para identificar los cierres de empalme existentes así como evaluar las características siguientes:

- Estado actual de los enlaces de Telecomunicaciones (Fibra Óptica).
- Ubicación de cierres de empalme de fibra óptica.
- Pruebas del cable de fibra óptica después de tendido y flechado (Pruebas Matt).
- Ubicación exacta de los registros de telecomunicaciones.
- Pruebas de inserción de conector con valores **0.500 dB de pérdida y reflectancia entre -40 a -60 dB.**
- Protocolo de aceptación de enlace con **promedio de empalmes de ida y vuelta de 0.100 dB**

- Pruebas de atenuación de enlace total que debe ser a partir del cálculo realizado del enlace teórico descrita en **la tabla número 12**.
- Los parámetros de **pérdida de retorno óptica u ORL debe estar entre 30 a 33 dB**. En tramos cortos pueden llegar a 40 dB.

Los parámetros requeridos se toman del reflectómetro, se utilizará equipo EXFO que brinda el mejor desempeño en el mercado para pruebas ópticas, Ethernet y multiservicio, lo cual nos permite cumplir los requerimientos establecidos.

En el siguiente grafico observamos el proceso de medición reflectométrica de los hilos de fibra óptica, realizados desde los sites de los hilos designados de los enlaces de conexión y en el caso de los enlaces dorsales se realizó la medición de hilos asignados e hilos oscuros del enlace.



Gráfico 73. *Medición de hilos de fibra óptica de la red de América Móvil.*

A partir de las pruebas reflectométricas debemos de llenar los siguientes cuadros:

- Protocolo de aceptación del enlace de Fibra Óptica – Inserción del Conector.

- Protocolo de aceptación de enlace de Fibra Óptica – Pruebas bidireccionales de empalmes.
- Protocolo de aceptación de enlace de Fibra Óptica – Atenuación total del enlace.

Las pruebas deben ser tomadas con los siguientes parámetros:

- Ventana: 1550 nm
- Tiempo: de 1 a 3 minutos
- Pulso: 1 us a 2.5 us
- Distancia: de acuerdo a la topología y distancia indicada.
- Bobina de lanzamiento: 500 a 1000 m.
- Respecto al tipo de empalme de fibra óptica, se decidió por el tipo de fusión por arco eléctrico debido a los valores mínimos de atenuación que nos asegura. Se utilizó la fusionadora Fijikura que se muestra a continuación en el gráfico.



Gráfico 74. *Fusión de hilos de fibra óptica en un cierre de empalme.*

- Además, en este análisis se tomó en cuenta el número de empalmes que se realizaran en cada enlace, a fin de cubrir todos los cierres de empalme que comprende un enlace. Esta información es importante para el diseño de los diagramas de empalme de fibra óptica.
- Los hilos fusionados fueron ordenados de acuerdo al código de colores por cada Buffer, esto es importante debido a que así evitamos equivocaciones en la manipulación de hilos asignados y en servicio que podrían generar la pérdida del enlace.

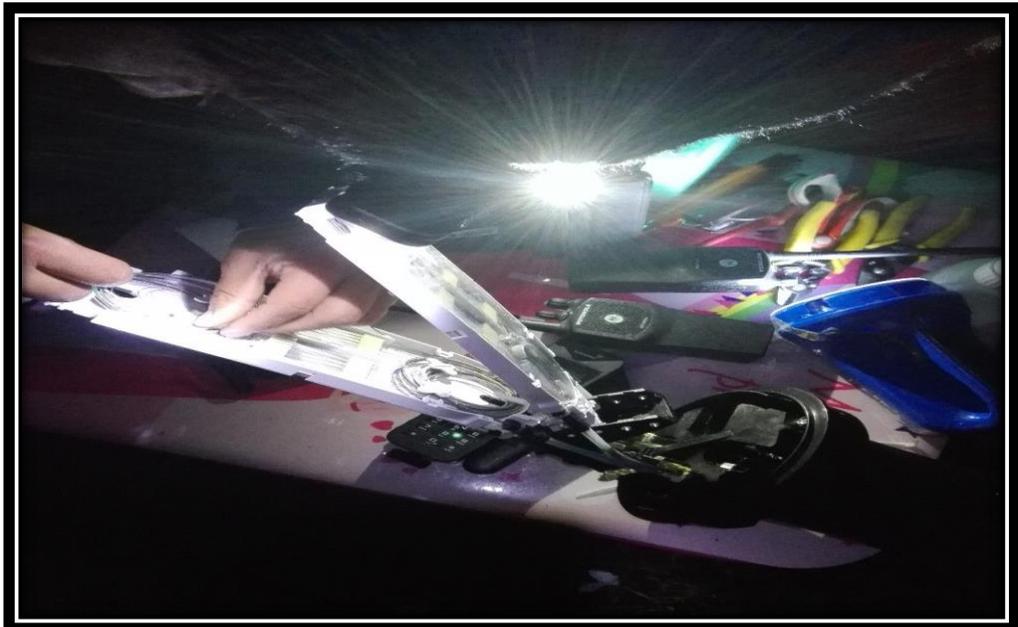


Gráfico 75. *Proceso de ordenamiento de los hilos fusionados de acuerdo al código de colores por cada buffer.*

Se cumplió con las normas TI/EIA-758, la cual menciona la intervención manual en caso de aumentar el número de empales de hilos de fibra óptica. La capacidad de ser resistentes a la exposición de agua, humedad, productos, químicos y al fuego.

Se definió el uso de etiquetas las cuales deberá indican el origen y destino del enlace óptico, así como la cantidad de hilos asignados y la distancia de la misma. Estas etiquetas fueron sujetadas en los cables de fibra óptica, distribuidores de fibra óptica en toda la trayectoria en cada enlace.

5.1. Resultado de las pruebas reflectométricas

Para realizar las pruebas de atenuación de los enlaces ópticos, se configuró el OTDR dependiendo la distancia aproximada del enlace, el ancho del pulso y la duración de la prueba. De igual forma el tipo de fibra óptica y las longitudes de onda a las que se iban a medir.

Además, antes de iniciar las pruebas antes mencionadas, se humedeció el conector LC del distribuidor de fibra óptica con alcohol isopropílico con la intención de limpiarlos para evitar mayores pérdidas en los enlaces ópticos.

En las siguientes tablas, se muestran los resultados gráficos que arrojó el OTDR, en la medición de atenuación de los enlaces ópticos con longitud de onda de 1550nm.

5.1.1. Enlaces Dorsales

Para los enlaces dorsales los valores promedios permitidos de fusión son menores o iguales a 0.100 dB, garantizando la conectividad óptima entre los sites de la empresa América Móvil.

- **Enlace Dorsal Caripa-Tarma**

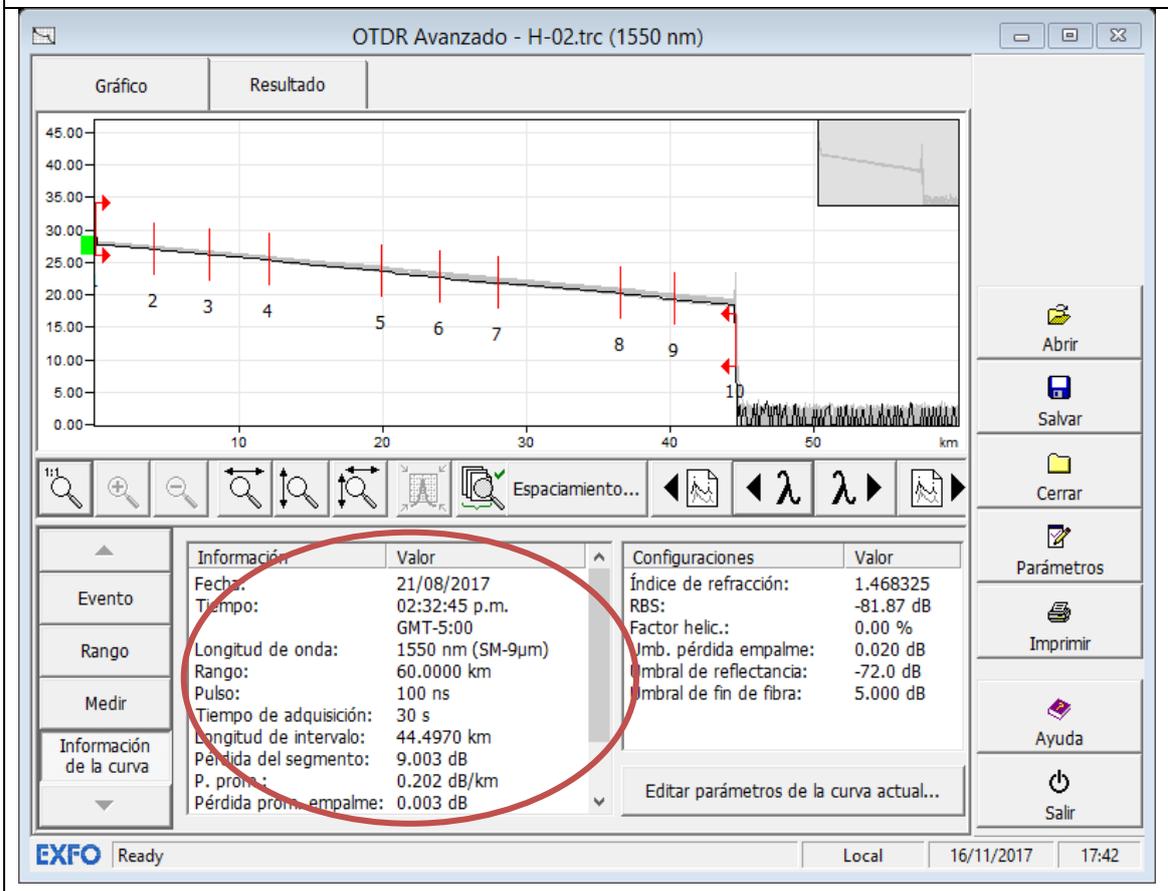
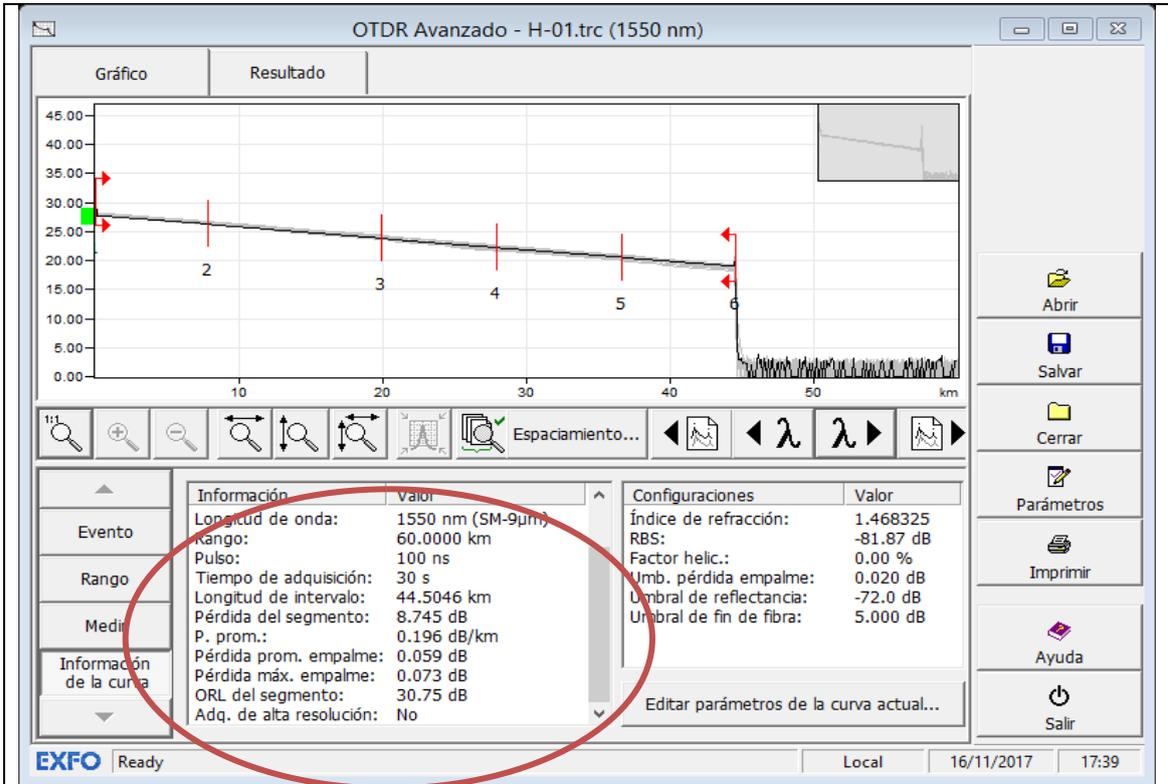
Los resultados obtenidos del enlace dorsal Caripa-Tarma presentan valores promedios menores a 0.100 dB de pérdida por empalme.

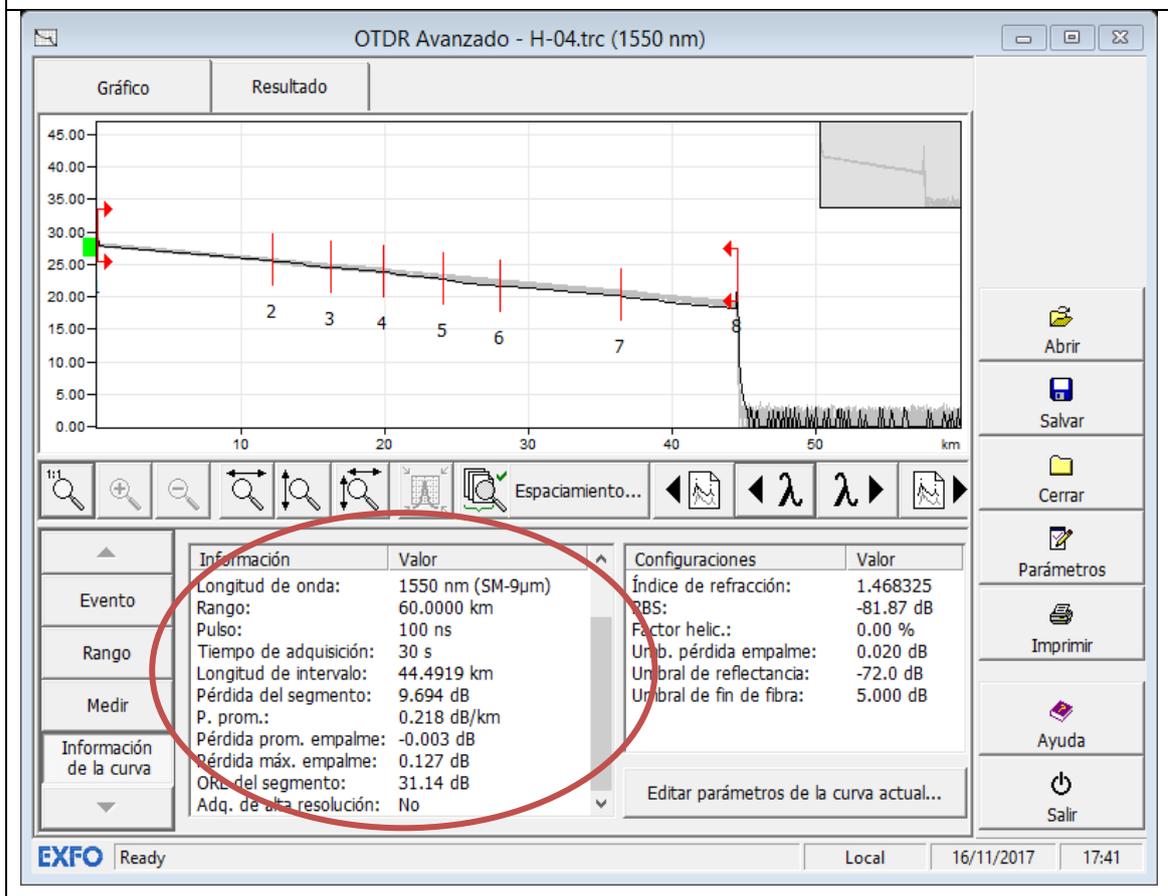
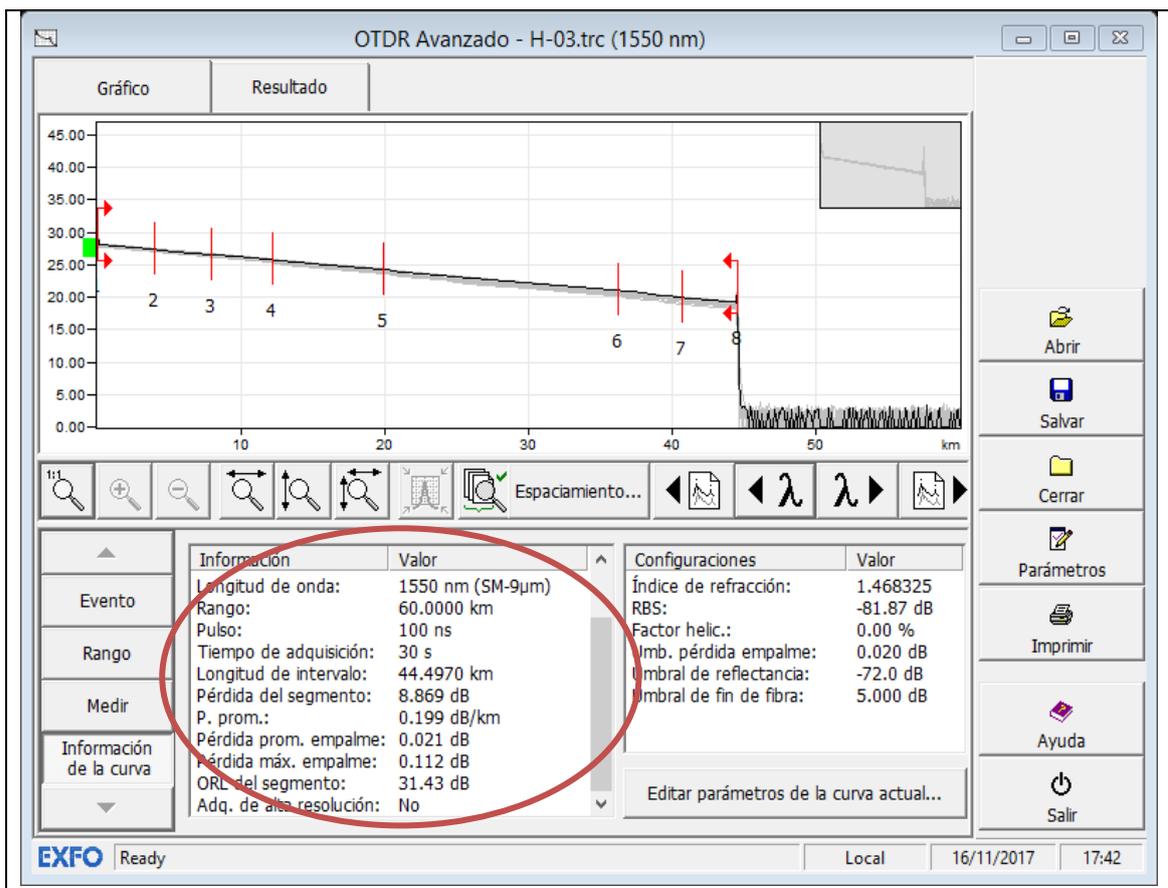
En las siguientes tablas se muestran los gráficos de medición reflectométrica y los protocolos de atenuación con los valores promedios por cada hilo.

Las pruebas Reflectométricas se realizaron de forma bidireccional, obtenidos de los 42 hilos desde el Site Caripa hacia el Site de Tarma y viceversa, reservando los hilos del 43 al 48 para el enlace de derivación de Unión Leticia hacia Tarma. Finalmente presentamos el diagrama de empalmes obtenidos en este enlace dorsal.

Tabla 38

Pruebas Reflectométricas Bidireccionales del enlace Caripa-Tarma.





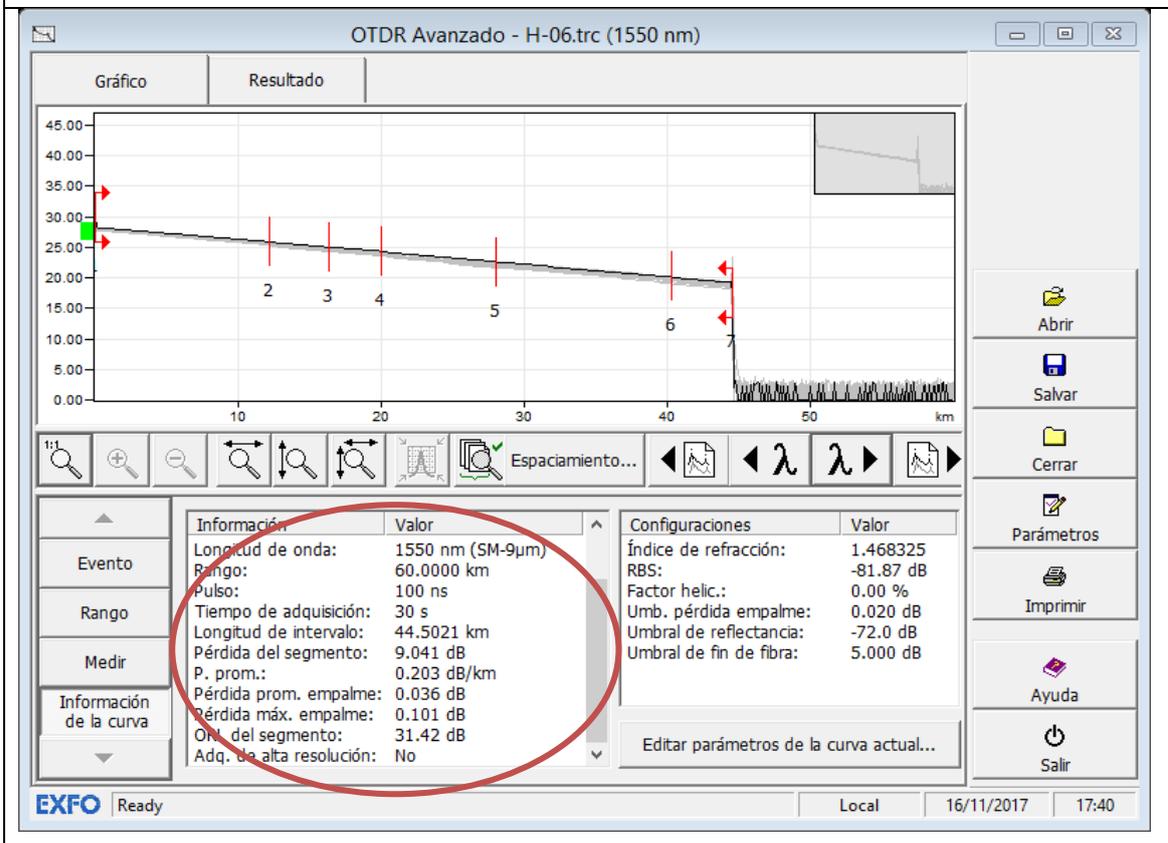
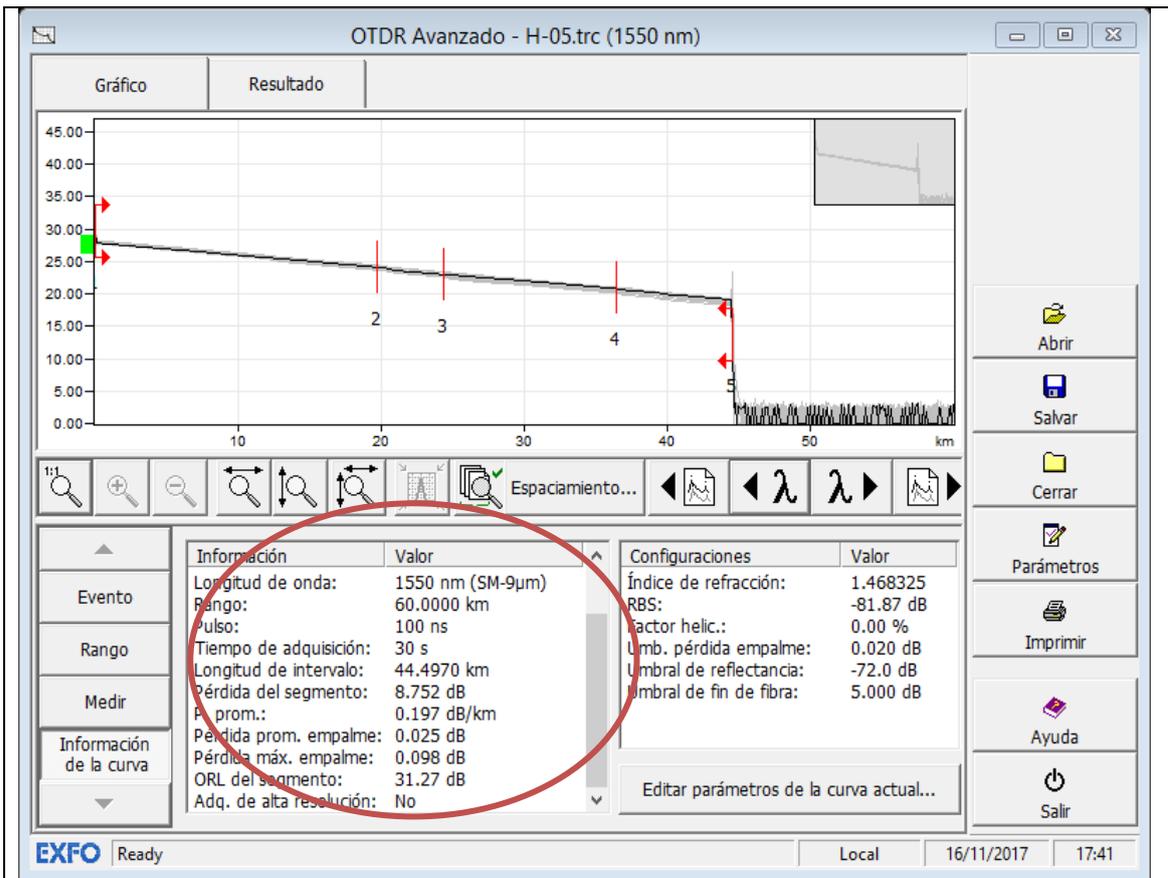


Tabla 39

Protocolo de atenuación bidireccional de empalmes Caripa-Tarma

		FORMATO PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - ATENUACION BIDIRECCIONAL DE EMPALMES																		Código: ACT-O2.2.5-ACPF35							
																				Versión: MTC							
																		Fecha: 28-ago-2017									
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura																		Pág. 1 de 7									
Enlace: <u>Caripa-Tarma</u> Estación A: <u>Caripa</u> Equipo/Modulo: <u>FTB-7500E-023B-EA</u>		Fecha Ejecución: <u>24-04-2014</u> Estación B: <u>Tarma</u> Long. Onda: <u>1,550nm</u>			Long. Total: <u>44.5 km</u> Tiempo muestreo: <u>30"</u> Fecha Calibración: <u>29/09/2013</u>			Ancho Pulso: <u>100 ns</u> RBS: <u>-81.87</u> Ind. Refracción: <u>1.468</u> % Helocoidal: <u>0.00%</u>			Archivos A>B: _____ Archivos B>A: _____ S/N Equipo: _____																
No.	Empalme 1			Empalme 2			Empalme 3			Empalme 4			Empalme 5			Empalme 6			Empalme 7			Empalme 8			Empalme 9		
Coorden	3.72			4.43			4.07			3.51			4.52			3.61			4.49			3.94					
Distancia	4.08	40.42		7.8	36.700		12.23	32.27		16.295	28.205		19.8	24.700		24.32	20.180		27.93	16.57		32.42	12.080		36.36	8.140	
HILO	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.
1	0.000	0.000	0.000	0.072	0.057	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	0.038	0.087	0.063	0.000	0.009	0.005	0.073	0.000	0.037
2	0.065	0.000	0.033	0.047	0.067	0.057	0.104	0.046	0.075	0.000	0.000	0.000	0.105	0.000	0.053	0.106	0.000	0.053	-0.093	0.107	0.007	0.000	0.037	0.019	0.036	0.034	0.035
3	0.112	0.000	0.056	-0.096	0.053	-0.022	0.077	0.000	0.039	0.000	0.000	0.000	0.092	0.000	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105	0.053	0.000	0.035	0.018	-0.074	0.030	-0.022
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.047	0.007	-0.020	-0.096	0.034	-0.031	0.092	0.010	0.051	0.127	-0.036	0.046	-0.157	0.048	-0.055	0.000	0.061	0.031	0.065	0.000	0.033
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.046	0.023	0.000	0.043	0.022	0.000	0.000	0.000	0.098	-0.070	0.014	-0.095	0.111	0.008	0.000	0.023	0.012	0.000	0.000	0.000	0.074	0.036	0.055
6	0.000	0.091	0.046	0.000	0.000	0.000	0.070	0.044	0.057	-0.052	0.000	-0.026	0.101	0.041	0.071	0.000	0.000	0.000	-0.009	0.097	0.044	0.000	0.018	0.009	0.000	0.060	0.030
7	0.103	0.000	0.052	0.000	0.043	0.022	0.052	0.000	0.026	0.000	0.058	0.029	0.098	-0.082	0.008	0.000	0.000	0.000	-0.003	0.038	0.018	0.068	0.109	0.089	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.058	0.029	0.000	0.116	0.058	0.000	-0.060	-0.030	0.061	-0.049	0.006	0.000	-0.203	-0.102	0.000	0.118	0.059	0.000	0.062	0.031	0.065	0.045	0.055
9	0.068	0.000	0.034	0.000	0.037	0.019	0.000	0.066	0.033	0.000	0.030	0.015	0.086	0.000	0.043	-0.004	0.000	-0.002	0.000	0.099	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.102	0.051
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.021	0.000	0.013	0.007	0.065	0.040	0.053	0.092	-0.003	0.045	-0.190	0.000	-0.095	0.071	0.008	0.040	0.000	0.099	0.050	0.000	-0.013	-0.007
11	0.000	0.000	0.000	0.102	0.092	0.097	-0.020	0.031	0.006	0.000	0.046	0.023	0.098	-0.005	0.047	0.000	0.046	0.023	0.103	0.000	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067	0.034
12	0.000	-0.193	-0.097	0.089	0.065	0.077	0.096	0.000	0.048	0.000	0.000	0.000	0.126	0.005	0.066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.073	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.009

Tabla 40

Protocolo de atenuación bidireccional de empalmes Caripa-Tarma

		FORMATO PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - ATENUACION BIDIRECCIONAL DE EMPALMES										Código: ACT-O2.2.5-ACPF35	
												Versión: MTC	
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura												Fecha: 28-ago-2017	
												Pág. 1 de 7	
Enlace: <u>Caripa-Tarma</u>		Fecha Ejecución: <u>24-04-2014</u>		Long. Total: <u>44.5 km</u>		Ancho Pulso: <u>100 ns</u>		Archivos A>B: _____					
Estación A: <u>Caripa</u>		Estación B: <u>Tarma</u>		Tiempo muestreo: <u>30"</u>		RBS: <u>-81.87</u>		Archivos B>A: _____					
Equipo/Modulo: <u>FTB-7500E-023B-EA</u>		Long. Onda: <u>1,550nm</u>		Fecha Calibración: <u>29/09/2013</u>		Ind. Refracción: <u>1.468</u>		S/N Equipo: _____					
						% Helocoidal: <u>0.00%</u>							

No.	Empalme 10													PROMEDIO TOTAL
Coorden	3.86													
Distancia	40.22	4.280												
HILO	A > B	B > A	PROM.											
1	0.000	0.000	0.000											0.020
2	-0.264	0.000	-0.132											0.020
3	0.014	0.000	0.007											0.017
4	0.000	0.000	0.000											0.005
5	0.000	0.057	0.029											0.016
6	0.073	0.000	0.037											0.027
7	0.000	0.000	0.000											0.024
8	0.000	-0.009	-0.005											0.010
9	0.074	-0.046	0.014											0.026
10	0.000	0.024	0.012											0.012
11	0.000	0.000	0.000											0.028
12	0.058	-0.112	-0.027											0.011

Tabla 41

Protocolo de medición de atenuación total del enlace Caripa-Tarma

	FORMATO		Código: ACT-O2.2.5-ACPF29
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - MEDICION DE ATENUACIÓN TOTAL DEL ENLACE CON OTDR		Versión: 5
			Fecha: 28-ago-2017
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura			Pág. 1 de 1

		Hoja 1 de 1	
ENLACE:	Caripa-Tarma	FECHA:	21/04/2014
ESTACIÓN A:	Caripa	ESTACION B:	Tarma
MARCA EQUIPO A	EXFO	MARCA EQUIPO B	EXFO
S/N EQUIPO A:	884097	S/N EQUIPO B:	884097
LONG. ONDA:	1550 nm	RANGO DISTANCIA:	60 km
ANCHO DE PULSO:	100 ns	TIEMPO MUESTREO:	30 segundos
BOBINA LANZAMIEN		COEF. RAYLEIGH (RE	-81.87
LONGITUD ENLACE:	44.50 km	INDICE REFRACCION	1.46
		ARCHIVO:	

FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)		FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)
1	8.745	8.729	8.737		25			
2	9.003	8.744	8.874		26			
3	8.869	8.714	8.792		27			
4	9.694	8.796	9.245		28			
5	8.752	8.849	8.801		29			
6	9.041	8.921	8.981		30			
7	8.799	8.729	8.764		31			
8	8.801	9.018	8.910		32			
9	9.187	8.848	9.018		33			
10	8.571	9.138	8.855		34			
11	9.063	8.774	8.919		35			
12	8.929	8.683	8.806		36			
13					37			

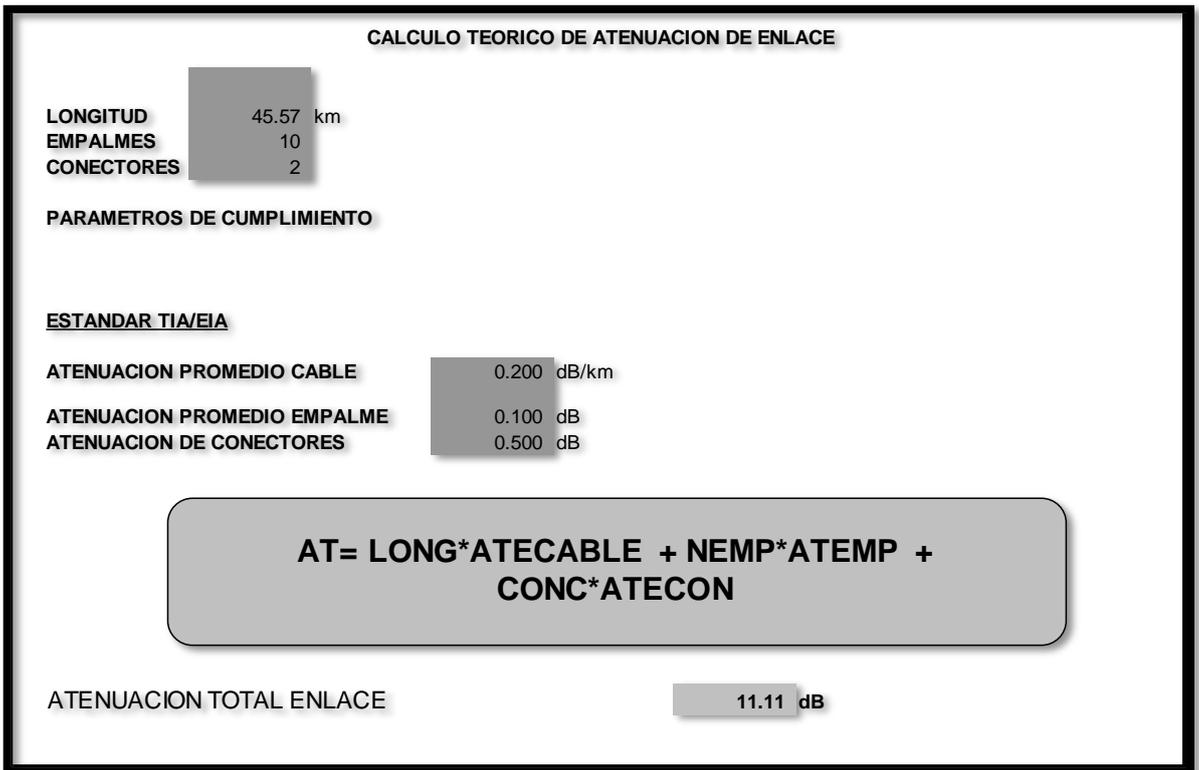


Gráfico 76. *Calculo teórico de atenuación del enlace Caripa-Tarma.*

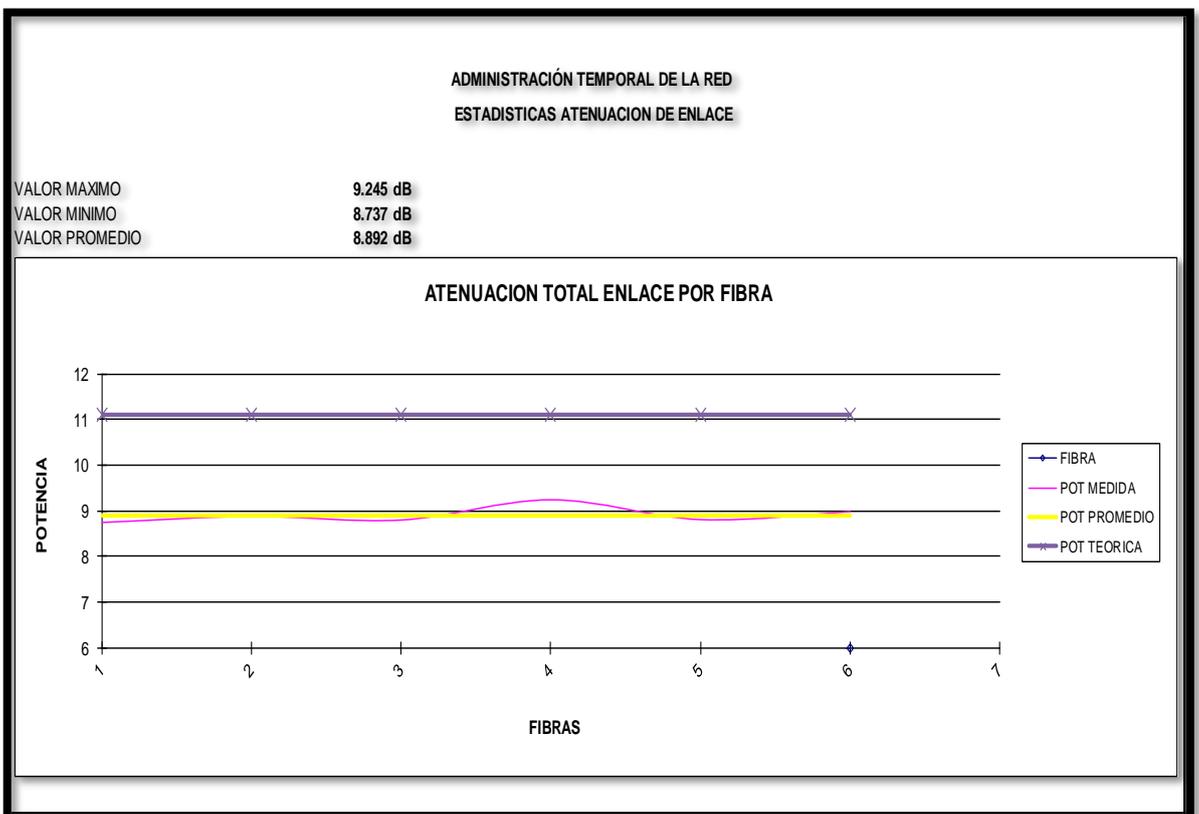


Gráfico 77. *Estadística de atenuación del enlace Caripa-Tarma.*

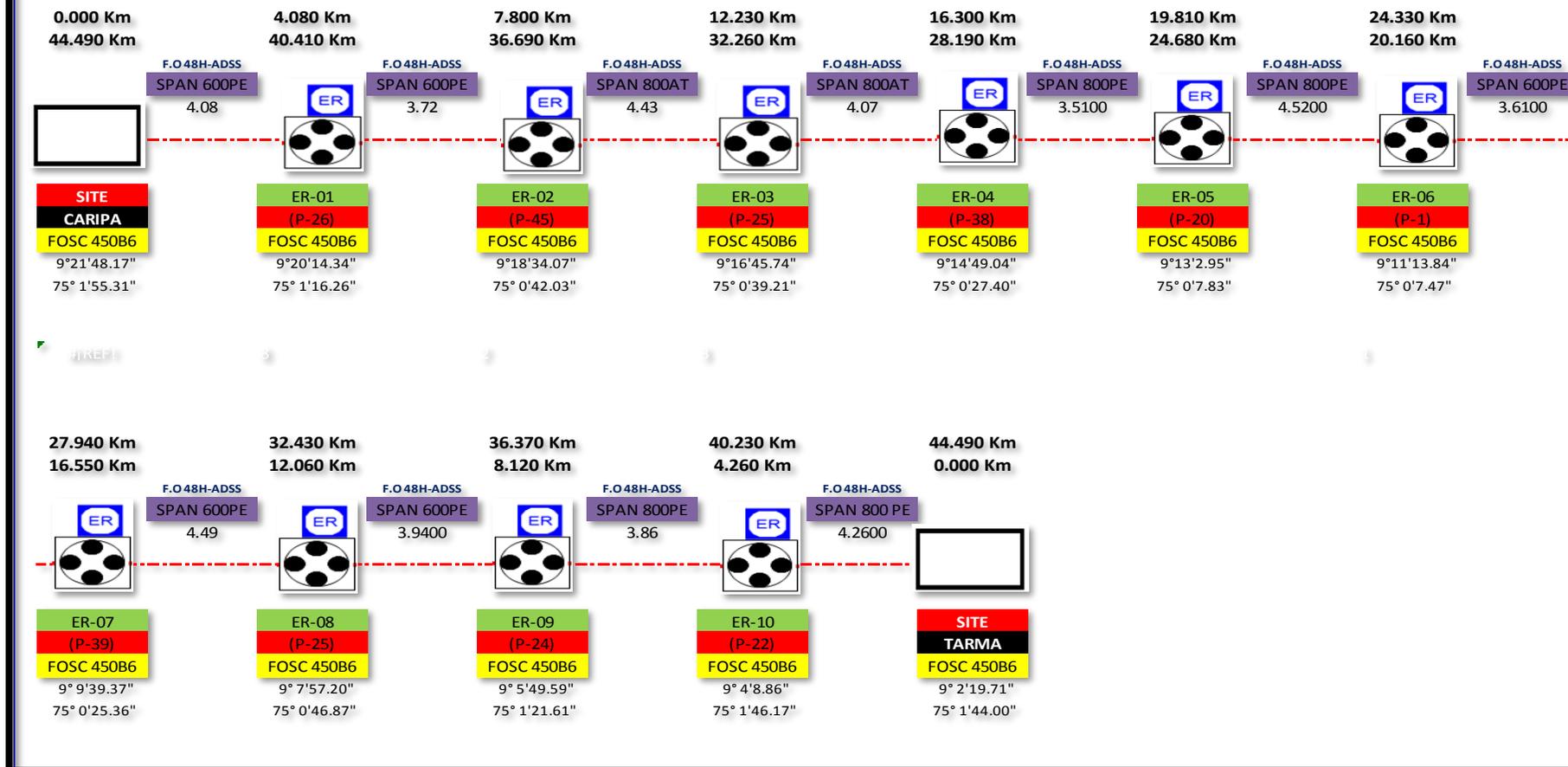


Gráfico 78. Diagrama de empalme del enlace Caripa-Tarma.

- **Enlace Dorsal Tarma-La Merced**

Los resultados obtenidos del enlace dorsal Tarma-La Merced presentan valores promedios menores a 0.100 dB de pérdida por empalme.

En las siguientes tablas se muestran los gráficos de medición reflectométrica y los protocolos de atenuación con los valores promedios por cada hilo. Dentro de este enlace, existen puntos de derivación hacia los sites conexión de Acobamba, Palca y San Ramón, otorgándose 6 hilos a cada enlace.

En el Site Tarma tenemos los hilos del 37 al 42 reservado para el enlace de Acobamba y los hilos de 43 al 48 para el enlace de Palca.

En el Site de La Merced tenemos los hilos del 43 al 48 reservado para el enlace de derivación San Ramón-La Merced.

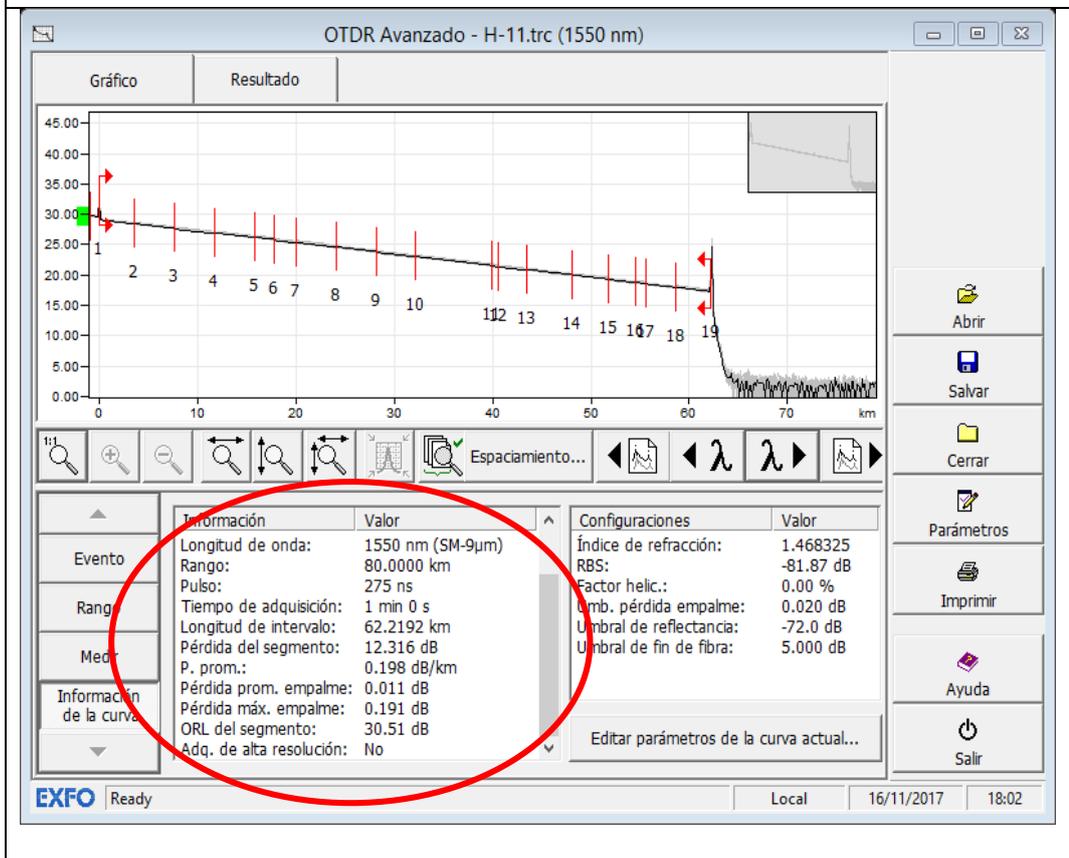
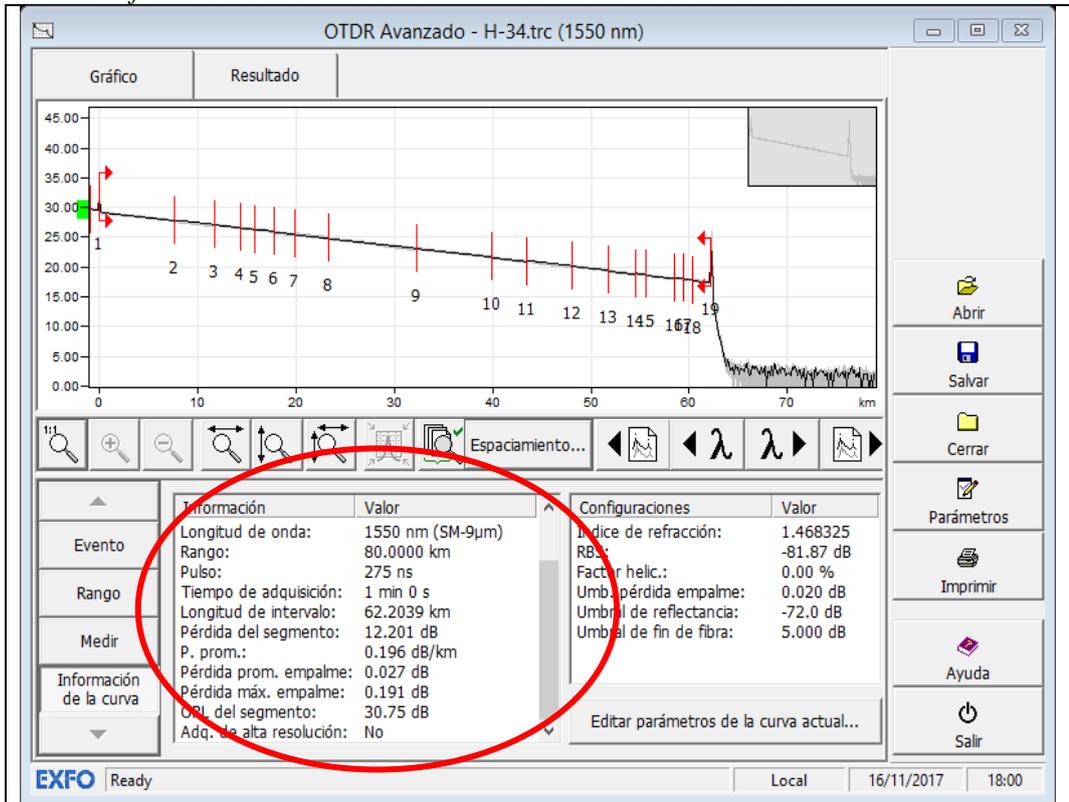
por lo cual en el enlace dorsal Tarma-La Merced tenemos 36 hilos de los 48 que posee la fibra óptica.

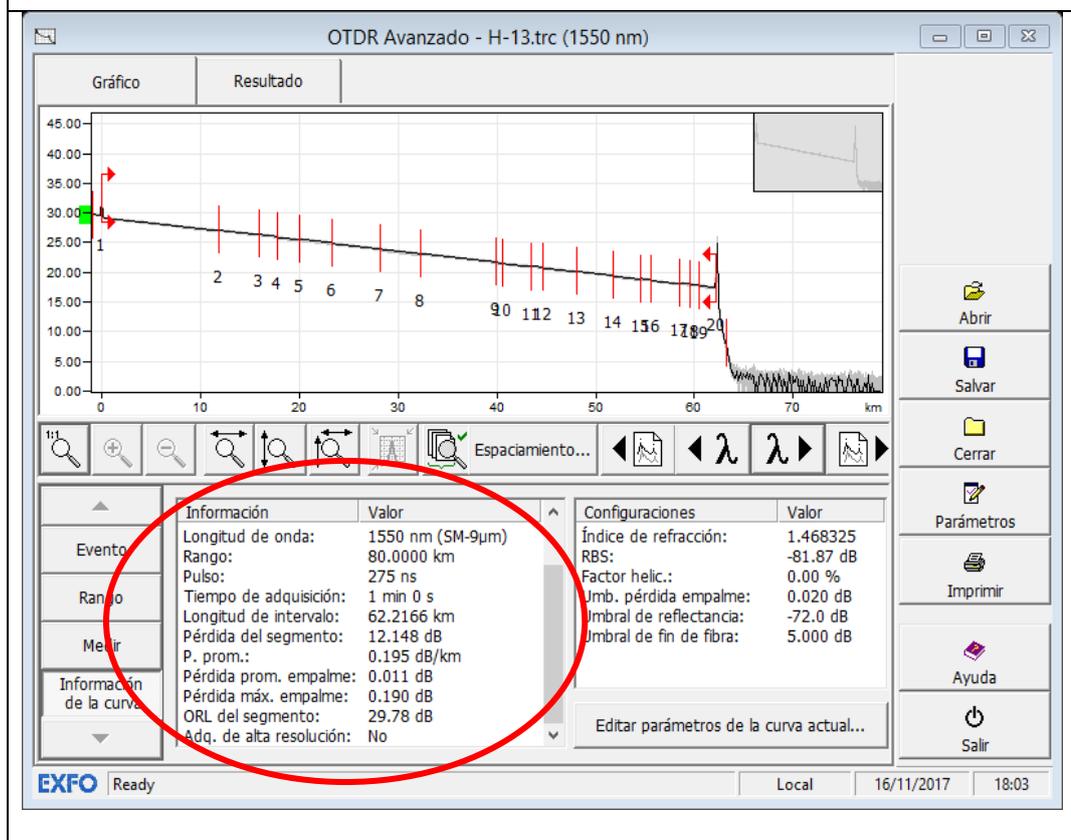
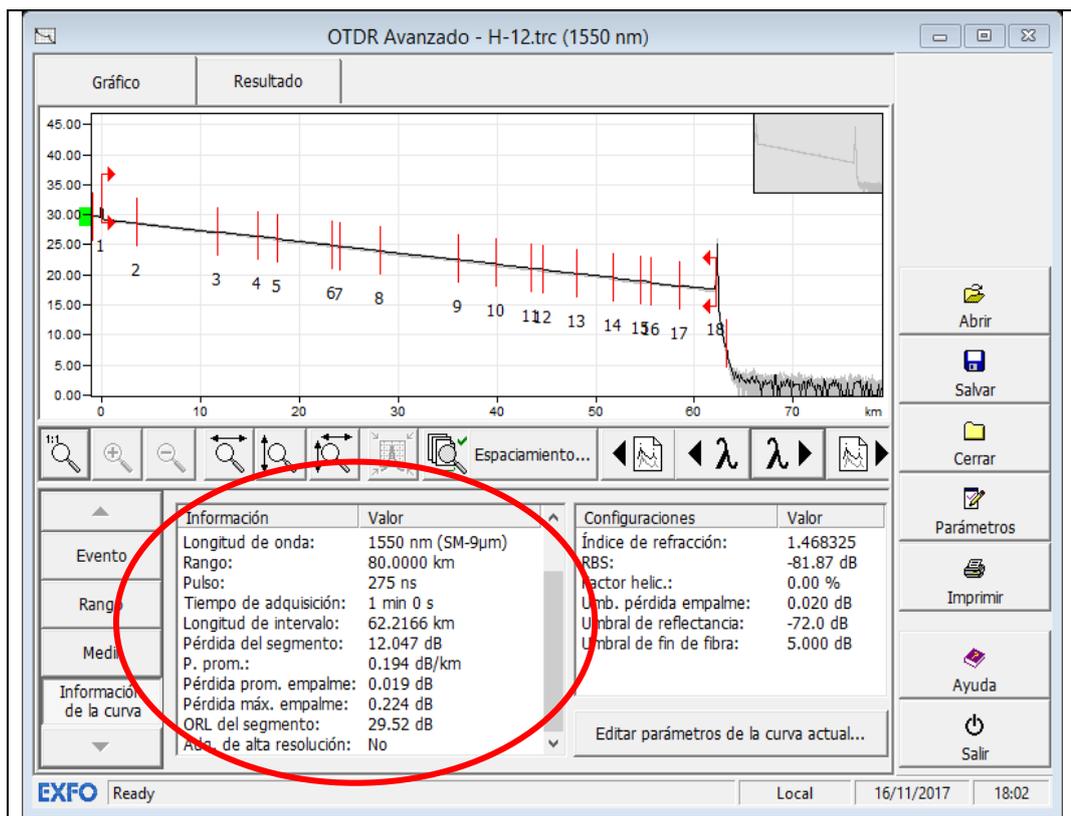
Las pruebas Reflectométricas se realizaron de forma bidireccional, obtenidos desde el Site La Merced hacia el Site de Tarma y viceversa.

Finalmente presentamos el diagrama de empalmes obtenidos en este enlace dorsal.

Tabla 42

Pruebas Reflectométricas Bidireccionales del enlace Tarma-La Merced





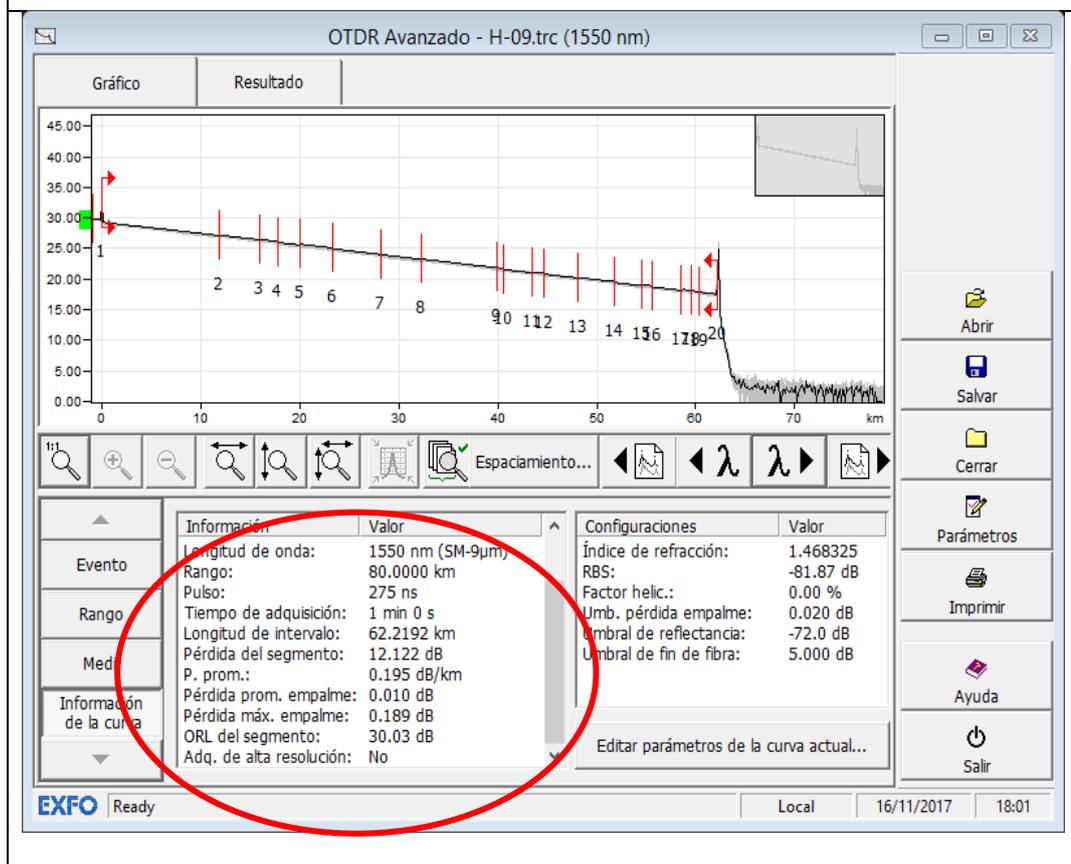
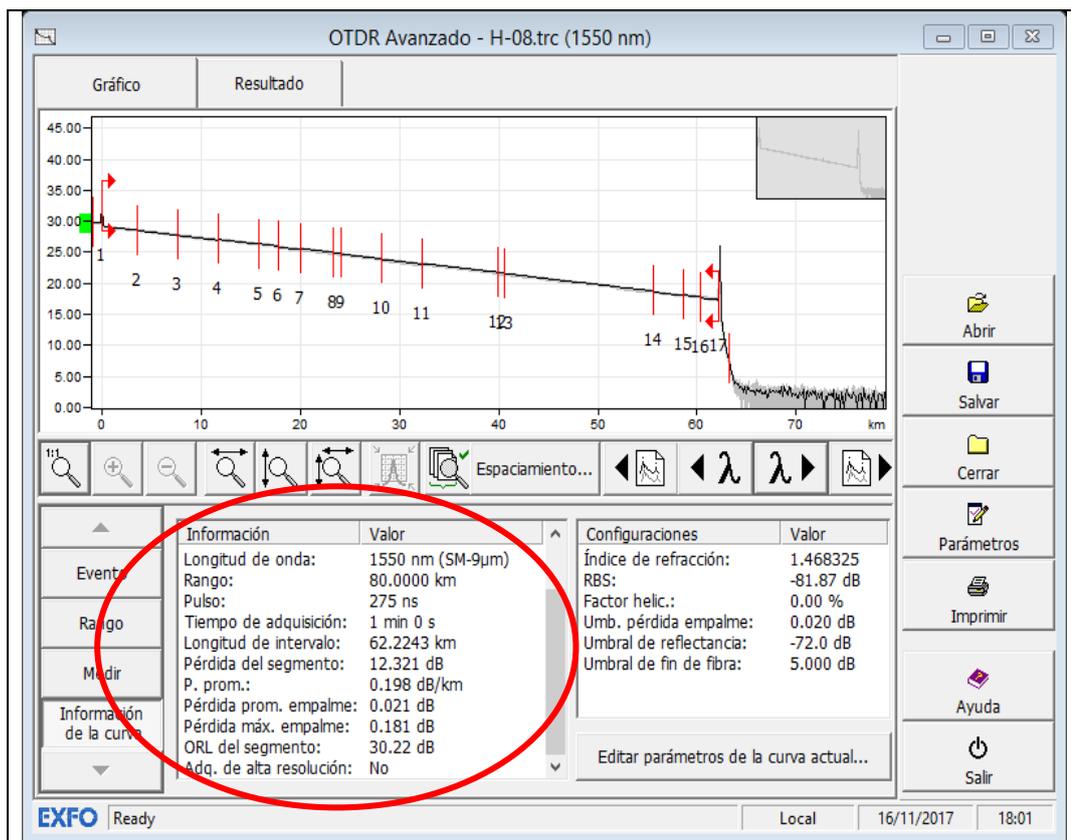


Tabla 43

Protocolo de atenuación bidireccional de empalmes Caripa-Tarma

	FORMATO PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - ATENUACION BIDIRECCIONAL DE EMPALMES										Código: ACT-O2.2.5-ACPF35										
	Versión: MTC																				
	Fecha: 112-set-2013																				
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura																Pág. 1 de 3					
Enlace: <u>TARMA-LA MERCED</u>		Fecha Ejecución: <u>21/04/2014</u>				Long. Total: <u>62.273</u> km				Ancho Pulso: <u>275ns</u>				Archivos A>B: _____							
Estación A: <u>TARMA</u>		Estación B: <u>LA MERCED</u>				Tiempo muestreo: <u>60s</u>				RBS: <u>-81.87</u>				Archivos B>A: _____							
Equipo/Modulo: <u>FTB-7500E-Q23B-EA</u>		Long. Onda: <u>1550</u>				Fecha Calibración: _____				Ind. Refracción: <u>1.47</u>				S/N Equipo: <u>1029222</u>							
																% Helocoidal: <u>0.00%</u>					

No.	Empalme 1			Empalme 2			Empalme 3			Empalme 4			Empalme 5			Empalme 6			Empalme 7			Empalme 8			Empalme 9		
	Coorden																										
Distancia	1.848	60.425		2.705	59.568		3.650	58.623		6.610	55.663		7.690	54.583		10.451	51.822		14.210	48.063		17.590	44.684		18.702	43.571	
HILO	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.
1	0.000	0.000	0.000	0.080	-0.029	0.026	0.062	-0.040	0.011	-0.088	0.112	0.012	0.142	-0.124	0.009	-0.075	0.156	0.041	0.094	-0.072	0.011	-0.116	0.135	0.010	0.219	-0.178	0.021
2	0.091	0.126	0.109	0.000	0.000	0.000	0.112	-0.106	0.003	-0.120	0.193	0.037	0.037	-0.012	0.013	0.033	0.036	0.035	0.061	-0.046	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.027	0.067	0.047	-0.032	0.056	0.012	0.195	-0.174	0.011	-0.156	0.189	0.017	0.183	-0.155	0.014	-0.131	0.150	0.009	0.101	-0.081	0.010	-0.121	0.153	0.016	0.197	-0.149	0.024
4	0.083	-0.058	0.013	-0.045	0.074	0.015	0.207	-0.168	0.020	-0.206	0.228	0.011	0.162	-0.145	0.009	-0.005	0.047	0.021	0.018	0.049	0.034	-0.094	0.150	0.028	0.213	-0.195	0.009
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.087	-0.070	0.008	-0.049	0.075	0.013	0.073	-0.044	0.015	-0.034	0.061	0.014	0.100	0.067	0.084	0.000	0.000	0.000	0.178	-0.157	0.011
6	0.046	-0.040	0.003	0.028	0.011	0.020	0.132	-0.116	0.008	-0.165	0.224	0.030	0.126	-0.098	0.014	-0.066	0.121	0.028	0.103	-0.060	0.022	-0.111	0.137	0.013	0.104	-0.082	0.011
7	0.022	0.069	0.046	-0.032	0.056	0.012	0.196	-0.173	0.012	-0.155	0.190	0.018	0.184	-0.151	0.017	-0.131	0.150	0.009	0.101	-0.080	0.011	-0.122	0.160	0.019	0.197	-0.146	0.026
8	0.087	-0.069	0.009	0.000	0.000	0.000	0.087	-0.069	0.009	-0.049	0.076	0.014	0.074	-0.043	0.016	-0.034	0.062	0.014	0.101	0.067	0.084	0.000	0.000	0.000	0.178	-0.156	0.011
9	-0.023	0.040	0.009	0.084	-0.025	0.030	0.062	-0.033	0.015	-0.089	0.116	0.014	0.142	-0.122	0.010	-0.075	0.155	0.040	0.094	-0.070	0.012	-0.115	0.143	0.014	0.217	-0.176	0.021
10	0.054	-0.034	0.010	0.027	0.013	0.020	0.135	-0.120	0.008	-0.165	0.223	0.029	0.121	-0.099	0.011	-0.065	0.121	0.028	0.109	-0.060	0.025	-0.107	0.137	0.015	0.105	-0.082	0.012
11	0.088	-0.059	0.015	-0.028	0.072	0.022	0.206	-0.169	0.019	-0.206	0.229	0.012	0.167	-0.145	0.011	-0.006	0.046	0.020	0.017	0.048	0.033	-0.093	0.152	0.030	0.213	-0.193	0.010
12	0.068	-0.040	0.014	0.031	-0.007	0.012	0.000	0.000	0.000	0.074	-0.048	0.013	0.155	-0.135	0.010	-0.198	0.224	0.013	0.121	-0.106	0.008	-0.050	0.120	0.035	0.146	-0.089	0.029

No.	Empalme 10			Empalme 11			Empalme 12			Empalme 13			Empalme 14			Empalme 15			Empalme 16			Empalme 17			Empalme 18		
	Coorden																										
Distancia	21.663	40.610		22.280	39.993		26.157	36.116		30.003	32.270		34.061	28.212		38.071	24.202		38.944	23.330		42.261	20.012		44.484	17.789	
HILO	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.
1	0.038	0.050	0.044	-0.028	0.056	0.014	-0.076	0.084	0.004	0.105	-0.062	0.022	-0.020	0.074	0.027	0.088	0.004	0.046	-0.021	0.047	0.013	0.102	-0.045	0.029	-0.142	0.194	0.026
2	0.060	0.050	0.055	-0.028	0.043	0.008	0.000	0.000	0.000	0.118	-0.110	0.004	-0.011	0.103	0.046	-0.029	0.061	0.016	-0.069	0.086	0.008	0.219	-0.181	0.019	-0.150	0.181	0.016
3	0.045	0.041	0.043	-0.039	0.133	0.047	0.031	0.022	0.027	0.103	-0.046	0.029	-0.018	0.044	0.013	0.047	-0.010	0.019	-0.125	0.175	0.025	0.172	-0.141	0.016	-0.133	0.164	0.016
4	0.000	0.000	0.000	0.128	0.155	0.142	0.062	-0.031	0.016	0.100	-0.067	0.017	-0.152	0.181	0.015	0.061	-0.040	0.011	0.042	-0.027	0.008	0.105	-0.063	0.021	-0.160	0.218	0.029
5	0.049	0.049	0.049	-0.088	0.111	0.012	0.000	0.000	0.000	0.111	-0.046	0.033	-0.106	0.155	0.025	0.098	-0.059	0.020	0.000	0.000	0.000	0.085	-0.070	0.008	-0.167	0.191	0.012
6	0.000	0.000	0.000	-0.036	0.097	0.031	0.082	-0.057	0.013	0.058	-0.029	0.015	0.055	0.062	0.059	0.058	-0.040	0.009	-0.057	0.063	0.003	0.000	0.000	0.000	-0.080	0.110	0.015
7	0.045	0.041	0.043	-0.048	0.127	0.040	0.000	0.000	0.000	0.093	-0.052	0.021	-0.018	0.044	0.013	0.049	-0.004	0.023	-0.124	0.176	0.026	0.173	-0.139	0.017	-0.133	0.164	0.016
8	0.048	0.049	0.049	-0.090	0.111	0.011	0.000	0.000	0.000	0.111	-0.045	0.033	-0.105	0.156	0.026	0.098	-0.059	0.020	0.000	0.000	0.000	0.084	-0.071	0.007	-0.167	0.190	0.012
9	0.037	0.044	0.041	-0.027	0.055	0.014	-0.077	0.086	0.005	0.105	-0.064	0.021	-0.020	0.073	0.027	0.088	0.001	0.045	-0.021	0.043	0.011	0.103	-0.042	0.031	-0.142	0.205	0.032
10	0.000	0.000	0.000	-0.034	0.096	0.031	0.078	-0.057	0.011	0.058	-0.029	0.015	0.054	0.062	0.058	0.057	-0.040	0.009	-0.063	0.065	0.001	0.000	0.000	0.000	-0.082	0.111	0.015
11	0.000	0.000	0.000	-0.129	0.157	0.014	0.062	-0.031	0.016	0.104	-0.067	0.019	-0.152	0.182	0.015	0.058	-0.041	0.009	0.041	-0.028	0.007	0.107	-0.063	0.022	-0.157	0.218	0.031
12	0.000	0.000	0.000	-0.002	0.144	0.071	0.000	0.000	0.000	0.083	-0.047	0.018	0.000	0.000	0.000	-0.097	0.097	0.000	0.103	-0.069	0.017	0.072	-0.009	0.032	-0.034	0.126	0.046

No.	Empalme 19			Empalme 20			Empalme 21			Empalme 22															PROMEDIO TOTAL
	Coorden																								
Distancia	46.345	15.928		50.428	11.845		54.570	7.703		58.674	3.599														
HILO	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.													
1	0.130	-0.111	0.010	0.066	0.002	0.034	0.040	-0.009	0.016	0.001	0.027	0.014													0.017
2	0.091	-0.068	0.012	0.192	-0.131	0.031	-0.006	0.038	0.016	-0.003	0.067	0.032													0.019
3	0.078	-0.050	0.014	0.088	-0.077	0.006	0.000	0.000	0.000	0.030	-0.023	0.004													0.017
4	0.121	-0.094	0.014	0.143	-0.125	0.009	-0.196	0.224	0.014	0.235	-0.191	0.022													0.019
5	0.079	-0.061	0.009	0.192	-0.144	0.024	-0.044	0.165	0.061	0.063	-0.042	0.011													0.016
6	0.082	-0.051	0.016	0.144	-0.122	0.011	0.039	-0.011	0.014	-0.064	0.081	0.009													0.014
7	0.077	-0.048	0.015	0.086	-0.074	0.006	0.086	-0.074	0.006	0.032	-0.023	0.005													0.016
8	0.080	-0.060	0.010	0.192	-0.145	0.024	-0.044	0.165	0.061	0.065	-0.039	0.013													0.017
9	0.129	-0.102	0.014	0.066	0.001	0.034	0.039	-0.009	0.015	0.000	0.026	0.013													0.018
10	0.083	-0.051	0.016	0.135	-0.120	0.008	0.000	0.000	0.000	-0.075	0.083	0.004													0.013
11	0.120	-0.094	0.013	0.143	-0.122	0.011	-0.197	0.225	0.014	0.236	-0.187	0.025													0.014
12	0.055	-0.026	0.015	0.033	0.031	0.032	0.073	0.023	0.048	0.000	0.000	0.000													0.016

Tabla 44

Protocolo de medición de atenuación total del enlace Tarma-La Merced

	FORMATO	Código: ACT-O2.2.5-ACPF29
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - MEDICION DE ATENUACIÓN TOTAL DEL ENLACE CON OTDR	Versión: 5
		Fecha: 28-ago-2017
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura		Pág. 1 de 1

		Hoja 1 de 1	
ENLACE:	Tarma-La Merced	FECHA:	21/04/2014
ESTACIÓN A:	Tarma	ESTACION B:	La Merced
MARCA EQUIPO A	EXFO	MARCA EQUIPO B	EXFO
S/N EQUIPO A:	884097	S/N EQUIPO B:	884097
LONG. ONDA:	1550 nm	RANGO DISTANCIA:	60 km
ANCHO DE PULSO:	100 ns	TIEMPO MUESTREO:	60 segundos
BOBINA LANZAMIENT		COEF. RAYLEIGH (RE	-81.87
LONGITUD ENLACE:	62.21 km	INDICE REFRACCION	1.46
		ARCHIVO:	

FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)	FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)
1	12.200	12.404	12.302	25			
2	12.321	12.129	12.225	26			
3	12.122	12.218	12.170	27			
4	12.067	12.054	12.061	28			
5	12.316	12.221	12.269	29			
6	12.047	12.034	12.041	30			
7	12.148	12.217	12.183	31			
8	12.310	12.219	12.265	32			
9	12.172	12.410	12.291	33			
10	12.048	11.906	11.977	34			
11	12.073	12.153	12.113	35			
12	12.178	12.120	12.149	36			
13				37			

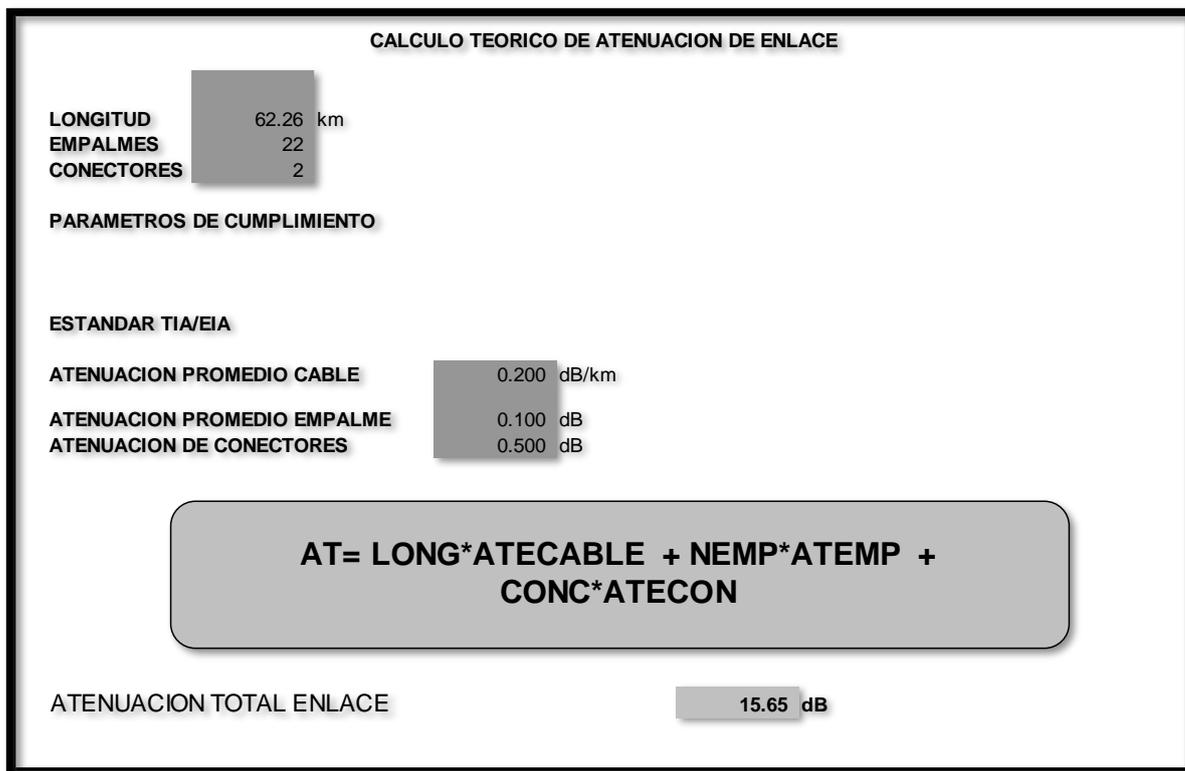


Gráfico 79. *Calculo teórico de atenuación del enlace Tarma-La Merced.*

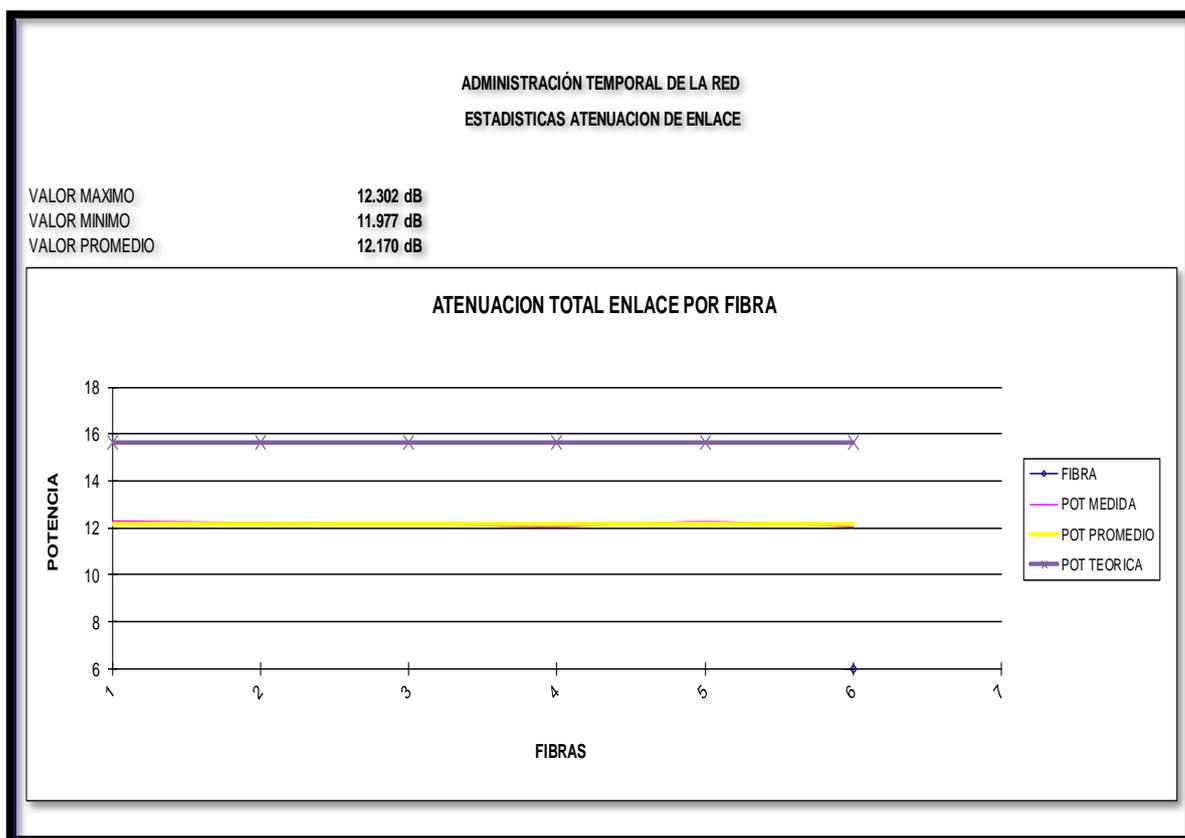
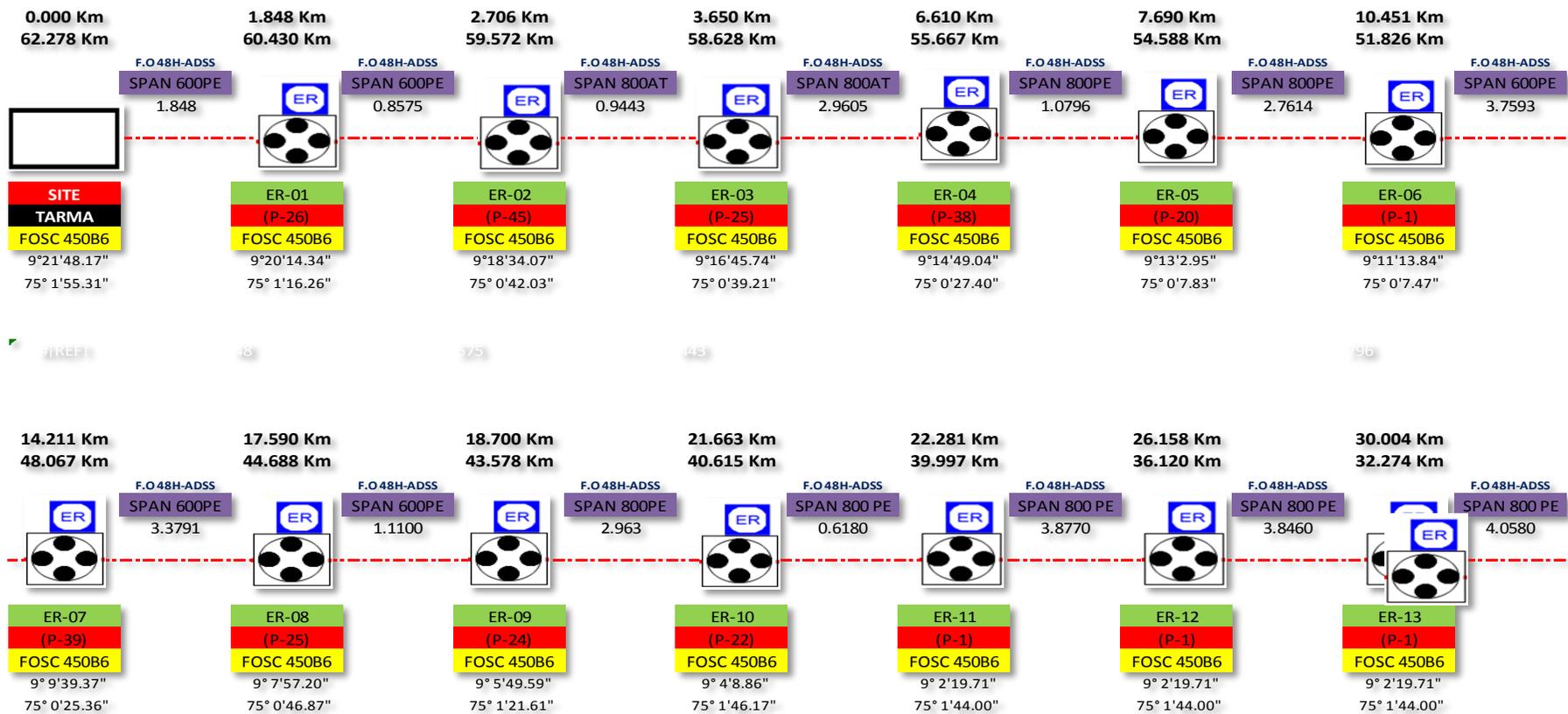


Gráfico 80. *Estadística de atenuación del enlace Tarma-La Merced.*



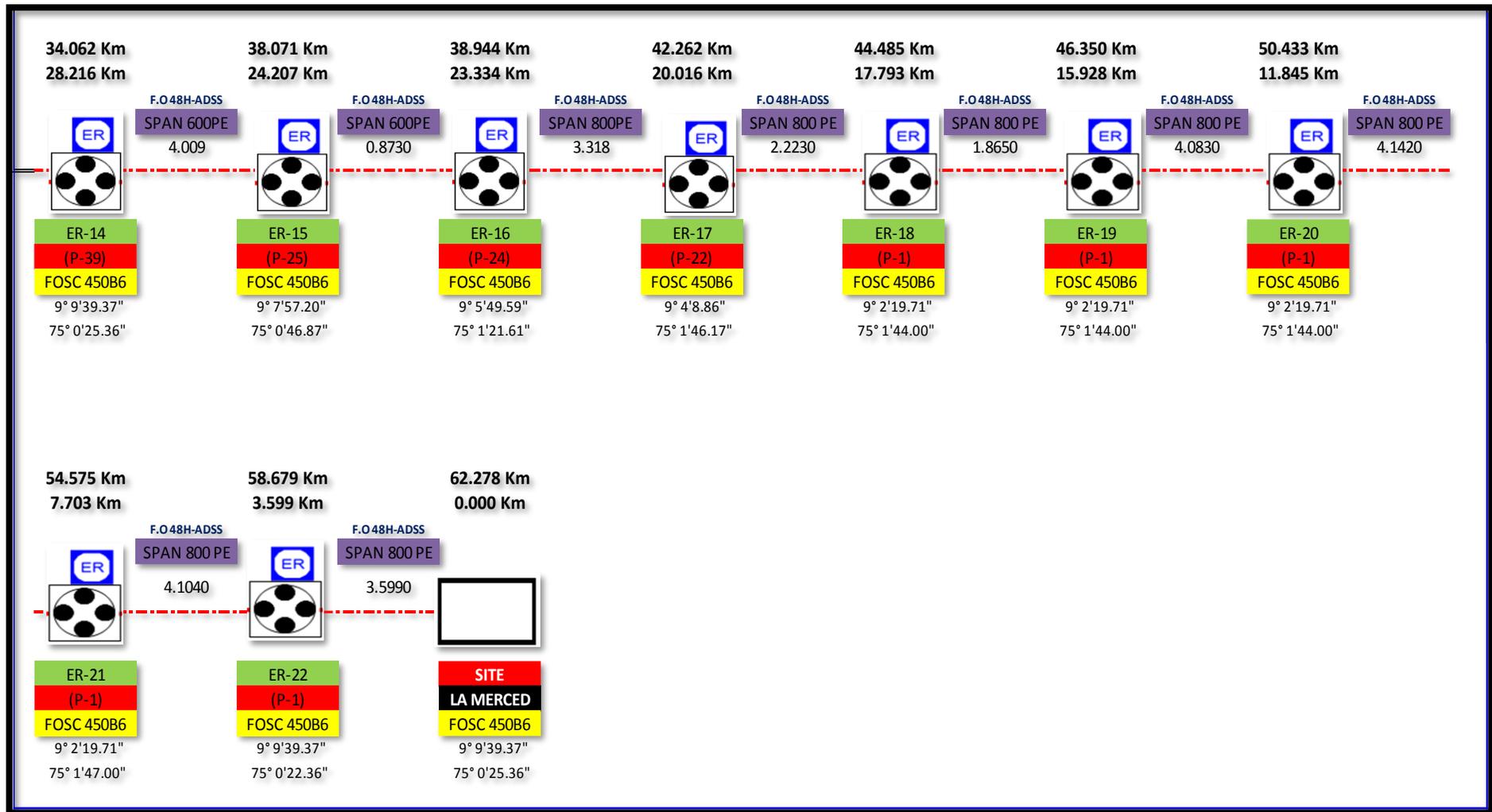


Gráfico 81. Diagrama de empalme del enlace dorsal Tarma-La Merced

5.1.2. Enlaces IP

Los enlaces de conexión tienen asignados 2 hilos (transmisión Tx y recepción Rx) y 4 de respaldo en los sites de Agregación Tarma y la merced.

Desde los sites de conexión se habilitaron 6 hilos, 2 destinados al enlace principal y los otros 4 como hilos de contingencia ante eventuales averías en la conexión de fibra óptica.

Los valores permitidos en este tipo de enlaces son de hasta 0.300 dB de pérdida promedio bidireccional por empalme.

Las pruebas Reflectométricas se realizaron de forma bidireccional.

- **Enlace IP Unión Leticia-Tarma**

Los resultados obtenidos del enlace Unión Leticia-Tarma presentan valores promedios menores a 0.300 dB de pérdida por empalme.

En las siguientes tablas se muestran los gráficos de medición reflectométrica y los protocolos de atenuación con los valores promedios por cada hilo.

Las pruebas Reflectométricas se realizaron de forma bidireccional, obtenidos desde el Site La Merced hacia el Site Unión Leticia y viceversa.

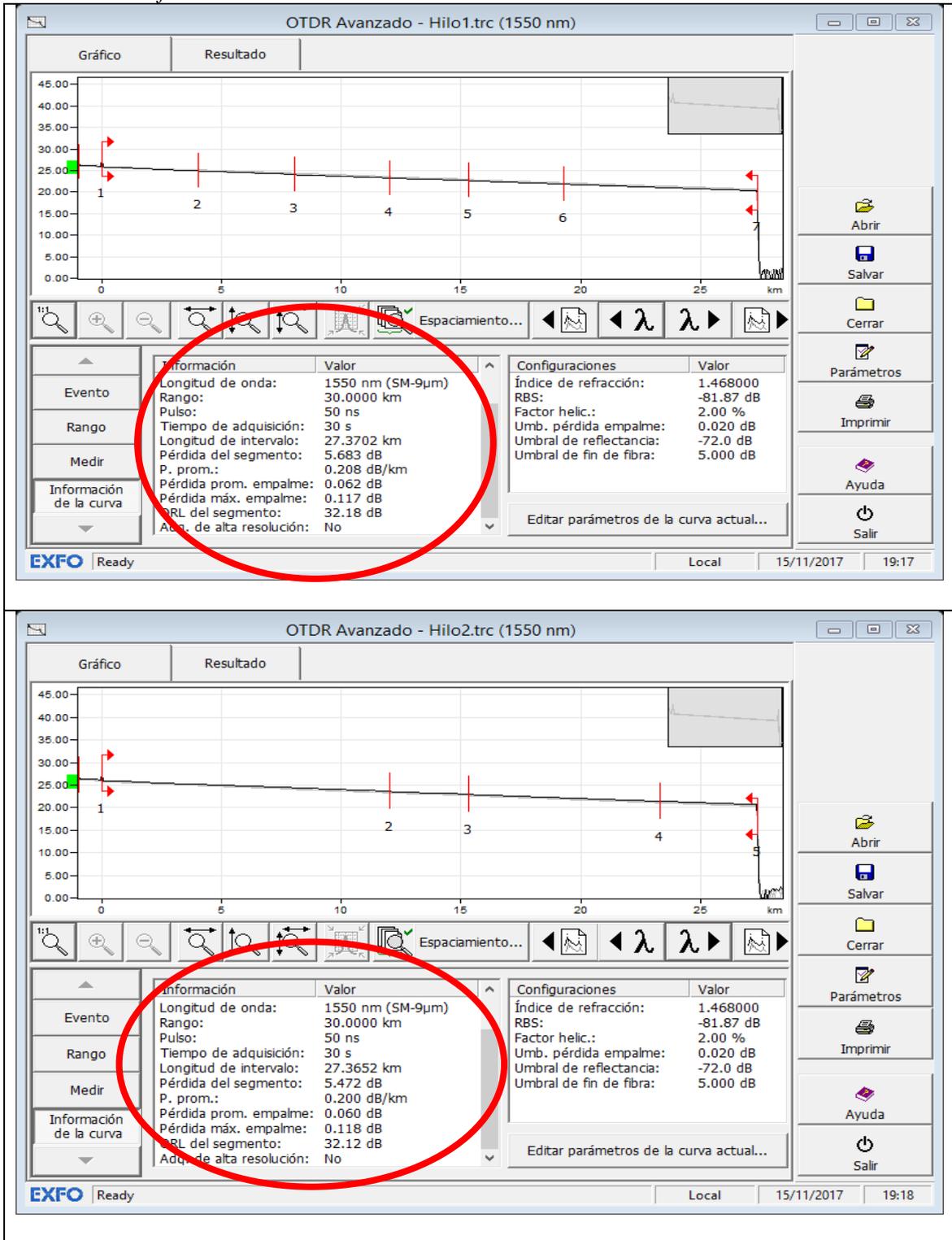
Finalmente presentamos el diagrama de empalmes obtenidos en este enlace secundario de conexión.

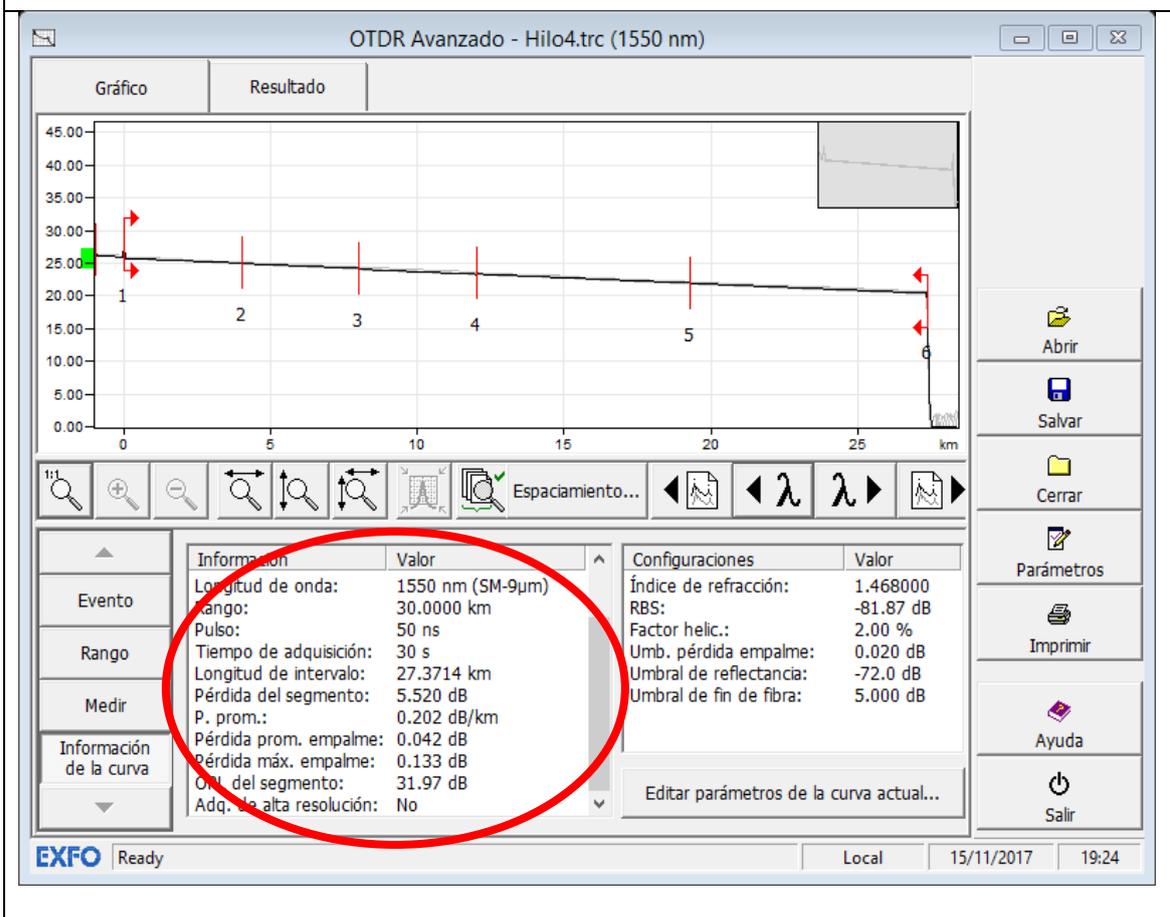
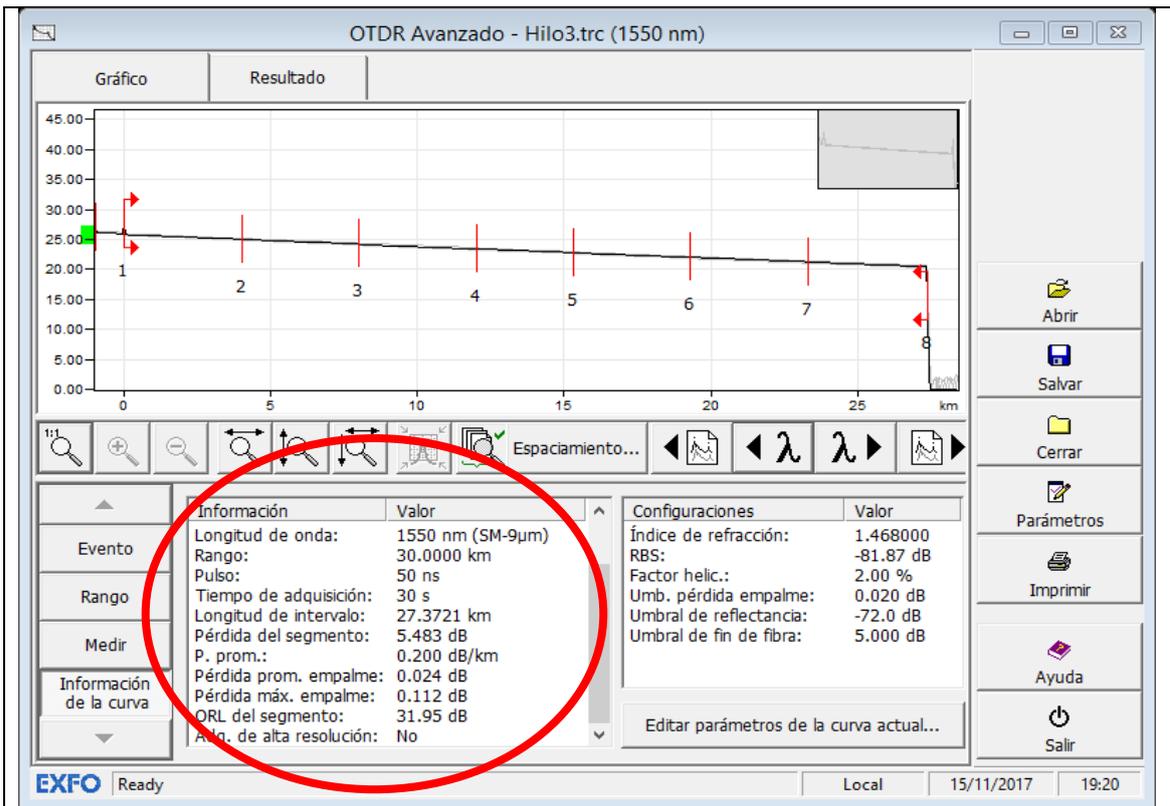
Los hilos asignados al enlace Unión Leticia-Tarma desde el Site Unión Leticia son los hilos del 1 al 6, siendo el 1 y el 2 los asignados al enlace y los 4 restantes como hilos de respaldo.

En el Site Tarma se tiene asignado los hilos del 43 al 48 para el enlace Unión Leticia-Tarma.

Es en el empalme de Derivación (Ed Unión Leticia) donde se fusionan con los hilos del 1 al 6 de Unión Leticia con los hilos del 42 al 48 De Tarma respectivamente.

Tabla 45
Pruebas Reflectométricas Bidireccionales del enlace Unión Leticia-Tarma.





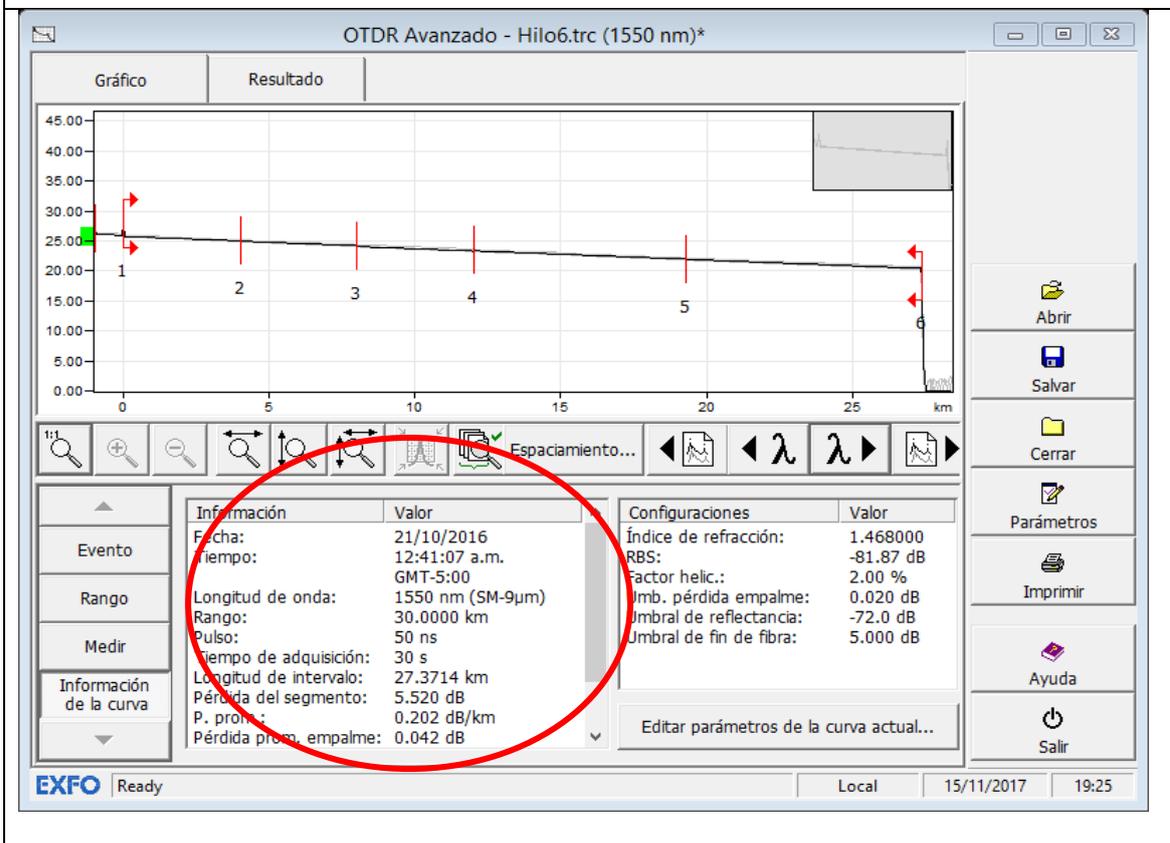
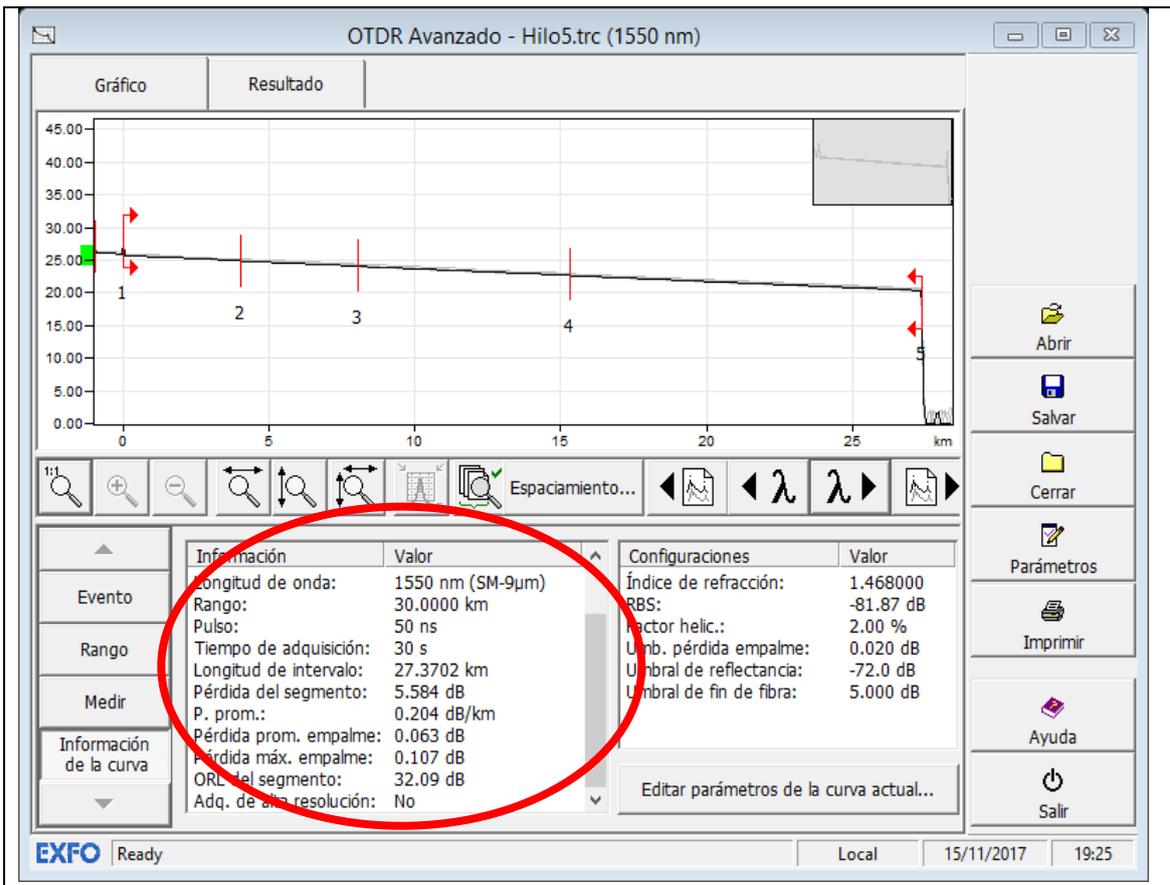


Tabla 46

Protocolo de atenuación bidireccional de empalmes del enlace Unión Leticia-Tarma

	FORMATO					Código: ACT-O2.2.5-ACPF35														
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - ATENUACION BIDIRECCIONAL DE EMPALMES															Versión: MTC				
	PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura															Fecha: 12-set-2013				
Enlace: <u>UNION LETICIA-TARMA</u> Fecha Ejecución: <u>21/04/2014</u> Long. Total: <u>27.360</u> km Ancho Pulso: <u>50ns</u> Archivos A>B: _____																				
Estación A: <u>UNION LETICIA</u> Estación B: <u>TARMA</u> Tiempo muestreo: <u>30s</u> RBS: <u>-81.87</u> Archivos B>A: _____																				
Equipo/Modulo: <u>FTB-7500E-023B-EA</u> Long. Onda: <u>1550</u> Fecha Calibración: _____ Ind. Refracción: <u>1.47</u> S/N Equipo: <u>1029222</u>																				
% Helocoidal: <u>0.00%</u>																				

No.	Empalme 1			Empalme 2			Empalme 3			Empalme 4			Empalme 5			Empalme 6			PROMEDIO TOTAL				
	Coorden			4.02		3.990		3.310		3.97		4.00											
Distancia	4.010	23.350		8.030	19.330		12.020	15.340		15.330	12.030		19.300	8.060		23.300	4.060						
HILO	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.					
1	0.019	0.061	0.040	0.117	0.133	0.125	0.048	-0.058	-0.005	0.090	-0.058	0.016	0.036	0.033	0.035	-0.044	0.000	-0.022					0.031
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.130	0.065	0.118	-0.085	0.017	0.107	0.038	0.073	0.000	0.039	0.020	0.000	-0.027	-0.014					0.027
3	0.044	0.032	0.038	0.112	0.105	0.109	-0.071	0.000	-0.036	0.036	0.136	0.086	-0.031	0.000	-0.016	0.055	0.000	0.028					0.035
4	0.000	0.000	0.000	0.133	0.087	0.110	-0.058	0.000	-0.029	0.000	0.025	0.013	0.033	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000					0.018
5	0.107	0.000	0.054	0.045	0.083	0.064	0.000	0.054	0.027	0.038	-0.085	-0.024	0.000	0.034	0.017	0.000	0.000	0.000					0.023
6	0.061	0.000	0.031	0.133	0.127	0.130	-0.058	-0.049	-0.054	0.000	-0.099	-0.050	0.033	0.103	0.068	0.000	-0.055	-0.028					0.016

Tabla 47

Protocolo de medición de atenuación total del enlace Tarma-La Merced

	FORMATO PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - MEDICION DE ATENUACIÓN TOTAL DEL ENLACE CON OTDR	Código: ACT-O2.2.5-ACPF29
		Versión: 5 Fecha: 28-ago-2013
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura		Pág. 1 de 1

Hoja 1 de 1

ENLACE:	Union Leticia-Tarma	FECHA:	21/04/2014
ESTACIÓN A:	Union Leticia	ESTACION B:	Tarma
MARCA EQUIPO A:	EXFO	MARCA EQUIPO B:	EXFO
S/N EQUIPO A:	884097	S/N EQUIPO B:	884097
LONG. ONDA:	1550 nm	RANGO DISTANCIA:	30
ANCHO DE PULSO:	50 ns	TIEMPO MUESTREO:	30 segundos
BOBINA LANZAMIENTO:		COEF. RAYLEIGH (RE):	-81.87
LONGITUD ENLACE:	27.37 KM	INDICE REFRACCION:	1.46
		ARCHIVO:	

FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)	FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)
1	5.680	5.520	5.600	25			
2	5.470	5.420	5.445	26			
3	5.480	5.590	5.535	27			
4	5.520	5.560	5.540	28			
5	5.580	5.470	5.525	29			
6	5.520	5.460	5.490	30			

CALCULO TEORICO DE ATENUACION DE ENLACE

LONGITUD 27.37 km
 EMPALMES 6
 CONECTORES 2

PARAMETROS DE CUMPLIMIENTO

ESTANDAR TIA/EIA

ATENUACION PROMEDIO CABLE 0.200 dB/km
 ATENUACION PROMEDIO EMPALME 0.100 dB
 ATENUACION DE CONECTORES 0.500 dB

AT= LONG*ATECABLE + NEMP*ATEMP + CONC*ATECON

ATENUACION TOTAL ENLACE 7.07 dB

Gráfico 82. *Calculo teórico de atenuación de enlace Unión Leticia-Tarma.*

ADMINISTRACIÓN TEMPORAL DE LA RED
ESTADÍSTICAS ATENUACION DE ENLACE

VALOR MAXIMO 5.600 dB
VALOR MINIMO 5.445 dB
VALOR PROMEDIO 5.523 dB

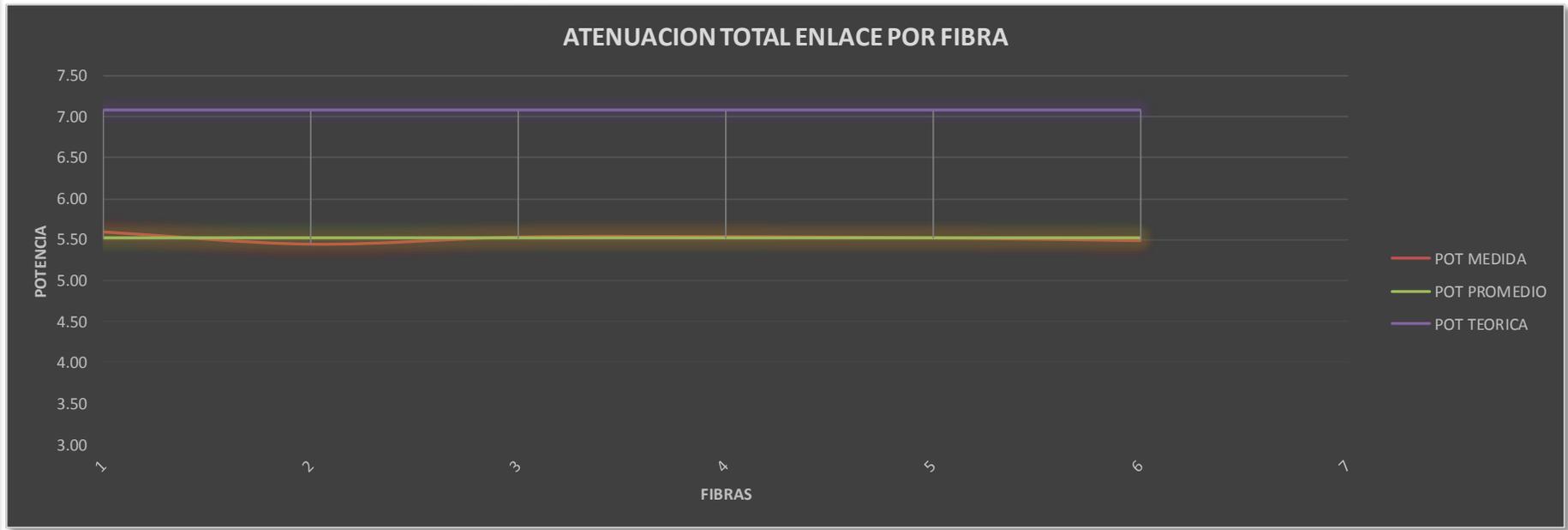


Gráfico 83. Estadística de atenuación del enlace Unión Leticia- Tarma.

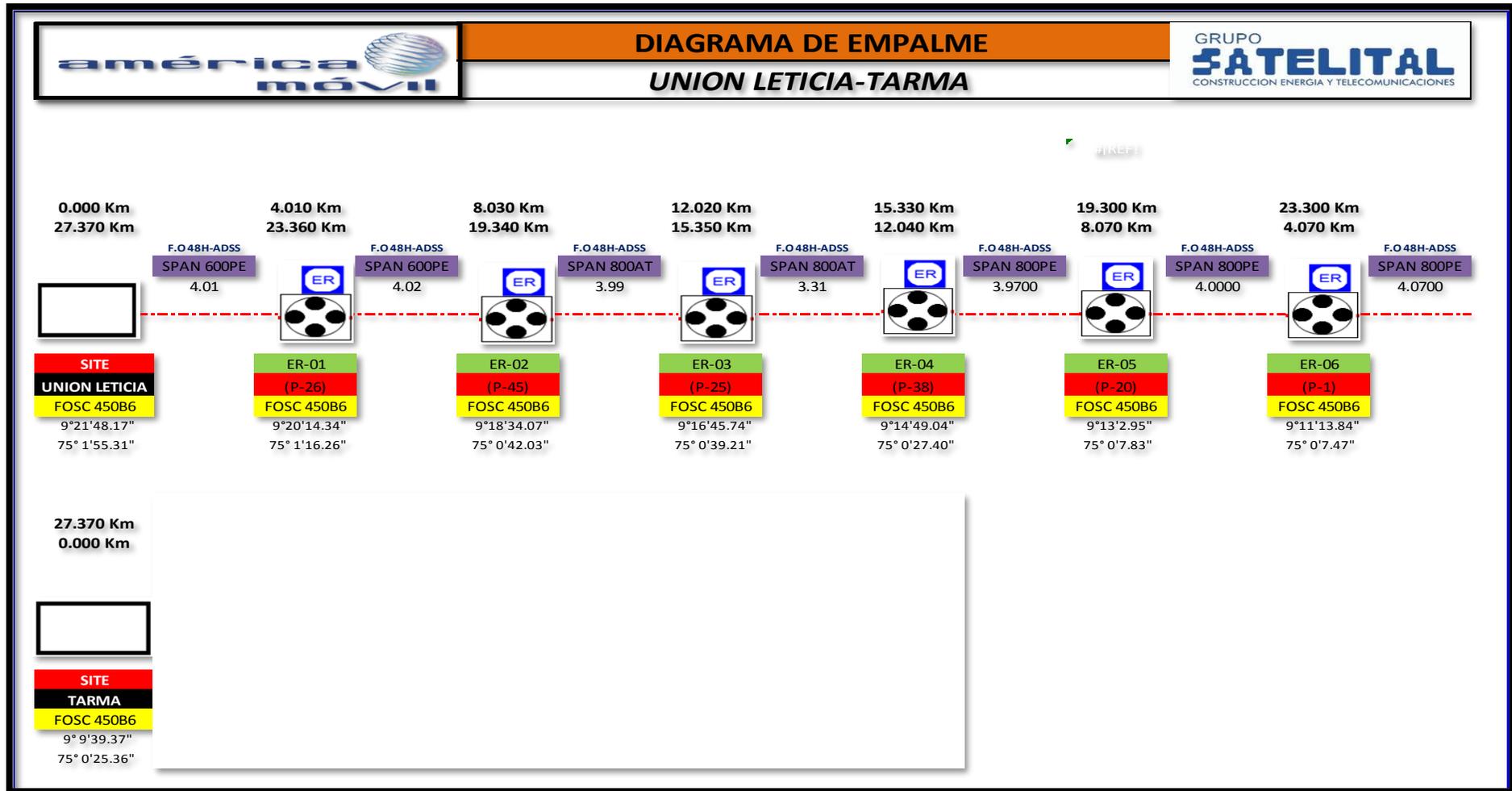


Gráfico 84. Diagrama de empalme del enlace dorsal Unión Leticia-Tarma.

- **Enlace IP Acobamba-Tarma**

Los resultados obtenidos del enlace Acobamba-Tarma presentan valores promedios menores a 0.300 dB de pérdida por empalme.

En las siguientes tablas se muestran los gráficos de medición reflectométrica y los protocolos de atenuación con los valores promedios por cada hilo.

Las pruebas Reflectométricas se realizaron de forma bidireccional, obtenidos desde el Site Acobamba hacia el Site Tarma y viceversa.

Finalmente presentamos el diagrama de empalmes obtenidos en este enlace secundario de conexión.

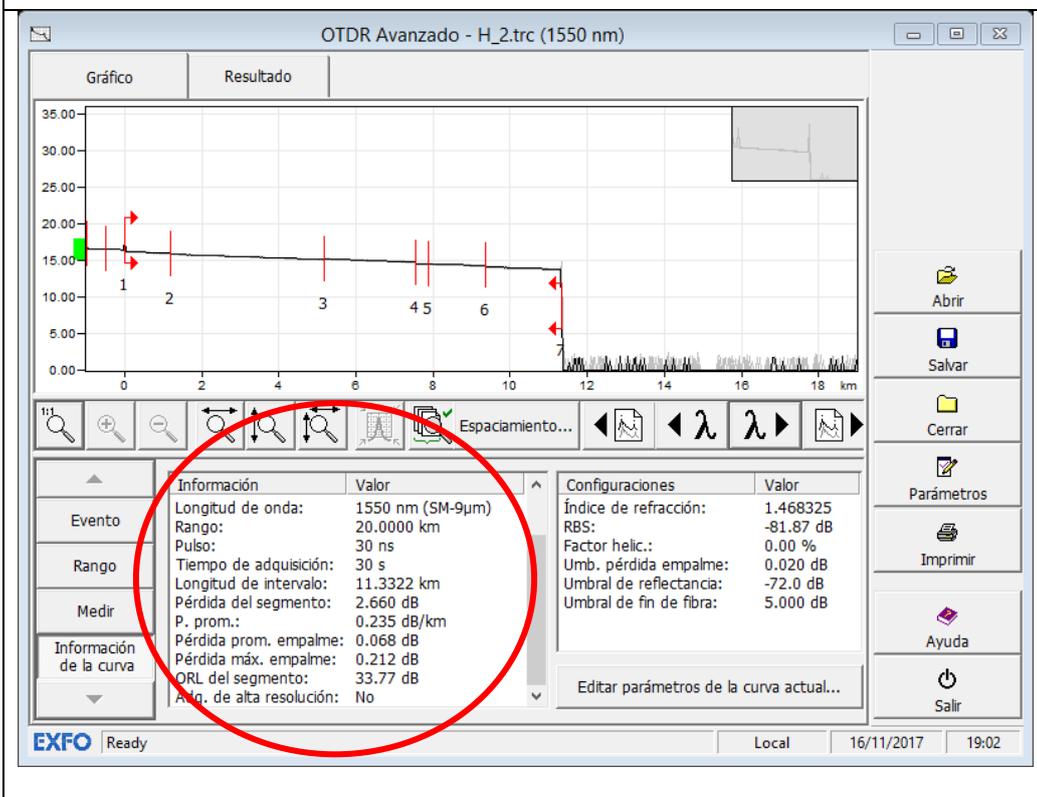
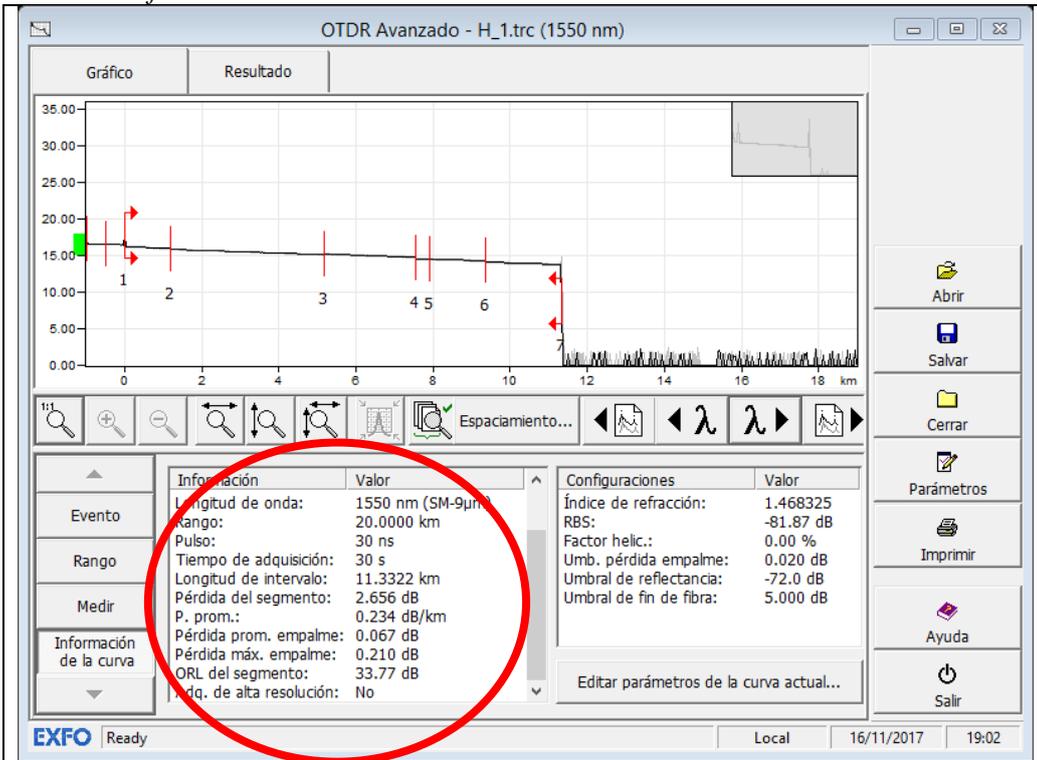
Los hilos asignados al enlace Acobamba-Tarma desde el Site Acobamba son los hilos del 1 al 6, siendo el 1 y el 2 los asignados al enlace y los 4 restantes como hilos de respaldo.

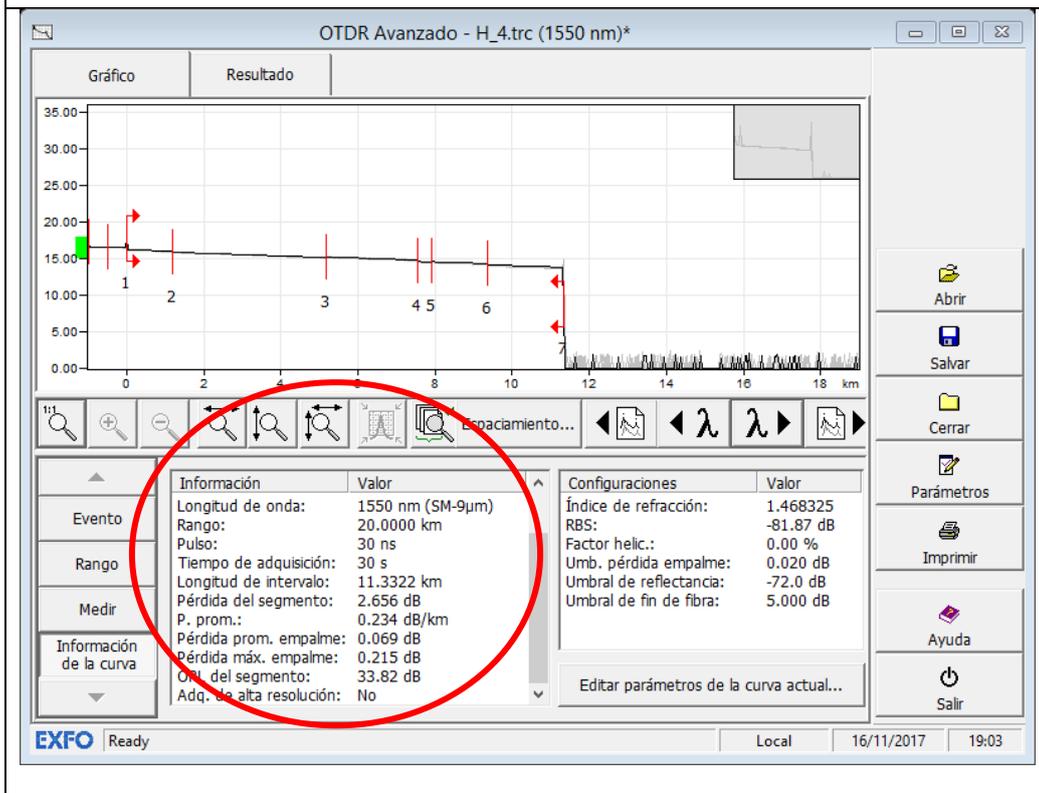
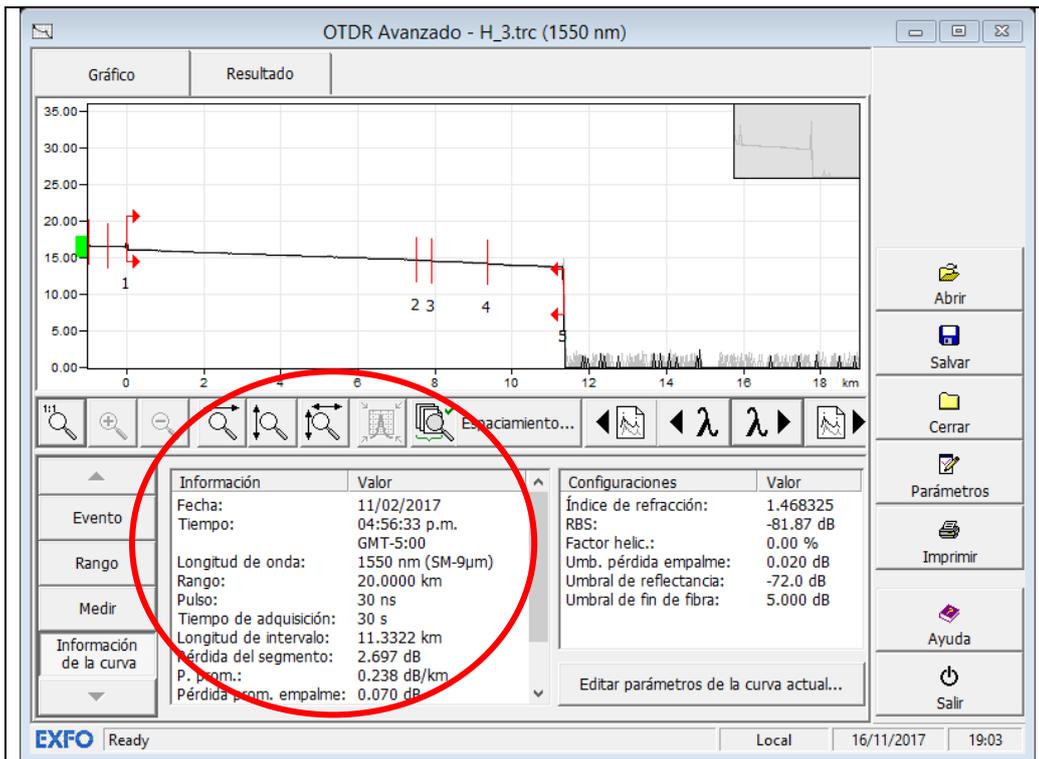
En el Site Tarma se tiene asignado los hilos del 37 al 42 para el enlace Acobamba-Tarma.

Es en el empalme de Derivación (Ed Acobamba) donde se fusionan con los hilos del 1 al 6 de Acobamba con los hilos del 37 al 42 De Tarma respectivamente.

Tabla 48

Pruebas Reflectométricas Bidireccionales del enlace Acobamba-Tarma.





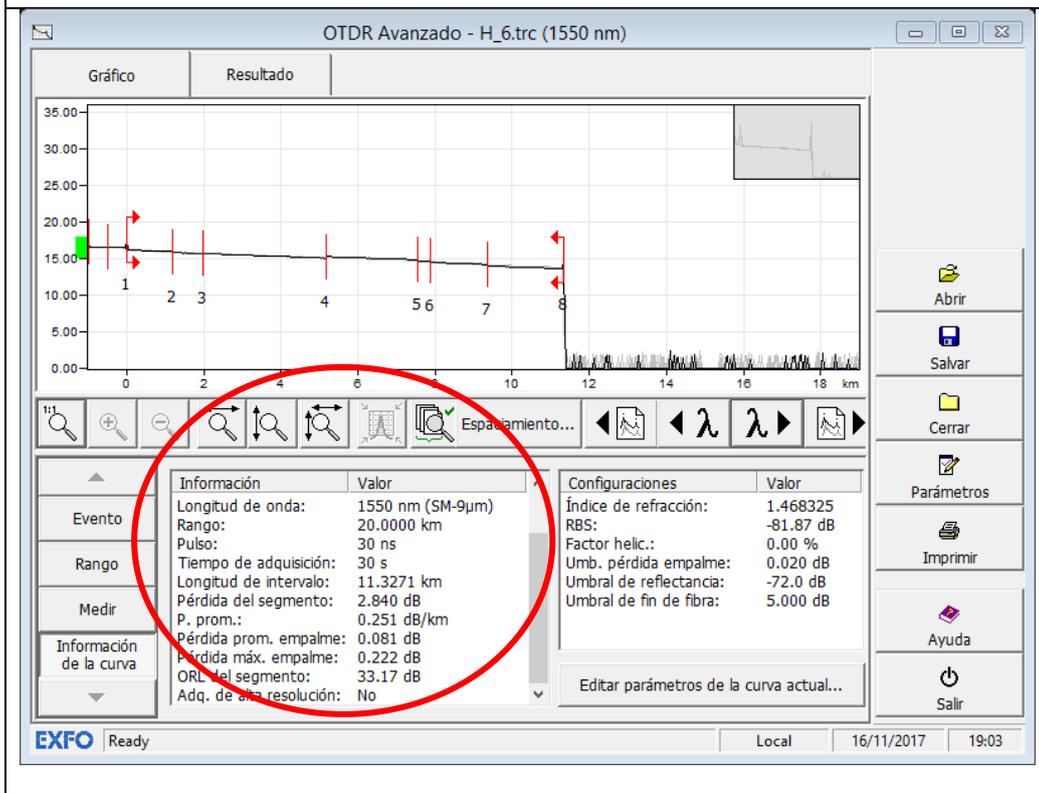
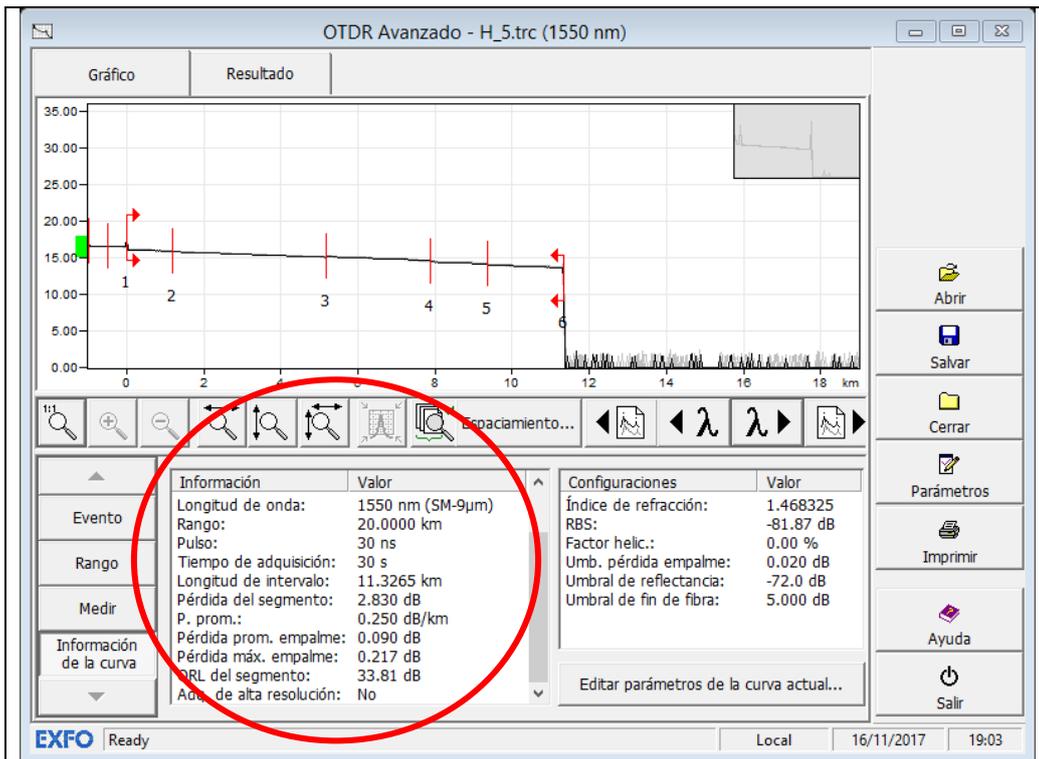


Tabla 50

Protocolo de medición de atenuación total del enlace Acobamba-Tarma

	FORMATO		Código: ACT-O2.2.5-ACPF29
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - MEDICION DE ATENUACIÓN TOTAL DEL ENLACE CON OTDR		Versión: 5
			Fecha: 28-ago-2017
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura			Pág. 1 de 1

Hoja 1 de 1

ENLACE: <u>Acobamba-Tarma</u> ESTACIÓN A: <u>Acobamba</u> MARCA EQUIPO A: <u>EXFO</u> S/N EQUIPO A: <u>884097</u> LONG. ONDA: <u>1550 nm</u> ANCHO DE PULSO: <u>100 ns</u> BOBINA LANZAMIENTO: _____ LONGITUD ENLACE: <u>11.32 km</u>	FECHA: <u>21/04/2014</u> ESTACION B: <u>Tarma</u> MARCA EQUIPO B: <u>EXFO</u> S/N EQUIPO B: <u>884097</u> RANGO DISTANCIA: <u>12 km</u> TIEMPO MUESTREO: <u>30 segundos</u> COEF. RAYLEIGH (RE): <u>-81.87</u> INDICE REFRACCION: <u>1.46</u> ARCHIVO: _____
--	---

FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)	FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)
1	2.610	2.647	2.629	25			
2	2.689	2.802	2.746	26			
3	2.745	2.972	2.859	27			
4	2.686	2.914	2.800	28			
5	2.897	2.646	2.772	29			
6	2.687	2.709	2.698	30			
7				31			
8				32			

CALCULO TEORICO DE ATENUACION DE ENLACE

LONGITUD 11.32 km
EMPALMES 3
CONECTORES 2

PARAMETROS DE CUMPLIMIENTO

ESTANDAR TIA/EIA

ATENUACION PROMEDIO CABLE 0.200 dB/km
ATENUACION PROMEDIO EMPALME 0.100 dB
ATENUACION DE CONECTORES 0.500 dB

AT= LONG*ATECABLE + NEMP*ATEMP + CONC*ATECON

ATENUACION TOTAL ENLACE 3.56 dB

Gráfico 85. *Calculo teórico de atenuación de enlace Acobamba-Tarma.*

ADMINISTRACIÓN TEMPORAL DE LA RED
ESTADÍSTICAS ATENUACION DE ENLACE

VALOR MAXIMO 2.859 dB
VALOR MINIMO 2.629 dB
VALOR PROMEDIO 2.750 dB

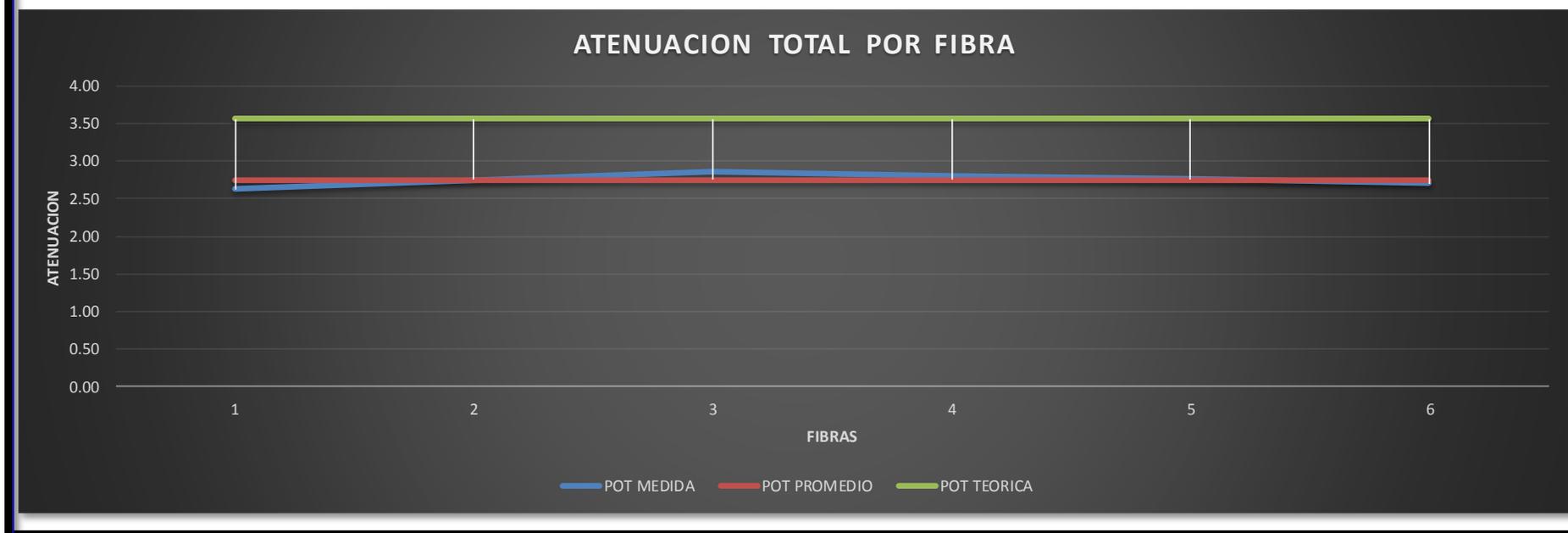


Gráfico 86. Estadística de atenuación del enlace Acobamba- Tarma

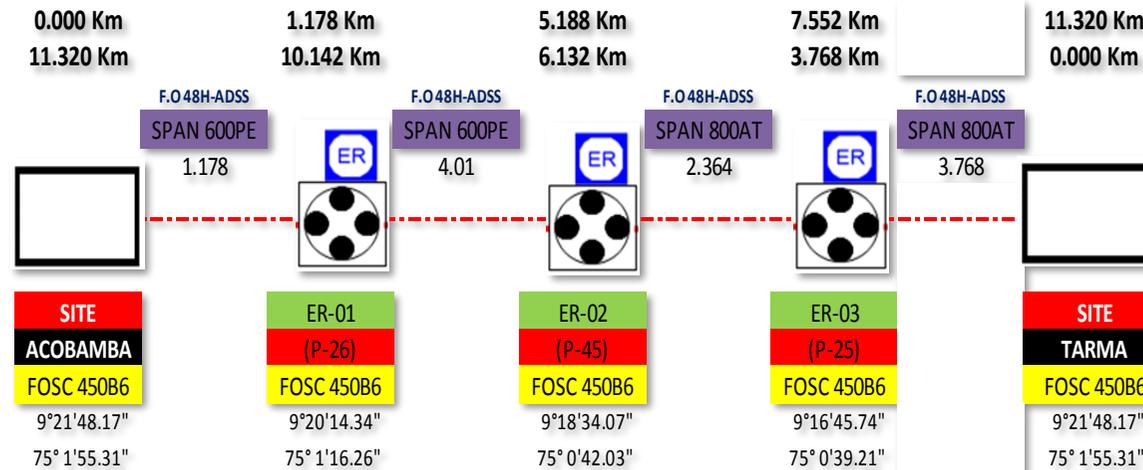


Gráfico 87. Diagrama de empalme del enlace dorsal Acobamba-Tarma

- **Enlace de Conexión Palca-Tarma**

Los resultados obtenidos del enlace Palca-Tarma presentan valores promedios menores a 0.300 dB de pérdida por empalme. En las siguientes tablas se muestran los gráficos de medición reflectométrica y los protocolos de atenuación con los valores promedios por cada hilo.

Las pruebas Reflectométricas se realizaron de forma bidireccional, obtenidos desde el Site Palca hacia el Site Tarma y viceversa.

Finalmente presentamos el diagrama de empalmes obtenidos en este enlace secundario de conexión.

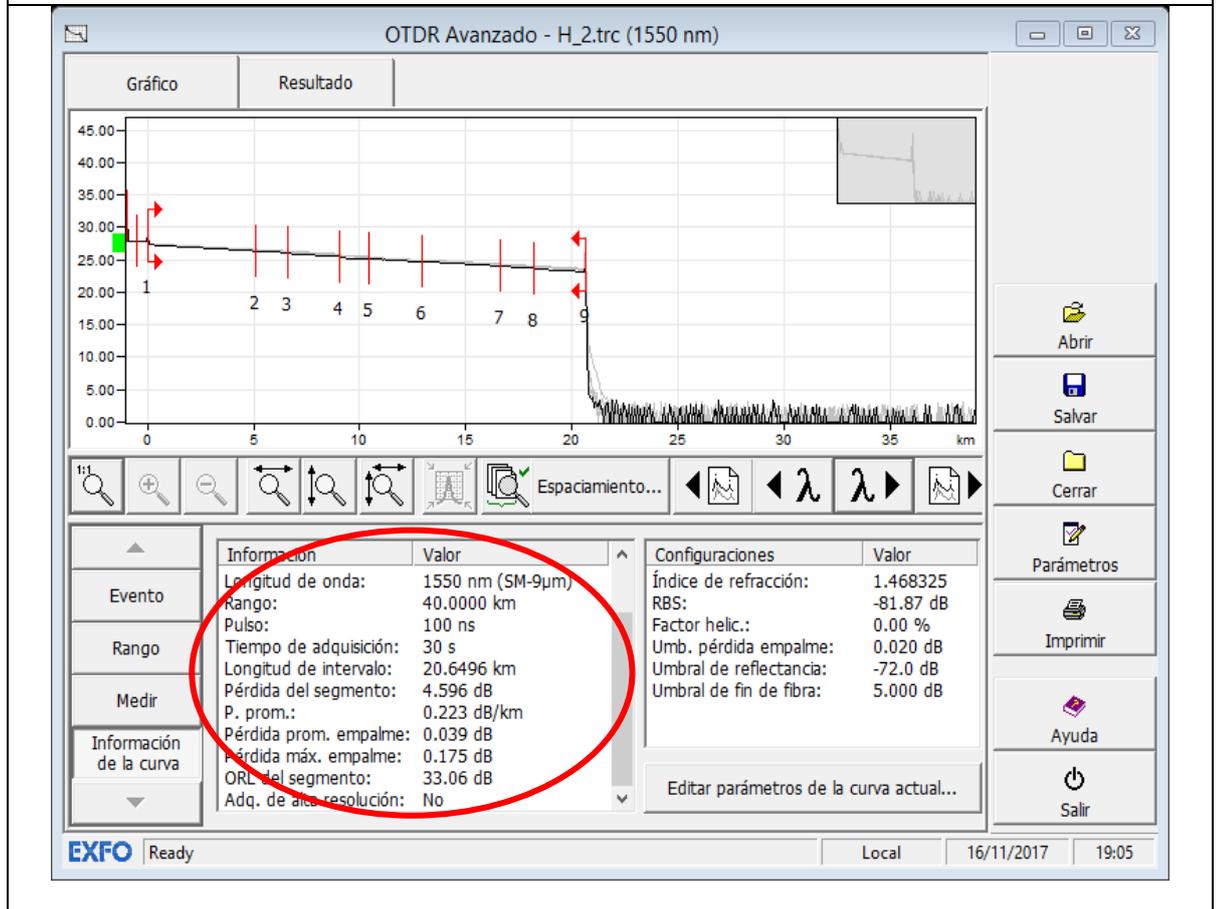
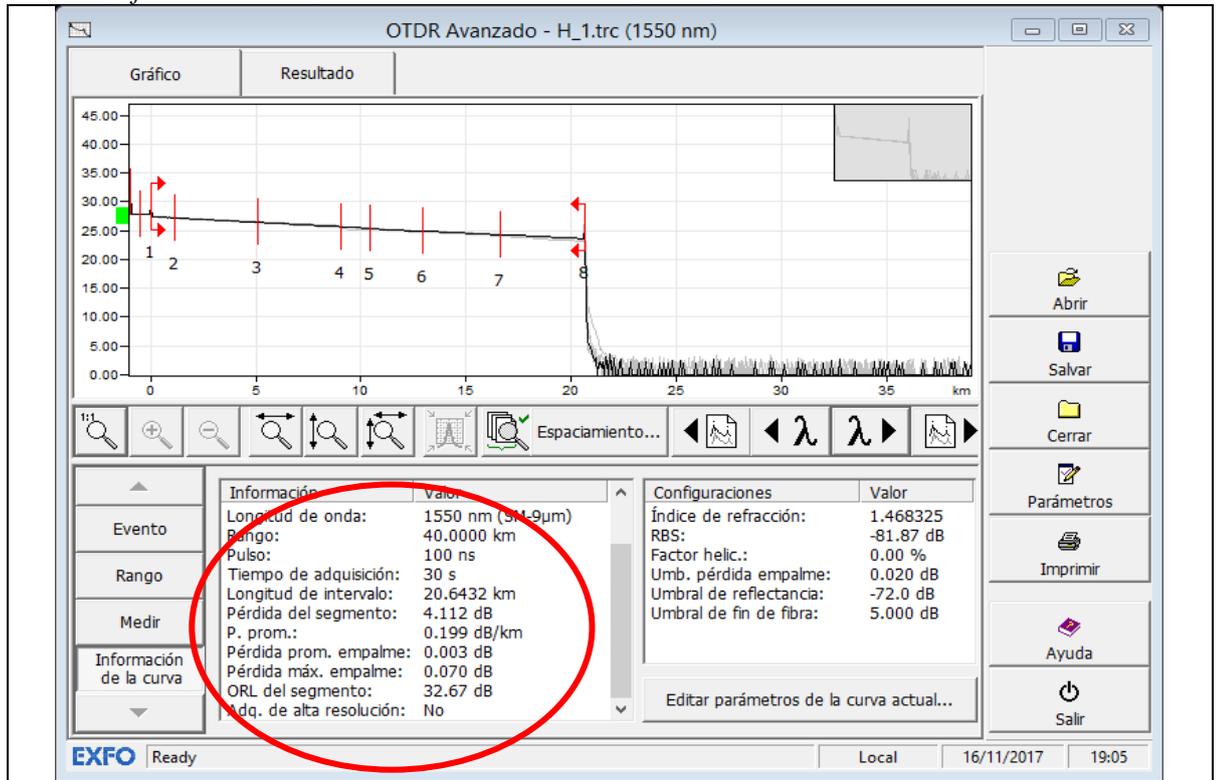
Los hilos asignados al enlace Palca-Tarma desde el Site Palca son los hilos del 1 al 6, siendo el 1 y el 2 los asignados al enlace y los 4 restantes como hilos de respaldo.

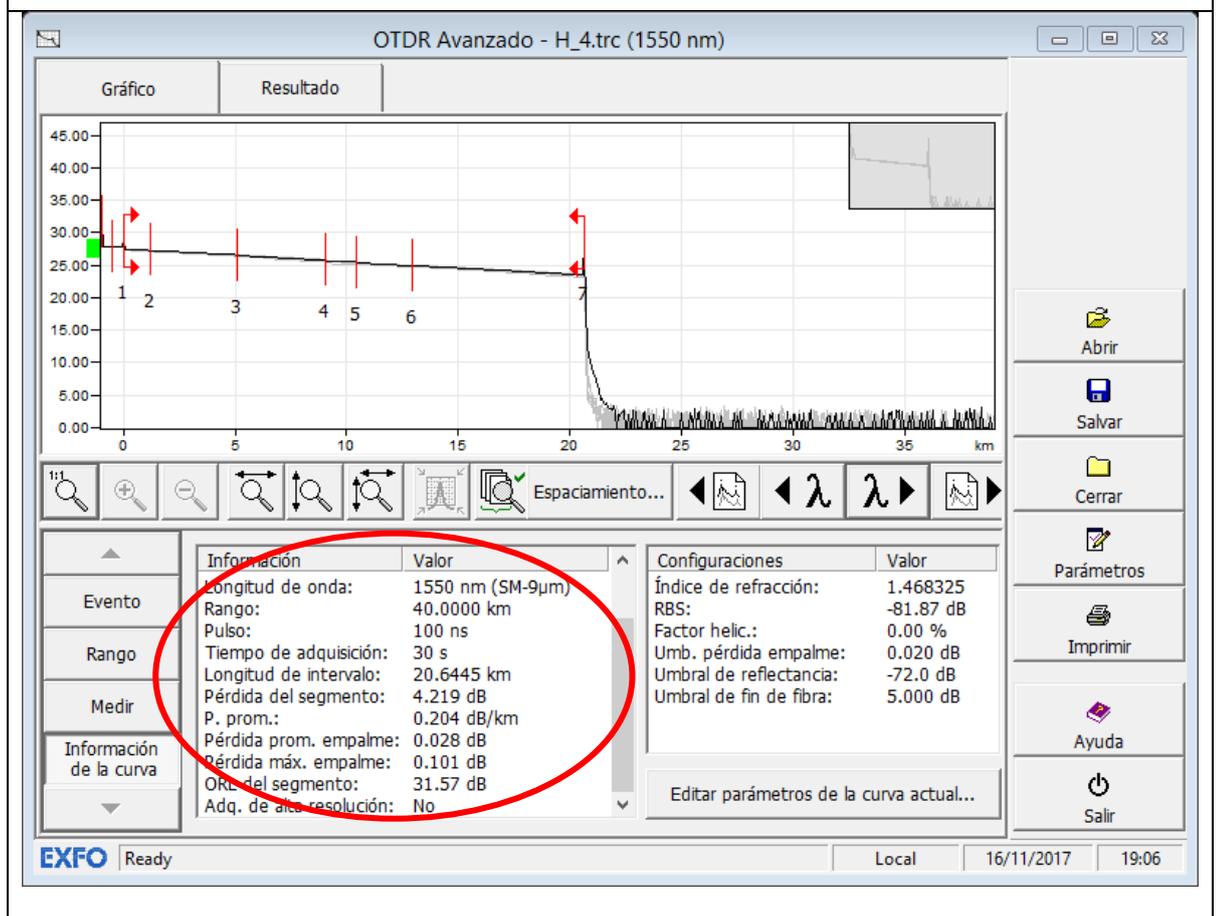
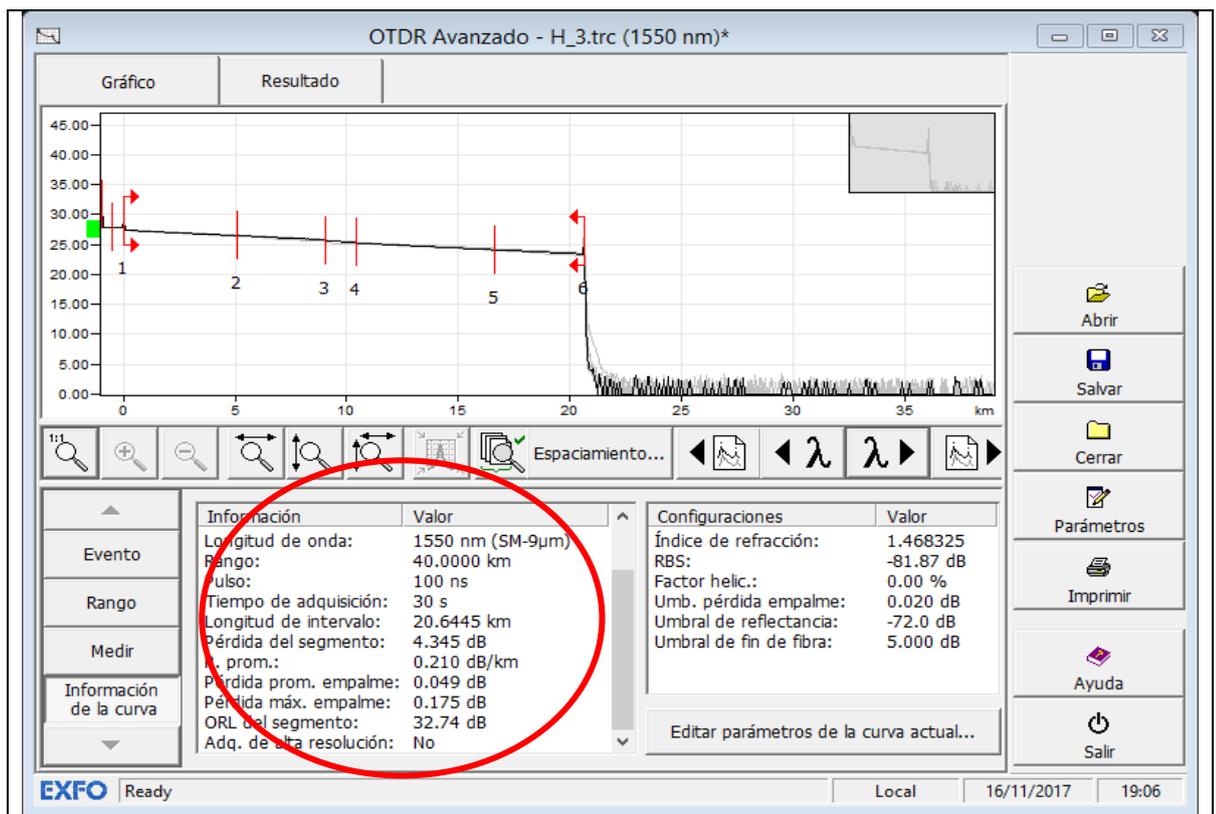
En el Site Tarma se tiene asignado los hilos del 43 al 48 para el enlace Palca-Tarma.

Es en el empalme de Derivación (Ed Palca) donde se fusionan con los hilos del 1 al 6 de Palca con los hilos del 43 al 48 de Tarma respectivamente.

Tabla 51

Pruebas Reflectométricas Bidireccionales del enlace Palca-Tarma





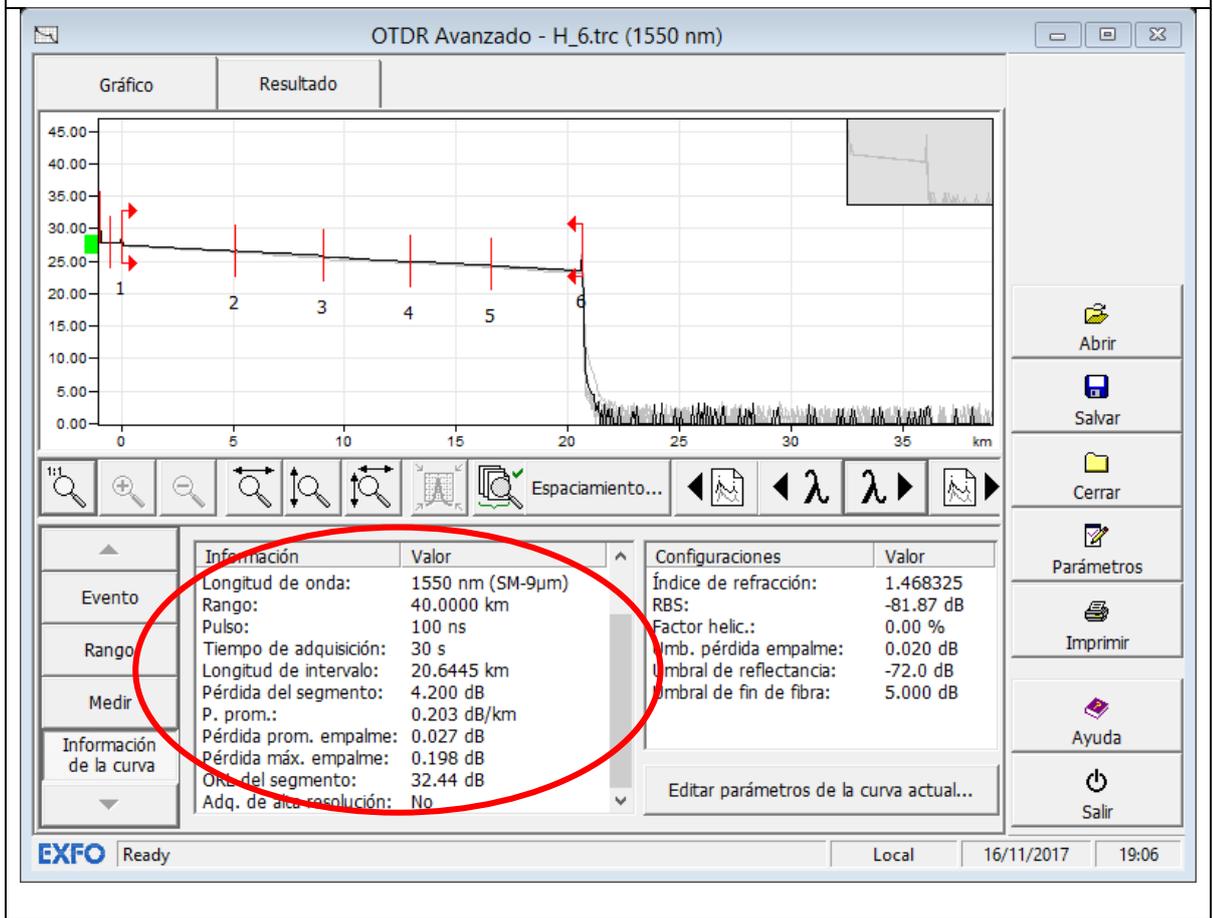
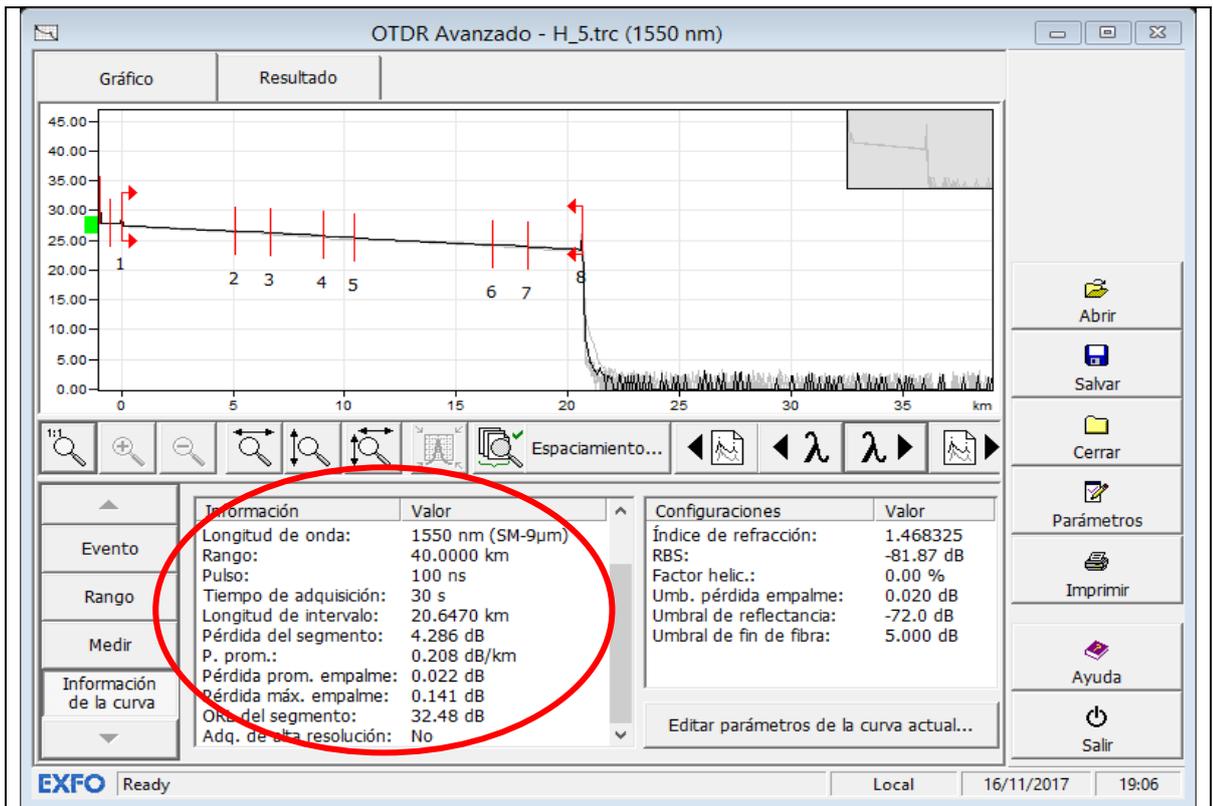


Tabla 52

Protocolo de atenuación bidireccional de empalmes del enlace Palca-Tarma

	FORMATO					Código: ACT-02.2.5-ACPF35																							
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - ATENUACION BIDIRECCIONAL DE EMPALMES															Versión: MTC													
																Fecha: 112-set-2017													
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura															Pág. 1 de 3														
Enlace:	PALCA-TARMA				Fecha Ejecución.:	21/04/2014				Long. Total:	20.640 km				Ancho Pulso:	275ns				Archivos A>B:									
Estación A:	PALCA				Estación B:	TARMA				Tiempo muestreo:	60s				RBS:	-81.87				Archivos B>A:									
Equipo/Modulo:	FTB-7500E-023B-EA				Long. Onda:	1550				Fecha Calibración					Ind. Refracción:	1.47				S/N Equipo:	1029222								
															% Helocoidal:	0.00%													

No.	Empalme 1			Empalme 2			Empalme 3			Empalme 4			Empalme 5			Empalme 6													PROMEDIO TOTAL
	Coorden			3.94		3.920		3.91		3.660		2.870																	
Distancia	1.160	19.480		5.100	15.540		9.020	11.620		12.930	7.710		16.590	4.050		19.460	1.180												
HILO	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.											
1	0.047	0.000	0.024	0.022	-0.007	0.008	0.029	0.025	0.027	-0.096	0.000	-0.048	-0.080	0.000	-0.040	0.000	-0.060	-0.030											-0.006
2	0.000	0.000	0.000	-0.058	0.003	-0.028	0.131	0.001	0.066	-0.015	0.004	-0.006	0.069	-0.004	0.033	-0.039	0.048	0.005											0.013
3	0.000	0.000	0.000	-0.042	0.116	0.037	0.172	-0.182	-0.005	0.000	0.000	0.000	-0.042	-0.148	-0.095	0.000	0.000	0.000											-0.013
4	-0.034	0.010	-0.012	0.086	0.000	0.043	0.017	-0.069	-0.026	-0.072	-0.001	-0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.178	0.089											-0.006
5	0.000	0.000	0.000	-0.108	-0.043	-0.076	0.098	-0.014	0.042	0.000	0.000	0.000	-0.141	0.000	-0.071	-0.052	0.000	-0.026											-0.021
6	0.000	-0.028	-0.014	-0.052	0.090	0.019	0.198	-0.148	0.025	-0.108	0.000	-0.054	0.070	-0.115	-0.023	0.000	0.033	0.017											-0.009

Tabla 53

Protocolo de atenuación total del enlace Palca-Tarma

	FORMATO	Código: ACT-O2.2.5-ACPF29
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - MEDICION DE ATENUACIÓN TOTAL DEL ENLACE CON OTDR	Versión: 5
		Fecha: 28-ago-2017
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura		Pág. 1 de 1

Hoja 1 de 1

ENLACE: Palca-Tarma	FECHA: 21/04/2014
ESTACIÓN A: Palca	ESTACION B: Tarma
MARCA EQUIPO A: EXFO	MARCA EQUIPO B: EXFO
S/N EQUIPO A: 884097	S/N EQUIPO B: 884097
LONG. ONDA: 1550 nm	RANGO DISTANCIA: 22 km
ANCHO DE PULSO: 100 ns	TIEMPO MUESTREO: 30 segundos
BOBINA LANZAMIENTO:	COEF. RAYLEIGH (RE): -81.87
LONGITUD ENLACE: 20.64	INDICE REFRACCION: 1.46
	ARCHIVO:

FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)	FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)
1	4.112	4.198	4.155	25			
2	4.596	4.078	4.337	26			
3	4.345	4.211	4.278	27			
4	4.219	4.205	4.212	28			
5	4.286	4.273	4.280	29			
6	4.200	4.593	4.397	30			
7				31			
8				32			

CALCULO TEORICO DE ATENUACION DE ENLACE

LONGITUD	20.64 km
EMPALMES	6
CONECTORES	2

PARAMETROS DE CUMPLIMIENTO

ESTANDAR TIA/EIA

ATENUACION PROMEDIO CABLE	0.200 dB/km
ATENUACION PROMEDIO EMPALME	0.100 dB
ATENUACION DE CONECTORES	0.500 dB

AT= LONG*ATECABLE + NEMP*ATEMP + CONC*ATECON

ATENUACION TOTAL ENLACE	5.73 dB
--------------------------------	----------------

Gráfico 88. *Calculo teórico de atenuación del enlace Palca-Tarma.*

ADMINISTRACIÓN TEMPORAL DE LA RED
ESTADÍSTICAS ATENUACION DE ENLACE

VALOR MAXIMO 4.397 dB
VALOR MINIMO 4.155 dB
VALOR PROMEDIO 4.276 dB

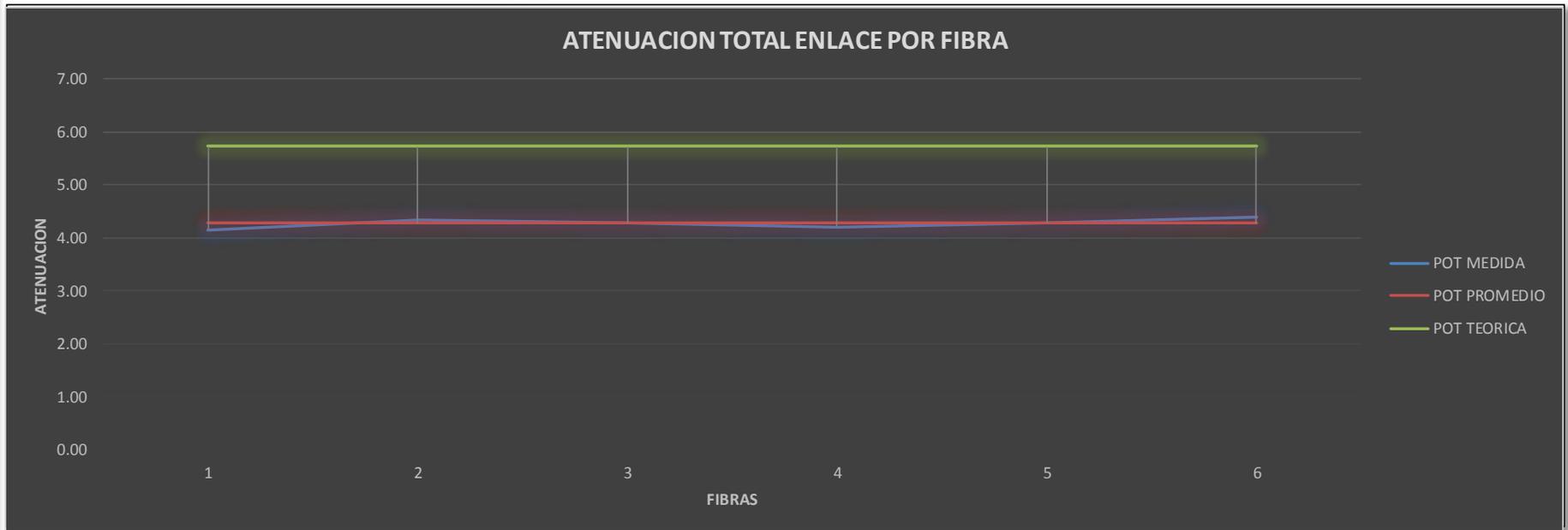


Gráfico 89. Estadística de atenuación del enlace Palca- Tarma

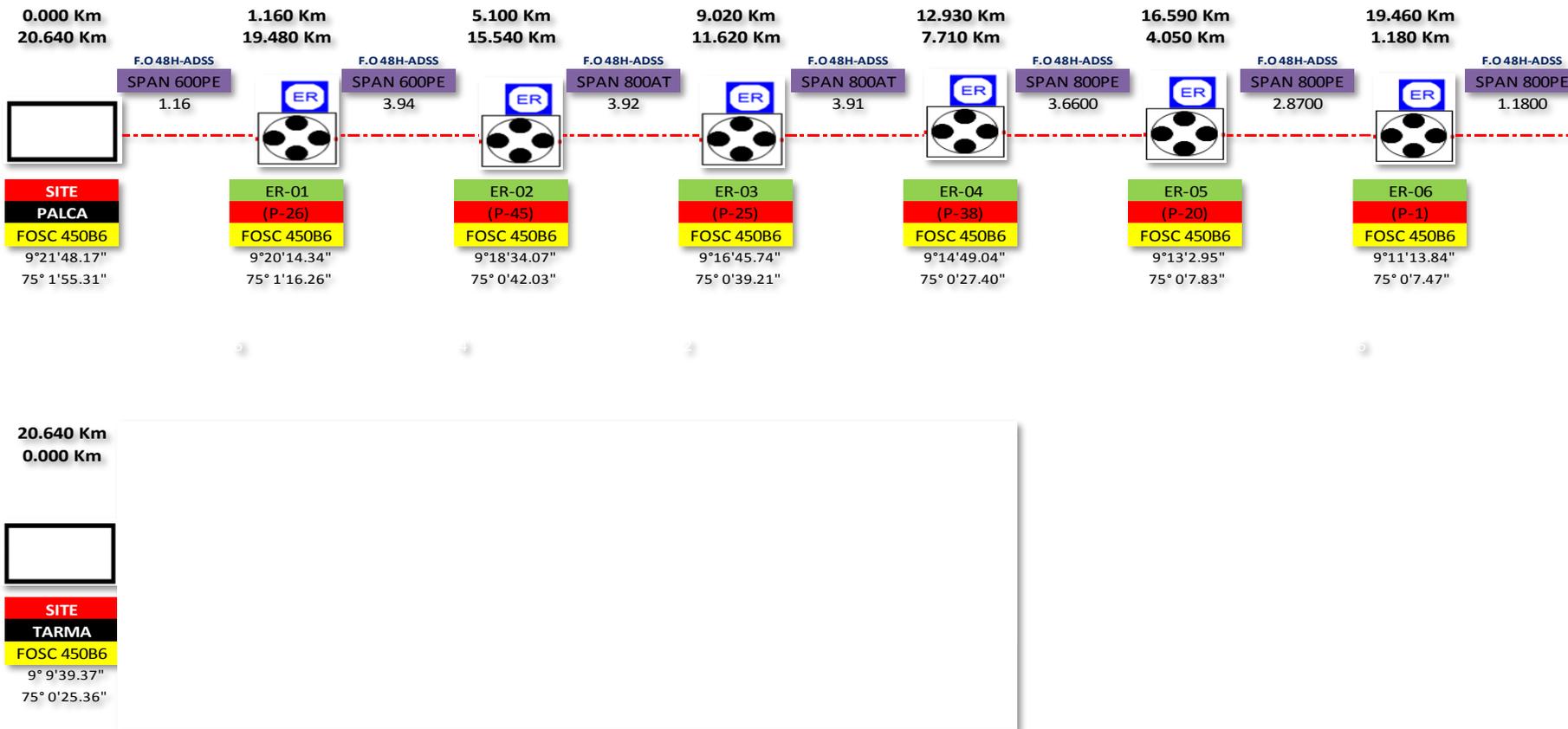


Gráfico 90. Diagrama de empalme del enlace Palca-Tarma.

- **Enlace de conexión San Ramón-La Merced**

Los resultados obtenidos del enlace San Ramón-La Merced presentan valores promedios menores a 0.300 dB de pérdida por empalme.

En las siguientes tablas se muestran los gráficos de medición reflectométrica y los protocolos de atenuación con los valores promedios por cada hilo.

Las pruebas Reflectométricas se realizaron de forma bidireccional, obtenidos desde el Site San Ramón a hacia el Site La Merced y viceversa.

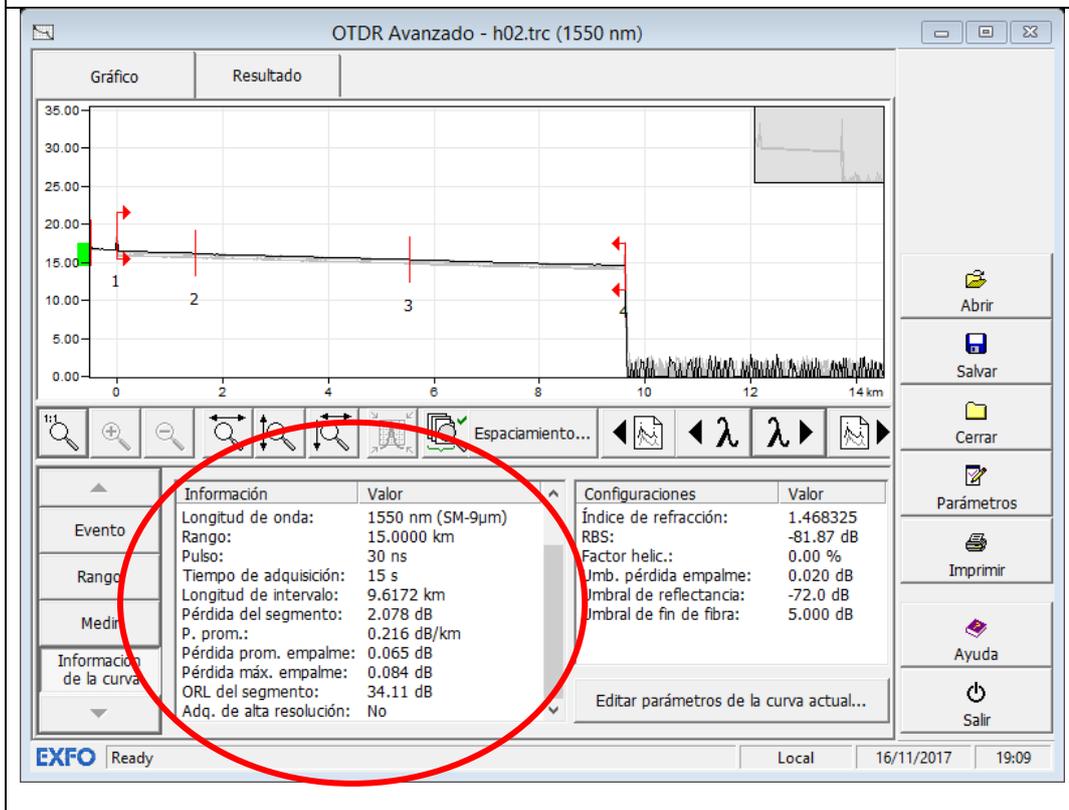
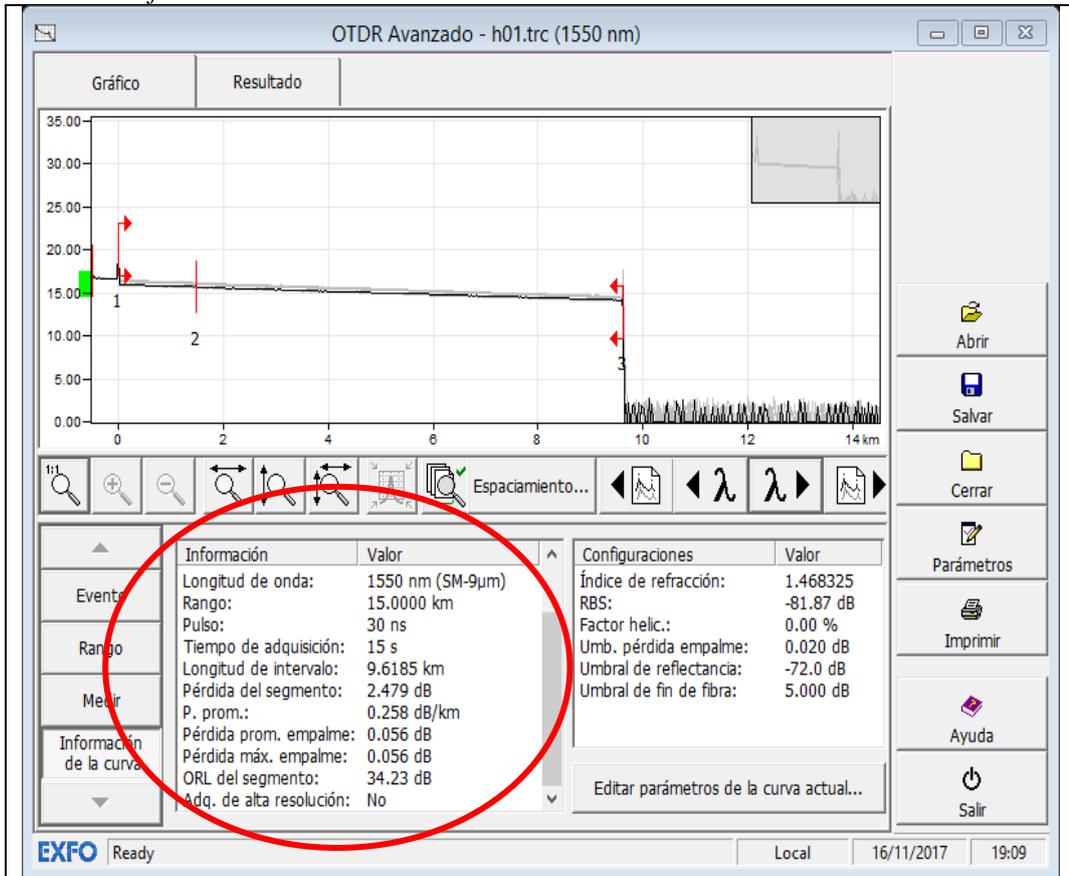
Finalmente presentamos el diagrama de empalmes obtenidos en este enlace secundario de conexión.

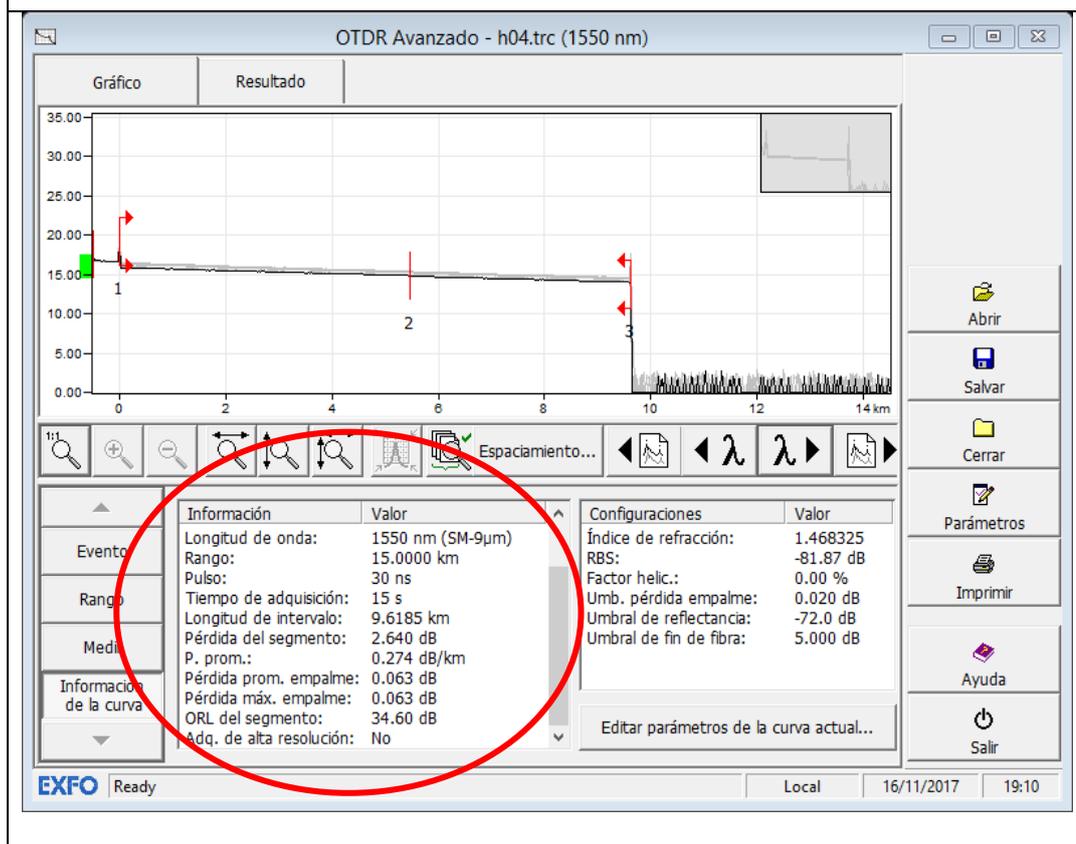
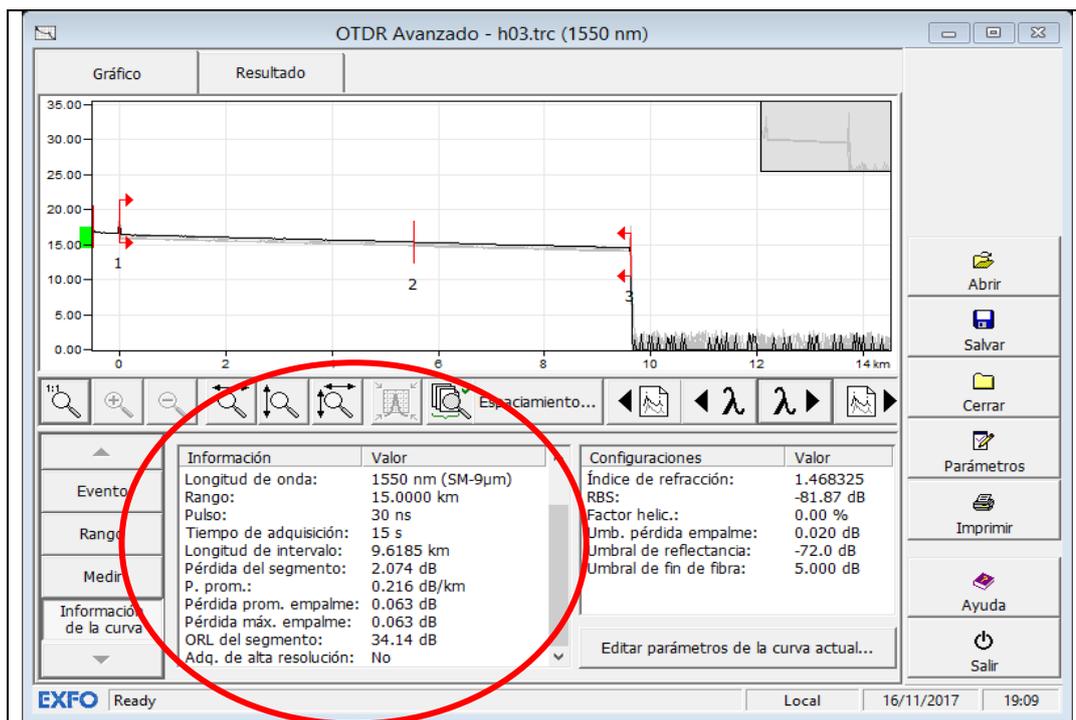
Los hilos asignados al enlace San Ramón-La Merced desde el Site San Ramón son los hilos del 1 al 6, siendo el 1 y el 2 los asignados al enlace y los 4 restantes como hilos de respaldo.

En el Site La Merced se tiene asignado los hilos del 43 al 48 para el enlace San Ramón-La Merced.

Es en el empalme de Derivación (Ed San Ramón) donde se fusionan con los hilos del 1 al 6 de San Ramón con los hilos del 43 al 48 de La Merced respectivamente.

Tabla 54
Pruebas Reflectométricas Bidireccionales del enlace San Ramón-La Merced





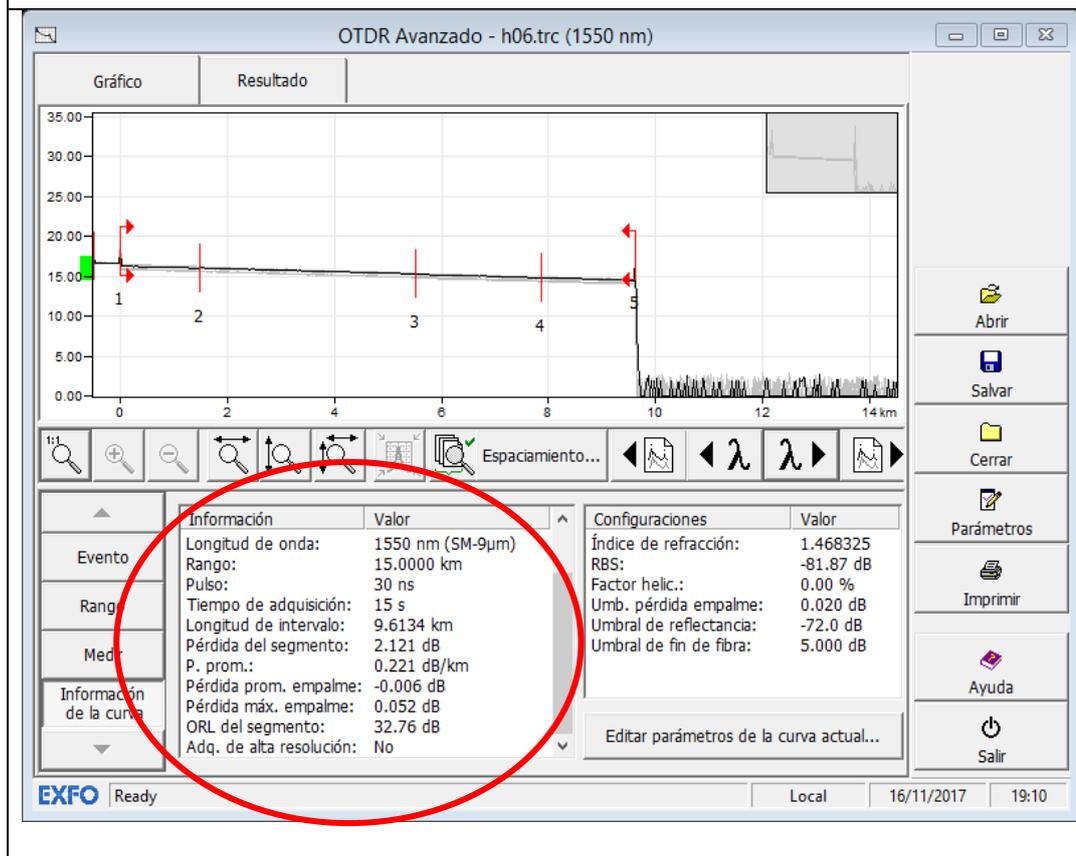
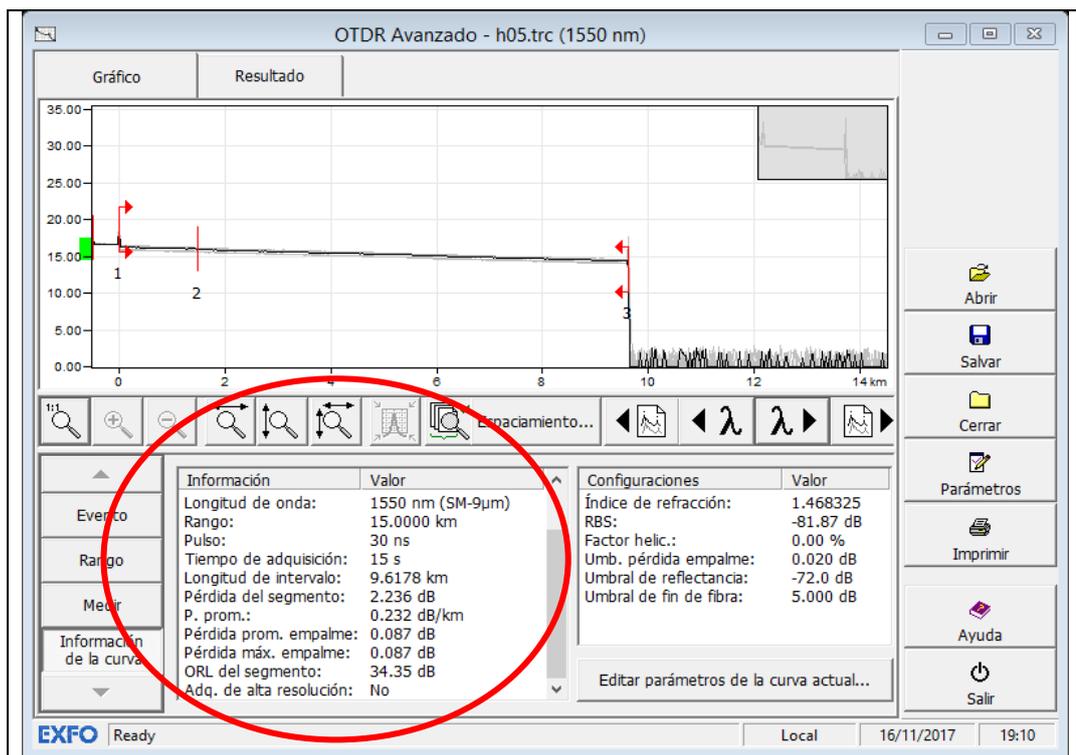


Tabla 55

Protocolo de atenuación total del enlace San Ramón-La Merced

	FORMATO										Código: ACT-02.2.5-ACPF35									
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - ATENUACION BIDIRECCIONAL DE EMPALMES										Versión: MTC									
											Fecha: 112-set-2017									
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura														Pág. 1 de 3						
Enlace:		SAN RAMON-LA MERCED			Fecha Ejecución.:		21/04/2014		Long. Total:		9.610 km		Ancho Pulso:		275ns		Archivos A>B:			
Estación A:		SAN RAMON			Estación B:		LA MERCED		Tiempo muestreo:		60s		RBS:		-81.87		Archivos B>A:			
Equipo/Modulo:		FTB-7500E-023B-EA			Long. Onda:		1550		Fecha Calibración				Ind. Refracción:		1.47		S/N Equipo:		1029222	
														% Helocoidal:		0.00%				

No.	Empalme 1			Empalme 2			Empalme 3															PROMEDIO TOTAL
	Coorden			4.03			2.59															
Distancia	1.500	8.110		5.530	4.080		8.120	1.490														
HILO	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.	A > B	B > A	PROM.													
1	0.056	0.000	0.028	0.000	-0.104	-0.052	0.000	0.000	0.000													-0.008
2	0.084	0.000	0.042	0.045	0.000	0.023	0.000	0.126	0.063													0.043
3	0.000	0.000	0.000	0.063	-0.111	-0.024	0.000	0.000	0.000													-0.008
4	0.000	0.000	0.000	0.063	0.031	0.047	0.000	0.000	0.000													0.016
5	0.087	0.000	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000	0.097	0.049													0.031
6	-0.049	0.000	-0.025	0.052	0.000	0.026	-0.015	0.077	0.031													0.011

Tabla 56
Protocolo de atenuación total del enlace San Ramón-Tarma

	FORMATO		Código: ACT-O2.2.5-ACPF29
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - MEDICION DE ATENUACIÓN TOTAL DEL ENLACE CON OTDR		Versión: 5
			Fecha: 28-ago-2013
PROCESO: Diseño y construcción de infraestructura			Pág. 1 de 1

Hoja 1 de 1

ENLACE:	San Ramon-La Merced	FECHA:	21/04/2014
ESTACIÓN A:	San Ramon	ESTACION B:	La Merced
MARCA EQUIPO A:	EXFO	MARCA EQUIPO B:	EXFO
S/N EQUIPO A:	884097	S/N EQUIPO B:	884097
LONG. ONDA:	1550 nm	RANGO DISTANCIA:	10km
ANCHO DE PULSO:	100 ns	TIEMPO MUESTREO:	30 segundos
BOBINA LANZAMIENTO:		COEF. RAYLEIGH (RE):	-81.87
LONGITUD ENLACE:	9.610 km	INDICE REFRACCION:	1.46
		ARCHIVO:	

FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)	FIBRA N°	MEDIDA A>B (dB)	MEDIDA B>A (dB)	PROMEDIO (dB)
1	2.479	2.168	2.324	25			
2	2.078	2.037	2.058	26			
3	2.074	2.430	2.252	27			
4	2.640	2.104	2.372	28			
5	2.236	2.310	2.273	29			
6	2.121	2.329	2.225	30			
7				31			
8				32			

CALCULO TEORICO DE ATENUACION DE ENLACE

LONGITUD 9.62 km
 EMPALMES 3
 CONECTORES 2

PARAMETROS DE CUMPLIMIENTO

ESTANDAR TIA/EIA

ATENUACION PROMEDIO CABLE 0.200 dB/km
 ATENUACION PROMEDIO EMPALME 0.100 dB
 ATENUACION DE CONECTORES 0.500 dB

$$AT = LONG * ATECABLE + NEMP * ATEMP + CONC * ATECON$$

ATENUACION TOTAL ENLACE 3.22 dB

Gráfico 91. *Calculo teórico de atenuación del enlace San Ramón-La Merced*

ADMINISTRACIÓN TEMPORAL DE LA RED
ESTADÍSTICAS ATENUACION DE ENLACE

VALOR MAXIMO 2.372 dB
VALOR MINIMO 2.058 dB
VALOR PROMEDIO 2.251 dB

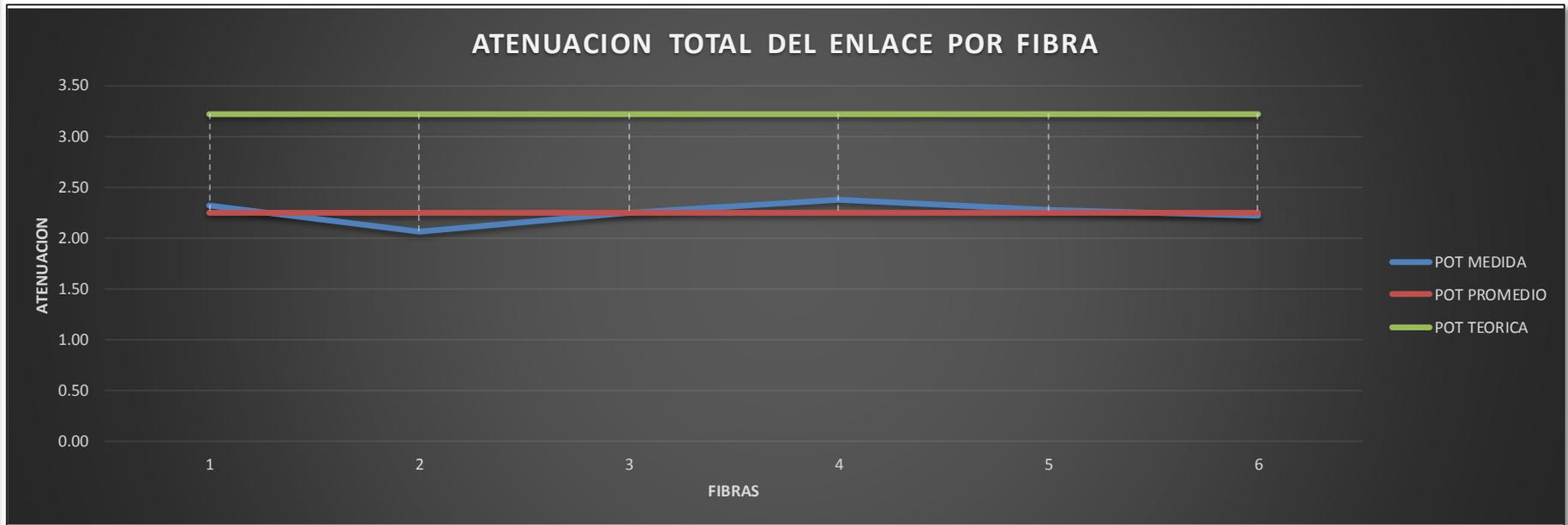


Gráfico 92. Estadística de atenuación del enlace Ramón-La Merced

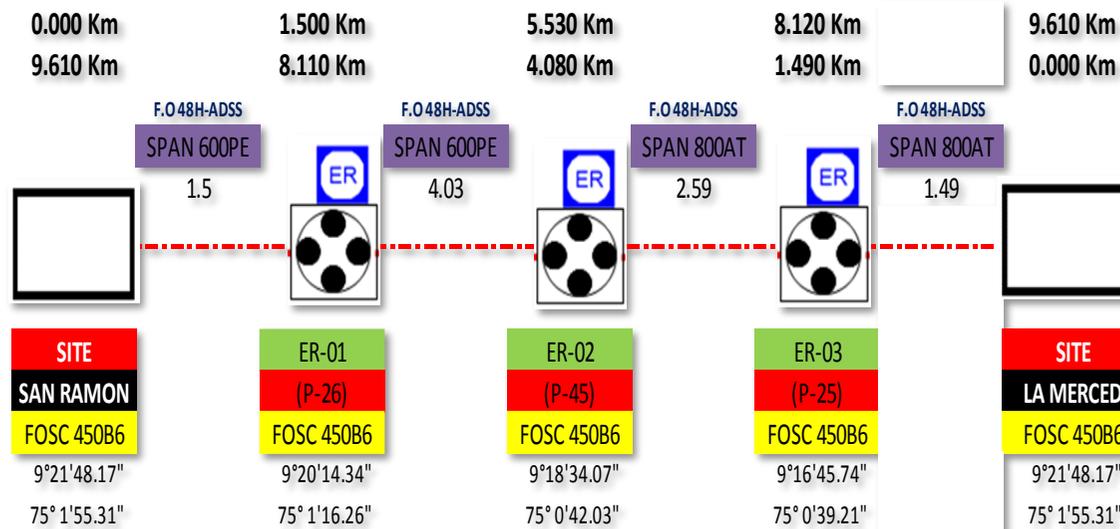


Gráfico 93. Diagrama de empalme San Ramón-La Merced

La siguiente tabla muestra en resumen los valores obtenidos en cada enlace. Realizamos la comparación de los valores máximos estimados con los valores máximos obtenidos en cada enlace donde finalmente observamos el estado de aceptación de estos valores.

Tabla 57
Resumen de los valores de atenuación obtenidos en cada enlace

	TRAMO	Distancia	Cantidad de empalmes	ATENUACION		
				Maximos Estimados (TEORICO)	Maximos Obtenidos (IMPLEMENTADO)	Estado de Aceptacion
ENLACES DORSALES	CARIPA – TARMA	44.57 Km	10	11.11 dB	9.25 dB	✓
	TARMA – LA MERCED	62.26 Km	22	15.65 dB	12.30 dB	✓
ENLACES IP	TARMA-U. LETICIA	27.37 Km	6	7.07 dB	5.60 dB	✓
	TARMA – ACOBAMBA	11.32 Km	3	3.56 dB	2.86 dB	✓
	TARMA – PALCA	20.64 Km	6	5.73 dB	4.39 dB	✓
	LA MERCED – SAN RAMON	9.62 Km	3	3.22 dB	2.37 dB	✓

5.2. Estado Final de la Red Dorsal de la Empresa América Móvil.

Se cumplió con el proceso de empalme de todos los enlaces en cada uno del cierre de empalme, iniciando así la conectividad de las provincias de Tarma y La Merced mediante fibra óptica, con la red dorsal de la empresa América Móvil.

Los valores obtenidos en el proceso de implementación al encontrarse dentro de los valores sugeridos por los estándares internacionales, nos aseguran la interconectividad limpia y confiable.

Además de asegurar pérdidas mínimas en los hilos asignados a cada enlace, se habilitaron 4 hilos de respaldo para eventuales averías o problemas con el enlace.

En el siguiente gráfico se detalla los hilos asignados a cada enlace, y su respectiva ubicación de las bandejas de distribución óptica en cada uno de los sites, además de las distancias que cuenta cada enlace.

Es preciso diferenciar en el siguiente gráfico de la topología de la red actual de la empresa América Móvil, los enlaces dorsales, los cuales están representados con una línea roja de mayor dimensión que los enlaces que derivan de este, los cuales son representados con una línea roja menos densa.

También podemos observar los 4 puntos de derivación existentes en este nuevo enlace.

En el gráfico unifilar de conexión podemos observar la conectividad del Site Core Oroya con los nuevos Site Caripa, Site Tarma, Site La Merced.

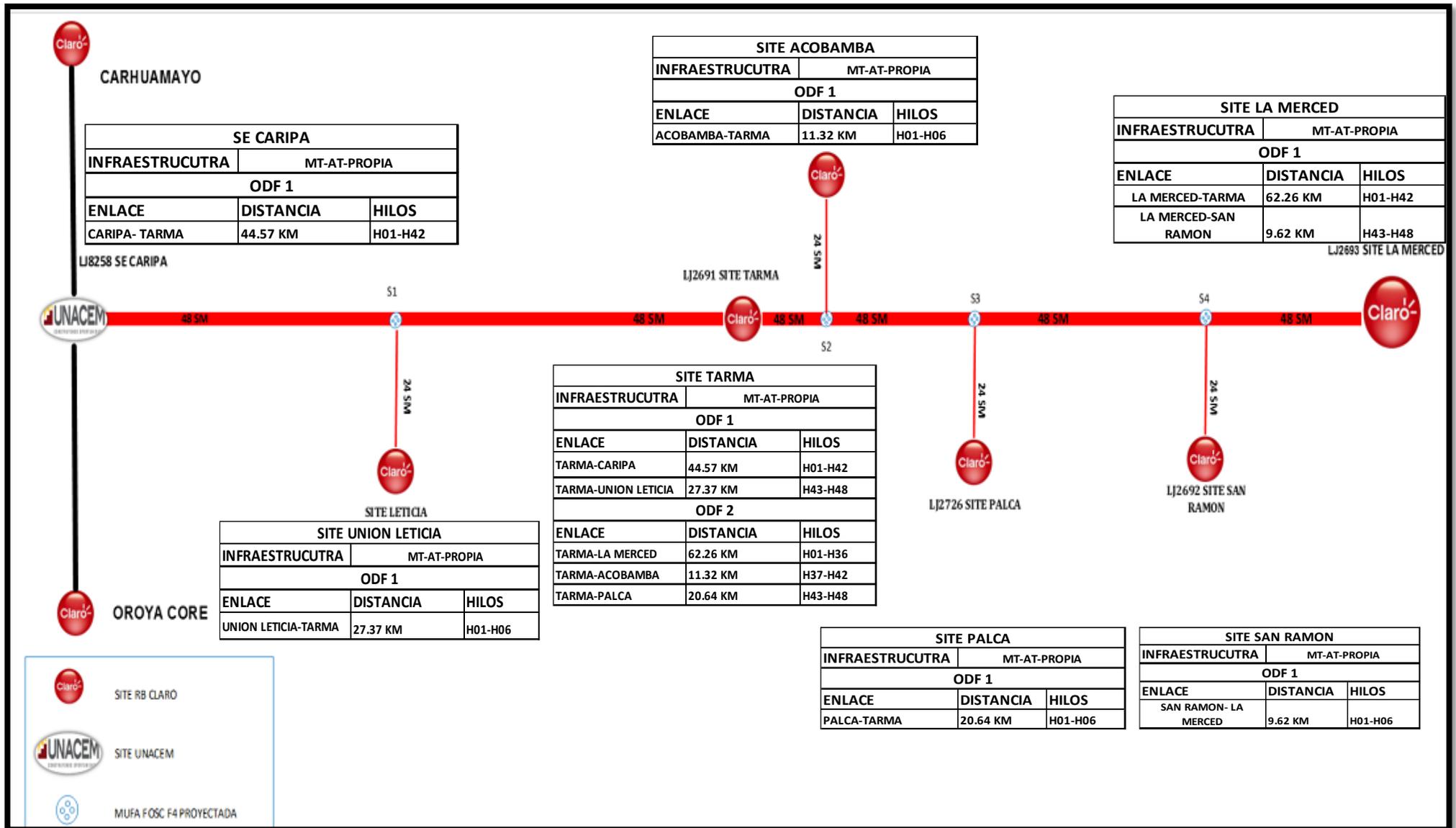


Gráfico 94. Diagrama unifilar final de la red dorsal Caripa-Tarma-La Merced.

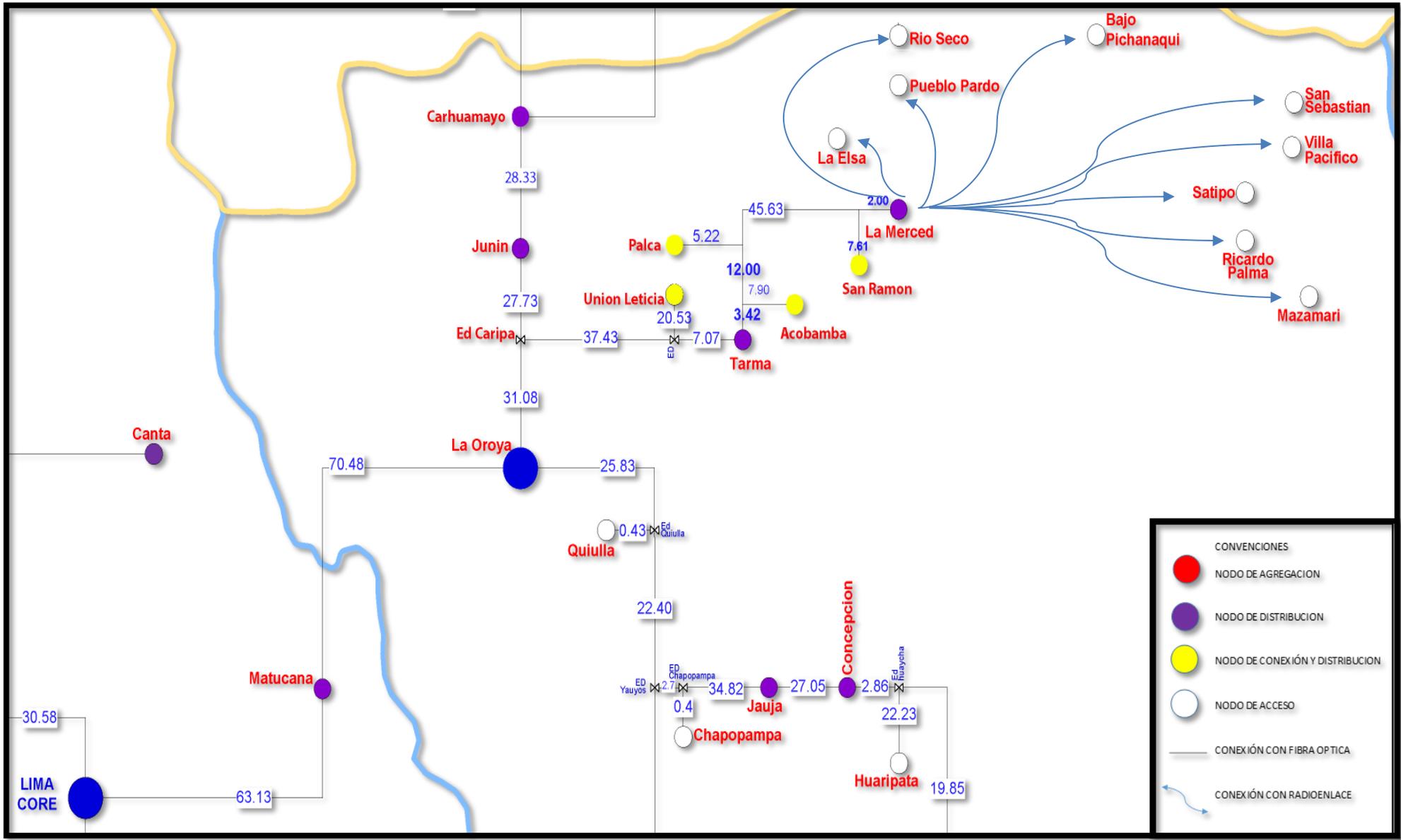


Gráfico 95. Diagrama Unifilar de conexión de la red dorsal La Oroya-Caripa-Tarma-La Merced.

Finalmente presentamos el diagrama topológico de la selva central perteneciente a la red Dorsal de la Empresa América Móvil, donde observamos que los antiguos sites de conexión de la provincia de Tarma y La Merced fueron ampliados tecnológicamente y físicamente, siendo ahora Sites Agregadores. Esta ampliación de la red dorsal también incluyó la construcción de nuevos sites de conexión y distribución como son los de Unión Leticia, Acobamba, Palca y San Ramón quienes ahora cuentan con conectividad mediante Fibra óptica.

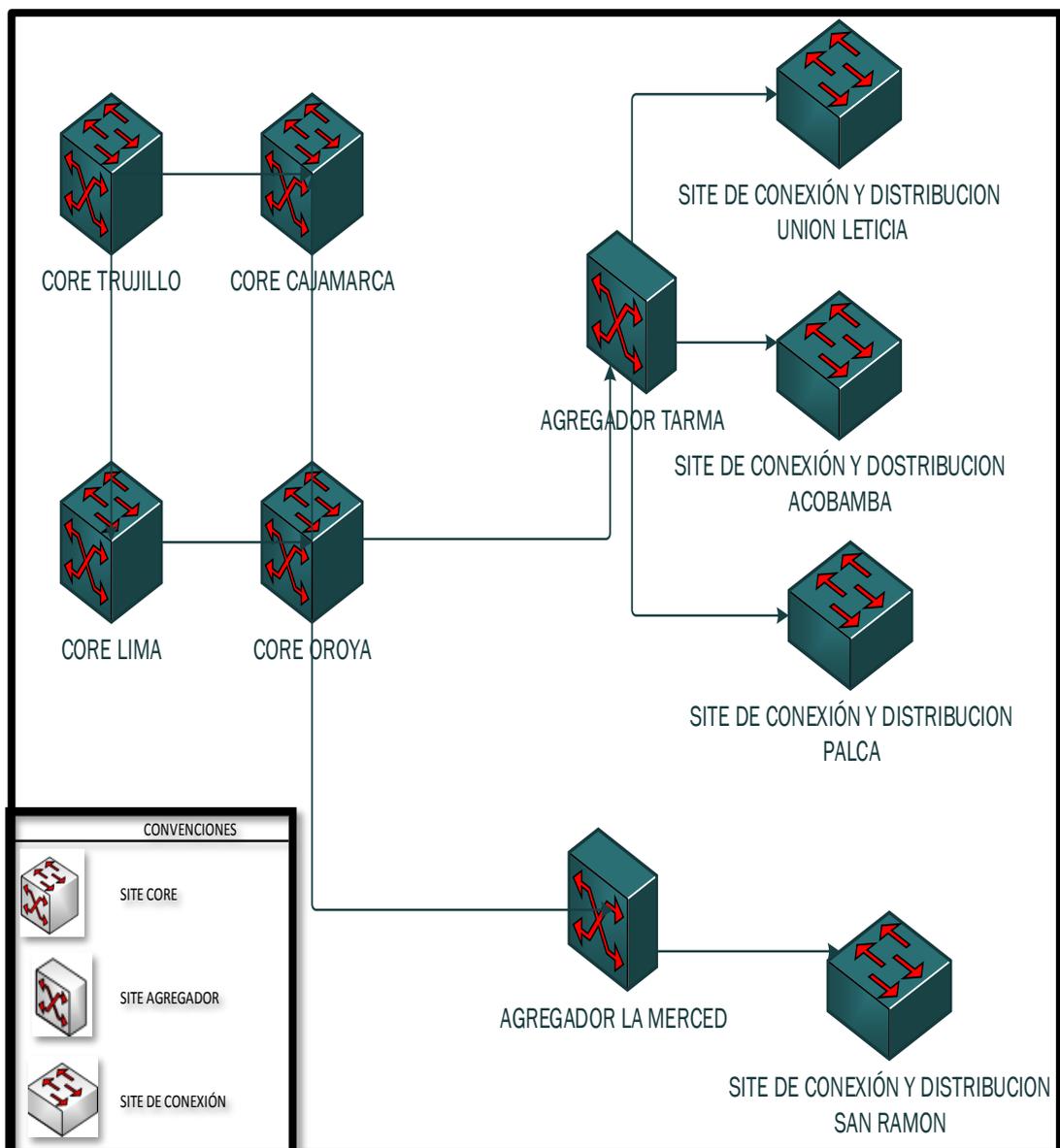


Gráfico 96. Diagrama Topológico de la selva central perteneciente a la red Dorsal de América Móvil.

5.3. Demanda de Ancho de Banda en la región Junín

El tráfico de Ancho de banda en la región viene creciendo en proporción de la población que tiene acceso a servicios de banda ancha fija y móvil.

Enseguida realizaremos el cálculo del tráfico promedio por usuario, que se usó para la determinación de la demanda de capacidad por cada capital de provincia. Estos cálculos se hicieron para la demanda residencial, comercial, incluyendo cabina de internet y gubernamental.

La velocidad promedio por usuario, se calculó como la multiplicación de la velocidad ofrecida de los planes promedio por el porcentaje de overbooking, que asciende a 10% (overbooking de 1 a 10). Este cálculo genera la velocidad garantizada que, luego de multiplicarla por un factor de simultaneidad estándar de 60%, da como resultado la velocidad promedio por usuario.

	Velocidad ofrecida planes (promedio) - Kbps	Velocidad garantizada - Kbps (overbooking 10%)	Velocidad promedio - Kbps (simultaneidad 60%)
2012	1,700	170	102
2022	5,000	500	300

Gráfico 97. Velocidad promedio por usuario de ancho de banda.

Tráfico de telefonía móvil 4G. La proyección del tráfico 4G se calculó sobre la base de hitos anuales de velocidad promedio, de acuerdo al Ericsson White Paper (2010). En este documento se estima una velocidad promedio (Kbps) de los terminales 4G de acuerdo a la siguiente tabla. El crecimiento interanual de la velocidad también se calcula con la tasa de crecimiento promedio capitalizada.

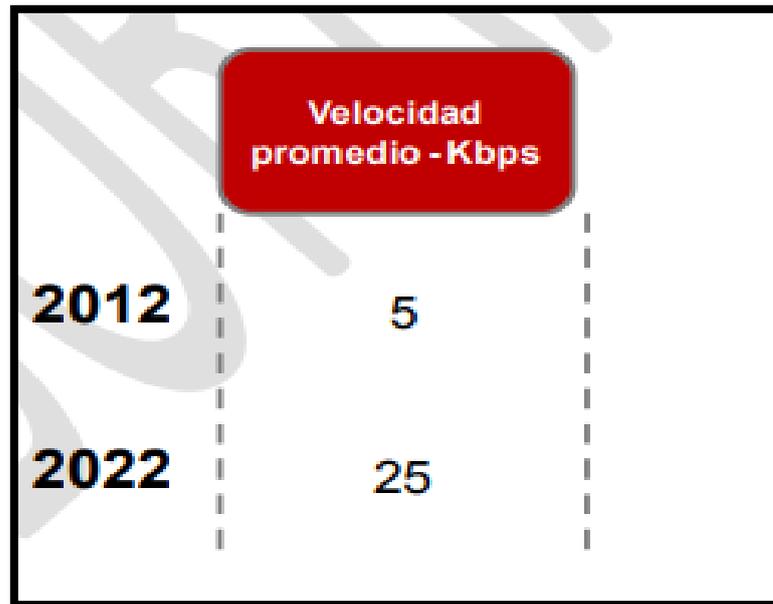


Gráfico 98. Velocidad promedio por usuario de telefonía 4G.

La proyección del tráfico total por provincia. Finalmente, el tráfico a nivel provincial, se calculó como el producto del tráfico proyectado para cada año y el total de conexiones proyectadas en cada provincia, considerando un factor de tráfico efectivo de la red que depende de la existencia de la fibra óptica y de la redundancia en la provincia de análisis según la fórmula siguiente.

$$\text{Tráfico Total}_{ijT} = \text{Tráfico Medio}_T * \text{Total Conexiones}_{ijT} * \text{Factor}_{ij}$$

Donde,
 i = provincia
 j = departamento
 T = Año (2012-2025)

Factor:
 1 = Si no existe fibra óptica en la provincia
 0.5 = Si ya existe fibra óptica en la provincia
 0.1 = Si existe redundancia con fibra óptica en la provincia

Gráfico 99. Fórmula para la estimación de tráfico.

Con respecto al factor del tráfico que podría capturar el Proyecto (tercer término de la fórmula), este actúa como una aproximación a la participación de mercado que podría tener el operador del Proyecto.

Así, este capturaría todo el tráfico que se genere en una provincia donde no existe aún fibra óptica; podría proveer sólo la mitad del tráfico si es que ya existe fibra óptica en la provincia y, en el caso de que ya exista más de una fibra en dicha provincia (redundancia), este capturaría sólo el 10%. En el caso de Lima y Callao, se ha considerado que el operador no podría capturar tráfico alguno, pues es un mercado ya bastante desarrollado y donde existe redundancia con fibra óptica hace varios años.

Los resultados finales del escenario base (velocidad de plan promedio de banda ancha de 5 Mbps) se presentan en la tabla siguiente por Región. Así, para el año 2025 (último año de proyección), se estima un tráfico promedio de 570 Gbps a nivel nacional. Para un escenario optimista, este tráfico ascendería a 1,143 Gbps.

Tabla 58
Total, de tráfico por regiones (2012-2025)

Departamento	2012	2015	2020	2025
Amazonas	0.9	2.0	6.5	14.0
Ancash	2.7	5.9	19.9	43.9
Apurímac	0.8	1.9	6.0	12.7
Arequipa	1.7	3.6	12.2	26.8
Ayacucho	2.5	5.2	17.1	36.5
Cajamarca	3.5	7.6	24.8	53.4
Callao	0.0	0.1	0.1	0.2
Cusco	3.6	7.6	25.2	54.1
Huancavelica	0.3	0.8	2.5	5.3
Huanuco	1.0	2.2	7.2	15.4
Ica	1.4	2.9	9.8	21.5
Junín	3.6	7.6	25.7	56.0
La Libertad	2.1	4.5	15.0	32.4
Lambayeque	1.3	2.8	9.3	20.3
Lima	2.3	5.4	16.8	35.6
Loreto	0.1	0.2	0.6	1.3
Madre de Dios	0.4	0.8	2.6	5.6
Moquegua	0.3	0.7	2.3	5.2
Pasco	0.9	1.8	5.9	12.7
Piura	1.2	2.7	8.7	18.8
Puno	3.4	7.3	23.8	50.7
San Martín	1.9	4.1	13.6	29.2
Tacna	0.3	0.6	2.1	4.6
Ucayali	0.9	1.9	6.4	13.9
TOTAL	37	80	264	570

CONCLUSIONES

1. Se realizó el diseño e implementación de empalmería de fibra óptica de planta externa del enlace Caripa-Tarma - la merced de la red de transmisión de fibra óptica de la empresa América Móvil.
2. Se realizaron pruebas Reflectométricas desde cada uno de los sites del nuevo enlace de la red dorsal de la empresa América móvil, obteniendo como resultado trazas reflectométricas de atenuación (trc) y trazas reflectométricas bidireccionales (bir) que sirvieron para comprobar la calidad de los enlaces.
3. Los equipos utilizados en el proceso de empalme de la fibra óptica, fueron la fusionadora Fujikura 70S de fabricación japonesa y el OTDR EXFO de fabricación americana; ambos fueron los adecuados para los trabajos realizados en la variabilidad altitudinal y climática que presentaba el enlace, donde se realizaron labores de fusión en lugares de hasta 4500 msnm como nivel más alto y 800 msnm como nivel más bajo.
4. Se obtuvieron valores de atenuación por empalme por debajo a los 0.100 dB en los enlaces dorsales y por debajo de 0.300 dB en el caso de los enlaces IP, los cuales cumplen y se encuentran dentro de los estándares ITU, ANSI/TIA y requerimientos propios de la empresa América Móvil.
5. Se plasmó en los formatos de protocolos de atenuación y aceptación de cada enlace, los valores obtenidos en el proceso de fusión de cada cierre de empalme, garantizando el cumplimiento de los estándares requeridos, así también se diseñó el diagrama de empalmes de cada enlace, donde se localiza cada cierre de empalme, la medida de las abscisas y distancias de alejamiento entre cada cierre de empalme.

RECOMENDACIONES

1. Realizar mediciones reflectométricas al cable de fibra óptica antes y después del tendido, con el objetivo de encontrar posibles daños de fábrica o en el proceso de tendido de la fibra óptica, debido a que esto repercutiría en las mediciones reflectométricas finales, induciendo a obtener conclusiones erróneas de un enlace.
2. En los trabajos que se realizaran a la intemperie, realizar el proceso de empalme de fibra óptica dentro de carpas herméticamente cerradas, evitando la contaminación en el proceso de fusión por arco eléctrico.
3. En el proceso de medición con el equipo reflectómetro, se recomienda utilizar conectores verdes (sc/apc), que posee una pérdida típica de inserción entre 0.15 y 0.30 dB y pérdida de retorno >60.
4. Utilizar protectores adecuados para proteger los empalmes de fusión de las fibras ópticas.
5. En las cajas de cierre de empalme, los hilos de fibra óptica no deben poseer un radio de curvatura superior a 30 mm.
6. Definir el uso de pigtail y jumper en las terminaciones del cable de fibra óptica en las bandejas de repartición óptica, de acuerdo a los parámetros tales como el tipo de fibra óptica, el tipo de mini cable utilizado, el tipo de conector y el pulido de la férula.
7. Tener en cuenta para la ejecución de proyectos en telecomunicaciones, la reglamentación, normativa y buenas prácticas establecidas por OPSITEL y el Ministerio de Transportes y comunicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cabezas Pozo, J.M. (2007). Sistemas de telefonía. Madrid, España: International Thompson Ediciones Paraninfo S.A.
2. Casademont, J. (2010). Redes de comunicaciones de la telefonía móvil a internet. Barcelona: Edición de la Universidad Politécnica de Catalunya.
3. España Boquera, M.C. (2005). Comunicaciones ópticas: Conceptos esenciales y resolución de ejercicios. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A
4. Fernández García, C; y Barbado Santana, J.A. (2008). Instalaciones de telefonía: Prácticas. Madrid, España: Ediciones Paraninfo S.A
5. Faúndez Zanuy, M. (2001). Sistemas de comunicaciones. Barcelona, España: Marcombo Editores.
6. Hernández Sampieri, R; Fernández Collado, C y Baptista Lucio, P (2006). Metodología de la investigación. Best Seller International (4ta Edición). Barcelona, España: Mc Graw Hill.
7. Huidobro, J.M.; Blanco, A y Jordan, J. (2006). Redes de Área Local. (Segunda edición). Madrid: Thompson Editores Paraninfo S.A.
8. Huidobro Moya, J.M. (2006). Redes y servicio de telecomunicaciones. Madrid: Thompson Editores Paraninfo S.A.
9. Kuhlmann, F; y Alonso A. (2003). Información y Telecomunicaciones. (Tercera edición). México, D.F. Editorial Fondo de Cultura Económica.
10. Ramirez Luz, R (2005). Gestión del desarrollo de sistemas de telecomunicación e informáticos. Madrid, España: Thompson Editores.

11. Restrepo Angulo, J (2007). Análisis de los procesos básicos de un sistema de comunicación. Medellín, Colombia: Sello Editorial Universidad de Medellín.
12. Sallent Roig, O; y Pérez Romero, J (2014). Fundamentos de diseño y gestión de sistemas de comunicación móviles celulares. Barcelona, España: Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC.
13. Tomasi, W. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. (Cuarta Edición). Naucalpan de Juárez, Edo. De México, México: Pearson Educación.
14. Vara-Horna, A (2010). ¿Cómo hacer una tesis en ciencias empresariales? Manual breve para los tesisistas de Administración, Negocios Internacionales, Recursos Humanos y Marketing. Facultad de Ciencias Administrativas y Recursos Humanos de la Universidad de San Martín de Porres. Lima – Perú. Segunda edición (Abreviada).
15. Tanenbaum, A. (1997). Redes de computadoras. (Tercera edición). Naucalpan de Juárez, Edo. De México, México: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. Carlos Lopez H. (2014). Inician en Huancavelica tendido de red dorsal nacional de fibra óptica. (2014, 19 diciembre). 19 Setiembre de 2017, de agencia peruana de noticias Sitio web:
http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-inician-huacavelica_tendido-red-dorsal-nacional-fibra-optica-536269.aspx
2. Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica: Cobertura Universal Norte, Cobertura Universal Sur y Cobertura Universal Centro (20 abril de 2015) 19 Setiembre de 2017, Pro Inversión Sitio web:

<http://www.proyectosapp.pe/modulos/JER/PlantillaProyecto.aspx?ARE=0&PFL=2&JER=5682>

3. Telefónica completa inversión de S/. 180 millones con banda ancha en Moyobamba y Rioja. (2015, 5 febrero). 19 Setiembre de 2017, Gestión. Sitio web: <http://gestion.pe/empresas/moyobamba-y-rioja-se-suman-al-servicio-banda-ancha-telefonica-2122597>

ANEXOS

ANEXO 1. Protocolos de Aceptación de enlace FO- Pruebas de atenuación de las bobinas de F.O. antes de tendido-MAAT

Protocolo 1. MAAT Caripa-Tarma

	FORMATO	Código: ACT-O2.2.5-ACPF37
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - PRUEBAS DE ATENUACION ANTES DEL TENDIDO - MAAT	Versión: MTC
		Fecha: 23-mar-2013
PROCESO: Implementación del Servicio		Pág. 1 de 1

ENLACE:	CARIPA-TARMA		
Lugar de prueba:	CMOROYA	Fecha:	15/02/2014
ID Bobina / DRUM:		Bobina Lanz.:	
Equipo OTDR:	FTB-7500E-023B-EA	ID Serie:	884097
Tipo de Cable:			
Antes del tendido:		Después del tendido:	

FIBRA	$\lambda=1550$ nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)
1	0.188	4.1138	0.775
2	0.189	4.1131	0.777
3	0.186	4.1131	0.767
4	0.186	4.1138	0.765
5	0.187	4.1131	0.768
6	0.188	4.1134	0.773
7	0.187	4.1131	0.771
8	0.184	4.1134	0.756
9	0.185	4.1128	0.761
10	0.188	4.1122	0.772
11	0.188	4.1128	0.773
12	0.187	4.1128	0.771
13	0.187	4.1170	0.769
14	0.187	4.1131	0.769
15	0.184	4.1134	0.757
16	0.188	4.1128	0.773
17	0.187	4.1170	0.770
18	0.184	4.1134	0.757
19	0.187	4.1170	0.769
20	0.188	4.1128	0.773
21	0.187	4.1131	0.771
22	0.184	4.1134	0.756
23	0.188	4.1128	0.773
24	0.188	4.1128	0.773

FIBRA	$\lambda=1550$ nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)
25	0.187	4.1131	0.769
26	0.188	4.1128	0.773
27	0.188	4.1128	0.773
28	0.188	4.1128	0.773
29	0.184	4.1134	0.756
30	0.187	4.1131	0.769
31	0.187	4.1131	0.769
32	0.187	4.1131	0.769
33	0.187	4.1131	0.769
34	0.184	4.1134	0.757
35	0.184	4.1134	0.757
36	0.184	4.1134	0.756
37	0.187	4.1122	0.769
38	0.184	4.1134	0.757
39	0.187	4.1131	0.769
40	0.184	4.1134	0.757
41	0.187	4.1122	0.769
42	0.188	4.1138	0.773
43	0.189	4.1131	0.777
44	0.187	4.1131	0.769
45	0.186	4.1131	0.765
46	0.187	4.1131	0.769
47	0.189	4.1131	0.777
48	0.186	4.1138	0.765

Protocolo 2. MAAT Unión Leticia-Tarma

	FORMATO	Código: ACT-O2.2.5-ACPF37
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - PRUEBAS DE ATENUACION ANTES DEL TENDIDO - MAAT	Versión: MTC Fecha: 23-mar-2013
PROCESO: Implementación del Servicio		Pág. 1 de 1

ENLACE:	CARIPA-TARMA		
Lugar de prueba:	CMOROYA	Fecha:	16/02/2014
ID Bobina / DRUM:		Bobina Lanz.:	
Equipo OTDR:	FTB-7500E-023B-EA	ID Serie:	884097
Tipo de Cable:			
Antes del tendido:	Después del tendido:		

FIBRA	$\lambda=1550$ nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)	FIBRA	$\lambda=1550$ nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)
1	0.185	4.1603	0.770	25	0.187	4.1619	0.778
2	0.186	4.1591	0.774	26	0.185	4.1492	0.768
3	0.185	4.1597	0.770	27	0.188	4.1616	0.782
4	0.187	4.1610	0.778	28	0.186	4.1613	0.774
5	0.184	4.1603	0.765	29	0.186	4.1603	0.756
6	0.187	4.1600	0.778	30	0.185	4.1607	0.770
7	0.185	4.1600	0.770	31	0.186	4.1600	0.774
8	0.186	4.1594	0.774	32	0.185	4.1597	0.770
9	0.185	4.1498	0.768	33	0.183	4.1594	0.761
10	0.184	4.1501	0.764	34	0.184	4.1607	0.766
11	0.184	4.1492	0.763	35	0.186	4.1597	0.774
12	0.185	4.1498	0.768	36	0.185	4.1603	0.756
13	0.184	4.1501	0.764	37	0.188	4.1600	0.782
14	0.186	4.1505	0.772	38	0.186	4.1603	0.774
15	0.189	4.1505	0.784	39	0.185	4.1594	0.769
16	0.185	4.1501	0.768	40	0.186	4.1594	0.774
17	0.186	4.1508	0.772	41	0.187	4.1597	0.778
18	0.188	4.1505	0.780	42	0.186	4.1597	0.774
19	0.184	4.1591	0.765	43	0.187	4.1603	0.778
20	0.185	4.1613	0.770	44	0.184	4.1498	0.764
21	0.183	4.1607	0.761	45	0.188	4.1603	0.782
22	0.186	4.1610	0.774	46	0.187	4.1600	0.778
23	0.185	4.1616	0.770	47	0.184	4.1600	0.765
24	0.189	4.1613	0.786	48	0.185	4.1607	0.770

Protocolo 3. MAAT Tarma-La Merced

	FORMATO PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - PRUEBAS DE ATENUACION ANTES DEL TENDIDO - MAAT	Código: ACT-O2.2.5-ACPF37 Versión: MTC Fecha: 23-mar-2013
PROCESO: Implementación del Servicio		Pág. 1 de 1
ENLACE: CARIPA- LA MERCED		
Lugar de prueba:	CM OROYA	Fecha: 16/03/2014
ID Bobina / DRUM:		Bobina Lanz.:
Equipo OTDR:	FTB-7500E-023B-EA	ID Serie: 884097
Tipo de Cable:		
Antes del tendido:		Después del tendido:

FIBRA	λ=1550 nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)	FIBRA	λ=1550 nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)
1	0.185	4.1211	0.762	25	0.184	4.1192	0.758
2	0.187	4.1214	0.771	26	0.186	4.1195	0.766
3	0.186	4.1214	0.767	27	0.187	4.1198	0.770
4	0.186	4.1214	0.767	28	0.185	4.1192	0.762
5	0.187	4.1214	0.771	29	0.185	4.1205	0.756
6	0.185	4.1211	0.762	30	0.184	4.1201	0.758
7	0.187	4.1214	0.771	31	0.188	4.1198	0.775
8	0.186	4.1195	0.766	32	0.186	4.1195	0.766
9	0.188	4.1198	0.775	33	0.184	4.1192	0.758
10	0.185	4.1201	0.762	34	0.185	4.1195	0.762
11	0.187	4.1214	0.771	35	0.188	4.1205	0.775
12	0.185	4.1195	0.762	36	0.186	4.1195	0.756
13	0.185	4.1195	0.762	37	0.187	4.1198	0.770
14	0.187	4.1214	0.771	38	0.185	4.1201	0.762
15	0.187	4.1214	0.771	39	0.185	4.1192	0.762
16	0.186	4.1211	0.767	40	0.186	4.1195	0.766
17	0.186	4.1211	0.767	41	0.185	4.1205	0.762
18	0.186	4.1195	0.766	42	0.188	4.1214	0.775
19	0.186	4.1214	0.767	43	0.186	4.1211	0.767
20	0.186	4.1195	0.766	44	0.187	4.1980	0.785
21	0.186	4.1195	0.766	45	0.186	4.1211	0.767
22	0.187	4.1198	0.770	46	0.187	4.1198	0.770
23	0.187	4.1211	0.771	47	0.186	4.1208	0.766
24	0.186	4.1211	0.767	48	0.187	4.1211	0.771

Protocolo 4. MAAT San Ramón- la Merced

	FORMATO	Código: ACT-O2.2.5-ACPF37
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - PRUEBAS DE ATENUACION ANTES DEL TENDIDO - MAAT	
	Versión: MTC	
PROCESO: Implementación del Servicio		Fecha: 23-mar-2016
		Pág. 1 de 1

ENLACE:	CARIPA-MERCED		
Lugar de prueba:	CMOROYA	Fecha:	15/02/2014
ID Bobina / DRUM:		Bobina Lanz.:	
Equipo OTDR:	FTB-7500E-023B-EA	ID Serie:	613464
Tipo de Cable:			
Antes del tendido:		Después del tendido:	

FIBRA	λ=1550 nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)		FIBRA	λ=1550 nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)
1	0.215	4.1071	0.883		25	0.242	4.1052	0.993
2	0.210	4.1071	0.862		26	0.242	4.1052	0.993
3	0.210	4.1071	0.862		27	0.241	4.1052	0.989
4	0.252	4.1071	1.035		28	0.242	4.1052	0.993
5	0.252	4.1071	1.035		29	0.241	4.1052	0.756
6	0.251	4.1071	1.031		30	0.207	4.1064	0.850
7	0.253	4.1064	1.039		31	0.207	4.1064	0.850
8	0.253	4.1058	1.039		32	0.208	4.1064	0.854
9	0.253	4.1064	1.039		33	0.207	4.1064	0.850
10	0.253	4.1058	1.039		34	0.221	4.1064	0.908
11	0.214	4.1071	0.879		35	0.220	4.1064	0.903
12	0.213	4.1071	0.875		36	0.221	4.1064	0.756
13	0.222	4.1058	0.911		37	0.230	4.1109	0.946
14	0.252	4.1071	1.035		38	0.230	4.1109	0.946
15	0.222	4.1058	0.911		39	0.288	4.1115	1.184
16	0.222	4.1058	0.911		40	0.227	4.1122	0.933
17	0.218	4.1058	0.895		41	0.227	4.1122	0.933
18	0.218	4.1058	0.895		42	0.227	4.1122	0.933
19	0.219	4.1058	0.899		43	0.230	4.1122	0.946
20	0.213	4.1058	0.875		44	0.208	4.1122	0.855
21	0.215	4.1058	0.883		45	0.210	4.1122	0.864
22	0.215	4.1058	0.883		46	0.218	4.1122	0.896
23	0.214	4.1058	0.879		47	0.216	4.1122	0.888
24	0.225	4.1052	0.924		48	0.215	4.1122	0.884

Protocolo 5. MATT Acobamba-Tarma

	FORMATO	Código: ACT-O2.2.5-ACPF37
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - PRUEBAS DE ATENUACION ANTES DEL TENDIDO - MAAT	Versión: MTC
		Fecha: 23-mar-2012
PROCESO: Implementación del Servicio		Pág. 1 de 1

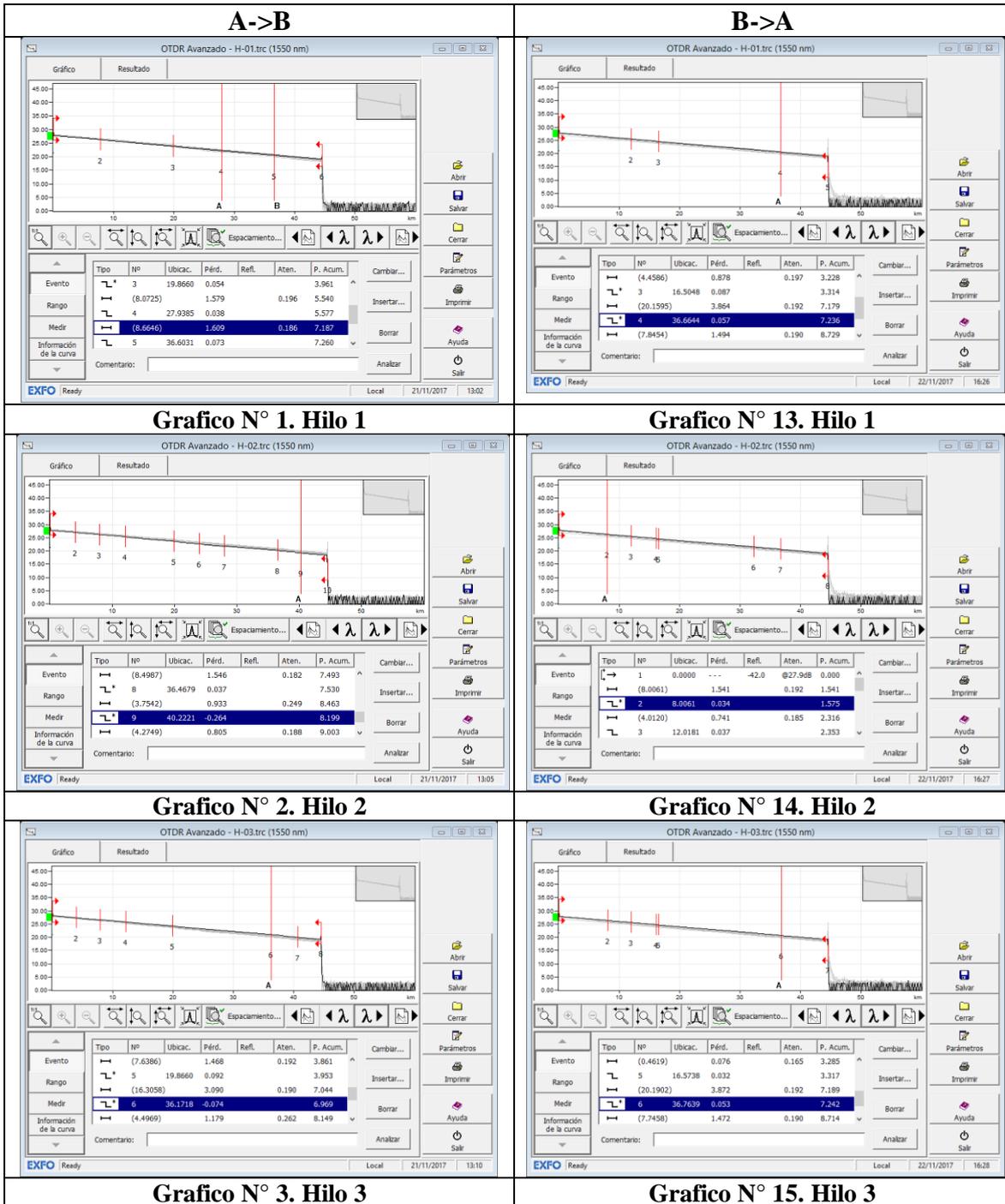
ENLACE:	TARMA-LA MERCED		
Lugar de prueba:	CM LA MERCED	Fecha:	22/03/2014
ID Bobina / DRUM:		Bobina Lanz.:	
Equipo OTDR:	FTB-7400E-0023B-EA	ID Serie:	613464
Tipo de Cable:			
Antes del tendido:		Después del tendido:	

FIBRA	$\lambda=1550$ nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)	FIBRA	$\lambda=1550$ nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)
1	0.197	4.1077	1.269	25	0.226	4.1058	1.533
2	0.211	4.1071	1.499	26	0.229	4.1058	1.935
3	0.210	4.1071	1.639	27	0.227	4.1058	1.466
4	0.212	4.1071	1.231	28	0.227	4.1058	1.490
5	0.212	4.1071	1.231	29	0.227	4.1058	1.660
6	0.215	4.1071	1.903	30	0.220	4.1058	1.586
7	0.211	4.1071	1.639	31	0.220	4.1058	1.648
8	0.194	4.1071	1.459	32	0.221	4.1064	2.275
9	0.195	4.1071	1.580	33	0.220	4.1064	2.148
10	0.195	4.1071	1.541	34	0.221	4.1064	1.437
11	0.193	4.1071	1.625	35	0.199	4.1064	1.699
12	0.190	4.1071	1.080	36	0.200	4.1071	1.576
13	0.204	4.1058	1.138	37	0.198	4.1071	1.772
14	0.206	4.1058	1.598	38	0.218	4.1071	1.425
15	0.205	4.1058	1.142	39	0.226	4.1128	1.771
16	0.205	4.1058	1.528	40	0.226	4.1128	1.776
17	0.193	4.1058	2.160	41	0.225	4.1222	1.899
18	0.196	4.1058	1.715	42	0.223	4.1128	1.824
19	0.286	4.1058	1.474	43	0.222	4.1128	2.136
20	0.203	4.1058	1.837	44	0.223	4.1128	1.807
21	0.204	4.1058	1.442	45	0.224	4.1128	1.673
22	0.203	4.1058	1.593	46	0.214	4.1128	1.472
23	0.384	4.1058	1.877	47	0.213	4.1128	1.821
24	0.203	4.1058	1.133	48	0.213	4.1128	1.651

Protocolo 6. MAAT Palca-Tarma

	FORMATO	Código: ACT-O2.2.5-ACPF37																																																																																																																																																																																																							
	PROTOCOLO DE ACEPTACIÓN DE ENLACE FO - PRUEBAS DE ATENUACION ANTES DEL TENDIDO - MAAT	Versión: MTC																																																																																																																																																																																																							
		Fecha: 23-mar-2012																																																																																																																																																																																																							
ROCESO: Implementación del Servicio		Pág. 1 de 1																																																																																																																																																																																																							
<p>ENLACE: PALCA-TARMA</p> <p>Lugar de prueba: CM LA MERCED Fecha: 16/03/2013</p> <p>ID Bobina / DRUM: Bobina Lanz.: </p> <p>Equipo OTDR: FTB-7500E-023B-EA ID Serie: 691021</p> <p>Tipo de Cable: </p> <p>Antes del tendido: Después del tendido: </p>																																																																																																																																																																																																									
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>FIBRA</th> <th>$\lambda=1550$ nm dB/km</th> <th>Longitud optica (km)</th> <th>Atenuacion Total (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.396</td><td>4.1090</td><td>1.627</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.524</td><td>4.1096</td><td>2.153</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.327</td><td>4.1096</td><td>1.344</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.412</td><td>4.1087</td><td>1.693</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.421</td><td>4.1093</td><td>1.730</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.414</td><td>4.1099</td><td>1.701</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.440</td><td>4.1090</td><td>1.808</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.397</td><td>4.1083</td><td>1.631</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.340</td><td>4.1096</td><td>1.397</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.287</td><td>4.1083</td><td>1.179</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.259</td><td>4.1087</td><td>1.064</td></tr> <tr><td>12</td><td>0.261</td><td>4.1099</td><td>1.073</td></tr> <tr><td>13</td><td>0.246</td><td>4.1071</td><td>1.010</td></tr> <tr><td>14</td><td>0.249</td><td>4.1077</td><td>1.023</td></tr> <tr><td>15</td><td>0.254</td><td>4.1074</td><td>1.043</td></tr> <tr><td>16</td><td>0.273</td><td>4.1071</td><td>1.121</td></tr> <tr><td>17</td><td>0.308</td><td>4.1071</td><td>1.265</td></tr> <tr><td>18</td><td>0.291</td><td>4.1064</td><td>1.195</td></tr> <tr><td>19</td><td>0.258</td><td>4.1071</td><td>1.060</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.243</td><td>4.1071</td><td>0.998</td></tr> <tr><td>21</td><td>0.249</td><td>4.1071</td><td>1.023</td></tr> <tr><td>22</td><td>0.257</td><td>4.1068</td><td>1.055</td></tr> <tr><td>23</td><td>0.276</td><td>4.1058</td><td>1.133</td></tr> <tr><td>24</td><td>0.254</td><td>4.1068</td><td>1.043</td></tr> </tbody> </table>	FIBRA	$\lambda=1550$ nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)	1	0.396	4.1090	1.627	2	0.524	4.1096	2.153	3	0.327	4.1096	1.344	4	0.412	4.1087	1.693	5	0.421	4.1093	1.730	6	0.414	4.1099	1.701	7	0.440	4.1090	1.808	8	0.397	4.1083	1.631	9	0.340	4.1096	1.397	10	0.287	4.1083	1.179	11	0.259	4.1087	1.064	12	0.261	4.1099	1.073	13	0.246	4.1071	1.010	14	0.249	4.1077	1.023	15	0.254	4.1074	1.043	16	0.273	4.1071	1.121	17	0.308	4.1071	1.265	18	0.291	4.1064	1.195	19	0.258	4.1071	1.060	20	0.243	4.1071	0.998	21	0.249	4.1071	1.023	22	0.257	4.1068	1.055	23	0.276	4.1058	1.133	24	0.254	4.1068	1.043	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>FIBRA</th> <th>$\lambda=1550$ nm dB/km</th> <th>Longitud optica (km)</th> <th>Atenuacion Total (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>25</td><td>0.341</td><td>4.1106</td><td>1.402</td></tr> <tr><td>26</td><td>0.220</td><td>4.1080</td><td>0.904</td></tr> <tr><td>27</td><td>0.247</td><td>4.1096</td><td>1.015</td></tr> <tr><td>28</td><td>0.250</td><td>4.1080</td><td>1.027</td></tr> <tr><td>29</td><td>0.243</td><td>4.1087</td><td>0.998</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.673</td><td>4.1080</td><td>2.765</td></tr> <tr><td>31</td><td>0.326</td><td>4.1093</td><td>1.340</td></tr> <tr><td>32</td><td>0.737</td><td>4.1083</td><td>3.028</td></tr> <tr><td>33</td><td>0.548</td><td>4.1103</td><td>2.252</td></tr> <tr><td>34</td><td>0.203</td><td>4.1083</td><td>0.834</td></tr> <tr><td>35</td><td>0.268</td><td>4.1096</td><td>1.101</td></tr> <tr><td>36</td><td>0.570</td><td>4.1080</td><td>2.342</td></tr> <tr><td>37</td><td>0.246</td><td>4.1109</td><td>1.011</td></tr> <tr><td>38</td><td>0.218</td><td>4.1090</td><td>0.896</td></tr> <tr><td>39</td><td>0.241</td><td>4.1106</td><td>0.991</td></tr> <tr><td>40</td><td>0.243</td><td>4.1093</td><td>0.999</td></tr> <tr><td>41</td><td>0.253</td><td>4.1096</td><td>1.040</td></tr> <tr><td>42</td><td>0.212</td><td>4.1112</td><td>0.872</td></tr> <tr><td>43</td><td>0.263</td><td>4.1106</td><td>1.081</td></tr> <tr><td>44</td><td>0.269</td><td>4.1090</td><td>1.105</td></tr> <tr><td>45</td><td>0.298</td><td>4.1106</td><td>1.225</td></tr> <tr><td>46</td><td>0.224</td><td>4.1090</td><td>0.920</td></tr> <tr><td>47</td><td>0.252</td><td>4.1106</td><td>1.036</td></tr> <tr><td>48</td><td>0.235</td><td>4.1106</td><td>0.966</td></tr> </tbody> </table>	FIBRA	$\lambda=1550$ nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)	25	0.341	4.1106	1.402	26	0.220	4.1080	0.904	27	0.247	4.1096	1.015	28	0.250	4.1080	1.027	29	0.243	4.1087	0.998	30	0.673	4.1080	2.765	31	0.326	4.1093	1.340	32	0.737	4.1083	3.028	33	0.548	4.1103	2.252	34	0.203	4.1083	0.834	35	0.268	4.1096	1.101	36	0.570	4.1080	2.342	37	0.246	4.1109	1.011	38	0.218	4.1090	0.896	39	0.241	4.1106	0.991	40	0.243	4.1093	0.999	41	0.253	4.1096	1.040	42	0.212	4.1112	0.872	43	0.263	4.1106	1.081	44	0.269	4.1090	1.105	45	0.298	4.1106	1.225	46	0.224	4.1090	0.920	47	0.252	4.1106	1.036	48	0.235	4.1106	0.966
FIBRA	$\lambda=1550$ nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)																																																																																																																																																																																																						
1	0.396	4.1090	1.627																																																																																																																																																																																																						
2	0.524	4.1096	2.153																																																																																																																																																																																																						
3	0.327	4.1096	1.344																																																																																																																																																																																																						
4	0.412	4.1087	1.693																																																																																																																																																																																																						
5	0.421	4.1093	1.730																																																																																																																																																																																																						
6	0.414	4.1099	1.701																																																																																																																																																																																																						
7	0.440	4.1090	1.808																																																																																																																																																																																																						
8	0.397	4.1083	1.631																																																																																																																																																																																																						
9	0.340	4.1096	1.397																																																																																																																																																																																																						
10	0.287	4.1083	1.179																																																																																																																																																																																																						
11	0.259	4.1087	1.064																																																																																																																																																																																																						
12	0.261	4.1099	1.073																																																																																																																																																																																																						
13	0.246	4.1071	1.010																																																																																																																																																																																																						
14	0.249	4.1077	1.023																																																																																																																																																																																																						
15	0.254	4.1074	1.043																																																																																																																																																																																																						
16	0.273	4.1071	1.121																																																																																																																																																																																																						
17	0.308	4.1071	1.265																																																																																																																																																																																																						
18	0.291	4.1064	1.195																																																																																																																																																																																																						
19	0.258	4.1071	1.060																																																																																																																																																																																																						
20	0.243	4.1071	0.998																																																																																																																																																																																																						
21	0.249	4.1071	1.023																																																																																																																																																																																																						
22	0.257	4.1068	1.055																																																																																																																																																																																																						
23	0.276	4.1058	1.133																																																																																																																																																																																																						
24	0.254	4.1068	1.043																																																																																																																																																																																																						
FIBRA	$\lambda=1550$ nm dB/km	Longitud optica (km)	Atenuacion Total (dB)																																																																																																																																																																																																						
25	0.341	4.1106	1.402																																																																																																																																																																																																						
26	0.220	4.1080	0.904																																																																																																																																																																																																						
27	0.247	4.1096	1.015																																																																																																																																																																																																						
28	0.250	4.1080	1.027																																																																																																																																																																																																						
29	0.243	4.1087	0.998																																																																																																																																																																																																						
30	0.673	4.1080	2.765																																																																																																																																																																																																						
31	0.326	4.1093	1.340																																																																																																																																																																																																						
32	0.737	4.1083	3.028																																																																																																																																																																																																						
33	0.548	4.1103	2.252																																																																																																																																																																																																						
34	0.203	4.1083	0.834																																																																																																																																																																																																						
35	0.268	4.1096	1.101																																																																																																																																																																																																						
36	0.570	4.1080	2.342																																																																																																																																																																																																						
37	0.246	4.1109	1.011																																																																																																																																																																																																						
38	0.218	4.1090	0.896																																																																																																																																																																																																						
39	0.241	4.1106	0.991																																																																																																																																																																																																						
40	0.243	4.1093	0.999																																																																																																																																																																																																						
41	0.253	4.1096	1.040																																																																																																																																																																																																						
42	0.212	4.1112	0.872																																																																																																																																																																																																						
43	0.263	4.1106	1.081																																																																																																																																																																																																						
44	0.269	4.1090	1.105																																																																																																																																																																																																						
45	0.298	4.1106	1.225																																																																																																																																																																																																						
46	0.224	4.1090	0.920																																																																																																																																																																																																						
47	0.252	4.1106	1.036																																																																																																																																																																																																						
48	0.235	4.1106	0.966																																																																																																																																																																																																						

ANEXO 2. Trazas reflectométricas de cada enlace
a. Caripa-Tarma



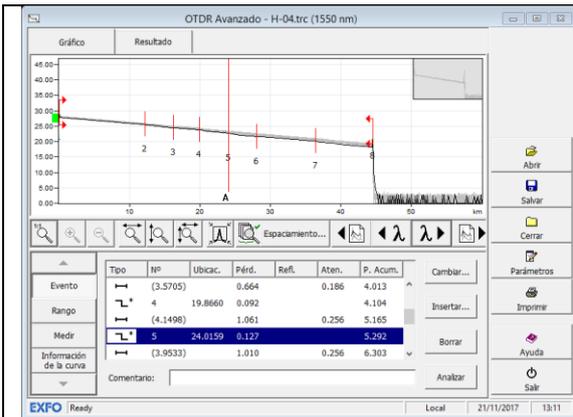


Gráfico N° 4. Hilo 4

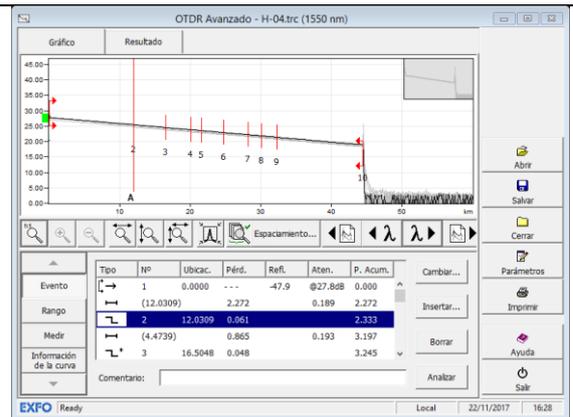


Gráfico N° 16. Hilo 4

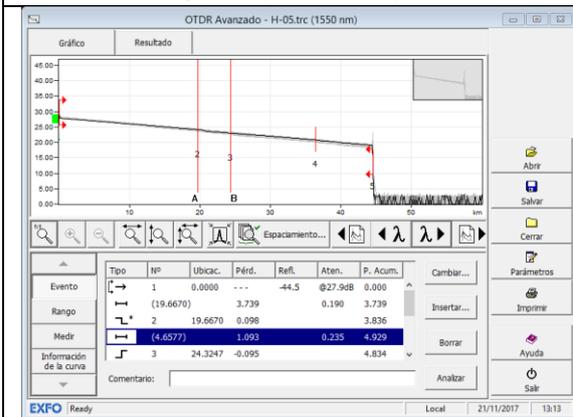


Gráfico N° 5. Hilo 5

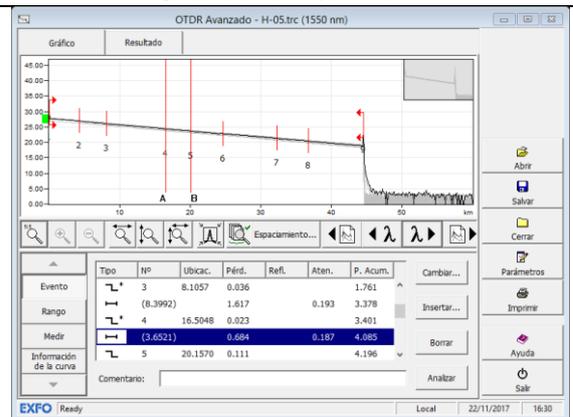


Gráfico N° 17. Hilo 5

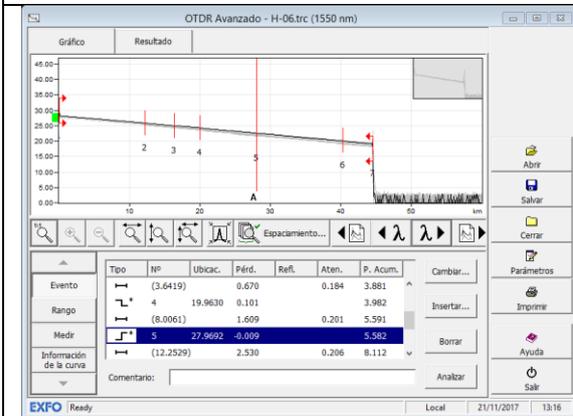


Gráfico N° 6. Hilo 6

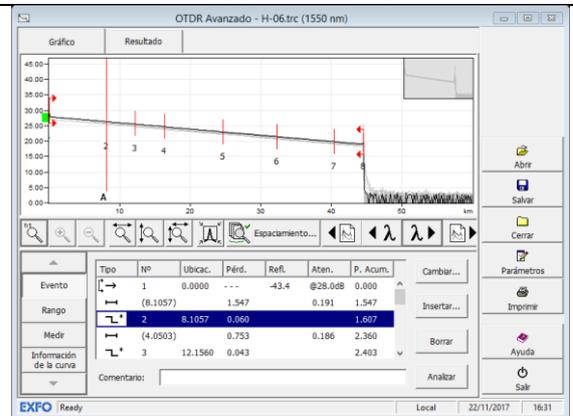


Gráfico N° 18. Hilo 6

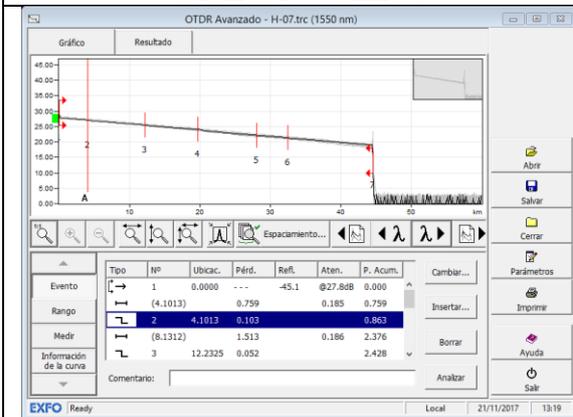


Gráfico N° 7. Hilo 7

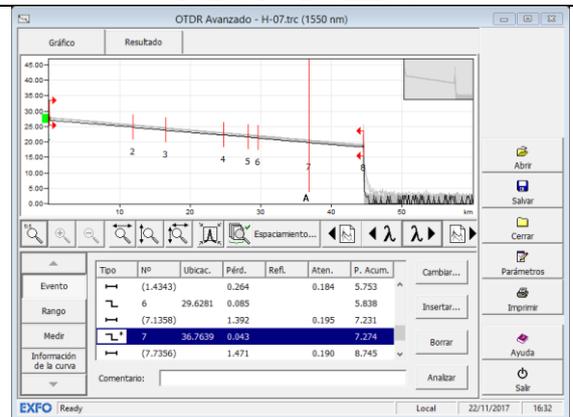


Gráfico N° 19. Hilo 7

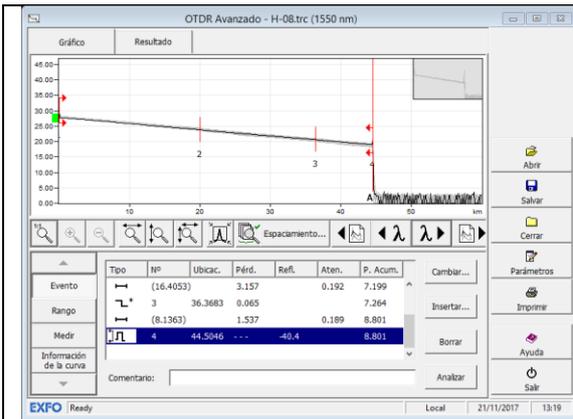


Gráfico N° 8. Hilo 8

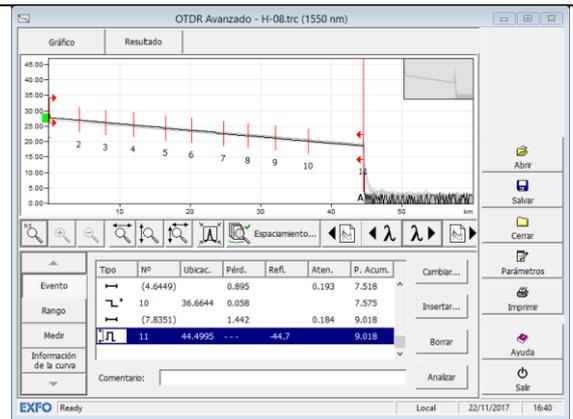


Gráfico N° 20. Hilo 8

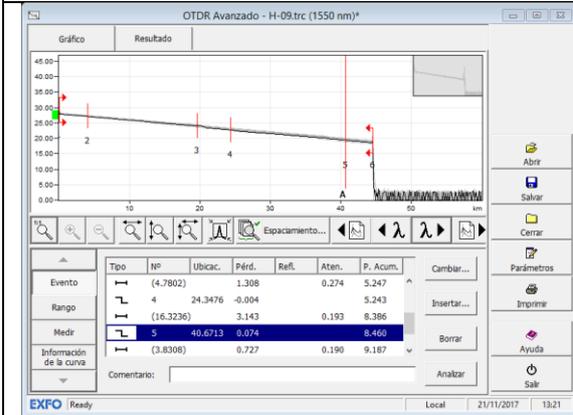


Gráfico N° 9. Hilo 9

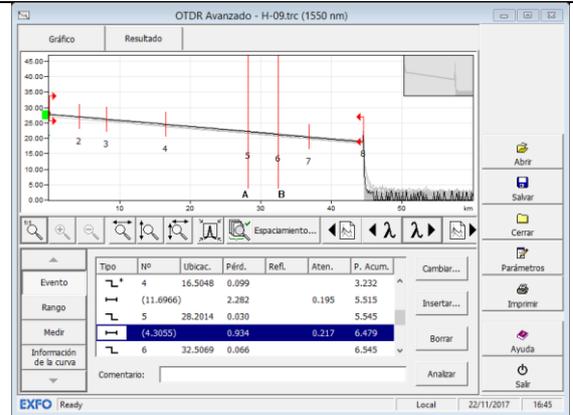


Gráfico N° 21. Hilo 9

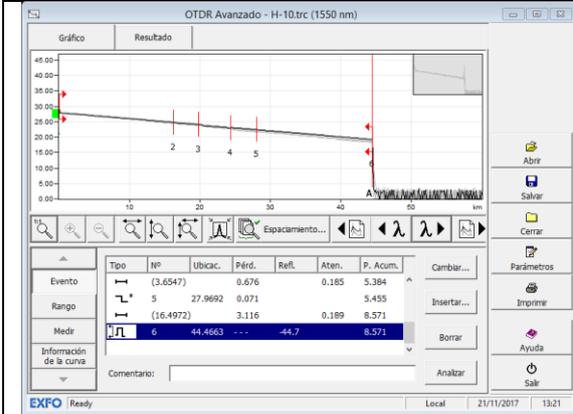


Gráfico N° 10. Hilo 10

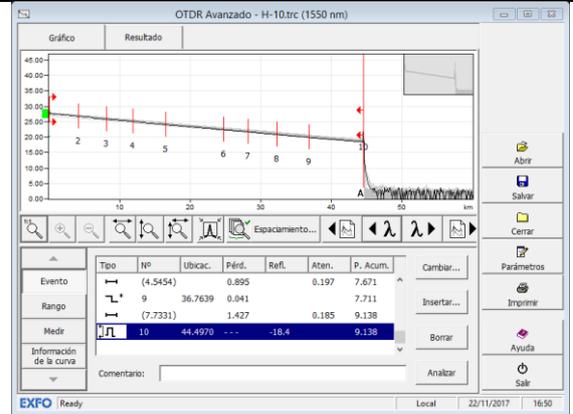


Gráfico N° 22. Hilo 10

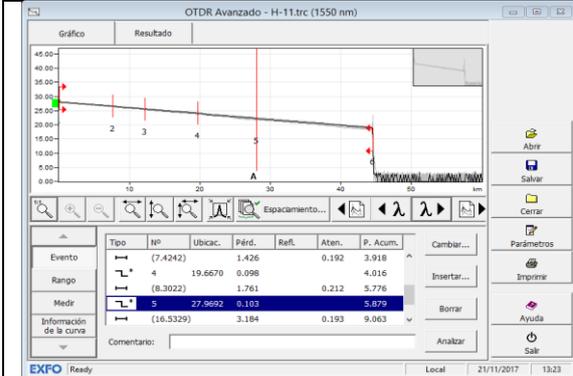


Gráfico N° 11. Hilo 11

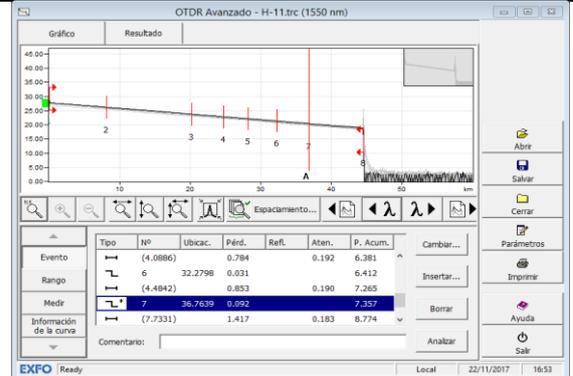


Gráfico N° 23. Hilo 11

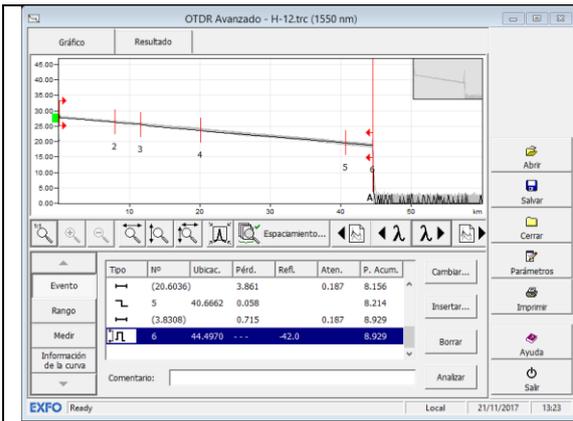


Gráfico N° 12. Hilo 12

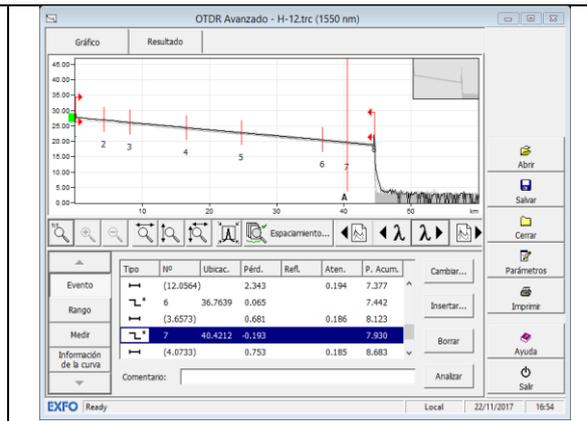


Gráfico N° 24. Hilo 12

b. Tarma-La Merced

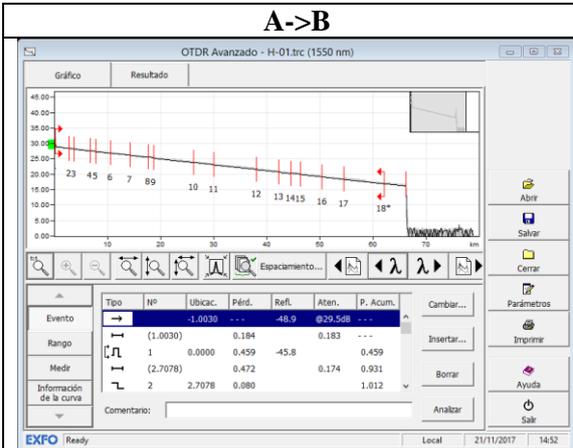


Gráfico N° 25. Hilo 1

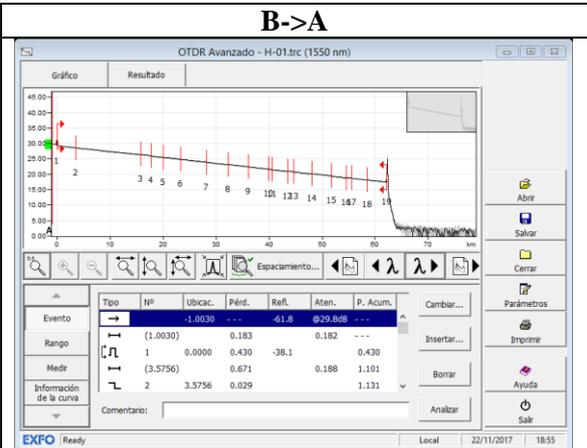


Gráfico N° 37. Hilo 1

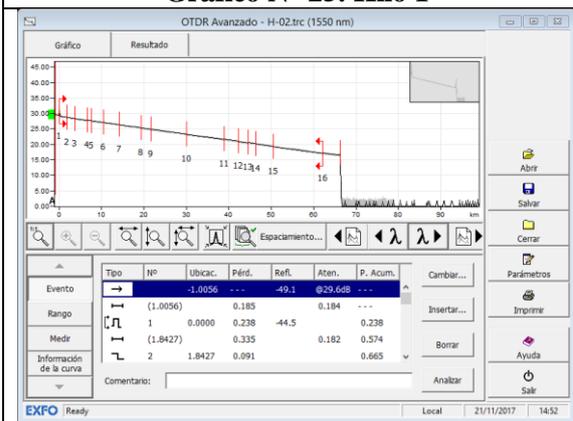


Gráfico N° 26. Hilo 2

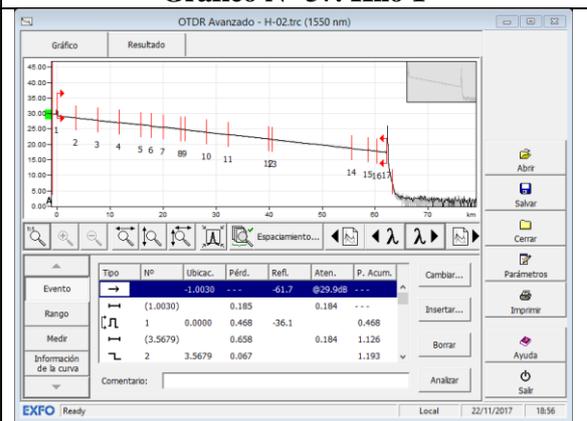


Gráfico N° 38. Hilo 2

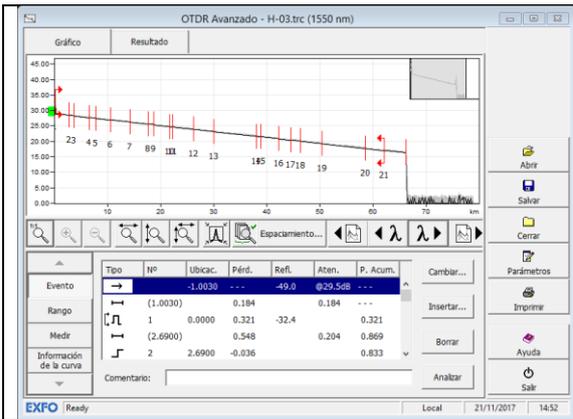


Gráfico N° 27. Hilo 3

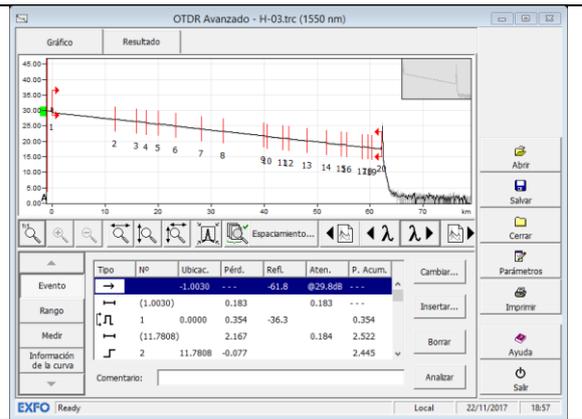


Gráfico N° 39. Hilo 3

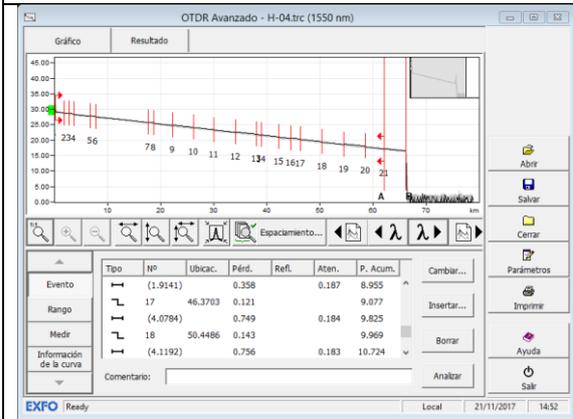


Gráfico N° 28. Hilo 4

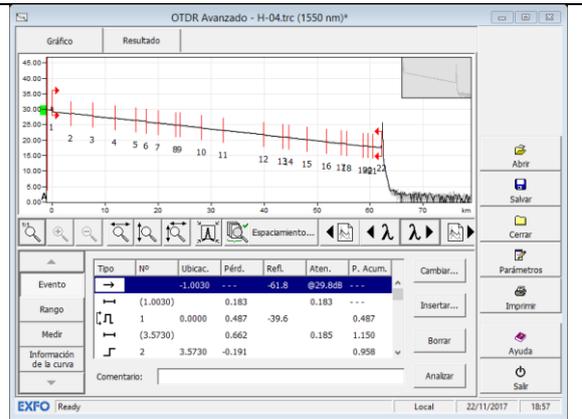


Gráfico N° 40. Hilo 4

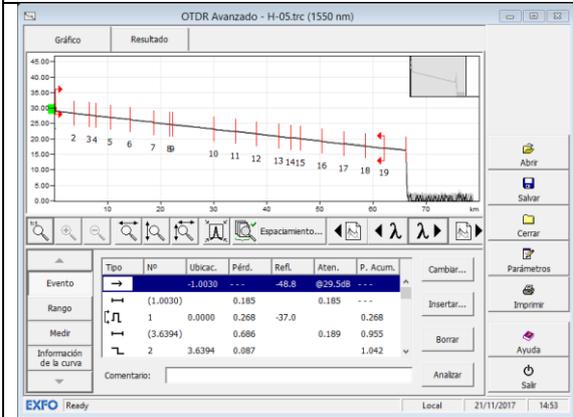


Gráfico N° 29. Hilo 5

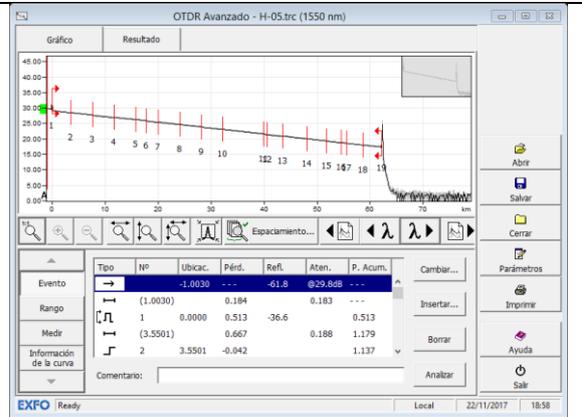


Gráfico N° 41. Hilo 5

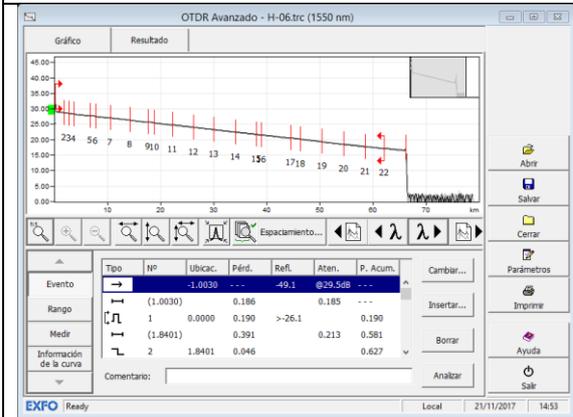


Gráfico N° 30. Hilo 6

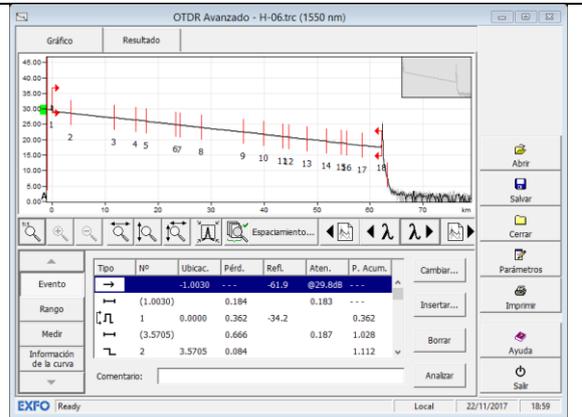


Gráfico N° 42. Hilo 6

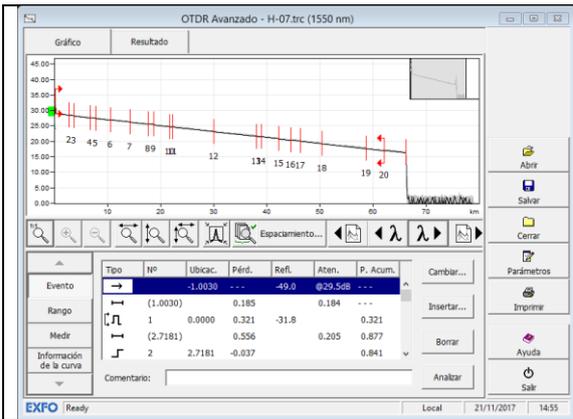


Gráfico N° 31. Hilo 7

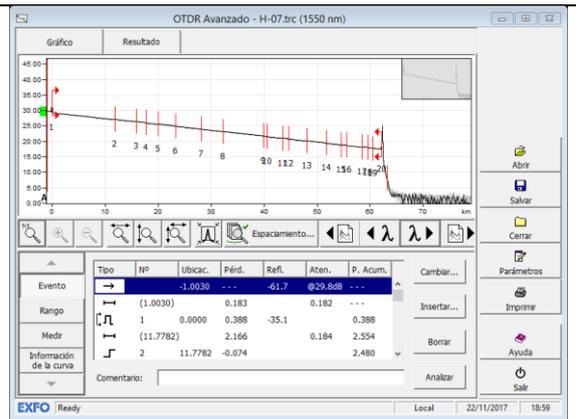


Gráfico N° 43. Hilo 7

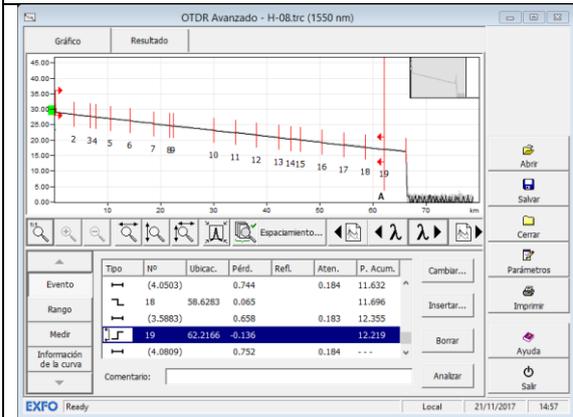


Gráfico N° 32. Hilo 8

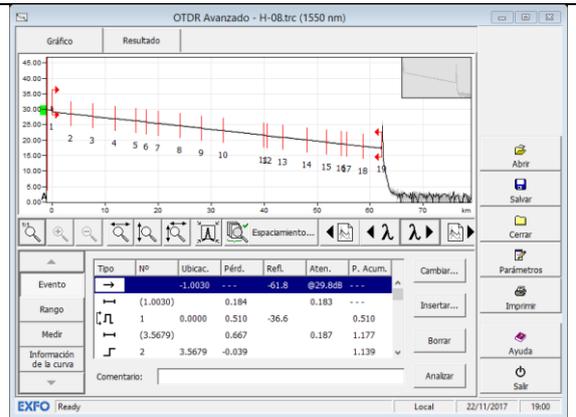


Gráfico N° 44. Hilo 8

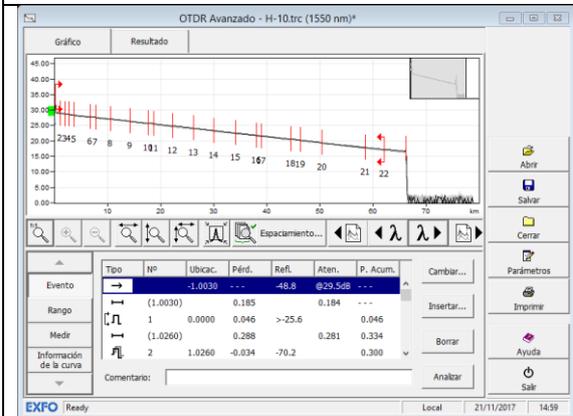


Gráfico N° 33. Hilo 9

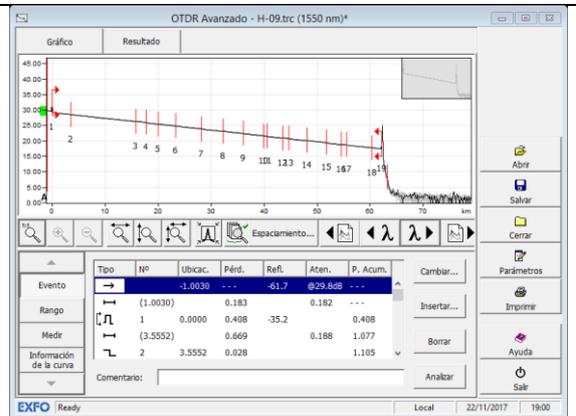


Gráfico N° 45. Hilo 9

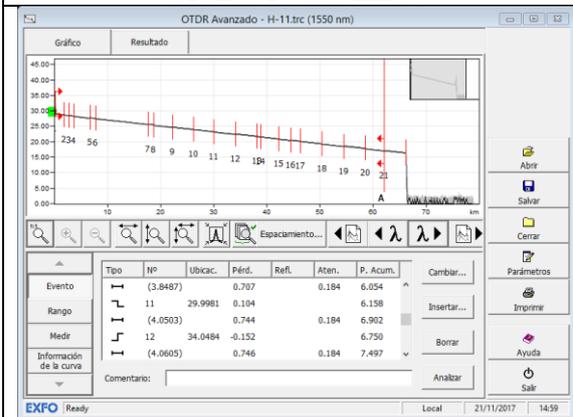


Gráfico N° 34 Hilo 10

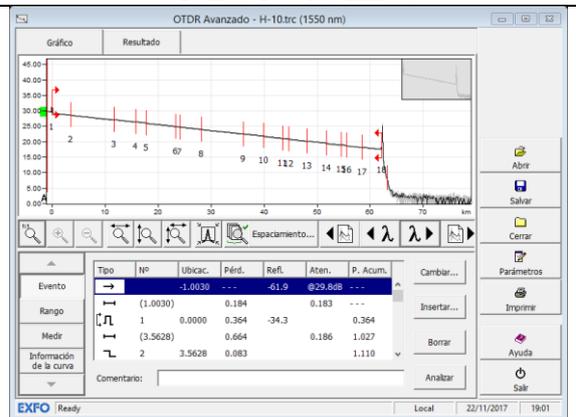


Gráfico N° 46. Hilo 10

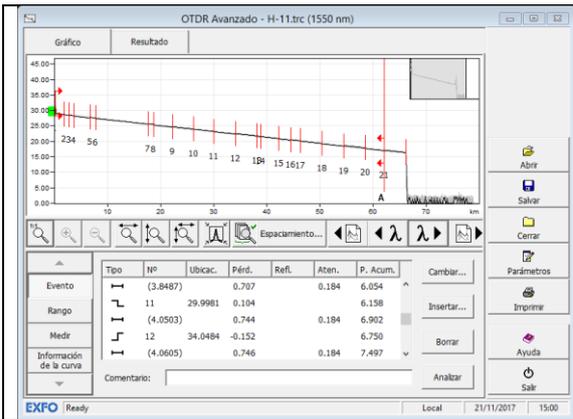


Gráfico N° 35. Hilo 11

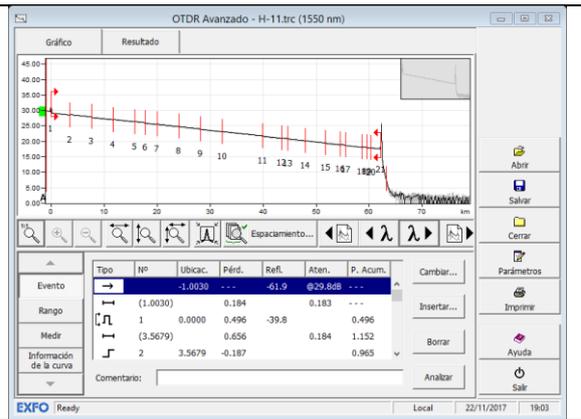


Gráfico N° 47. Hilo 11

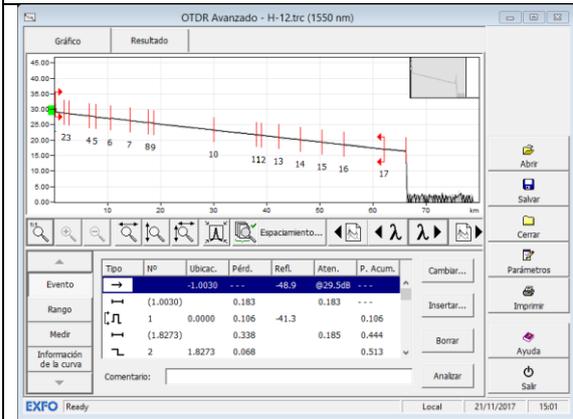


Gráfico N° 36. Hilo 12

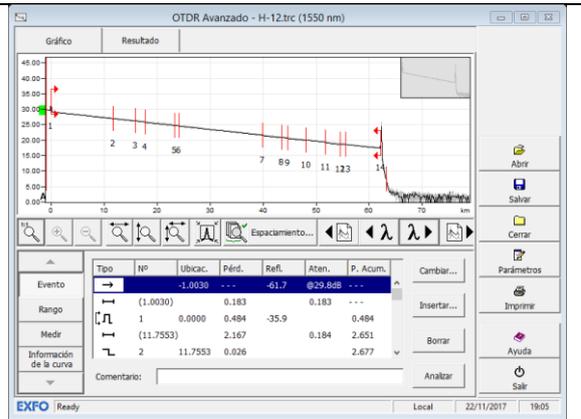


Gráfico N° 48. Hilo 12

c. Unión Leticia-Tarma

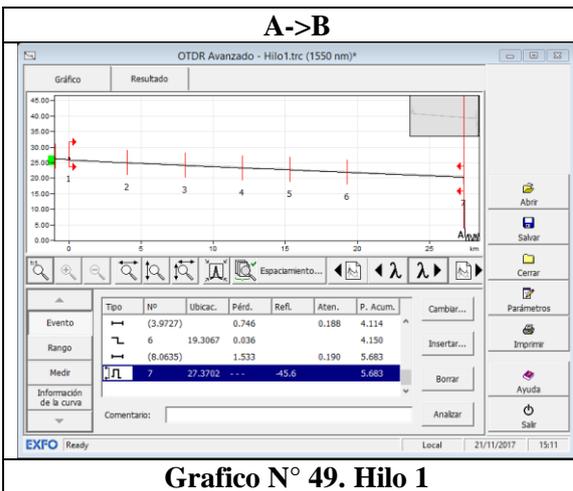


Gráfico N° 49. Hilo 1

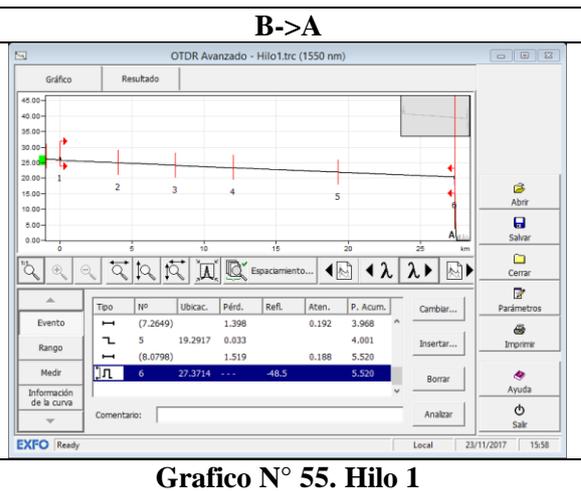


Gráfico N° 55. Hilo 1

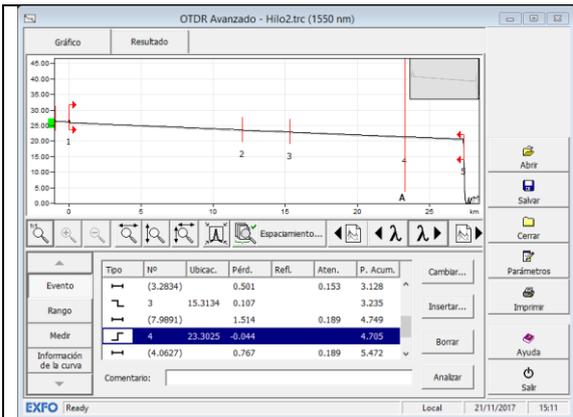


Gráfico N° 50. Hilo 2

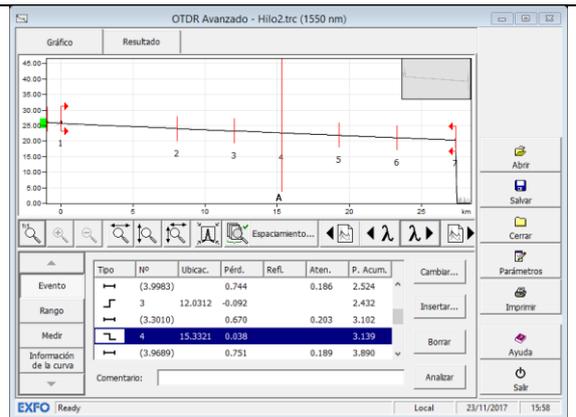


Gráfico N° 56. Hilo 2

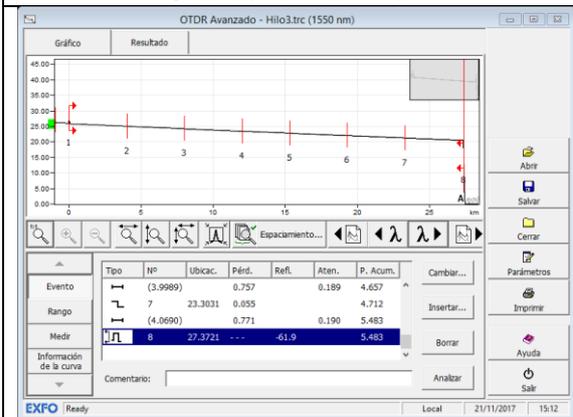


Gráfico N° 51. Hilo 3

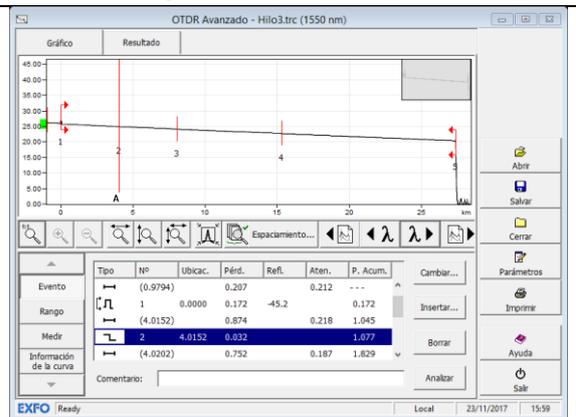


Gráfico N° 57. Hilo 3

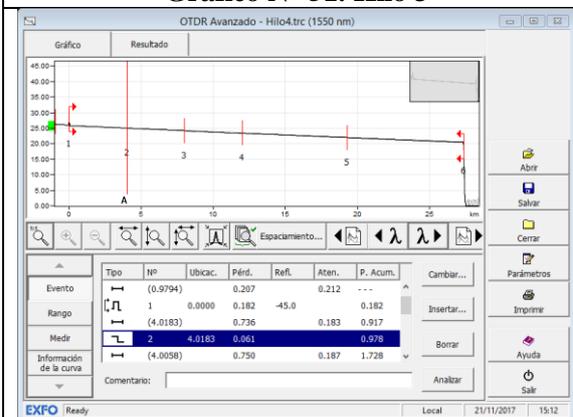


Gráfico N° 52. Hilo 4

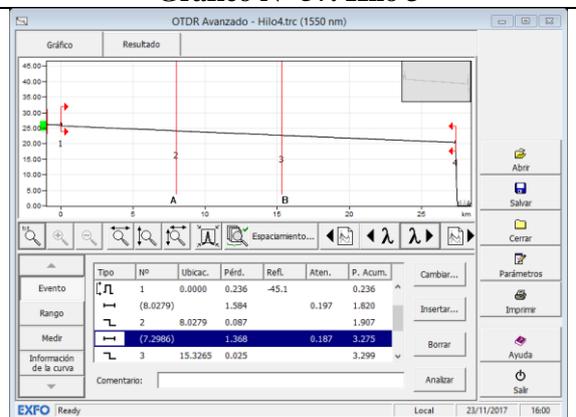


Gráfico N° 58. Hilo 4

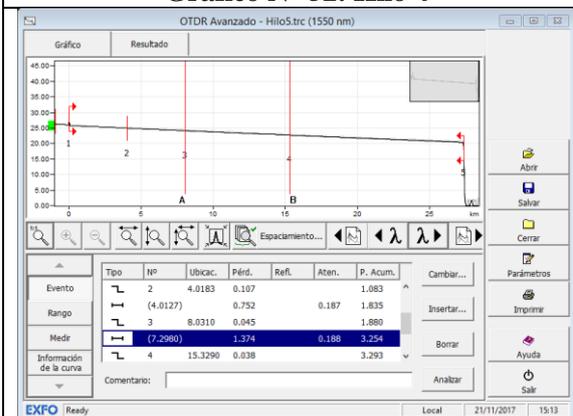


Gráfico N° 53. Hilo 5

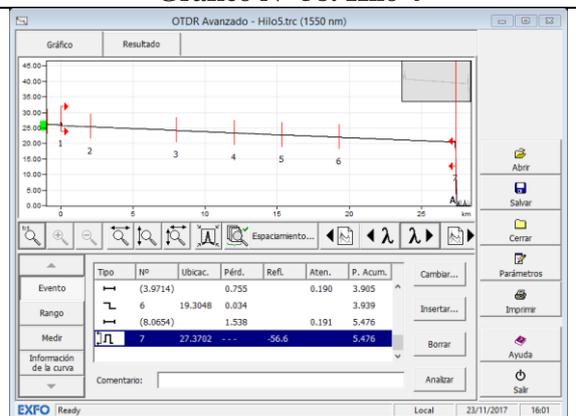


Gráfico N° 59. Hilo 5

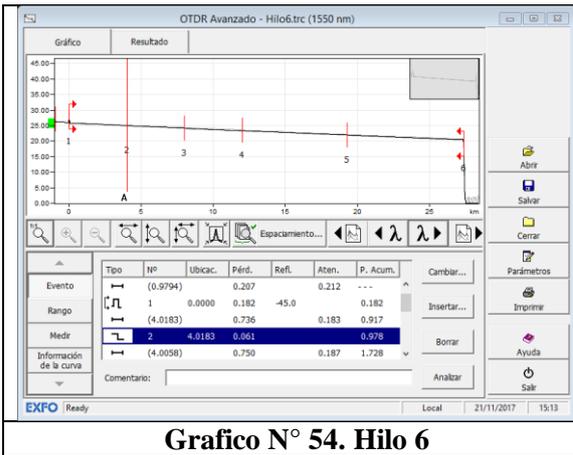


Gráfico N° 54. Hilo 6

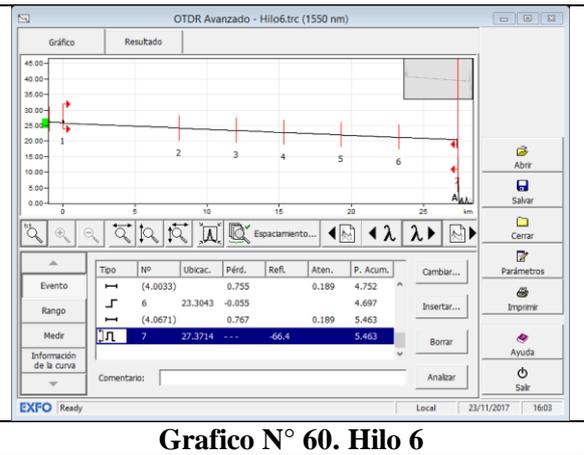


Gráfico N° 60. Hilo 6

d. Tarma-Palca

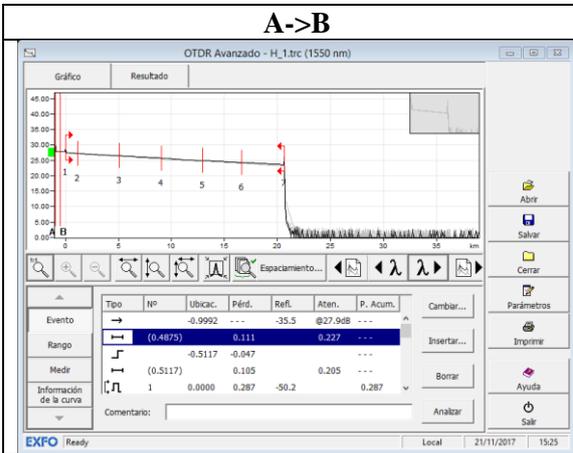


Gráfico N° 61. Hilo 1

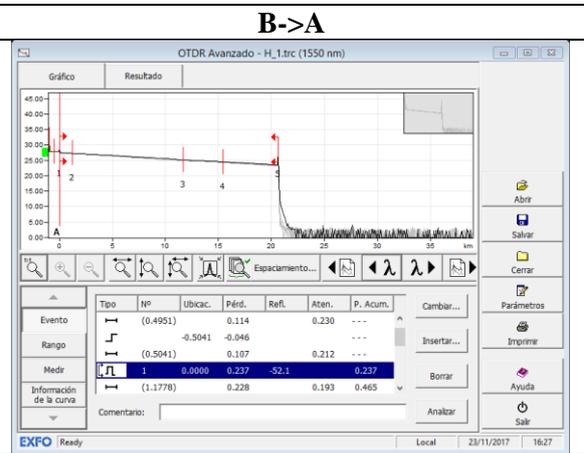


Gráfico N° 67. Hilo 1

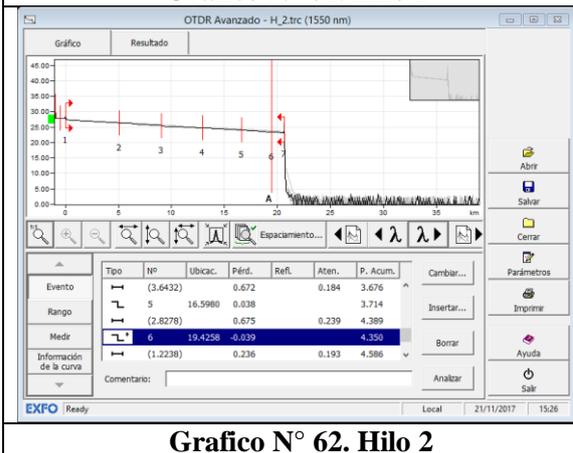


Gráfico N° 62. Hilo 2

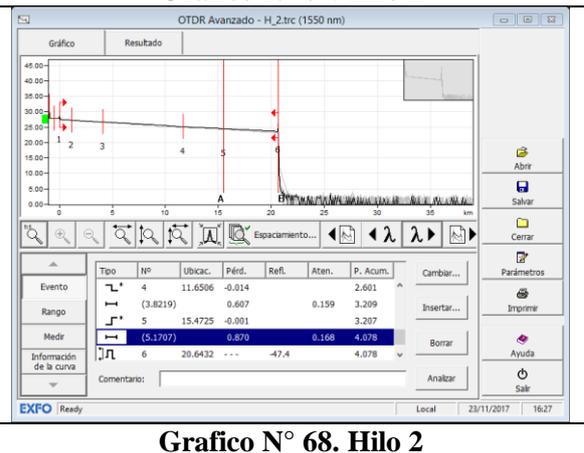


Gráfico N° 68. Hilo 2

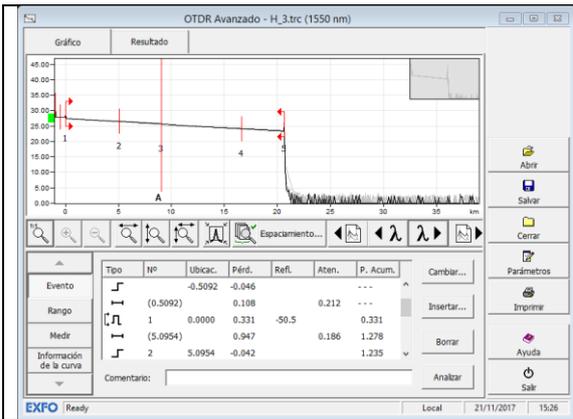


Gráfico N° 63. Hilo 3

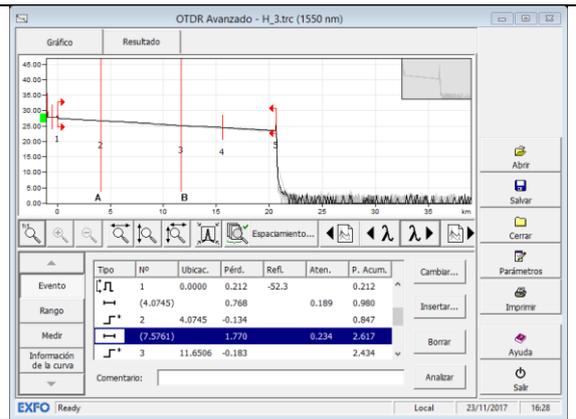


Gráfico N° 69. Hilo 3

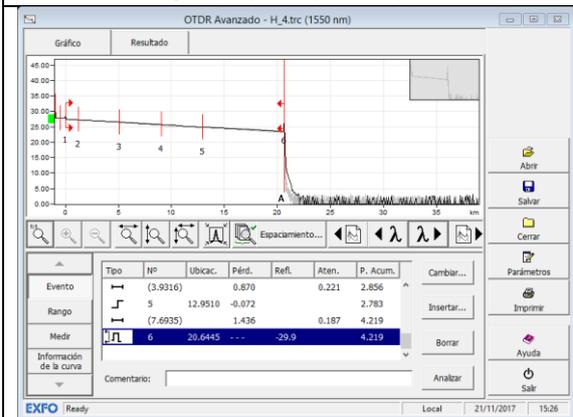


Gráfico N° 64. Hilo 4

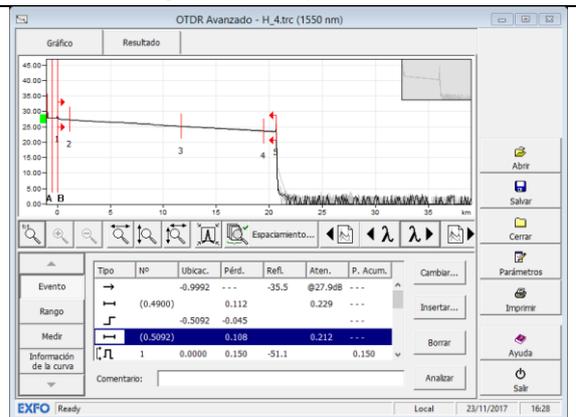


Gráfico N° 70. Hilo 4

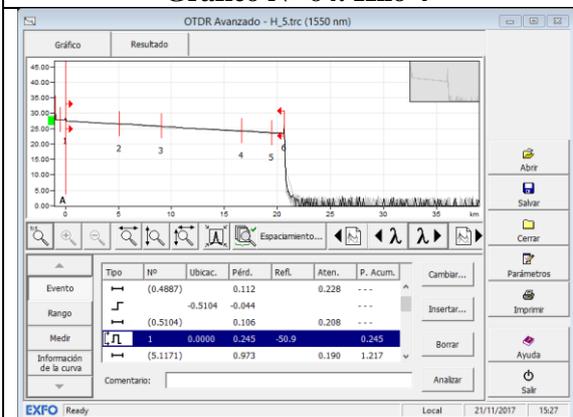


Gráfico N° 65. Hilo 5

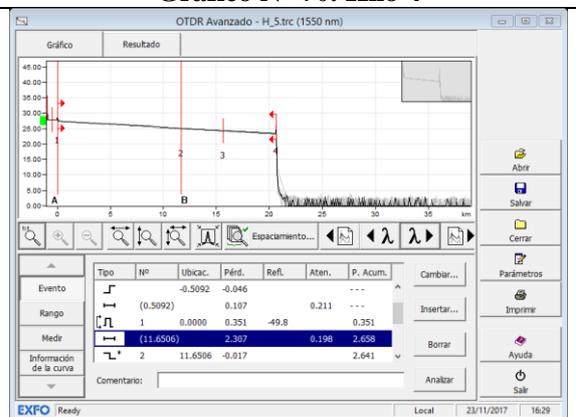


Gráfico N° 71. Hilo 5

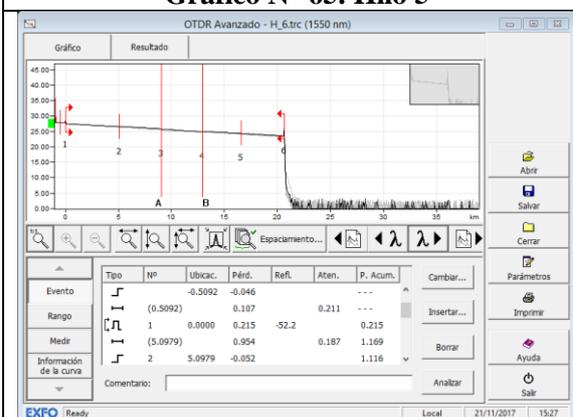


Gráfico N° 66. Hilo 6

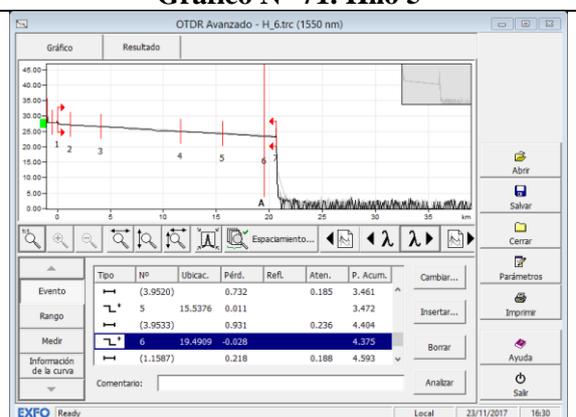
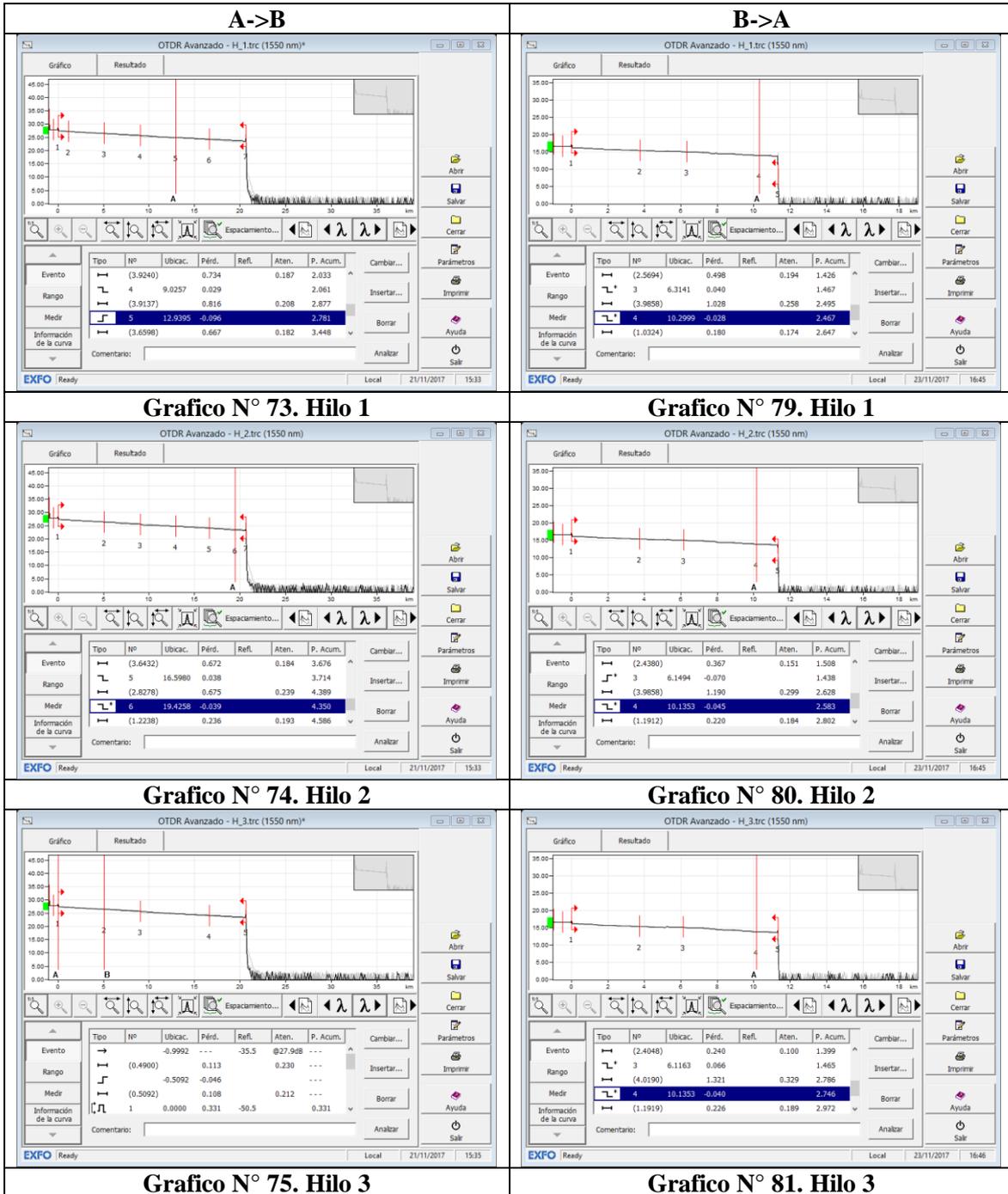


Gráfico N° 72. Hilo 6

e. Tarma-Acobamba



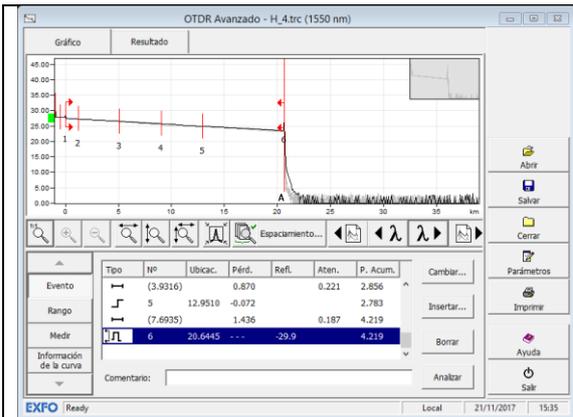


Gráfico N° 76. Hilo 4

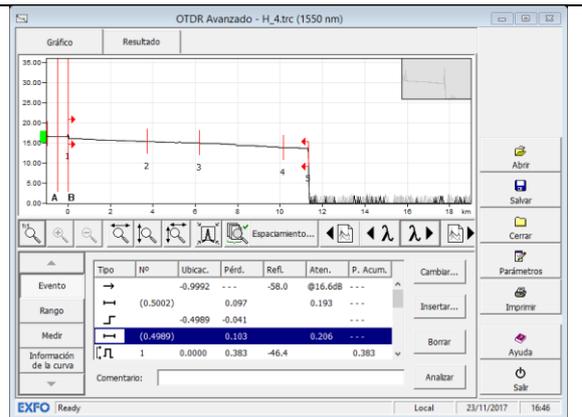


Gráfico N° 82. Hilo 4

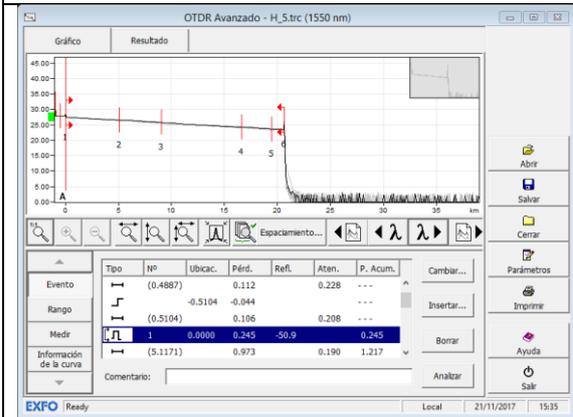


Gráfico N° 77. Hilo 5

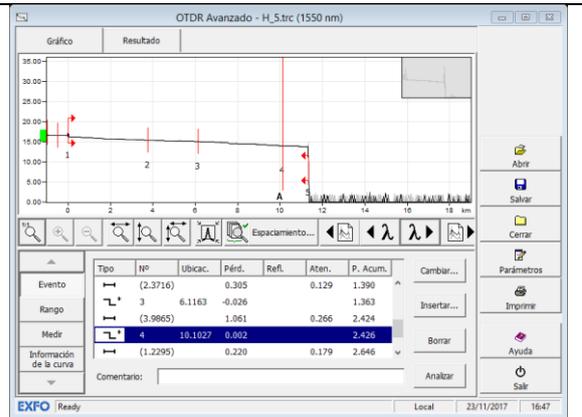


Gráfico N° 83. Hilo 5

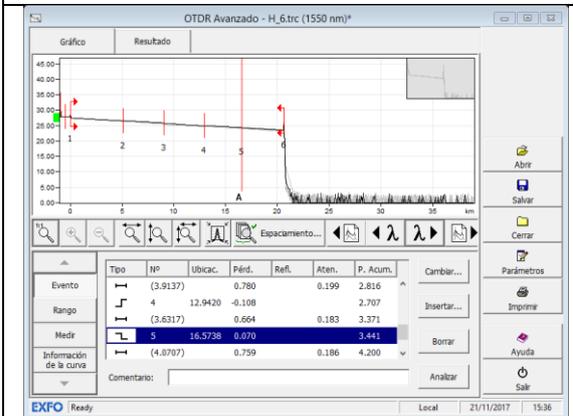


Gráfico N° 78. Hilo 6

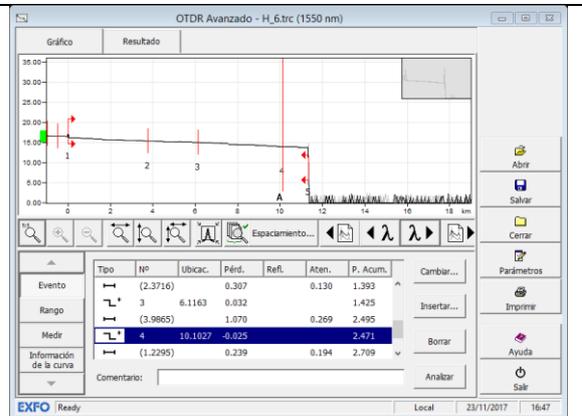
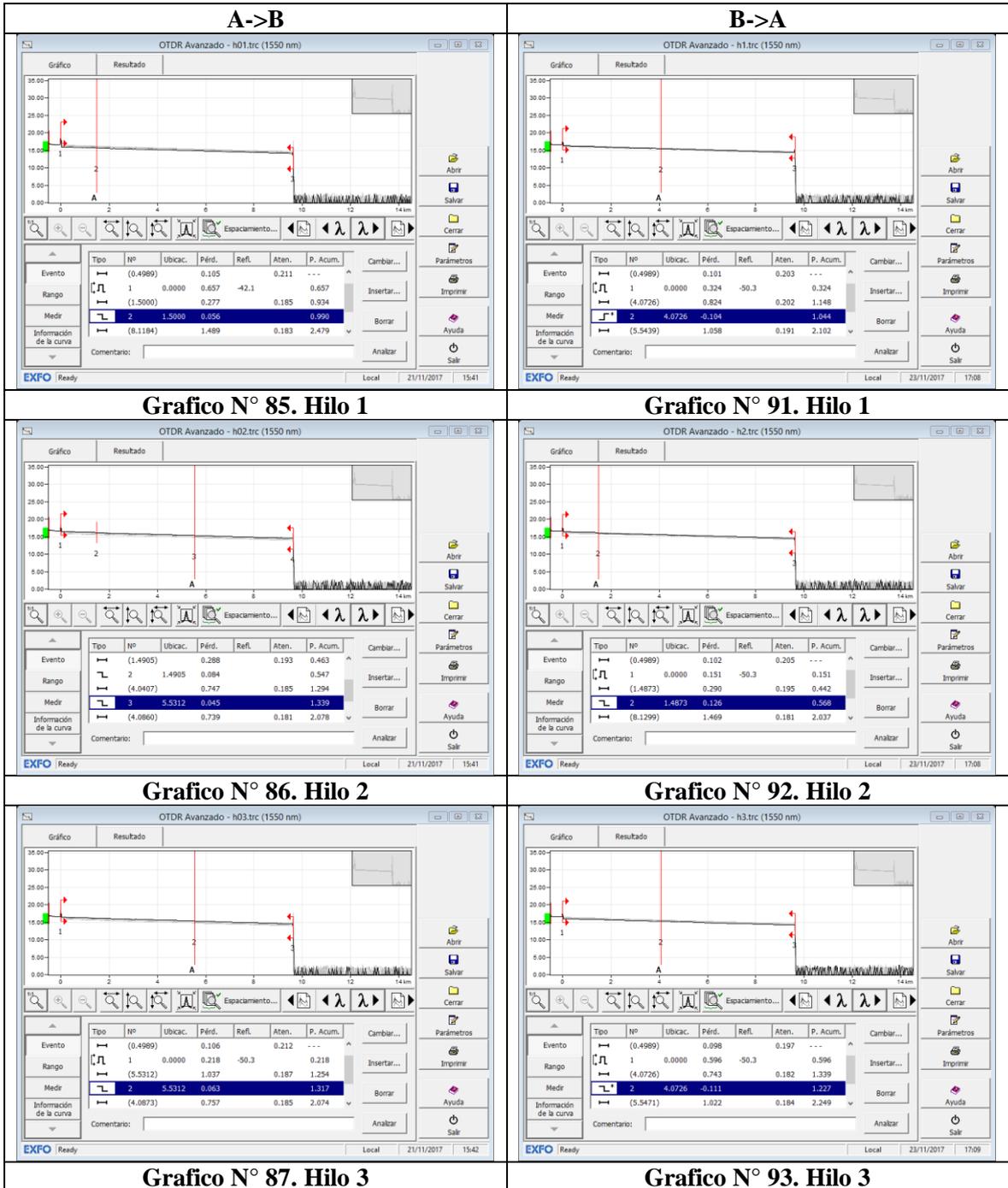


Gráfico N° 84. Hilo 6

f. La Merced-San Ramón



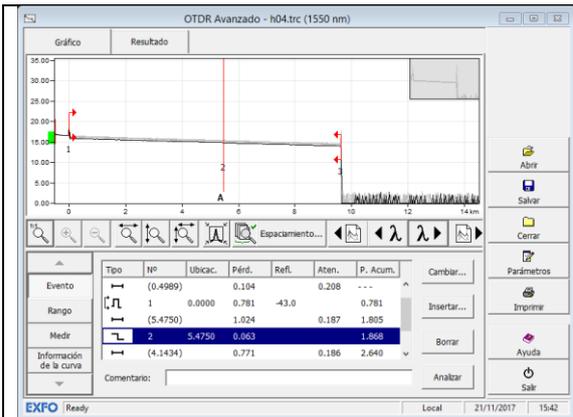


Grafico N° 88. Hilo 4

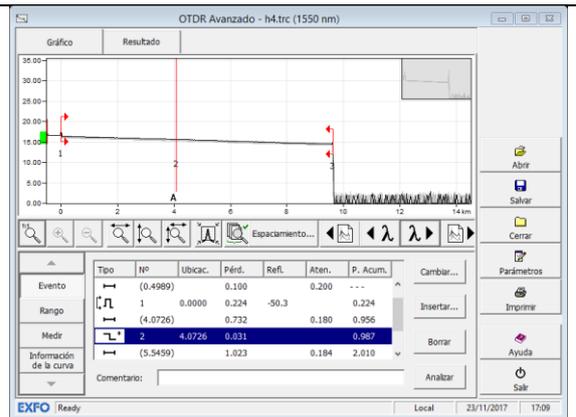


Grafico N° 94. Hilo 4

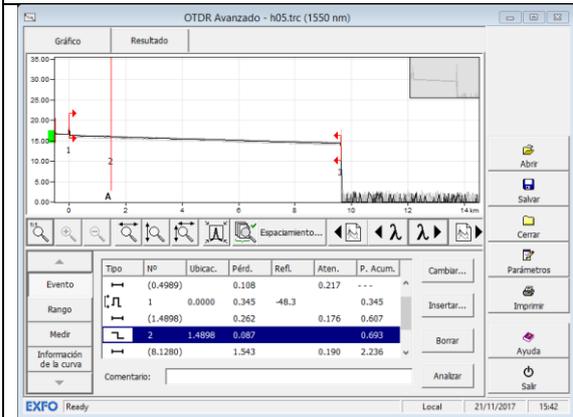


Grafico N° 89. Hilo 5

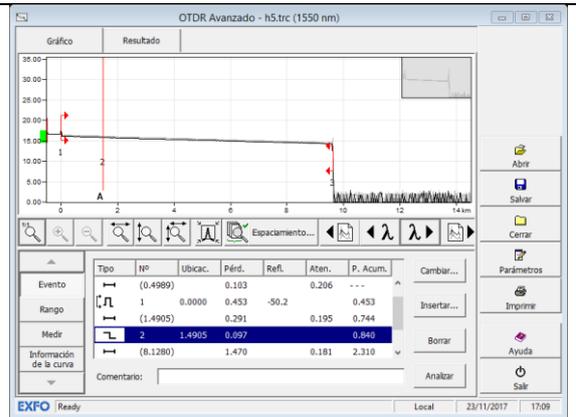


Grafico N° 95. Hilo 5

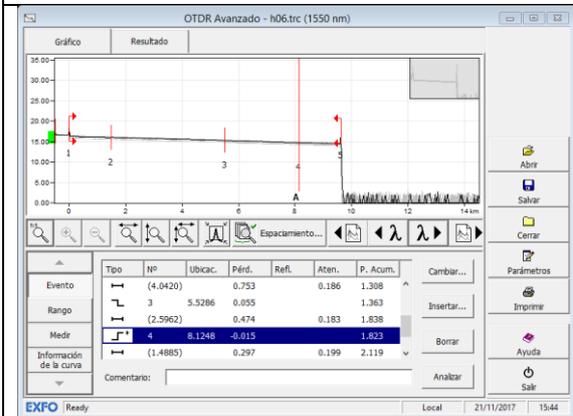


Grafico N° 90. Hilo 6

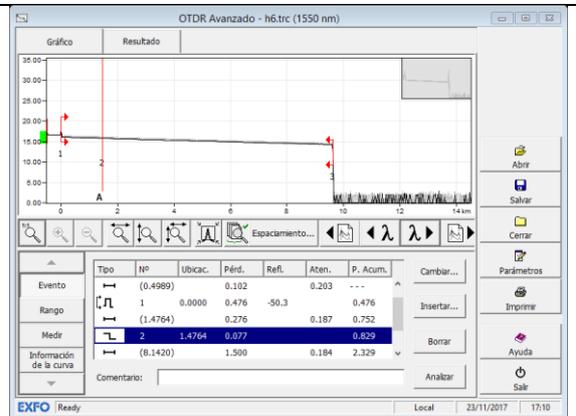


Grafico N° 96. Hilo 6

ANEXO 3. Reporte fotográfico



Fotografía N° 1. Preparación del área de trabajo dentro de los sites claro.



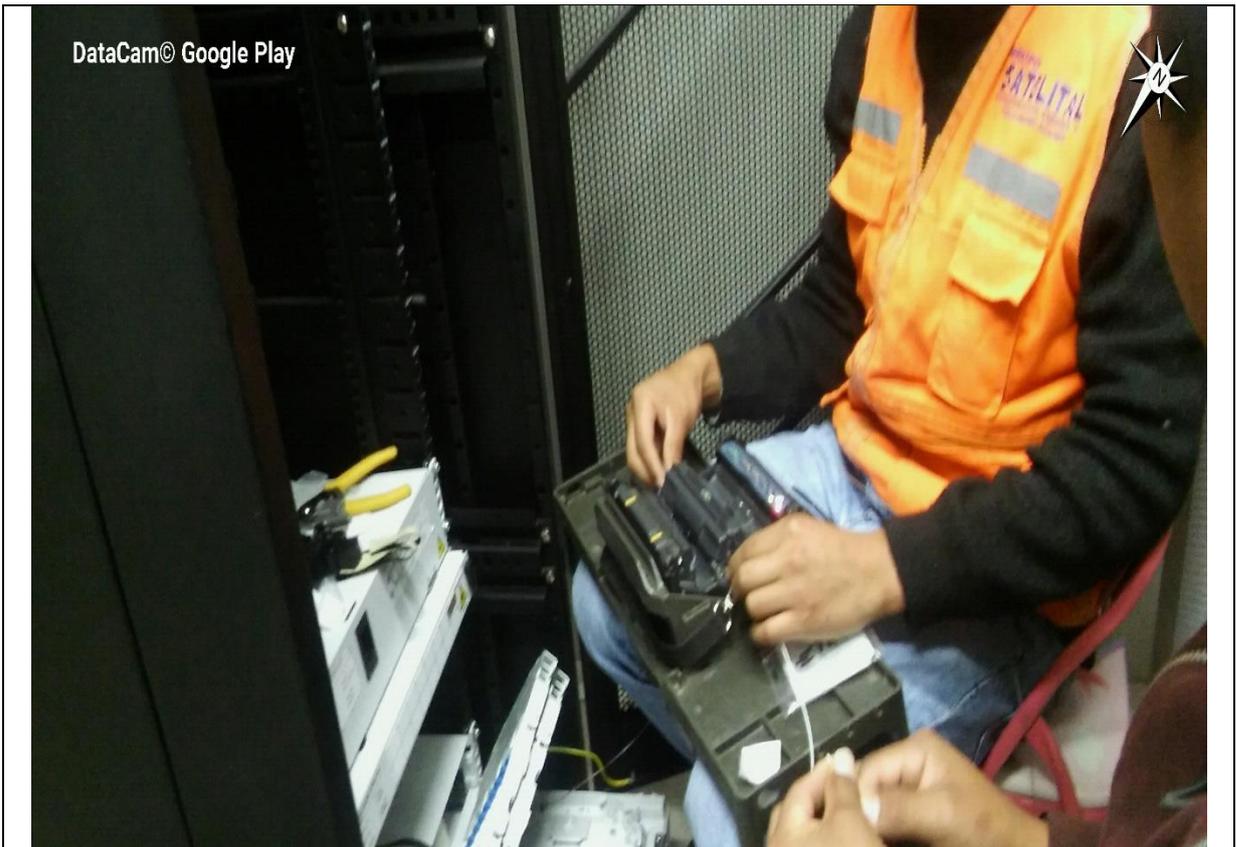
Fotografía N° 2. Fusión de hilos de fibra óptica en los sites claro.



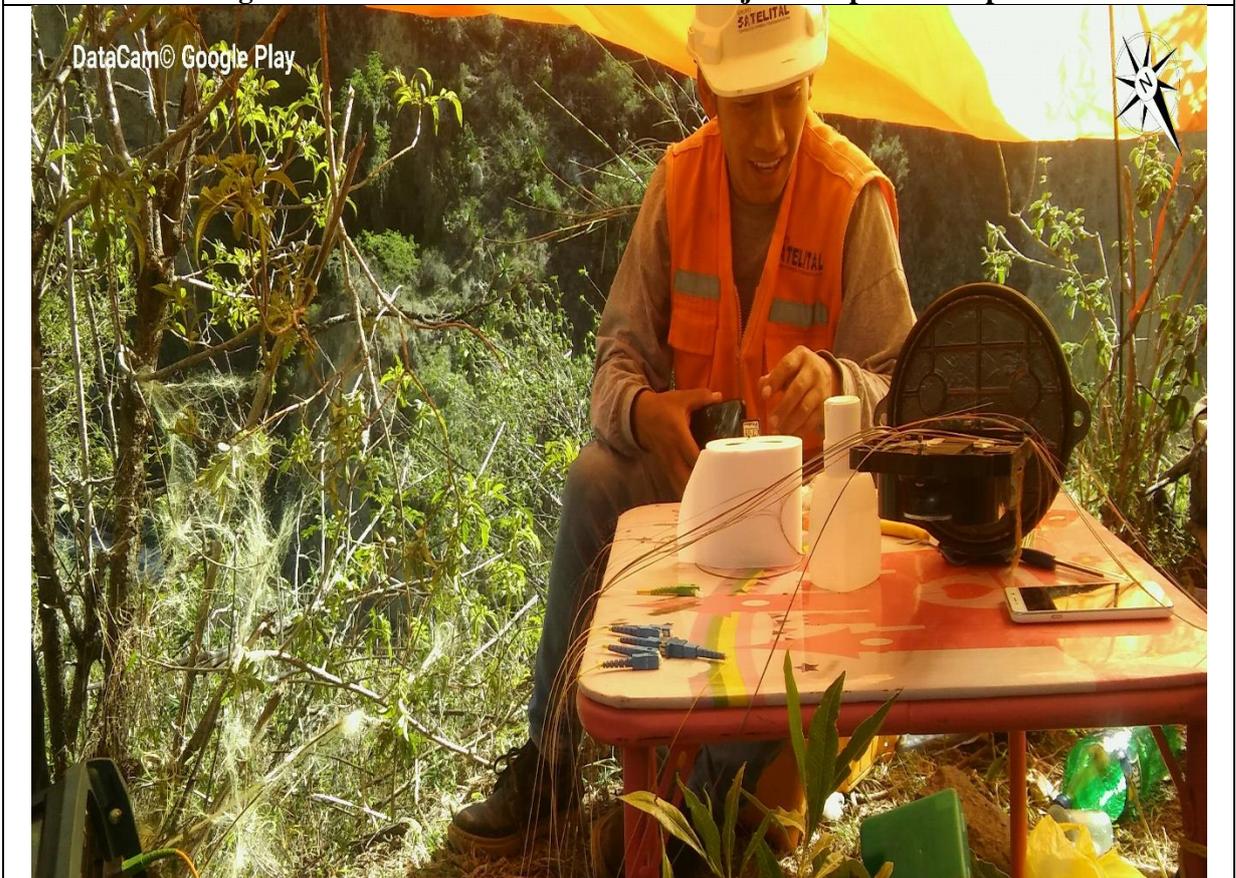
Fotografía N° 3. Fusión de hilos de fibra óptica en los cierre de empalme.



Fotografía N° 4. Charla de seguridad al personal de fusión y personal técnico liniero.



Fotografía N° 5. Fusión de hilos en las bandejas de repartición óptica.



Fotografía N° 6. Acondicionamiento de las cajas de cierre de empalme.



Fotografía N° 7. Fusión y medición de hilos de fibra óptica en horario nocturno.



Fotografía N° 8. Acondicionamiento de caja de cierre de empalme en horario nocturno.