

## ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



### PROYECTO FIN DE CARRERA

### PROPUESTA PARA DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UNA RED DE CAPA ÓPTICA EN LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

**Autor:** D. José María Pampín Pita  
**Tutores:** Dr. Sunil Lalchand Khemchandani  
Dr. Luis Miguel Hernández Acosta  
**Titulación:** Ingeniero de Telecomunicación

**Fecha:** Junio de 2017



## ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



### PROYECTO FIN DE CARRERA

## PROPUESTA PARA DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UNA RED DE CAPA ÓPTICA EN LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

### HOJA DE FIRMAS

**Alumno/a**

Fdo.: José María Pampín Pita

**Tutor/a**

Fdo.: Sunil Lalchand Khemchandani

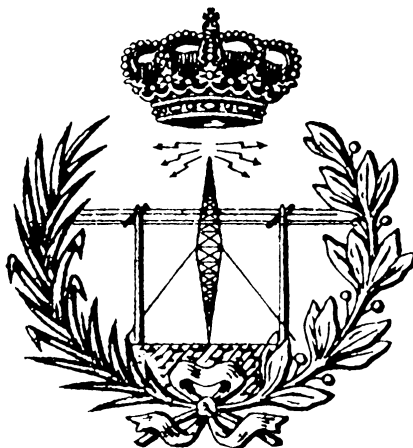
**Tutor/a**

Fdo.: Luis M. Hernández Acosta

**Fecha: Junio de 2017**



# ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA



## PROYECTO FIN DE CARRERA

### PROPUESTA PARA DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UNA RED DE CAPA ÓPTICA EN LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

#### HOJA DE EVALUACIÓN

Calificación: \_\_\_\_\_

**Presidente**

*Fdo.:*

**Vocal**

**Secretario/a**

*Fdo.:*

*Fdo.:*

Fecha: Junio de 2017



*Quiero agradecer a todos los que me han empujado para que acabe el proyecto.*

*A mis tutores, por sacar tiempo de donde no lo había para asesorarme y ayudarme en todo momento.*

*A mis compañeros de trabajo, Miguelina, Ernesto y Chano Guillén, por aportarme sus conocimientos.*

*A la dupla motivadora Bea-Sunil. Vaya equipazo. Siempre poniéndome las pilas.*

*A mis padres por todos los esfuerzos que han hecho para que tuviese la mejor educación.*





# ÍNDICE

Capítulo 1.....	17
Introducción.....	17
1.1 Red de transporte.....	17
1.2 SDH - DWDM.....	19
1.2.1 ¿Por qué SDH? .....	20
1.2.2 DWDM.....	22
1.2.3 El medio físico.....	22
1.2.3.1 Ondas radioeléctricas.....	23
1.2.3.2 Par trenzado.....	23
1.2.3.3 Cable coaxial.....	24
1.2.3.4 Fibra óptica.....	24
1.3 Objetivos.....	25
1.4 Estructura de la memoria.....	26
Capítulo 2.....	29
Teoría de transmisión digital.....	29

2.1 Jerarquía Digital Síncrona (SDH).....	29
2.1.1 Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy).....	30
2.1.1.1 Trama síncrona básica de 2 Mbps (trama E1).....	31
2.1.1.2 Características de la Jerarquía Digital Plesiócrona.....	32
2.1.1.3 La trama de 8 Mbps (trama E2).....	33
2.1.1.4 La trama de 34 Mbps (trama E3).....	34
2.1.1.5 La trama de 140 Mbps (trama E4).....	34
2.1.2 Características de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH).....	35
2.1.2.1 Desventajas de la Jerarquía Digital Síncrona.....	37
2.1.3 Conceptos básicos.....	37
2.1.3.1 Módulos de transporte síncrono (STM-N). ...	38
2.1.3.2 Estructura de multiplexación síncrona (ETSI).....	40
2.1.3.3 Cabeceras de sección.....	43
2.1.3.4 Cabeceras de trayecto.....	47
2.2 Multiplexación Densa en Longitud de Onda (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM).....	51
2.2.1 Desarrollo de la tecnología DWDM.....	53
2.2.2 Sistema DWDM.....	53
2.2.3 Principios de la transmisión óptica.....	55

2.2.4	Multiplexación densa por longitud de onda.....	56
2.2.5	Componentes de un sistema DWDM.....	60
2.2.5.1	Fuentes de luz.....	60
2.2.5.2	Detectores de luz.....	63
2.2.5.3	Amplificadores.....	64
2.2.5.4	Demultiplexores.....	66
2.2.6	Interfaces DWDM. ....	67
2.2.7	Sincronización.....	69
2.2.8	Equipamiento DWDM.....	69
2.2.9	Medidas de rendimiento de los sistemas.....	70
2.2.9.1	Fenómenos de dispersión.....	71
2.2.9.2	Fenómenos del índice de refracción.....	72
2.3	Arquitecturas de protección en redes de transporte.....	73
2.3.1	Arquitecturas de protección.....	73
2.3.1.1	Tipos de conmutación.....	74
2.3.1.2	Modos de operación.....	75
2.3.1.3	Parámetros relevantes.....	76
2.3.2	Esquemas de protección de camino.....	76
2.3.2.1	Protección MS Lineal (MSP 1+1: Multiplex Section Protection).....	77
2.3.2.2	Anillos de protección compartida (MS-SPRing: Multiplex Section Shared Protection Ring).....	77
2.3.2.3	Protección de HO-Trail.....	79
2.3.3	Esquema de protección de conexión de subred SNCP (Sub-Network Connection Protection).....	79
2.4	Fibra Óptica.....	82

2.4.1 Transmisión por la teoría de rayos.....	82
2.4.1.1 Reflexión total interna.....	82
2.4.1.2 Ángulo de aceptación.....	84
2.4.1.3 Apertura numérica.....	84
2.4.1.4 Rayos no meridionales (oblicuos).....	86
2.4.2 Comunicaciones por fibra óptica.....	86
2.4.2.1 Importancia de las fibras ópticas.....	88
2.4.2.2 Tipos de fibra óptica.....	89
2.4.2.3 Tipo de conectores de las fibras ópticas.....	92
2.4.2.4 Cables de fibra óptica.....	94
Capítulo 3.....	99
Red implementada.....	99
3.1 Visión global de la red.....	99
3.1.1 Tipos de emplazamientos.....	101
3.1.1.1 CPO (Centro Principal de Operaciones) .....	101
3.1.1.2 Nodos Primarios (NP) .....	103
3.1.1.3 Nodo secundario (NS) .....	106
3.1.1.4 Nodos finales (NF) .....	108
3.1.2 Zona de cobertura .....	108
3.2 Red de transporte SDH.....	110
3.2.1 MSH51c.....	111
3.2.2 MSH41c.....	117
3.2.3 Tráfico dentro del anillo SDH.....	122

3.3 Transporte directo por fibras. ....	124
3.3.1 Esquema de protección de circuitos.....	127
3.4 Auditoría de la red existente.....	128
3.4.1 Descripción de actividades.....	128
3.4.1.1 Aparatos de medida y accesorios necesarios..	128
3.4.1.2 Medidas reflectométricas.....	129
3.4.1.3 Consideraciones previas.....	131
3.4.1.4 Interpretación de eventos.....	135
3.4.1.5 Medidas de potencia.....	136
3.4.2 Reflectometrías.....	138
3.4.2.1 Medidas enlace GC-ISL y GC-AR.....	139
3.4.2.2 Medidas enlace GC-ISL y GC-RMB.....	140
3.4.2.3 Medidas enlace GC-AR y GC-RMB.....	141
Capítulo 4.....	143
Red de capa óptica.....	143
4.1 Diseño de la red óptica.....	143
4.1.1 Metodología de diseño.....	144
4.1.2 Elección de equipos.....	145
4.1.2.1 Espectros ópticos para sistemas WDM.....	147
4.1.2.2 Chasis y alimentación.....	149
4.1.2.3 Módulos de control.....	151
4.1.2.4 Tarjetas de canales ópticos activos.....	152
4.1.2.5 Tarjetas ópticas pasivas (filtros) .....	156
4.1.3 Cálculo a nivel de potencia.....	158

4.1.4 Mecanismos de protección.....	159
4.1.4.1 Protección de la capa de cliente.....	160
4.1.4.2 Protección de la tarjeta de canal de cliente....	160
4.1.4.3 Protección de la tarjeta de canal.....	161
4.1.4.4 Protección de canal.....	162
4.1.4.5 Protección de ruta.....	163
4.1.4.6 Protección versátil.....	164
4.2 Red óptica propuesta .....	165
4.2.1 Topología de red.....	166
4.2.2 Configuración de tarjetas de canal.....	168
4.2.2.1 Muxponder de 4G: 4TCA-PCN-4GUS+4G...	169
4.2.2.2 Transponder de 2,5G: WCA-PCN-2G5U.....	171
4.2.3 Sistema de filtros.....	174
4.2.3.1 Filtro de canal 4CSM-#Dxx-#Dyy.....	176
4.2.3.2 Filtro de grupo 8GSM-#Dxx-#Dyy.....	178
4.2.4 Configuración de equipos.....	180
4.2.5 Configuración de la protección.....	183
4.2.6 Balance de potencia de cada enlace.....	186
4.3 Migración de servicios.....	189
4.3.1 Migración anillo SDH STM16.....	190
Capítulo 5.....	195
Conclusiones.....	195
5.1 Líneas futuras de trabajo.....	197

Presupuesto.....	199
P.1 Costes de recursos humanos.....	199
P.2 Amortización de recursos materiales.....	200
P.2.1 Amortización del material hardware.....	200
P.2.2 Amortización del material software.....	201
P.3 Material fungible.....	201
P.4 Presupuesto total.....	202
 Bibliografía.....	 203
 Anexos.....	 207
Anexo I: Reflectometrías enlace GC-ISL ⇔ GC-AR.....	Anexo I-1
Anexo II: Reflectometrías enlace GC-ISL ⇔ GC-RMB.....	Anexo II-1
Anexo III: Reflectometrías enlace GC-AR ⇔ GC-RMB.....	Anexo III-1





# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Red de transporte.

Para nosotros miembros de una sociedad dependiente de las telecomunicaciones, demandantes de los últimos servicios multimedia, qué importancia pueden tener los mejores servidores de Internet si no tuviésemos la posibilidad de acceder a ellos, si no pudiésemos llegar más allá de un servidor local que no tuviese conexión con el resto del mundo.

Es más, abstrayéndonos de las telecomunicaciones, que conciencia tendríamos del mundo si no existiese un medio de acceder a él, un medio que nos traiga noticias de ese mundo, informándonos de las posibilidades que éste nos ofrece.

Conceptos como globalización, comercio electrónico e Internet no serían posibles llevarlos a la práctica si no existiese una red de transporte que diese soporte a todos los intercambios de información que la sociedad actual demanda.

Las técnicas de transporte de señales digitales de alta velocidad mediante elementos de red muy flexibles con una completa integración de las funciones de gestión, operación y mantenimiento ha revolucionado el mundo de las telecomunicaciones [1]. En este sentido los

sistemas de transmisión digital síncrona ofrecen la posibilidad de integrar un mayor número de servicios en la red de transporte.

Con el nacimiento de las Operadoras de Cable en España al final del siglo pasado, todas estas empresas eligieron una red de transporte SDH (Synchronous Digital Hierarchy) para dar soporte de transmisión a varios de los servicios ofertados, como telefonía, datos y video. Se trataba de construir una red abierta, flexible, y transparente a todo tipo de señales, capaz de evolucionar e incorporar todas las innovaciones tecnológicas que se fuesen produciendo. Sobre estas redes, se transportan señales de 2, 34 o 155Mbps [2], llevando tramas V5 entre los equipos de acceso y las centrales de conmutación para el servicio de voz, tramas de gestión entre los diferentes equipos de la red, servicios primarios de voz para empresas, circuitos dedicados entre empresas, circuitos de interconexión entre los equipos de la red y los circuitos de interconexión con otros operadores.

En la figura 1.1 tenemos el esquema básico de la red de transporte. En las instalaciones principales (cabeceras), se ubican los equipos encargados de generar los servicios a distribuir por el resto de la red. También tenemos las interconexiones con el resto de operadores y los proveedores de servicios.

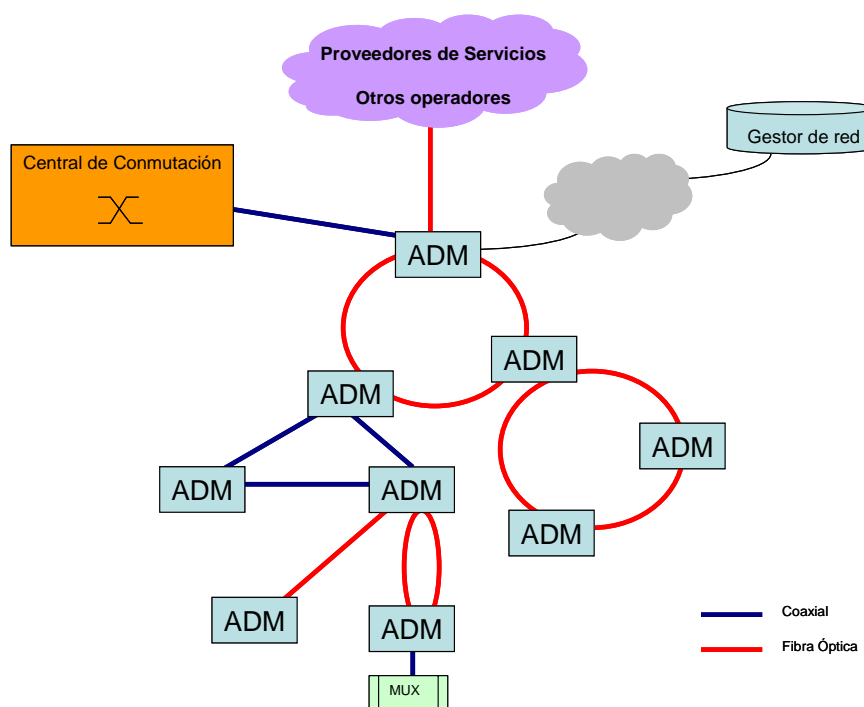


Figura 1.1 Esquema general de red de transporte

Desde las cabeceras, se utiliza la red de transporte para llevar los servicios al resto de emplazamientos de nuestra red de telecomunicaciones. Los anillos van bajando de capacidad conforme bajamos de la cabecera hacia el resto de emplazamientos y nos acercamos a los clientes. En los ADMs (Add & Drop Multiplexer) [3] [4] [5] se insertan y extraen las tramas. La interconexión entre los equipos se realiza mediante fibra, coaxial o cable estructurado.

La evolución de los servicios y los requerimientos de los clientes, han hecho que estas redes de transporte SDH se muestren insuficientes para cubrir las nuevas necesidades sin realizar una importante inversión en acondicionar las infraestructuras y el equipamiento, siendo necesario buscar una solución con bajo coste y que aproveche las infraestructuras existentes. Esta solución nos la aporta la implementación de una red de capa óptica sobre las infraestructuras que soportan nuestra red SDH, haciendo uso de equipamiento DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) [6] [7].

## 1.2 SDH - DWDM

Desde siempre los proveedores de redes han tenido que vérselas con un número de usuarios en constante crecimiento. Esto ha conducido al desarrollo de multitud de métodos y tecnologías tendentes por una parte a satisfacer las necesidades del mercado y por otra a reducir costes. En el sector de la ingeniería de las telecomunicaciones, esto condujo a la aparición de los sistemas de multiplexación por división de frecuencia (FDM) que permitían transmitir varias conexiones telefónicas por el mismo cable. La idea básica era modular, con una portadora diferente con cada canal telefónico a fin de situar las señales en distintos rangos de frecuencia.

Con la llegada de los semiconductores y la siempre creciente demanda de mayor número de canales, apareció en la década de los sesenta un nuevo método de transmisión, la modulación por impulsos codificados (PCM), que proporcionaba un mejor aprovechamiento de la línea mediante el empleo de técnicas de multiplexado digital en el dominio del tiempo (TDM) [2].

La señal telefónica analógica se muestrea sobre un ancho de banda de 3.1 kHz, se empaqueta, se codifica y se transmite a 64 kbps. Agrupando en una trama treinta de esos canales codificados, junto con una información de señalización, se obtiene una velocidad de

2048kbps. Ésta es la velocidad primaria que se usa en casi todo el mundo, exceptuando Japón, Canadá y Estados Unidos que emplean una unidad primaria de 1544 kbps, porque sólo agrupan 24 canales.

El continuo crecimiento de la demanda de mayor ancho de banda obligó a recurrir a otras tecnologías, surgiendo la jerarquía digital plesiócrona (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy). Las pequeñas diferencias en la temporización de las señales obligan al empleo de técnicas de adaptación para formar las señales multiplexadas. La inserción o extracción de un canal individual de 64 kbps en o desde una jerarquía digital superior requiere el empleo de un buen número de multiplexores complejos.

A finales de los ochenta surgió la jerarquía digital síncrona (SDH) [2] que allanó el camino hacia una estructura unificada de redes a escala mundial, constituyendo un medio de gestión de redes eficaz y económico para los proveedores. Las redes pueden adaptarse fácilmente para soportar las nuevas aplicaciones y servicios que exigen cada vez más ancho de banda.

La jerarquía digital síncrona (SDH, Synchronous Digital Hierarchy) es un conjunto jerárquico de estructuras digitales de transporte de cargas adaptadas sobre redes de transmisión física. SDH supone la definición de las señales a utilizar en redes de fibra óptica (principalmente) mediante una determinada estructura de multiplexación, proporcionando servicios de transporte a diferentes tipos de señales digitales tales como video, voz, frame relay, ATM, etc. A la hora de definir una red SDH hay que tener en cuenta todo lo relacionado con la arquitectura de red, los mecanismos de protección, sincronización y la gestión de la red.

### **1.2.1 ¿Por qué SDH?**

Las redes tradicionales PDH son jerárquicas y poco flexibles, además los equipos que forman la red son complejos y caros. Esto hace que las redes PDH tengan aplicaciones limitadas, a diferencia de las redes de transporte basadas en SDH.

La tecnología SDH ofrece a los proveedores de servicios múltiples ventajas.

En primer lugar, destacar las altas velocidades de transmisión. Los modernos sistemas SDH alcanzan velocidades de 10 Gbps. De esta forma SDH es la tecnología más adecuada

para los backbones, que son realmente las superautopistas de las redes de telecomunicaciones actuales. Así se pueden usar estas redes como red troncal de una red de datos (frame relay, ATM, Internet), de una red de voz (RDSI, red telefónica conmutada) o de una red de acceso basada en el protocolo V5.

En segundo lugar, SDH presenta una función simplificada de inserción y extracción de canales frente a PDH, donde era necesaria demultiplexar y multiplexar la estructura plesiócrona, un proceso más complejo y costoso.

La tecnología SDH presenta una alta disponibilidad y grandes posibilidades de ampliación frente a las demandas de los clientes.

Las modernas redes SDH incluyen mecanismos automáticos de protección y recuperación ante fallos del sistema. Esto otorga a la red de una gran fiabilidad. Esta fiabilidad se puede controlar mediante un sistema de gestión.

Es una plataforma a prueba de futuro, ideal para multitud de servicios, desde la telefonía tradicional, las redes RDSI o la telefonía móvil hasta las comunicaciones de datos. También se presenta adecuada para los servicios más recientes, como el video bajo demanda o la transmisión de video digital vía ATM.

Con SDH es mucho más fácil crear pasarelas entre los distintos proveedores de redes y hacia los sistemas SONET (Synchronous Optical Network, estándar síncrono definido por ANSI bajo propuesta de Bellcore). Las interfaces SDH están normalizadas, lo que simplifica las combinaciones de elementos de redes de diferentes fabricantes. Esto implica que los gastos sean menores que en los sistemas PDH.

El motor que genera toda esta evolución es la creciente demanda de mayor ancho de banda, mejor calidad de servicio y mayor fiabilidad, junto a la necesidad de reducir los costes manteniendo la competitividad. Actualmente es posible que el usuario pueda acceder a la red de transporte a través de una interfaz que opere a 155 Mbps (o velocidades mayores) y contratar con el operador el transporte de señales tributarias de cualquier orden en la jerarquía.

## **1.2.2 DWDM**

Se seguirán buscando sistemas y equipos que trabajen a mayores velocidades. En el mercado ya existen sistemas capaces de manejar tráfico de 10 Gbps (Gigabits por segundo), sistemas STM-64 (multiplexado por división en el tiempo de 10 Gbps). Pero el coste de estos equipos es muy elevado, lo que está retrasando su implantación. La alternativa es la técnica DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) [6] que mejora el aprovechamiento de las fibras ópticas monomodo, usando varias longitudes de onda como portadoras de las señales digitales y transmitiéndolas simultáneamente por la fibra.

La multiplexación densa por división en longitudes de onda es una nueva tecnología de transmisión que da respuesta a la limitada capacidad de transmisión de la tecnología convencional de multiplexación por división en el tiempo. Ésta consiste en combinar sobre la misma fibra diferentes longitudes de onda.

Los láseres emiten a una específica y determinada longitud de onda que entrega cada canal individual. Los sistemas modernos utilizan una canalización especificada por la ITU-T en la Recomendación G.692, que utiliza un espaciado entre canales de 100 GHz/0.8 nm. Si el espaciado entre canales es de 100 GHz, hasta 40 canales pueden ser acomodados dentro del rango que va desde los 1530 a los 1565 nm que es el rango que puede ser utilizado con los amplificadores ópticos actualmente disponibles. Hoy en día es posible multiplexar diversos flujos de información a alta velocidad de 2,5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps y 100 Gbps mediante la división de varias longitudes de ondas.

La tecnología actual permite combinar hasta 160 señales con un ancho de banda efectivo de 10 Gbps.

## **1.2.3 El medio físico.**

En el ámbito de las redes el primer aspecto a tener en cuenta es determinar el medio físico más adecuado a las necesidades. La elección del soporte depende de las prestaciones esperadas por el sistema, puesto que éstas determinan el flujo previsto y por tanto el ancho de banda necesitado. También dependerá la elección del coste o de la posibilidad de utilizar un medio ya existente.

Los principales soportes utilizados son el hilo metálico, el cable coaxial, la fibra óptica y las ondas hertzianas. Todos estos medios tienen características diferentes en cuanto al volumen, el coste, la atenuación y la banda ocupada. Se puede hacer una distinción entre medios guiados y no guiados.

### **1.2.3.1 Ondas radioeléctricas.**

Los medios no guiados son un recurso compartido y escaso. La transmisión de la información es a través del espacio, por lo que los sistemas son sensibles a las interferencias, al ruido y a los ataques externos. El uso de redes cuyo soporte físico sea la radio (satélite o terrestre) se limita a enlaces móviles, para salvar barreras naturales para alcanzar zonas inaccesibles, sistemas de comunicación en zonas sin infraestructura, difusión en áreas extensas.

Las ondas radioeléctricas corresponden a frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 300 GHz. Pueden ser difundidas o directivas. En el primer caso, un emisor puede transmitir a receptores dispersos. Estos sistemas aportan poca calidad a la transmisión de datos.

En el segundo caso, por encima de los 500 MHz y hasta los 40 GHz, tenemos un emisor y receptor únicos. Son haces usados en transmisión vía satélite. Dado que la curvatura terrestre resulta un obstáculo, incluso en ausencia de cualquier relieve, es necesario disponer de repetidores cada 100 km.

Por encima de los 40 GHz se pueden usar las guíaondas. La señal se radia por una pequeña antena, con un emisor, en el interior de un conducto metálico que guía las ondas electromagnéticas y las dirige hasta el receptor

### **1.2.3.2 Par trenzado.**

En los medios guiados encontramos principalmente los de cable de cobre y los de fibra óptica. El medio de transmisión más antiguo y más usado es el de par trenzado. La forma trenzada del cable se usa para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos. La aplicación más común del par trenzado es el sistema telefónico.

Los pares trenzados se agrupan generalmente en cables multipares. Los pares a menudo se protegen por una cubierta PVC (PoliCloruro de Vinilo) de un espesor aproximado de 1 mm. La atenuación de este tipo de cable es inferior a 10 dB/km para una frecuencia de

100kHz. Se puede obtener una atenuación menor aumentando la impedancia característica del cable.

El par trenzado puede ser usado de forma satisfactoria tanto para transmisión digital como analógica. La distancia que se puede cubrir con estos cables es de varios kilómetros, sin necesidad de amplificar señales. Es adecuado para trabajar en distancias cortas. Si la longitud del hilo es inferior a 1 km, se puede trabajar con un flujo de varios centenares de kbps sin alcanzar un índice de errores inadmisibles. El ancho de banda alcanzado sobre este medio depende del calibre del alambre y de la distancia a recorrer.

### **1.2.3.3 Cable coaxial.**

Otro medio guiado es el cable coaxial de banda base, dentro del cuál hay dos tipos que se usan con más frecuencia. El de 50  $\Omega$  que se usa en transmisión digital y el de 75  $\Omega$  usado en transmisión analógica. El cable coaxial consta de un alambre de cobre duro en su parte central, cubierto de un material aislante. Este aislante se rodea de un conductor cilíndrico que se presenta como una malla de tejido trenzado. El conductor externo está cubierto de una capa de plástico protector. Este cable presenta una buena combinación de gran ancho de banda y una excelente inmunidad al ruido. El ancho de banda depende de la longitud del cable; para cables de 1 km se pueden obtener velocidades de hasta 10 Mbps. Con longitudes menores se puede obtener más ancho de banda.

### **1.2.3.4 Fibra óptica.**

La fibra óptica se presenta como la única tecnología capaz de romper el cuello de botella existente respecto al ancho de banda, ya que el número de clientes que requieren mayor ancho de banda continua está creciendo. Un sistema de transmisión óptica tiene tres componentes, el medio de transmisión, la fuente de luz y el detector. El medio de transmisión es una fibra de vidrio o de silicio fundido. La fuente de luz puede ser un LED o un láser, que emiten pulsos de luz al aplicarles corriente. El detector es un fotodiodo que genera un pulso eléctrico al recibir un rayo de luz.

Existen tres tipos de fibras, diferenciándose por el índice de refracción de los materiales que la constituyen y el diámetro de su núcleo.

La fibra multimodo de índice escalonado está fabricada a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico con una atenuación de 100 dB/km. Tiene una banda de paso



que llega hasta los 40 MHz/km. Su utilización se limita a la transmisión de información a cortas distancias, algunas decenas de metros y flujos poco elevados. Su principal ventaja es el precio más económico.

Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500 MHz/km. Reducen la dispersión entre los modos propagados.

Las fibras monomodo ofrecen la mayor capacidad de transporte de información. Tienen una banda de paso del orden de 100 GHz/km aunque son las más difíciles de implantar, ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y dificultades a la hora de realizar la conexión.

La introducción de una tecnología óptica presenta un problema principalmente económico. Optar por el uso de instalación de fibra hasta el usuario final es una solución un tanto costosa, por lo que sólo se tomará en las ocasiones en el que los beneficios futuros lo justifiquen. Existen alternativas al uso de la fibra, que permiten alcanzar altas velocidades sobre cobre. El uso de redes de fibra óptica está justificado en la red troncal de cualquier operador, ya que los anchos de banda que se pueden obtener son los necesarios para las aplicaciones que se quieren implementar.

En la sociedad actual se requiere cada vez mayor ancho de banda debido a las nuevas aplicaciones a implementar como la voz sobre IP, la televisión digital y los enlaces ATM de gran capacidad. Tomando como ejemplo la televisión digital se verá la justificación del uso de la fibra óptica. En la actualidad con los más modernos métodos de codificación MPEG y la multiplexación estadística se utilizan 155 Mbits para transmitir un flujo de 14 canales de video con calidad de contribución. Cuantos más canales queramos transmitir mayor será el ancho de banda necesario. Ese ancho de banda sólo se podrá conseguir sobre fibra.

## 1.3 Objetivos.

El objetivo principal de este proyecto es proponer un diseño e implantación de una red de capa óptica que mejore las prestaciones de una red de transporte SDH en Las Palmas de Gran Canaria. Nos encontramos con un incremento continuo de las demandas de servicios de alta capacidad. Ya es muy pobre o casi nulo el mercado de clientes que se conforman con tener servicios de datos de inferior a los 30 Mbps. Las empresas piden servicios cada

vez más especializados y con mejores prestaciones sobre todo en velocidad y capacidad, tendiendo cada vez más a la contratación de enlaces gigabit. La instalación de equipos de transporte SDH en sedes de cliente, aunque sigue siendo una solución, es mucho más costosa de implementar y mantener que el hecho de llegar con fibras hasta casa de cliente y entregarles un camino casi ilimitado. Con la red de capa óptica propuesta se tratará de adaptar nuestra red a esas necesidades.

Se explicará la red de transporte original, con el detalle de los equipos que lo forman. Se realizará una auditoría previa de las infraestructuras existentes que nos facilite la elección del nuevo equipamiento. Se trata de una red de transporte SDH formada por equipamiento de Ericsson (Familia MSHxx) [3] [4] [5].

Posteriormente se propondrá una nueva red a implantar aprovechando las infraestructuras existentes. Se trata de insertar equipamiento DWDM [7] paralelo al anillo STM16 formado entre la Cabecera y otros dos emplazamientos dentro de la capital.

Por último, se expondrán los trabajos necesarios a realizar para implantar la nueva red sin afectar el servicio que está proporcionando la red original.

Los objetivos parciales de este proyecto se pueden resumir en:

- Estudio de la información.
- Explicación de la red de transporte existente.
- Pruebas: Medidas de infraestructuras (reflectometrías)
- Propuesta de nueva red a implantar.
- Elección del nuevo equipamiento.
- Migración de servicios.

## **1.4 Estructura de la memoria.**

La estructura de la memoria será la siguiente.

En el capítulo 2 se hará un estudio de la teoría de la tecnología SDH. También se estudiará la tecnología de transmisión DWDM. Se estudiarán los equipos que formarán la red, justificando la elección de los mismos, y el medio físico que servirá de soporte. Nos centraremos en estudiar el soporte básico de estas redes, la fibra óptica.

En el capítulo 3 se detallará el diseño de la red actual. Se explicarán los emplazamientos que se utilizan y las conexiones entre los mismos. Se detallará la red de transporte SDH y los equipos que la forman. También se verán el resto de conexiones existentes para el resto de las tecnologías. Se presentarán las infraestructuras sobre las que se implantará la nueva red. Además se verá un ejemplo de las conexiones existentes para el resto de las tecnologías. Se realizarán medidas reflectométricas de las fibras disponibles para determinar cuáles se usarán.

En el capítulo 4, una vez que tengamos claro que las infraestructuras son adecuadas, se diseñará la red de capa óptica. En este punto se tomará la decisión de que equipos se instalarán, mostrando sus características principales. Habiendo decidido que diseño se va a implantar, se describirán los trabajos necesarios para la instalación y configuración de los nuevos equipos, minimizando el impacto sobre la red existente, de forma que no se vean afectados los servicios que proporciona la empresa.

Finalmente, en el capítulo 5 se presentarán las conclusiones y las líneas futuras de trabajo.



# Capítulo 2

## Teoría de transmisión digital

En el presente capítulo se realiza un estudio de los conceptos básicos de la capa de transporte de nuestra red. Comenzaremos por el estudio de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH, Synchronous Digital Hierarchy). Para definir los conceptos básicos de la transmisión SDH, hemos utilizado como base la Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy). Posteriormente describiremos la Multiplexación Densa en Longitud de Onda o DWDM para a continuación, repasar las distintas arquitecturas de protección en las redes de transporte. Finalizaremos el capítulo con el estudio de los fundamentos de las comunicaciones por fibra óptica.

### 2.1 Jerarquía Digital Síncrona (SDH).

La Jerarquía Digital Síncrona [2] es un conjunto jerárquico de estructuras digitales de transporte de cargas adaptadas sobre redes de transmisión física. En marzo de 1996, la ITU-T publicó la Recomendación G.707 que contenía las especificaciones para el desarrollo de los interfaces de nodos de red de la Jerarquía Digital Síncrona. SDH representa una forma de multiplexar señales digitales alternativa a la Jerarquía Digital Plesiócrona empleada desde mediados de los años ochenta.

El tipo de multiplexación empleada es determinística, esto implica que el área de carga de cada trama que transporta información se subdivide en áreas más pequeñas. Las subdivi-

siones pueden ser consecutivas, bit a bit o byte a byte. Cada tributario que entra por el puerto de un multiplexor tiene sus bits o bytes mapeados en el área de carga del lado agregado.

Una de las características principales de este tipo de multiplexación es que la transmisión siempre es síncrona. La velocidad del agregado resultante es igual a la suma de las velocidades de los tributarios y de la cabecera de dicho agregado. Esta cabecera permitirá identificar al agregado, realizar el control de errores y la justificación si fuera necesaria. Las tramas se repiten de forma regular. Con esta multiplexación se consigue simplicidad y bajo retardo. En la figura 2.1 se puede ver la representación de este tipo de multiplexación.

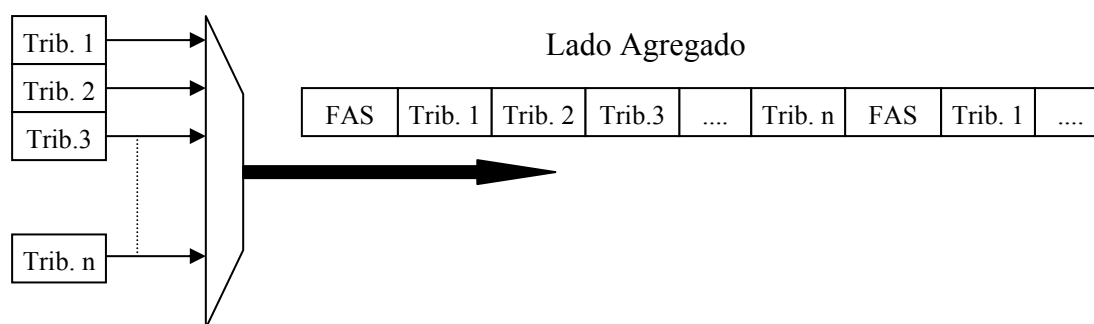


Figura 2.1: Multiplexación determinística

El lado agregado resulta de la multiplexación determinística de  $n$  tributarios. El lado agregado presenta una cabecera FAS (Frame Alignment Signal: Señal de alineación de trama) que lo identifica. Una vez localizada la cabecera, la extracción de la carga que transporta de los  $n$  tributarios es una tarea fácil.

Para poder entender porque surgió la jerarquía SDH y sus principales ventajas, es necesario conocer la jerarquía predecesora, la Jerarquía Digital Plesiócrona.

### 2.1.1 Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy)

En los comienzos de los sesenta todos los sistemas de conmutación y transmisión eran analógicos. En este periodo se trabajó en PCM para transformar las señales de voz analógicas en cadenas digitales de bits. En 1965 surgió el estándar americano con 24 señales de voz multiplexadas juntas con un bit de tramado para formar la trama DS-1 de 1.544 Mbps. Cada canal de la trama es de 64 kbps ( $8 \text{ kHz} * 8 \text{ bits}$ ).

En 1968 Europa desarrolló su propio estándar con 30 canales de voz más un canal de alineación de trama y uno de señalización. El formato de trama E1 de 2.048 Mbps, definido en la Recomendación ITU-T G.703.

### 2.1.1.1 Trama síncrona básica de 2 Mbps (trama E1)

En la figura 2.2 se ve la trama E1 dividida en 32 intervalos de tiempo, cada uno de 8 bits. La trama tiene una frecuencia de repetición de 8000 veces por segundo, fijada por la frecuencia de muestreo de 8 kHz de la señal analógica de voz establecida por la Recomendación ITU-T G.711. Con este muestreo se obtiene una trama cada 125  $\mu$ s, resultando una velocidad binaria de 2048 kbps.

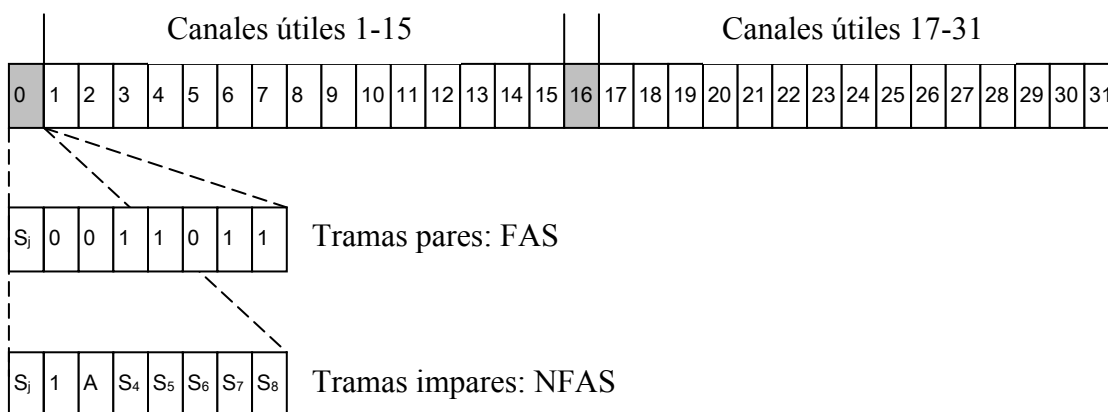


Figura 2.2: Trama E1

La trama E1 se obtiene de la multiplexación determinística de 30 muestras obtenidas de 30 canales tributarios, añadiéndole una cabecera (overhead) que identifica a la trama y a la carga útil que transporta.

De la trama se puede observar que hay 30 canales útiles para el transporte de información y dos intervalos de tiempo específicos.

El intervalo de tiempo 0 se usa para transportar la señal de alineación de trama (FAS) que se transmite en las tramas pares, y una palabra de alarmas que se transmite en las tramas impares. Esta palabra se denomina Not Frame Alignment Signal (NFAS).

La palabra de alineación de trama contiene la secuencia de 7 bits 0011011 y permite conocer cuando empieza una trama. El primer bit de la palabra Sj se reserva para uso internacional o para llevar el resultado del cálculo del CRC-4.

La NFAS se utiliza para transmitir información de servicio. El tercer bit (A) representa un bit de alarma distante (RDI, Remote Defect Indication). El bit  $S_4$  indica una alarma no urgente, siendo usado como enlace de datos para operación, mantenimiento y monitorización del canal. El resto de los bits de  $S_5$  a  $S_7$  se reservan para uso nacional.

La sincronización de un multiplexor se produce si se produce la siguiente secuencia de llegada de tramas:

1. Se recibe correctamente la palabra FAS en el intervalo de tiempo 0.
2. El bit 2 de la NFAS es 1.
3. Se recibe correctamente la palabra FAS en la siguiente trama y así consecutivamente

El intervalo de tiempo 16 se usa para transportar la señalización de los canales útiles: señalización CAS (Channel Associated Signalling), señalización de canal D para acceso primario RDSI o señalización y control del protocolo de acceso V5. Con la introducción de la señalización por canal común número 7, el intervalo de tiempo 16 pasa a usarse para transportar un canal útil adicional.

### 2.1.1.2 Características de la Jerarquía Digital Plesiócrona

En esta jerarquía el multiplexor crea una trama agregada ( $E_4$ ,  $E_3$  o  $E_2$ ) reservando cuatro espacios de carga destinados a transportar los bits de cuatro tributarios del orden inferior inmediato ( $E_3$ ,  $E_2$  o  $E_1$ ). Los espacios de carga se van ocupando bit a bit. Las tramas no se repiten 8000 veces por segundo como en la trama  $E_1$ , sino que cada vez que aumenta el orden de la jerarquía, la frecuencia de repetición es mayor, siendo la longitud y duración de la trama también diferentes. En la figura 2.3 se ve como se van formando las distintas tramas dentro de esta jerarquía.

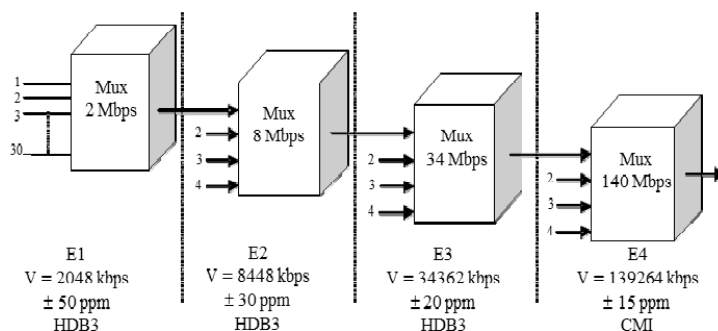


Figura 2.3: Formación de tramas



La alineación de las tramas en los órdenes superiores de la jerarquía se realiza mediante una palabra de alineación de trama (FAS) específica de cada nivel. Los bits de servicio tienen una capacidad muy limitada, permitiendo apenas el transporte de alarmas.

En la jerarquía europea cada nuevo rango jerárquico contiene cuatro espacios de carga, intercalados bit a bit y precedidos de una señal de alineación de trama que se repite de forma específica con cada trama.

### 2.1.1.3 La trama de 8 Mbps (trama E2)

En la figura 2.4 se puede observar el formato de la trama E2 según la Recomendación ITU-T G.742. Esta trama se forma tras multiplexar cuatro tramas E1.

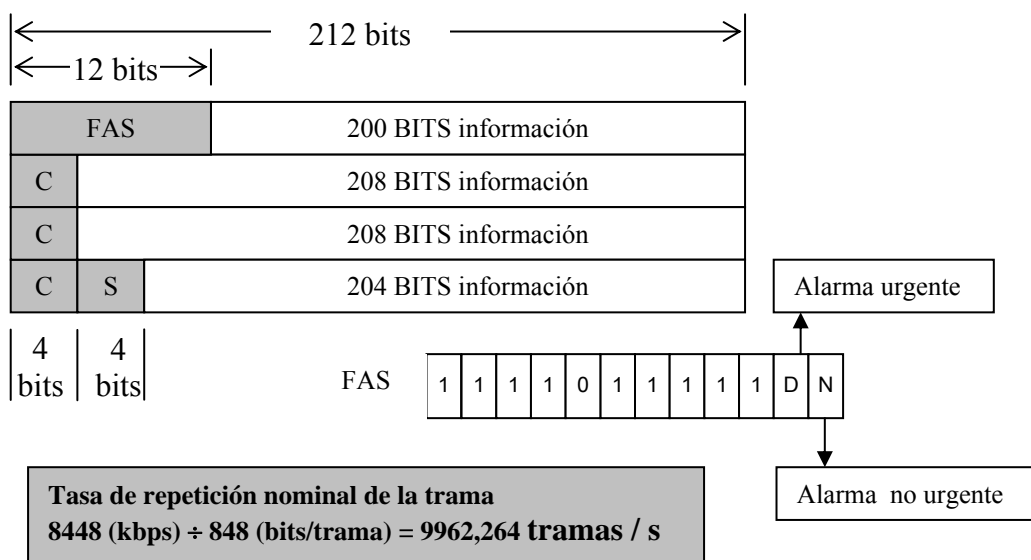


Figura 2.4: Trama E2

La palabra de alineación de trama (FAS) tiene 12 bits. Los diez primeros son 1111011111 y los dos últimos hacen referencia a indicaciones de alarma remota urgente (D) y no urgente (N).

Para resolver el problema de justificación típico de la multiplexación determinística se utilizan los bits C y S. Los bits C indican al demultiplexor si los bits S contienen información (C=0) o si son una justificación (C=1). De esta forma el demultiplexor sabe si los bits S deben ser recuperados o ignorados.

El procedimiento de justificación de la jerarquía PDH permite que los multiplexores PDH operen con relojes propios, con una precisión que permite su realización con osciladores de coste relativamente bajo.

La transmisión de los bits es serie, empezando de izquierda a derecha, de la primera a la última fila, según la figura 2.4.

La trama generada por el multiplexor es de 848 bits y la velocidad de la línea 8448 kbps. De esta forma se obtiene una velocidad de repetición de 9962,264 tramas por segundo.

### 2.1.1.4 La trama de 34 Mbps (trama E3)

En la figura 2.5 se puede observar el formato de la trama E3 según la Recomendación ITU-T G.751. Esta trama se forma tras multiplexar cuatro tramas E2.

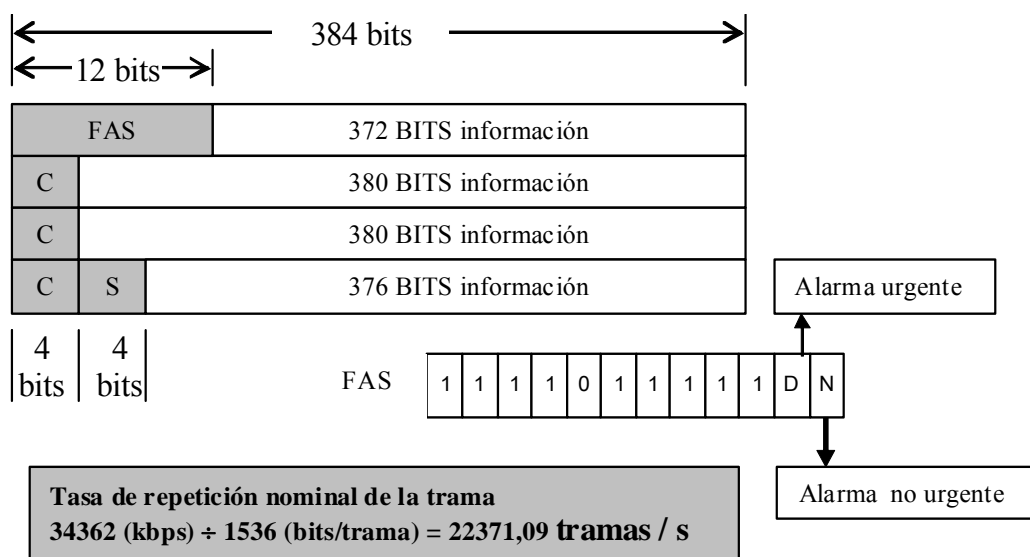


Figura 2.5: Trama E3

La palabra de alineación de trama (FAS) tiene 12 bits. Los diez primeros son 1111011111 y los dos últimos hacen referencia a indicaciones de alarma remota urgente (D) y no urgente (N). El proceso de justificación es el mismo que el empleado para la trama E2.

La trama generada por el multiplexor es de 1536 bits y la velocidad de la línea 34362 kbps. De esta forma se obtiene una velocidad de repetición de 22371,09 tramas por segundo.

### 2.1.1.5 La trama de 140 Mbps (trama E4)

En la figura 2.6 se puede observar el formato de la trama E4 según la Recomendación ITU-T G.751. Esta trama se forma tras multiplexar cuatro tramas E3.

La palabra de alineación de trama (FAS) tiene 16 bits. Los doce primeros son 111110100000 y los últimos bits hacen referencia a indicaciones de alarma remota urgente (D) y no urgente (N). Los bits Y están reservados.

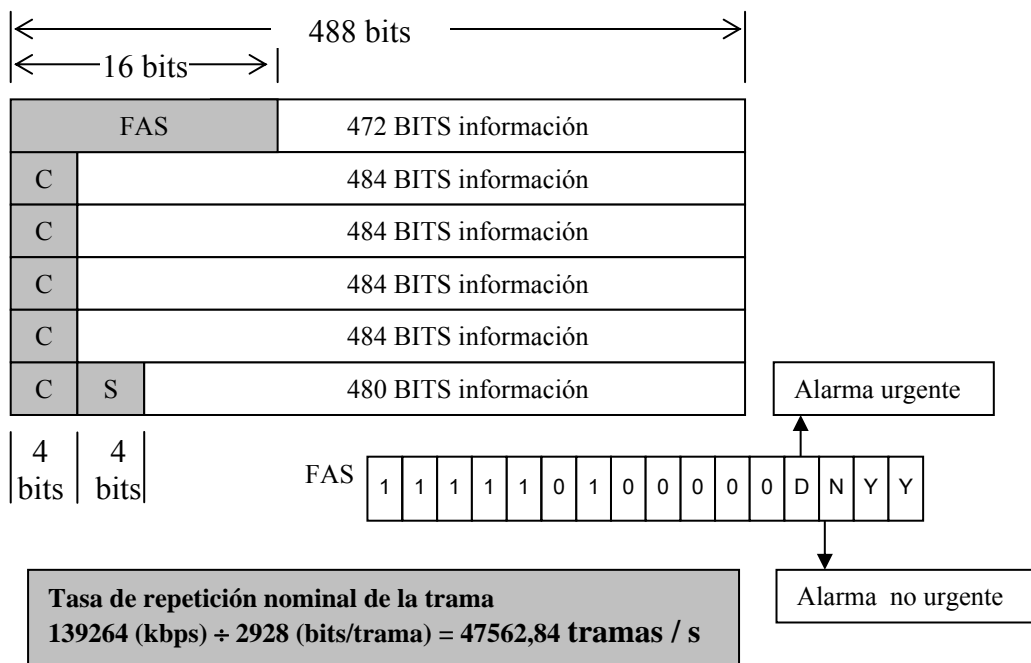


Figura 2.6: Trama E4

El proceso de justificación es el mismo que el empleado para la trama E3, pero ahora se utilizan cinco grupos de bits tipo C para asegurar la correcta justificación y que no existan deslizamientos de la trama.

La trama generada por el multiplexor es de 2928 bits y la velocidad de la línea 139264 kbps. De esta forma se obtiene una velocidad de repetición de 47562,84 tramas por segundo.

### 2.1.2 Características de la Jerarquía Digital Síncrona (SDH).

El principal inconveniente de la jerarquía PDH es que, para localizar los bits de un tributario de una jerarquía menor, la señal de línea debe ser demultiplexada sucesivamente hasta alcanzar el nivel requerido. Para realizar esta demultiplexación es necesario que los bits de una determinada jerarquía se envíen a un procesador propio de ese nivel jerárquico, el cuál debe buscar la palabra FAS para localizar los bits de los cuatro tributarios, procesar el control de justificación y separar los bits de información de los tributarios en cuatro caminos distintos. Con estos inconvenientes se hace difícil conseguir una red flexible con elementos

PDH. A continuación, se detallan algunas de las características y ventajas de las redes SDH.

La jerarquía SDH presenta una simplificación del proceso de multiplexación de las señales tributarias. La multiplexación se produce byte a byte independientemente del nivel de la jerarquía.

Las tramas síncronas de línea y tributarias se repiten 8000 veces por segundo, lo que facilita y simplifica las sucesivas demultiplexaciones ya que la tasa de repetición es compatible en todos los niveles de la jerarquía.

El inicio de las tramas de las señales tributarias, al contrario de lo que ocurre en PDH, no se indica por una trama de FAS sino mediante punteros que indican en que posición del espacio de carga se inicia cada contenedor virtual. Además, los punteros sirven para manejar eventuales diferencias de velocidad entre la señal tributaria y el espacio de carga que la transporta.

Las tramas síncronas poseen una cabecera que contiene los canales para realizar las funciones de supervisión, operación, monitorización de calidad, mantenimiento y gestión de los elementos de la red de transporte. Esto permitirá la implementación de una red de gestión de telecomunicaciones que centralice la gestión y la operación de los elementos de red.

Los equipos SDH deben realizar la adaptación de las señales tributarias que no pertenezcan a la Jerarquía Digital Síncrona hacia la red SDH. Se deben adaptar las señales de la jerarquía PDH, tanto europeas como americanas. También deben realizar la asignación (mapping) de células ATM y de datagramas IP en las correspondientes tramas y subtramas de SDH.

Los elementos de red de la capa física tienen capacidad de generar, interpretar, extraer, insertar y conmutar las tramas y subtramas SDH. Sin embargo, las tramas PDH u otras que lleven los contenedores virtuales son transparentes para el equipo. Esto convierte al sistema en flexible y sencillo.

Todo el procesamiento, independientemente de la velocidad de línea, se realiza a nivel STM-1 (Synchronous Transport Module of 1st Order). Las señales de velocidad superior son síncronas y están en fase entre ellas.

Debido a los estándares internacionales, existe una compatibilidad eléctrica y óptica entre los equipos de los distintos suministradores. Esto facilita la creación de puntos de interconexión entre las distintas operadoras, independientemente del tipo de equipos que se interconecten.

### 2.1.2.1 Desventajas de la Jerarquía Digital Síncrona.

Siempre que se integra una red nueva tiene que convivir con las redes ya existentes. Las redes PDH no son directamente compatibles con las redes SDH, por lo que integrar elementos PDH en una red SDH puede complicar las redes de gestión y de sincronismo.

El sincronismo entre los nodos de la red SDH debe ser garantizado. Por este motivo el diseño de la red de sincronismo debe conseguir una red robusta de distribución de la temporización. En las redes SDH la señal de sincronismo se transporta en la señal de línea.

La cabecera de sección es muy grande dentro de la trama básica. Aunque esta cabecera permite aumentar la eficiencia en la gestión, sincronización y mantenimiento de la red.

### 2.1.3 Conceptos básicos.

En este apartado se definirán los conceptos básicos de la transmisión SDH, explicando la trama básica europea y comparándola con la trama americana de ANSI.

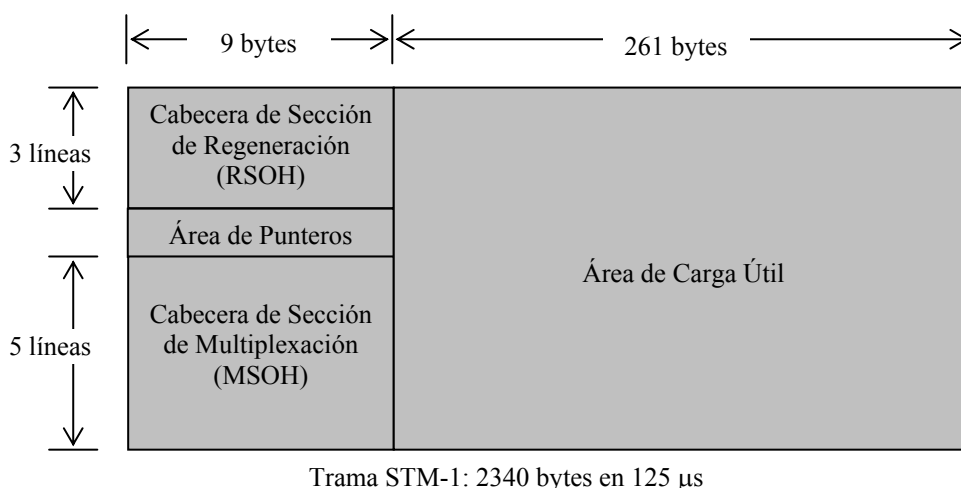


Figura 2.7: Estructura básica de la trama STM-1

### 2.1.3.1 Módulos de transporte síncrono (STM-N).

En la figura 2.7 se puede ver la trama básica de la Jerarquía Digital Síncrona europea (ETSI), la trama STM-1. Existe compatibilidad entre esta trama y la americana (ANSI, Bellcore) que se puede ver en la figura 2.8. La trama STM-1 (155,520 kbps) se puede obtener al multiplexar 3 tramas STS-1 (51840 kbps).

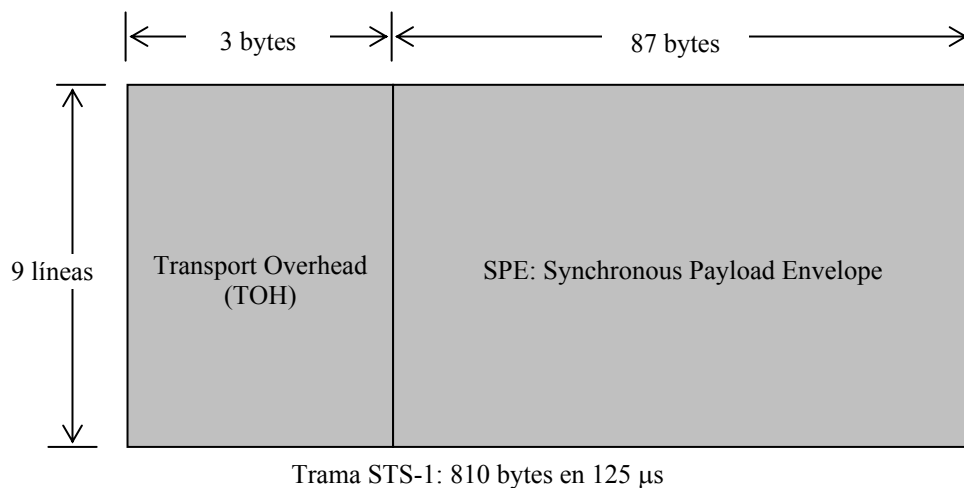


Figura 2.8: Trama STS-1

La trama STM-1 contiene una cabecera de sección (SOH: Section overhead) que se compone de una cabecera regeneradora (RSOH) y otra multiplexora (MSOH), un área de punteros y el área de carga útil. Posteriormente se describirá cada una de estas áreas.

La transmisión es secuencial bit a bit, y según la trama de la figura 2.7, de izquierda a derecha y de arriba abajo. Un elemento de red SDH que reciba la trama STM-1, busca la señal de alineación de trama que está en la cabecera. Una vez encontrada esta señal, el equipo puede examinar los canales de servicio de la cabecera, el área de punteros donde está la información para localizar el comienzo de las señales tributarias y los bytes de la carga útil.

Como ocurre en la Jerarquía Digital Plesiócrona, SDH está estructurada en niveles jerárquicos. La trama STM-4 se obtiene al multiplexar byte a byte cuatro tramas STM-1, con una velocidad de línea de 622,08 Mbps. El esquema básico es mostrado en la figura 2.9.

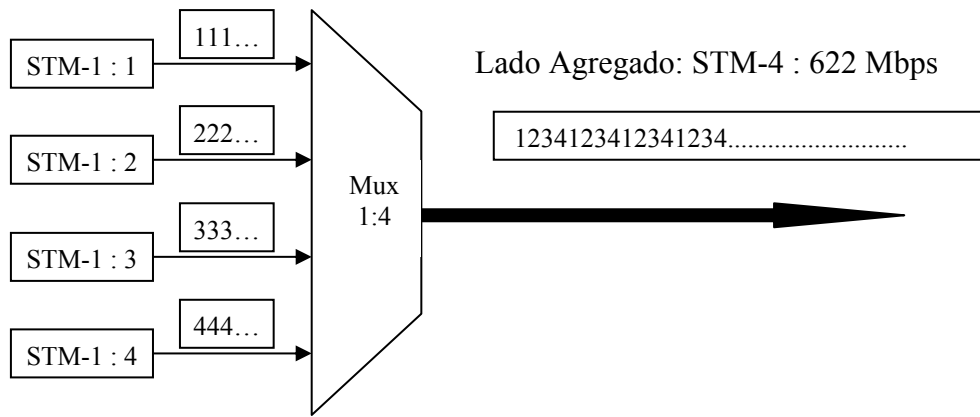


Figura 2.9: Formación STM-4

En SDH las posibles desviaciones de reloj son solucionadas con ajustes de los valores de los punteros.

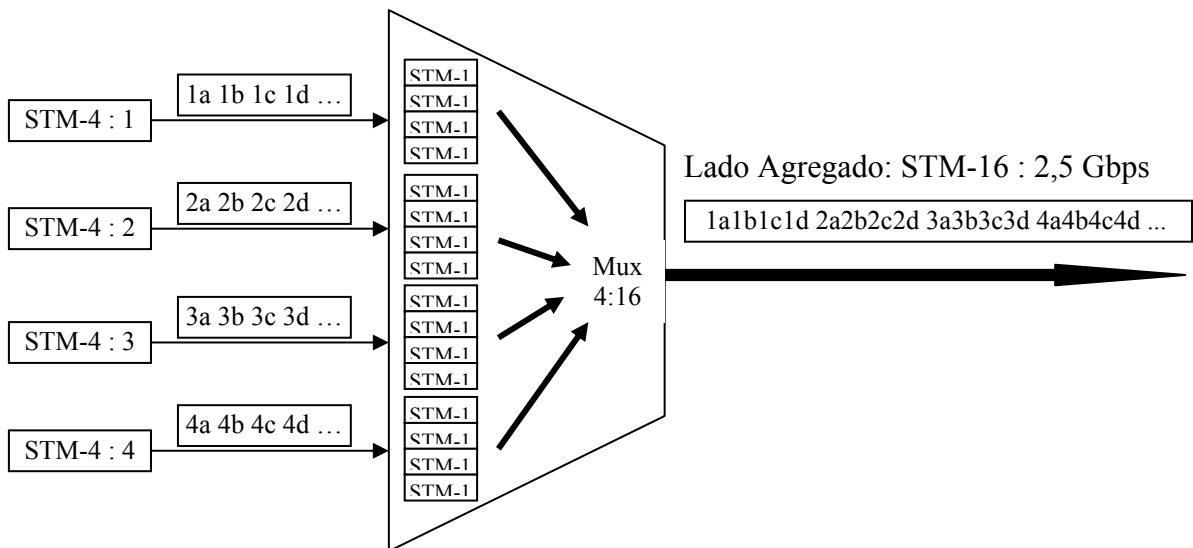


Figura 2.10: Formación STM-16

El siguiente nivel de la jerarquía es la STM-16, figura 2.10, con una velocidad de línea de 2,48832 Gbps, se consigue multiplexando cuatro tramas STM-4 byte a byte.

Los procesos tienen lugar a nivel de STM-1, por lo que el multiplexor síncrono extrae los cuatro STM-1 contenidos en los tributarios STM-4, es decir se multiplexan 16 tramas STM-1 para obtener la trama STM-16.

La siguiente trama de la jerarquía es la STM-64 que se consigue al multiplexar 64 tramas STM-1, con una velocidad binaria de 9,95328 Gbps.

La trama de línea STM-N tiene un aspecto similar a la STM-1, diferenciándose en que mientras la trama STM-1 presenta un byte, la trama STM-N presenta N bytes, correspondientes a los bytes que se encuentran en la misma posición de las N tramas. Para tener acceso a los N flujos STM-1 de una señal STM-N en un equipo, es necesario que ese equipo contenga N procesadores STM-1, y que cada procesador reciba los bytes correspondientes a uno de los flujos SRM-1 multiplexados.

Independientemente del nivel de la jerarquía en la que trabaje el equipo, éste multiplexa STM-1 locales. El multiplexor que recibe una señal STM-N localiza y extrae la carga, volviéndola a asignar en procesos generados localmente. Este mecanismo permite que la multiplexación sea síncrona. En esta jerarquía es necesario que los procesos STM-1 sean síncronos y estén en fase entre sí.

La carga transportada por las señales síncronas no tiene una relación de fase predefinida con respecto al espacio de carga en que es transportada. Los bytes son copiados hacia adelante a medida que van llegando al multiplexor. La alineación se garantiza por el cálculo de un nuevo valor de puntero. El cambio del valor de los punteros corrige desfases acumulados por las diferencias instantáneas de velocidades.

El multiplexor STM-N intercala los bytes de los N procesos STM-1, locales, síncronos y en fase, y los transmite a una velocidad N veces más alta. El procesamiento de las señales no es a la velocidad de línea, sino a STM-1.

La cabecera de una trama STM-N es N veces mayor que la cabecera de la trama STM-1, aunque sólo se utilizan los canales de servicio correspondientes a la primera de las N tramas multiplexadas. El resto de los bytes de las N-1 tramas quedan libres.

### **2.1.3.2 Estructura de multiplexación síncrona (ETSI)**

En este apartado se verá como se consigue la trama STM-N de la Jerarquía Digital Síncrona a partir de señales plesiócronas y flujos ATM. La figura 2.11 muestra la representación de la estructura de multiplexación de SDH de acuerdo con las Recomendaciones G.707 de la ITU-T, GR.253 de Bellcore y T1.105 de ANSI. [2].



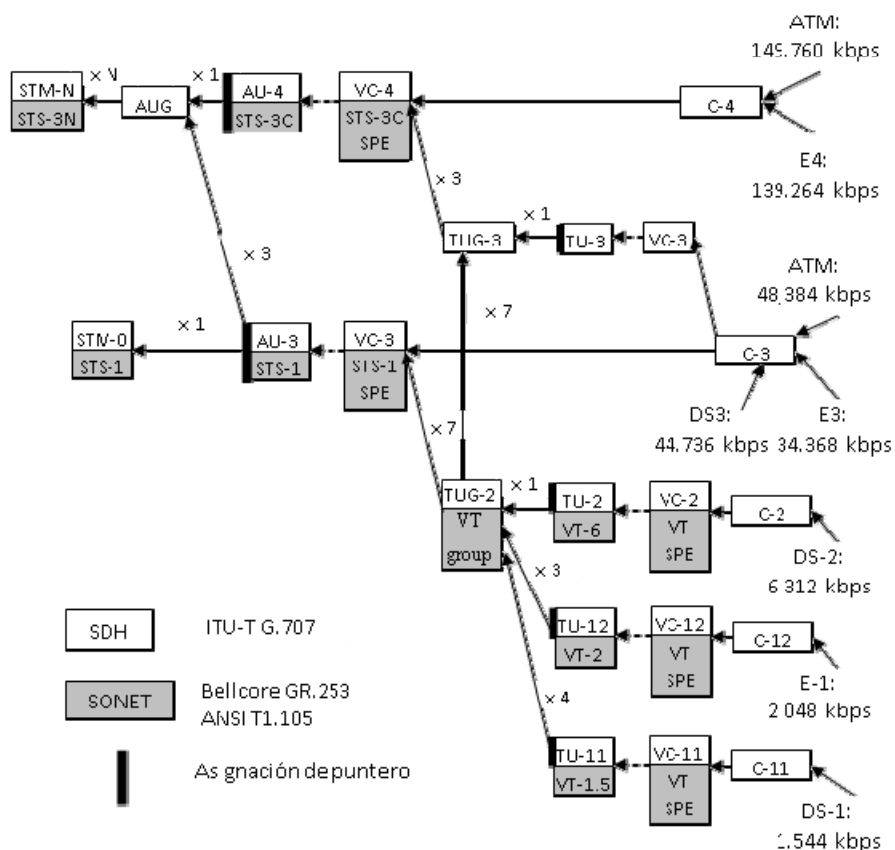


Figura 2.11: Estructura de multiplexación SDH/SONET

Las tramas plesiócronas y los flujos ATM se asignan a los contenedores (C) que transportan la carga útil. Añadiéndoles una cabecera de trayecto POH (Path Overhead) se consiguen los contenedores virtuales VC (Virtual Container).

Las subtramas síncronas son conjuntos de bytes situados en posiciones definidas de la trama de línea, pero no son interfaces físicas, puesto que en SDH no hay interfaces eléctricos u ópticos a velocidades inferiores a 155 Mbps. De ahí proviene la denominación de virtual para estas tramas. Un contenedor virtual contiene secuencias binarias a las velocidades PDH, canales  $n \times 64$  kbps directamente o células ATM.

En el caso de que el espacio de carga de un contenedor virtual transporte una carga PDH, este espacio se denomina contenedor. El espacio de carga podría transportar también contenedores virtuales más pequeños, subdividido en unidades tributarias. Por último, el espacio de carga se puede dividir en intervalos de 53 bytes para transportar células ATM.

En SDH se usa el término unidad para designar un grupo de bytes en posiciones fijas y conocidas dentro de una trama o subtrama SDH para transportar un contenedor virtual. Una unidad administrativa (AU, Administrative Unit) es una subdivisión del espacio de carga de la trama de línea, mientras que una unidad tributaria (TU, Tributary Unit) es una subdivisión del espacio de carga de un contenedor virtual. En la jerarquía ETSI sólo el contenedor virtual de 4º orden (VC4) puede contener unidades tributarias.

Al subdividir el espacio de carga de una trama se consigue un grupo de unidades administrativas (AUG) o tributarias (TUG). Los grupos de unidades tributarias se pueden seguir subdividiendo en otros grupos si van a transportar contenedores virtuales más pequeños. Las unidades administrativas y tributarias poseen un puntero que se encuentra en una posición fija, que indica a que distancia del inicio del área de carga se encuentra el primer byte del contenedor virtual. Como el proceso es continuo, y como el contenedor virtual cabe exactamente en el área de carga de la unidad, el valor del puntero será constante, si no ocurre una justificación.

En caso de que ocurra una justificación negativa, cada unidad posee una posición extra dentro del área de punteros. En esta posición se envía uno o tres bytes extras de carga, corrigiendo un desfase positivo. Para la justificación positiva se usa la posición cero para dejar de contener carga útil.

Un multiplexor debe alinearse con el contenedor virtual de alto orden para reconocer las unidades tributarias en que el contenedor virtual se subdivide.

En la figura 2.12 se representa la metodología de estructuración adoptada por la ETSI. Dentro de la trama STM-1 existe una unidad administrativa de 4º orden (AU-4) y su correspondiente puntero. La AU-4 transporta un contenedor virtual de 4º orden (VC-4). El área de carga del VC-4 puede transportar una señal PDH de 140 Mbps (E4) o tres TUG-3 (grupos de unidades tributarias de 3º orden), dividiendo el VC-4 en tres espacios de carga iguales intercalados byte a byte.

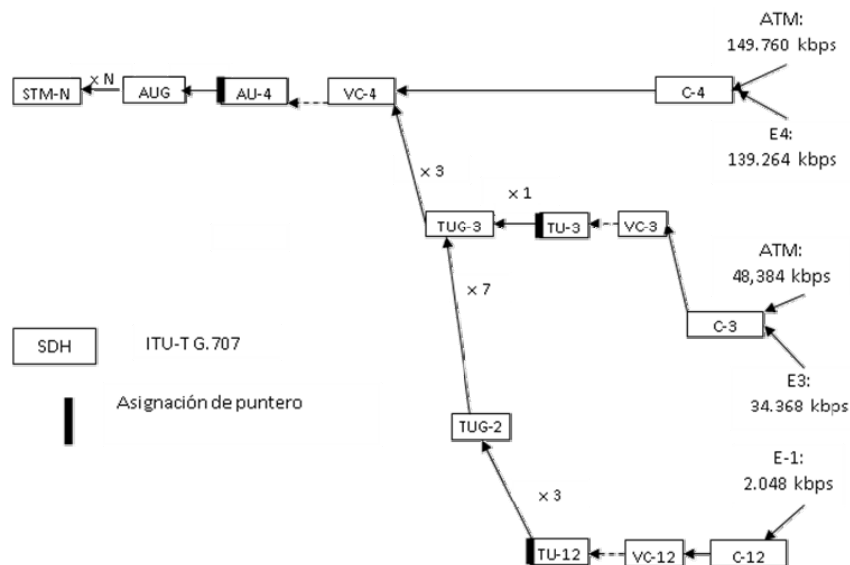


Figura 2.12: Estructuración ETSI

Cada TUG-3 puede ser designado como una unidad tributaria de 3<sup>º</sup> orden (TU-3) capaz de contener una trama tributaria de 3<sup>º</sup> orden (VC-3), que puede transportar una señal PDH de 34 o 45 Mbps. La TU-3 tiene un puntero que indica en que bytes del espacio de carga se encuentra el inicio del VC-3.

El TUG-3 se puede seguir subdividiendo en 7 TUG-2 y cada una de ellas en 3 TU-12. Así en la representación ETSI un TUG-3 se puede dividir en 21 unidades tributarias de primer orden / segunda velocidad (TU-12), intercaladas byte a byte. Cada una de las TU-12 posee un puntero que indica en que posición del espacio de carga comienza la trama tributaria (VC-12). El VC-12 es una trama con capacidad para recibir una señal PDH de 2048 kbps (C2) o canales individuales de  $n \times 64$  kbps.

### 2.1.3.3 Cabeceras de sección.

En la figura 2.7 donde se representa la estructura básica de la trama STM-1 se distinguían las cabeceras de sección de regeneradores (RSOH) y de multiplexación (MSOH). La cabecera de sección (SOH, Section Overhead) se añade al espacio de carga para crear una señal STM-N, e incluye información sobre el entramado de bloques e información para tareas de mantenimiento, monitorización de calidad y otras funciones adicionales.

Se define sección como el tramo dentro de un trayecto en el que se mantiene la integridad de la carga de la señal síncrona de línea, es decir, sólo las cabeceras dentro de la señal de línea pueden ser cambiadas en una sección pero nunca el área de carga.

La cabecera se puede dividir en RSOH que proporciona información en los regeneradores y MSOH que pasa de forma transparente por los regeneradores y termina donde se ensamblan y desensamblan los AUGs.

La sección de regeneradores está constituida por enlaces entre elementos que no extraen ni insertan carga, siendo su función la de reponer la señal para que en el otro extremo del trayecto llegue correctamente. Todos los equipos de una red SDH tienen acceso a la RSOH. Esta cabecera consta de 27 bytes como se ve en la figura 2.13.

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	X*	X*
B1	Ä	Ä	E1	Ä		F1	X	X
D1	Ä	Ä	D2	Ä		D3		

- Los bytes X son para uso nacional
- Los bytes \* no están aleatorizados
- Los bytes Ä dependen del medio
- Los bytes sin marcar pendientes de futura estandarización

Figura 2.13: Cabecera de sección regeneradora (RSOH)

Los bytes A1 y A2 son fijos y contienen la palabra de alineación de trama. Los valores en hexadecimal son F6 y 28 respectivamente, y se repiten 3 veces cada una para garantizar la compatibilidad con SONET.

El byte J0 se usa para transmitir de forma continua una traza de sección de regeneradores, es decir, un identificador de punto de acceso al servicio (SAPI, Service Access Point Identifier) que permite al receptor de la RSOH verificar la continuidad de su conexión con el transmisor.

El byte B1, byte de paridad intercalada (BIP-8), contiene el resultado del cálculo de paridad vertical efectuado por la unidad de línea para la trama anterior. Con este método se monitorizan errores de la sección de regeneradores. Los bits individuales de B1 son tales que sumando la cantidad de bits iguales a 1 de cada una de las posiciones individuales de los bytes de la trama, incluyendo el bit correspondiente del byte B1, resulte una cantidad par de unos para cada posición.

El byte E1 se puede usar como canal de órdenes para comunicaciones de voz, pudiendo ser accesible por todos los elementos de red. El byte F1 constituye un canal de usuario para aplicaciones especiales. Mediante este canal se pueden realizar conexiones de voz entre los equipos de la red. Los canales de servicio digitales D1 a D3 configuran un único canal de 192 kbps, disponible en una interfaz V.11 en todos los elementos de red.

B2	B2	B2	K1			K2		
D4			D5			D6		
D7			D8			D9		
D10			D11			D12		
S1					M1	E2	X	X

• Los bytes X son para uso nacional  
 • Los bytes sin marcar pendientes de futura estandarización

Figura 2.14: Cabecera de sección de multiplexación (MSOH)

La sección de multiplexación, como se ve en la figura 2.14, se compone por elementos de red que pueden insertar y extraer carga de la señal de transporte, así como asociar varias señales de transporte en otra jerarquía mayor.

Los canales de servicio digitales D4 a D12 forman un canal de servicio de 576 kbps accesible a través de un interfaz v.11 en los multiplexores. Estos canales permiten la comunicación entre los equipos de la red y que la gestión de los equipos pueda hacerse de forma remota.

El byte k1 y los bits del 1 al 5 del byte k2 sirven para el control de la conmutación de protección automática (APS, Automatic Protection Switch) de la sección de multiplexación. Los bits 6 a 8 del byte k2 se utilizan para indicar la existencia de defectos remotos en la sección de multiplexación (MS-RDI). Mediante estos bits el receptor indica al multiplexor transmisor que ha detectado un defecto en la recepción o está recibiendo una SIA (Señal de indicación de alarma) o MS-AIS (Multiplex Section Alarm Indication Signal).

Los bytes B2 son asignados para funciones de monitorización de errores de la sección de multiplexación. Se implementa una función denominada código de paridad intercalada de bit 24 mediante paridad par (BIP-24, Bit Interleaved Parity). El cálculo es similar al usado

para hallar el valor de B1 en la RSOH, pero tomando los bytes de la trama de 3 en 3. Como el contenido de las tres primeras líneas de la cabecera puede ser alterado por los regeneradores intermedios, y B2 sólo se calcula en los extremos de la sección, al calcular B2 el procesador STM-1 no usa los bytes de la RSOH.

Los bits 5 a 8 del byte S1 proporcionan información sobre el estado de sincronización, de acuerdo con los cuatro niveles de sincronización acordados por la ITU-T. En las redes SDH la información de temporización es transportada por la señal de línea, que es generada por el reloj local del nodo transmisor enganchado a alguna referencia. Un nodo puede generar hacia una salida una señal de reloj que servirá de referencia de reloj a otros equipos de la red.

<b>BITS 5 a 8 de S1</b>	<b>Descripción del nivel de calidad de la sincronización</b>
0000	Calidad desconocida
0001	Reservado
0010	ITU-T G.811 (primario)
0011	Reservado
0100	ITU-T G.812 tránsito (TNC)
0101	Reservado
0110	Reservado
0111	Reservado
1000	ITU-T G.812 local (LNC)
1001	Reservado
1010	Reservado
1011	SETS (Synchronous Equipment Timing Source)
1100	Reservado
1101	Reservado
1110	Reservado
1111	No utilizar para sincronización (DNU)

Figura 2.15: Información de sincronismo

En la figura 2.15 se observa la tabla que representa el contenido de estos bits. El valor define la calidad y el estado de sincronización de un nodo que genera una señal STM-N. El

algoritmo que genera el valor S1 y que permite que un receptor detecte la calidad se llama SSM (Synchronization Status Message).

El byte S1 define la calidad del reloj usado para generar la señal de línea STM-N, pudiendo ser ITU-T G.811 (reloj primario de referencia de una red), ITU-T G.812 TNC (reloj de nodo de tránsito), ITU-T G.812 LNC (reloj de nodo local) o SETS (reloj propio del equipo síncrono).

El byte M1 se usa para indicar al extremo transmisor la recepción de bloques con errores por el proceso BIP-24 (MS-REI). Para señales de línea STM-N, M1 contiene el número de bloques de bit intercalados, en el rango 0 a 255, que han sido detectados con error por el proceso BIP-24×N. Así para una señal STM1 el byte M1 indicará de 0 a 24 violaciones BIP. Para una señal STM-4 puede haber hasta 96 violaciones. Para velocidades de línea de 2.5 Gbps o superiores el valor calculado será truncado a 255.

El byte E2 representa un canal de servicio analógico extremo a extremo entre secciones de multiplexación.

#### **2.1.3.4 Cabeceras de trayecto.**

Se define el trayecto como el tramo comprendido entre puntos de ensamblado y desensamblado de contenedores virtuales dentro de la red de transporte. Existen dos tipos de trayecto el de alto orden (HO-P, High Order Path) donde varias cargas viajan juntas por la red, separándose en algún punto y uniéndose con otras, y el trayecto de bajo orden (LO-P, Low Order Path) que se asocia a cargas individuales que viajan por la red desde que entran hasta que salen de la misma.

Relacionado con este concepto surgen las cabeceras de trayecto de contenedor virtual (VC-POH, Virtual Container Path Overhead) que proporciona integridad de comunicación entre los puntos de ensamblado y desensamblado de contenedores virtuales.

Las cabeceras de trayecto se clasifican en de alto orden HOVC-POH (Higher Order Virtual Container Path Overhead) para VC-4 y VC-3, y las de bajo orden LOVC-POH (Lower Order Virtual Container Path Overhead) para VC-3, VC-2, VC-1, VC-12 y VC-11.

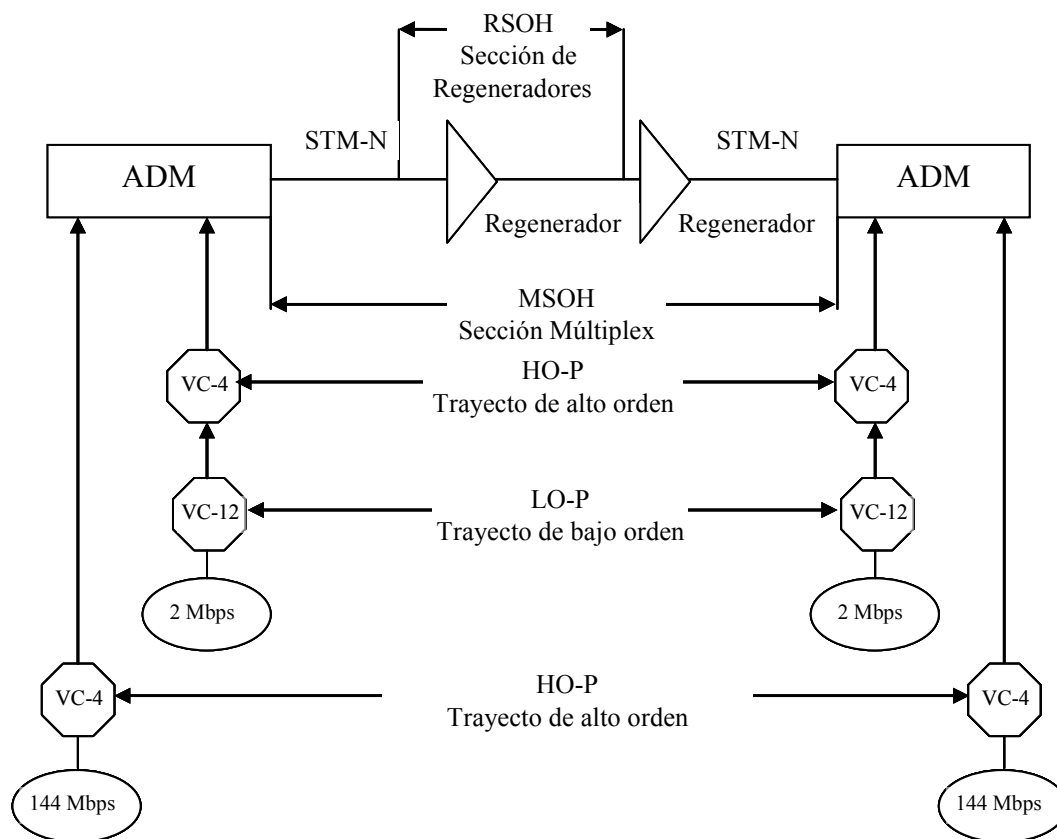


Figura 2.16: Secciones y trayectos

La figura 2.16 muestra dos ADMs (Add & Drop Multiplexers) síncronos unidos por dos regeneradores. Se distinguen las secciones y trayectos involucrados en la red.

El contenedor virtual de 4º orden está compuesto por 2349 bytes, de los cuáles 9 forman su cabecera y el resto de los bytes el espacio de carga.

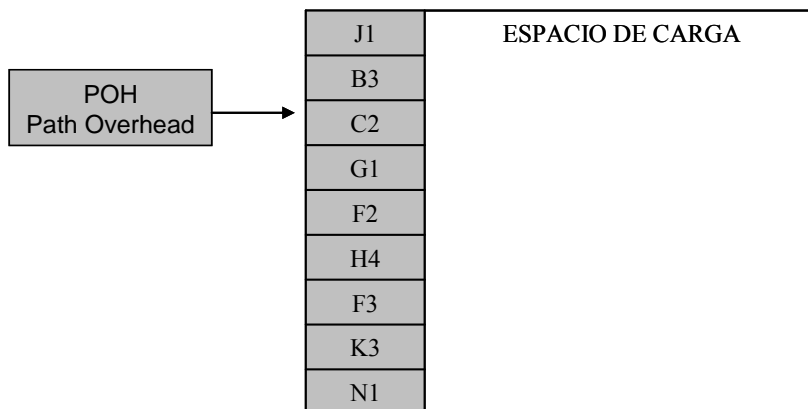


Figura 2.17: Contenedor virtual de cuarto orden



La capacidad del área de carga del VC-4 es de 149,76 Mbps. La diferencia entre la capacidad de carga del C-4 y la señal PDH transportada (140 Mbps) será ocupada con los bits de la cabecera y de relleno.

La posición del byte J1 es indicada por el puntero asociado AU-3 o AU-4, o por el puntero TU-3, dependiendo de cómo esté estructurada la señal de línea. Este byte se usa para la etiqueta de trayecto de alto orden. En este byte se transmite de forma continua un identificador de punto de acceso al servicio, que permite que el receptor pueda verificar la conexión con el transmisor. El identificador puede constar de 64 bytes si se trabaja en un mismo operador o en una red nacional, o 16 bytes de acuerdo con la recomendación G.831 de la ITU-T, en fronteras internacionales o en las fronteras entre redes de distintos operadores.

El byte B3 se usa para almacenar el cálculo del proceso BIP-8, de forma similar al cálculo del byte B1, pero sólo considerando los bytes contenidos en el VC-4. Se usa para comprobar la tasa de bloques erróneos entre extremos de un trayecto VC-4.

El byte C2 representa la etiqueta de señal. Indica la composición o estados de mantenimiento del contenedor virtual de alto orden. El contenido de este byte aparece en la tabla de la figura 2.18.

<b>BITS 1 a 8 de C2</b>	<b>Interpretación</b>
00000000	Si equipar o sin equipar supervisado
00000001	Equipado no específico
00000010	Estructura TUG
00000011	Estructura TU-n enganchado
00000100	Mapping asíncrono de 34 Mbps o 45 Mbps en C3
00010010	Mapping asíncrono de 140 Mbps en C4
00010011	Mapping ATM
00010100	Mapping MAN (DQDB)
00010101	Mapping FDDI
11111110	Señal de prueba O.181 (Mapping específico)
11111111	VC-AIS

Figura 2.18: Byte C2

Los cuatro primeros bits de G1 indican el número de bits de BIP-8 tienen error. El bit 5 de G1 representa la indicación de defecto remoto en el trayecto de alto orden (HP-RDI, Higher Order Path Remote Defect Indication), indicando defectos de conectividad y servidores. En el apéndice VII de la recomendación G.707 de la ITU-T se da una indicación de defecto remoto extendida, en la que se diferencia el defecto remoto de carga (LCD, Loss of Cell Delineation), defectos de servidor (AIS: Alarm Indication Signal, LOP: Loss of Pointer) y defectos remotos de conectividad (TIM: Trace Identifier Mismatch, UNEQ: Unequipped).

Los bytes F2 y F3 se destinan a la comunicación de usuario entre elementos de trayecto y dependen de la carga que transporte el contenedor virtual de alto orden. El byte N1 proporciona la funcionalidad de monitorización de conexiones tándem (TCM, Tandem Connection Monitoring). Los cuatro primeros bytes de K3 están destinados al canal de conmutación de protección automática en los niveles de trayecto de alto orden. Por último, el byte H4 es usado para sincronización de multitrama cuando el VC-4 contiene unidades tributarias bajas y para el sincronismo de la señalización asociada a canal en ciertos tipos de asignación.

El POH de contenedores virtuales de bajo orden consiste en cuatro bytes que se repiten 2000 veces por segundo. Cada bloque del VC-12 consiste de 35 bytes. El primer byte es el de la cabecera POH. Hay 32 bytes de información y 2 bytes de relleno. Uno de los bits de los bytes de relleno se usa para justificación negativa de una carga de 2048 kbps y para la justificación positiva se uso uno de los bits de los 32 bytes de información. La LP-POH consiste en 4 bytes V5, J2, Z6 y K4.

La posición indicada por el puntero TU-12 es la ocupada por el byte V5, y se considera el inicio del VC-12. Este byte proporciona funciones de comprobación de errores, etiquetado de señal e indicación de estado de los trayectos de bajo orden.

Los dos primeros bits de V5 se usan para monitorizar errores BIP-2. El bit 1 valdrá 1 si la paridad de los bits impares de todos los bytes del VC-12 anterior es par, mientras que el bit 2 adopta un valor 1 si la paridad de los bits pares de todos los bytes del VC-12 anterior es par. Cualquier error se indica en el bit 3 de V5, LP-REI. El cuarto bit indica está definido como indicación de fallo remoto, LP-RFI. Mientras un defecto indica una SIA o una con-

dición de fallo momentáneo, el LP-RFI indica un defecto que permanece más tiempo que el asignado a los mecanismos de protección del sistema.

Los bits 5 a 7 de V5 proporcionan la etiqueta de trayecto, indicando si el trayecto está equipado y el tipo de carga contenida dentro del VC (asignación byte síncrono o asíncrona).

El último bit de V5 se asigna a la indicación de defecto remoto en el trayecto de bajo orden. Este bit no indica defectos de adaptación ni defectos remotos de carga, sólo defectos de servidor y conectividad. Como en el trayecto de alto orden existe una indicación de defecto remoto extendida, usando los bits 5 a 7 de K4. En el apéndice VII de la recomendación G.707 de la ITU-T se da una indicación de defecto remoto extendida, en la que se diferencia el defecto remoto de carga (LCD, Loss of Cell Delineation), defectos de servidor (AIS: Alarm Indication Signal, LOP: Loss of Pointer) y defectos remotos de conectividad (TIM: Trace Identifier Mismatch, UNEQ: Unequipped). El significado de los bits 5 a 7 de K4 es igual que el reflejado en la figura 2.18.

El byte J2 tiene una función similar al J1 pero para el trayecto de bajo orden, así se usa como identificador de trayecto. El byte N2 tiene la funcionalidad de monitorización conexiones tándem. Los bits 1 al 4 de K4 forman un canal para conmutación de protección automática.

## **2.2 Multiplexación Densa en Longitud de Onda (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM).**

Hoy en día una de las mayores preocupaciones de la industria de las telecomunicaciones es la constante demanda de mayor ancho de banda por parte de los usuarios y de las aplicaciones existentes. Esta demanda viene apoyada por tres aspectos. En primer lugar, el aumento de la competencia en el sector de las telecomunicaciones. Hoy en día, la operadora de telecomunicaciones que quiera ser competitiva, debe ofertar mayor ancho de banda para conseguir mejor cuota de mercado. El segundo aspecto a tener en cuenta es la disponibili-

dad de las operadoras de garantizar el servicio a los clientes. La duplicidad de rutas para ofertar un servicio más robusto requerirá un aumento de los anchos de banda necesarios. En último lugar se encuentran las nuevas aplicaciones y las tecnologías como Frame Relay y ATM, que requieren una mayor capacidad.

Antes del surgir de las redes ópticas la reducida disponibilidad de las fibras se convirtió en un problema para los proveedores de red. Sin embargo, con el desarrollo de las redes ópticas y el uso de la tecnología DWDM, se ha abierto la posibilidad para los proveedores de servicio de soportar la ingente demanda de ancho de banda. Se trata de encontrar una red escalable e inteligente en el dominio óptico, que combine la capacidad funcional e inteligencia de las tecnologías SDH/SONET, el tremendo ancho de banda aportado por la tecnología DWDM y las innovaciones software en redes para conseguir productos relacionados con el manejo, la conmutación y el transporte óptico.

Las redes ópticas son redes de telecomunicaciones de alta capacidad basadas en componentes y tecnologías ópticas, que proporcionan la capacidad de enrutamiento, agrupamiento y restauración en el dominio de la longitud de onda, y servicios basados en la longitud de onda.

El origen de las redes ópticas está unido a la tecnología de multiplexación por división de longitud de onda, conocida por WDM (Wavelength Division Multiplexing), que aumenta la capacidad de llevar tráfico de las fibras ópticas. El nivel óptico es transparente para las tecnologías SDH y SONET, y proporcionará los mecanismos de restauración, monitorización de las prestaciones y provisión de las longitudes de onda individuales en lugar de las señales eléctricas tradicionalmente usadas. Todos estos factores conducirán a una reducción de los elementos de las redes existentes y del equipamiento eléctrico empleado.

Las redes existentes se pueden encuadrar dentro de tres generaciones dependiendo de la tecnología de nivel físico empleada.

La primera generación se fundamenta en el uso de las tecnologías basadas en cobre o microondas, por ejemplo ethernet o satélite. La segunda generación de redes se caracteriza por el uso de la fibra óptica, donde la conmutación de datos se hace en el dominio eléctrico mientras que la transmisión se realiza en el dominio óptico. Por último, la tercera generación de redes emplea la tecnología WDM, con una conmutación y transmisión en el domi-

nio de la óptica. Esto da como resultado un aumento del ancho de banda disponible de la red.

DWDM [6] es una técnica de transmisión por fibra óptica. Esta tecnología incluye los procesos para multiplexar múltiples señales en longitudes de onda diferentes dentro de una misma fibra. Cada fibra tiene un conjunto de canales ópticos paralelos que usan diferentes longitud de onda. Emplea las longitudes de onda de la luz para transmitir datos bit a bit en paralelo o carácter a carácter en serie.

DWDM es un componente crucial en las redes ópticas que permite la transmisión de datos, bien sea voz, video sobre IP, ATM y SDH/SONET sobre la capa óptica.

### **2.2.1 Desarrollo de la tecnología DWDM**

Los primeros sistemas DWDM [6] empezaron a finales de los ochenta usando dos longitudes de onda anchamente espaciadas en las regiones de 1310 nm y 1550 nm (o las regiones de 850 nm y 1310 nm). Estos sistemas DWDM se llamaban de banda ancha.

A principio de los noventa surgió la segunda generación de WDM, también llamada de banda estrecha donde se usaban de 2 a 8 canales. Estos canales estaban espaciados en un intervalo próximo a 400 GHz en la ventana de 1550 nm.

A mediados de los años noventa, los sistemas DWDM aparecieron, aglutinando 16 y 40 canales con un espaciamiento de 100 a 200 GHz.

Actualmente los sistemas DWDM se han desarrollado siendo capaces de manejar de 64 a 160 canales en paralelo, densamente empaquetados en intervalos de 50 e incluso 25 GHz. La progresión de la tecnología puede ser vista en el incremento del número de longitudes de onda acompañado con una disminución en el espaciamiento entre las longitudes de onda.

### **2.2.2 Sistema DWDM.**

DWDM viene del inglés Dense Wavelength Division Multiplexing, que traducido significa Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda. Se trata de una tecnología que permite introducir datos de diferentes fuentes en una fibra óptica, en la que la señal de cada fuente viaja en una frecuencia de onda distinta y separada de las demás. Lo más importante

de todo ello estriba en que con el sistema DWDM se puede usar hasta ochenta (teóricamente más) canales virtuales que pueden ser multiplexados en rayos de luz que se transmiten por la misma fibra óptica. Por tanto, el rendimiento de una sola fibra que ya está trabajando con otro sistema, por ejemplo SDH, se puede multiplicar con un mínimo coste. Este sistema permite que cada canal transporte 2.5 Gbps (STM16), y haciendo circular 80 canales por la misma fibra, ésta puede transportar 200 Gbps.

En el extremo opuesto del cable los canales son demultiplexados hasta adquirir sus características originales, por lo tanto se pueden transmitir simultáneamente diferentes tipos de datos y además con diferentes velocidades.

La figura 2.19 muestra la estructura de un sistema típico DWDM.

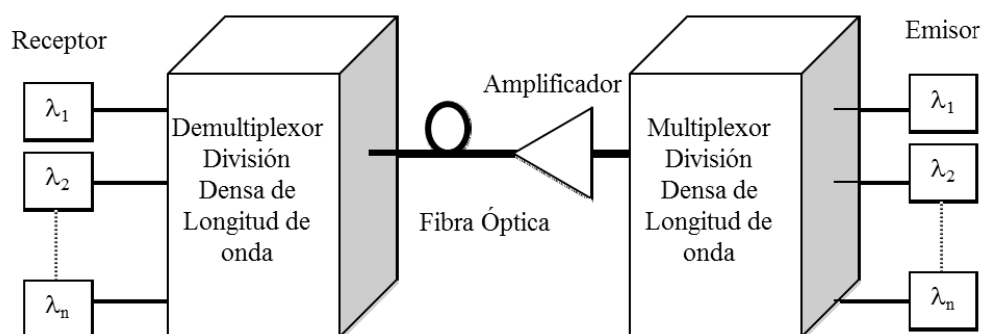


Figura 2.19: Sistema típico DWDM

Los componentes más importantes de un sistema DWDM son los transmisores y receptores, los amplificadores, los multiplexores y demultiplexores DWDM.

El sistema realiza las siguientes funciones:

- Generación de la señal: La fuente, un láser en estado sólido, debe proporcionar luz estable dentro de un específico ancho de banda que lleva los datos digitales, modulados como una señal analógica.
- Combinación de señales: Los sistemas DWDM modernos emplean multiplexores para combinar las señales. Existen pérdidas inherentes asociadas con la multiplexión y la demultiplexión. Estas pérdidas dependen del número de canales pero se pueden mitigar con el uso de amplificadores ópticos que amplifican todas las longitudes de onda a la vez, sin necesidad de una conversión eléctrica.

- Transmisión de las señales: Los efectos de crosstalk y degradación de señales ópticas o pérdidas deben ser considerados a la hora de estudiar la transmisión por fibra óptica. Estos efectos pueden ser minimizados mediante el control de ciertos parámetros de la transmisión, tales como el espaciamiento entre canales, la tolerancia de las longitudes de onda ( $\lambda$ ) y los niveles de potencia del láser. Sobre un enlace de transmisión la señal podría necesitar ser amplificada.
- Separación de las señales recibidas: En el extremo receptor se deben separar las señales multiplexadas por el emisor.
- Recepción de señales: La señal demultiplexada es recibida por un fotodetector.

Además, un sistema DWDM debe también ser equipado con interfaces de lado cliente para recibir las señales de entrada. Esta función es realizada por un transponder.

En el apartado 2.2.5 se tratará con más detalles algunos de los componentes de un sistema DWDM.

### **2.2.3 Principios de la transmisión óptica.**

El sistema DWDM tiene un importante nivel de funcionamiento basado en la fotónica, que es responsable de la transmisión de los datos a través de la red. En esta sección se explicarán algunos principios básicos concernientes a la transmisión óptica [7].

La separación mínima de frecuencia entre dos señales multiplexadas diferentes se conoce como espaciamiento entre canales (channel spacing). El mismo espaciamiento es el existente entre las longitudes de onda. Los factores que controlan el espaciamiento son el ancho de banda del amplificador óptico y la capacidad del receptor para identificar dos canales con longitudes de onda próximas. Estos factores fijan el límite inferior del espaciamiento entre canales.

Una fibra óptica permite transmisiones en ambas direcciones. Basado en esta característica un sistema DWDM puede ser implementado de dos formas:

- Unidireccional: Todas las longitudes de onda viajan en la misma dirección dentro de la fibra. Este hecho fuerza a que otra fibra en paralelo soporte la transmisión en la otra dirección.

- Bidireccional: Los canales dentro de la fibra se dividen en dos bandas separadas. Cada banda transmite una dirección. De esta forma se utilizan menos fibras pero se reduce la capacidad de transmisión de la fibra.

El procedimiento de detectar si una señal alcanza el destino correcto en el extremo remoto se conoce como trazo de señal. Este método permite seguir las señales luminosas a través de toda la red. Se puede conseguir añadiendo información adicional en cada longitud de onda, usando un receptor eléctrico para extraer esa información de la red e inspeccionar los errores. El receptor reporta el trazo de la señal al transmisor.

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores, los organismos internacionales han establecido un espaciamiento de 100 GHz como estándar para DWDM. Esto significa que la frecuencia de una señal es menor que las otras al menos en 0.1 THz.

Lo que motiva el uso de sistemas ópticos multicanales es el enorme ancho de banda disponible en las fibras ópticas, que permite modular en banda base una portadora óptica en 25 THz, viniendo la limitación impuesta por los dispositivos ópticos existentes en el mercado.

#### **2.2.4 Multiplexación densa por longitud de onda.**

Enfrentados a la necesidad de conseguir más capacidad de transporte, los proveedores pueden optar por tres soluciones. En primer lugar, se podrían instalar nuevas fibras. Esta solución implica la instalación de nuevos equipos de transmisión y afrontar el coste de las obras de infraestructura necesarias para la tirada de las nuevas fibras. Con esta opción se aumentaría la capacidad de la red en 2.5 Gbps o 10 Gbps, dependiendo del equipamiento y la calidad de las fibras instaladas, pero no se aprovechará todo el ancho de banda ofrecido por las fibras.

En segundo lugar se plantea el uso de sistemas TDM (multiplexación por división en el tiempo) de mayor velocidad. Para conseguir canales de 100 Gbps es necesario combinar muchas señales de menor velocidad debido a que pocas aplicaciones hoy en día utilizan ese gran ancho de banda. En la figura 2.20 se muestra el esquema básico de TDM.



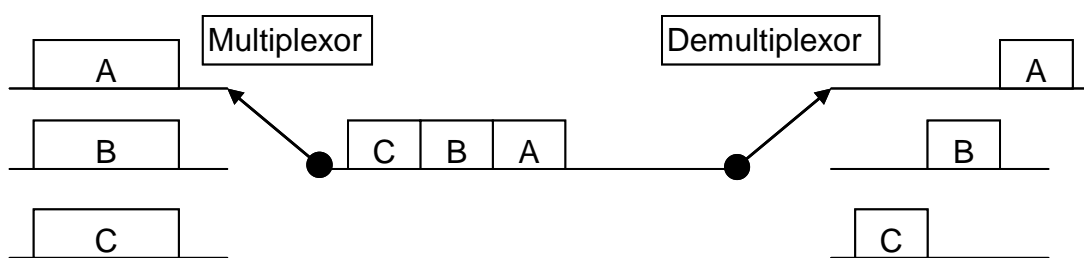


Figura 2.20: Esquema básico TDM

Los canales de menor velocidad se multiplexan juntos en el tiempo para formar un canal de mayor velocidad. La multiplexación por división en el tiempo (TDM) es el principal método de multiplexación utilizado hoy en día, y es el empleado tanto por SDH como por SONET. Esta multiplexación se puede realizar tanto en el dominio eléctrico como en el óptico. Los equipos que manejan velocidades STM-64 / OC-192 (10 Gbps) pueden ser una solución para los proveedores que buscan aprovechar de forma más óptima la capacidad de las fibras. La mayoría de las redes existentes utilizan fibras de modo único (SMF) que presentan alta dispersión en la ventana de 1550 nm, dificultando la transmisión STM-64. La dispersión tiene 16 veces más efecto sobre equipos STM-64 que STM-16. Si se quieren usar equipos STM-64 será necesario aplicar algún método que compense la dispersión de la fibra, o usar fibras que desplacen la dispersión (NZDSF), que son un 50% más caras que las SMF. La mayor potencia de transmisión unida a la mayor velocidad de bits hace que aparezcan efectos ópticos no lineales que degradan la calidad de la forma de onda. Los efectos de la dispersión del modo de polarización llegan a ser significativos cuando la velocidad de transmisión se incrementa, disminuyendo las distancias que se pueden alcanzar. En sistemas STM-64 se pueden alcanzar distancias de 70 Kms.

Con este método no se puede aprovechar todo el ancho de banda disponible de la fibra debido a la limitación de velocidad que imponen los equipos multiplexores/demultiplexores. El equipamiento existente en el mercado permite multiplexar hasta velocidades de línea de 10 Gbps (STM64).

Una tercera solución para aprovechar más el ancho de banda disponible de las fibras es el uso de la multiplexación por división de longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing). Adoptando esta solución, no es necesario el cambio de las fibras existentes pero sí se necesitará la instalación de nuevos equipos o tarjetas en el equipamiento ya existente en la red de transporte. Un sistema de 16 canales soporta 40 Gbps en cada dirección

sobre un par de fibras, mientras que un sistema de 40 canales alcanza los 100 Gbps, que aumenta considerablemente la capacidad alcanzada con los equipos STM-64.

En DWDM varios canales modulados en banda base se transmiten a lo largo de una fibra, pero localizando cada canal en una longitud de onda diferente. Cada uno de los  $N$  láseres con  $\lambda$  distinta está operando a velocidades de pocos Gbps, pero el sistema agregado transmite a  $N$  veces la velocidad individual de los láseres. Los canales se separan en diferentes longitudes de onda para evitar interferencias cuando son multiplexados o demultiplexados en una fibra óptica no ideal. Cada canal se puede insertar y extraer de forma independiente en la red usando filtros selectivos en longitud de onda. En la figura 2.21 se muestra el esquema de la multiplexación DWDM.

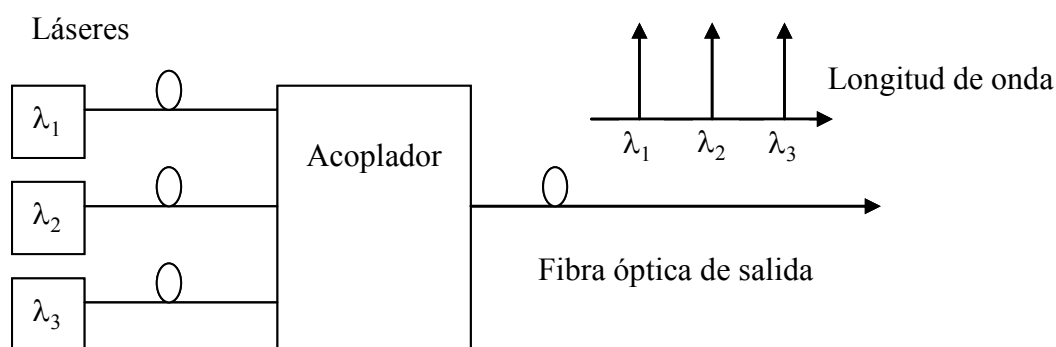


Figura 2.21: Multiplexación DWDM

DWDM permite usar gran parte del ancho de banda ofrecido por la fibra óptica, aunque el equipamiento existente limita el aprovechamiento del ancho de banda total. Hay que destacar que cada canal DWDM puede estar formado por otros canales multiplexados a menor velocidad.

En un sistema DWDM simple, como el de la figura 2.22, cada láser emite luz con una diferente  $\lambda$ , y todos los láseres se multiplexan juntos en una única fibra. En el extremo receptor la señal óptica combinada debe ser demultiplexada, distribuyendo la potencia óptica total a cada puerto de salida, siendo el receptor selectivo quien recupera la longitud de onda que le corresponde mediante el uso de un filtro óptico ajustable. Cada láser es modulado a una velocidad determinada, y la capacidad agregada total que es transmitida por el ancho de banda de la fibra, es la suma total de las velocidades de cada láser.

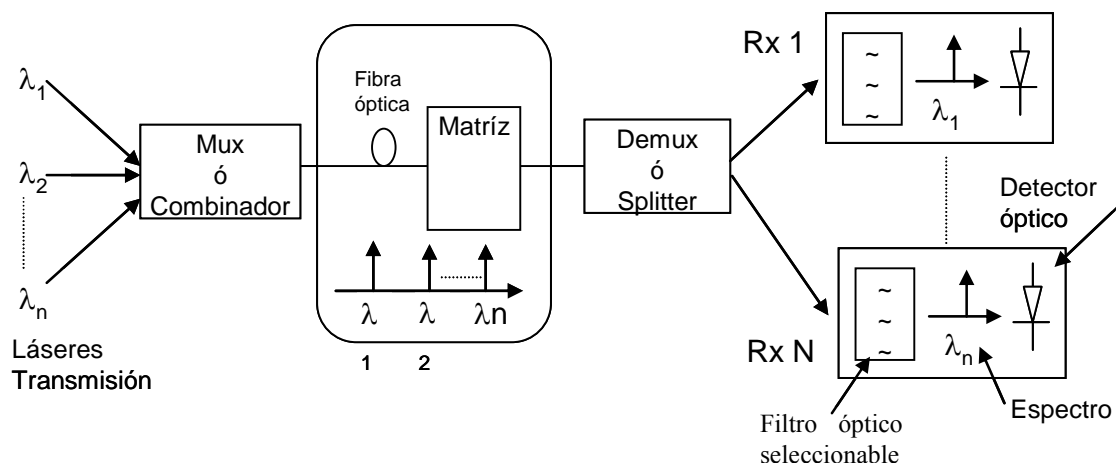


Figura 2.22: Sistema simple DWDM

El concepto de multiplexación en longitud de onda mediante el uso de filtros ópticos se ve en la figura 2.23. Se introducen cuatro canales en un filtro óptico que tiene una función de filtrado no ideal. El pico del filtro de transmisión se centra sobre el canal deseado, en el caso de la figura sobre  $\lambda_3$ , y por consiguiente transmitiendo ese canal y bloqueando los otros. Debido a la función de transmisión no ideal del filtro, algunas potencias ópticas de los canales adyacentes fluyen a través del filtro, pudiendo causar interferencias. Este efecto reduce la calidad de la señal filtrada, pudiendo minimizarse aumentando el espaciamiento entre canales. Aunque no existe una definición estándar, se suele definir el espaciamiento entre canales aproximadamente de 10 nm en DWDM.

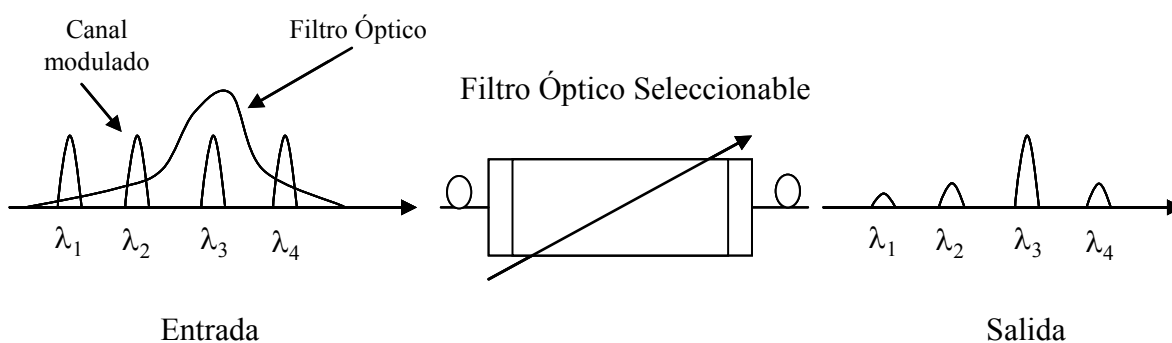


Figura 2.23: Filtro óptico

## 2.2.5 Componentes de un sistema DWDM.

### 2.2.5.1 Fuentes de luz.

Los emisores y detectores de luz son dispositivos activos que se ubican en los lados extremos de un sistema de transmisión óptica. Las fuentes de luz son dispositivos en el lado de transmisión que convierten señales eléctricas en pulsos de luz. Esta conversión, o modulación, se puede conseguir mediante la modulación externa de una onda de luz continua o mediante un dispositivo que genere localmente la luz modulada.

Los emisores son los dispositivos más costosos de un sistema de transmisión. Sus características son un factor limitante en el rendimiento final del enlace óptico. Los dispositivos emisores de luz usados en transmisión óptica deben ser compactos, monocromáticos, estables y duraderos. El carácter monocromático es relativo, ya que sólo existen fuentes de luz que emitan dentro de un rango. La estabilidad se mide en cómo de constante son la intensidad y la longitud de onda de una fuente.

La fuente ideal para un sistema de fibra debe reunir las siguientes características:

- Dimensiones y configuración compatibles con las fibras: El área de emisión debe ser muy pequeña y el perfil de radiación altamente directivo.
- Seguimiento de señal eléctrica: Capaz de seguir las variaciones de señal eléctrica, corriente, de la forma más lineal posible para minimizar ruidos y distorsiones.
- Emisión en la  $\lambda$  adecuada: Tiene que emitir en la longitud de onda de la ventana en la que la fibra presenta menos pérdidas y donde los detectores son más eficientes.
- Fácil de modular: Que sea capaz de modular desde las señales de audio hasta los GHz fácilmente.
- Potencia óptica: Capaz de introducir la potencia óptica suficiente en la fibra (un exceso podría producir Scattering de Brillouin y Raman).
- Anchura espectral mínima: Para minimizar la dispersión.
- Salida estable con condiciones ambiente: La temperatura de la fuente puede influir notablemente en la potencia emitida.

- De bajo coste, fiable y de larga duración.

Las principales fuentes que se utilizan en los sistemas de comunicaciones ópticas son el diodo láser y el diodo emisor de luz o electroluminiscente (LED); al primero también se le suele llamar diodo láser de inyección (ILD) o láser semiconductor.

La estructura básica de los diodos láser y los LED es la heterounión, es decir la unión de dos semiconductores con energías de gap distintas. Ambos se utilizan en sistemas de comunicaciones ópticas porque la potencia óptica de salida es la adecuada, la modulación es sencilla (controlando la corriente de entrada) y presentan una eficiencia alta.

La diferencia principal entre los dos tipos está en que la radiación emitida por los láseres es coherente y por los LEDs es no coherente. La coherencia, espacial y temporal, del láser se debe a que la radiación se ha producido en una cavidad resonante, lo que da lugar a una monocromaticidad elevada y alta directividad. En el caso de un LED no hay selección de  $\lambda$  pues no existe cavidad y la radiación de salida tiene una anchura considerable.

Cuando se busca una fuente para un sistema de fibra óptica hay que tener en cuenta las características de la fibra: geometría, atenuación espectral, distorsión temporal (ancho de banda) y características modales. Por ello habrá que considerar la potencia de la fuente, su anchura espectral, el perfil de radiación y su capacidad de modulación. Los diodos láseres se usan con fibras monomodos y multimodos y en sistemas no guiados de alta directividad. El LED se usa en fibras multimodo y en sistemas no guiados difusos.

Los LEDs presentan algunas desventajas frente al láser: acoplan menos potencia a la fibra, ancho de banda relativamente pequeño (<50 MHz) y distorsión armónica. Por el contrario, presentan algunas ventajas, como la fabricación más sencilla, coste, fabricación y mantenimiento más barato. También presentan mayor fiabilidad, no sufriendo una degradación elevada y siendo inmunes a los problemas de ruido modal. Son menos dependientes de la temperatura y  $\lambda$ . Los circuitos de control son más sencillos e idealmente la característica potencia-corriente es lineal.

Los requerimientos exigidos a un láser incluyen precisión en  $\lambda$ , estrecho ancho de banda espectral, potencia suficiente y control del *chirp* (cambios de frecuencia de una señal a lo largo del tiempo). Los láseres semiconductores satisfacen las tres primeras premisas pero el factor *chirp* puede ser afectado por los medios usados para modular la señal.

En los láseres que son modulados directamente, la modulación de luz para conseguir los datos digitales se hace internamente. En este caso el factor *chirp* puede llegar a ser limitante a altas velocidades (sobre 10 Gbps). En la modulación externa, la modulación es realizada por dispositivos externos. Esta modulación ayudará a limitar el *chirp*.

Existen dos tipos de láseres semiconductores que son ampliamente usados, los láseres monolíticos de Fabry-Perot y los de realimentación distribuida (DFB, distributed-feedback laser). Los DFB son apropiados para aplicaciones DWDM, pues emiten una luz muy cercana a la monocromática, capaces de altas velocidades, tienen una favorable relación señal a ruido y gran linealidad. Además, presentan frecuencias centrales en las regiones próximas a 1310 nm y desde 1520 nm a 1565 nm. Este último rango es compatible con EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifiers).

La norma G.692 de ITU define una tabla de láseres para sistemas DWDM punto a punto basado en espaciamiento de  $\lambda$  de 100 GHz y con una longitud de onda central de 1553'25 nm. Este grid lo podemos ver en la tabla 2.1 [8].

Frequency (THz)	Wavelength (nm)	Frequency (THz)	Wavelength (nm)	Frequency (THz)	Wavelength (nm)
196.1	1528.77	164.6	1540.56	193.1	1552.52
196.0	1529.55	194.5	1541.35	193.0	1553.33
195.9	1530.33	194.4	1542.14	192.9	1554.13
195.8	1531.12	194.3	1542.94	195.8	1554.94
195.7	1531.9	194.2	1543.73	192.7	1555.75
195.6	1532.68	194.1	1544.53	192.6	1556.56
195.5	1533.47	194.0	1545.32	195.5	1557.36
195.4	1534.25	193.9	1546.12	192.4	1558.17
195.3	1535.04	193.8	1546.92	192.3	1558.98
195.2	1535.82	193.7	1547.72	192.2	1559.79
195.1	1536.61	193.6	1548.51	192.1	1560.61
195.0	1537.40	193.5	1549.32	192.0	1561.42
194.9	1538.19	192.4	1550.12	191.9	1562.23
194.8	1538.98	193.3	1550.92	191.8	1563.05
194.7	1539.77	193.2	1551.72	191.7	1563.86

Tabla 2.1: Grid de láseres para ITU

Los fabricantes se pueden desviar del estándar, extendiendo los límites superiores e inferiores, o acercando el espaciado entre canales, típicamente a 50 GHz, para doblar el número de canales.

Al disminuir el espaciado, aumenta el crosstalk. Además las no linealidades de algunas fibras, como las FWM, aumentan. Con un espaciado de 50 GHz, también se limita la velocidad de transmisión por  $\lambda$  a 10 Gbps.

### 2.2.5.2 Detectores de luz.

En el extremo receptor es necesario recuperar las señales transmitidas en distintas  $\lambda$  dentro de la fibra. Debido a que los fotodetectores son dispositivos de banda ancha, las señales ópticas son demultiplexadas antes de alcanzar el detector. Este componente limita las prestaciones del sistema.

La misión principal del fotodetector es convertir las variaciones de potencia óptica que llegan a través del medio de transmisión en variaciones de corriente eléctrica. En general, se requieren fotodiodos con una sensibilidad alta a la longitud de onda de trabajo, con velocidades de respuesta altas, que presenten gran ancho de banda, que añadan el menor ruido posible en el circuito receptor (mínimas corrientes de oscuridad y de fugas), que sean compatibles con las dimensiones de las fibras, que tengan una variación porcentual baja con las condiciones ambientales, con un tiempo de vida alto y de bajo coste.

Para sistemas de comunicaciones ópticas existen dos tipos de fotodetectores ampliamente usados, los fotodiodos PIN (positive-intrinsic-negative) y los fotodiodos de avalancha (APD).

Los fotodiodos PIN trabajan de forma similar a los LED pero de forma inversa. La luz es absorbida y los fotones convertidos a electrones en una relación 1:1. Sus principales ventajas son el bajo coste, alta eficiencia cuántica y una velocidad de respuesta alta ante tensiones bajas.

Los APDs son dispositivos similares pero proporcionan una ganancia mediante un proceso de amplificación. Un fotón que impacta con el dispositivo libera múltiples electrones. Presenta mayor sensibilidad y exactitud que un fotodiodo PIN. En contra son más caros, requieren muy altos requerimientos de corriente y son sensibles a la temperatura.

El receptor óptico es el conjunto formado por el fotodiodo (PIN o APD), el preamplificador y la circuitería de procesado de señal que va a continuación. Su objetivo es convertir una señal óptica que sale de la fibra en una señal eléctrica, amplificarla hasta un nivel adecuado para ser procesada por la circuitería que obtiene los datos.

### **2.2.5.3 Amplificadores.**

En la década de los ochenta, las comunicaciones sobre fibra óptica estaban limitadas a un único canal sobre la fibra. Debido a la atenuación que presentaban las fibras, el canal transmitido necesitaba algún mecanismo de regeneración periódica, que incluía la detección, el procesamiento electrónico y la retransmisión óptica. Esta regeneración producía un cuello de botella en la velocidad alcanzable y sólo se podía manejar un canal.

Las investigaciones posteriores han ido orientadas a conseguir un manejo del tráfico en el nivel óptico para evitar transformar las señales al dominio eléctrico. Es un hecho que en redes de largo alcance, los efectos de la dispersión y atenuación son significativos. Esto implica que una señal no puede mantener su integridad sobre largas distancias sin ser amplificada. Se aquí que el desarrollo de los amplificadores ópticos sea un aspecto fundamental a tener en cuenta en las redes ópticas.

Los amplificadores EDFA están basados en fibras ópticas fundamentadas en silicio que son dopadas con Erblio, para conseguir la transformación de la fibra de pasiva a activa. El elemento Erblio ( $\text{Er}_{68}$ ) amplifica la potencia de las longitudes de onda y elimina la necesidad de regeneración. El Erblio se excita emite la luz en torno a  $1,54 \mu\text{m}$ , que es una longitud de onda de bajas pérdidas para fibras ópticas apropiadas para DWDM. Estos amplificadores convierten a la tecnología DWM en económicamente factible. El ancho de banda de las fibras obtenido por la utilización de amplificadores EDFAs está entorno a 30 nm (1530-1560 nm). Sin embargo la atenuación es mínima en el rango de 1500 a 1600 nm.

La figura 2.24 muestra un diagrama simplificado de un EDFA. Una señal débil entra en la fibra dopada con Erblio, en la cual se inyecta luz a 980 nm o 1480 nm usando un láser. Esta luz inyectada estimula los átomos de Erblio para liberar su energía almacenada como luz adicional a 1550 nm. Este proceso hace que la señal de entrada aumente su potencia. Las emisiones espontáneas en el EDFA también suman ruido a la señal; esto determina la figura de ruido de un EDFA.



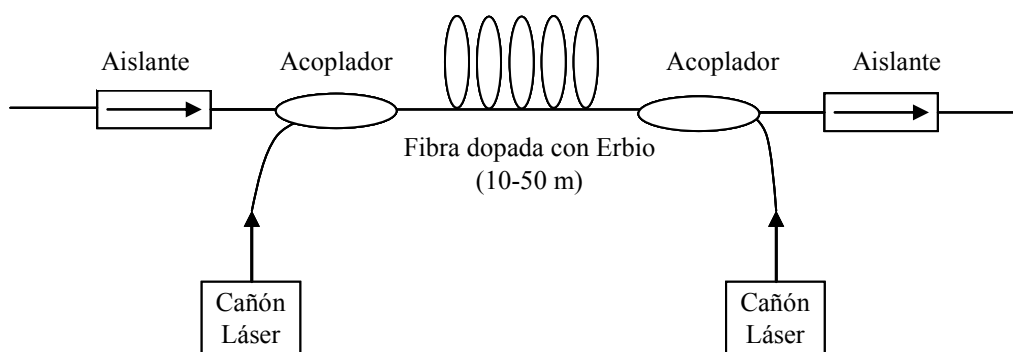


Figura 2.24: Diagrama simplificado de un EDFA

Los parámetros claves de los amplificadores ópticos son la ganancia, lo plano de la curva de ganancia, el nivel de ruido y la potencia de salida. Un amplificador EDFA tiene una ganancia típica de 30 dB o más y una potencia de salida de +17 dBm o superior. Los parámetros buscados con la elección de un EDFA son bajo ruido y ganancia plana. El que la ganancia sea plana es importante porque todas las señales deben ser amplificadas uniformemente. Debido a que la ganancia de la señal provista por la tecnología EDFA depende de la longitud de onda, ésta puede ser corregida con filtros que aplanen la ganancia. Estos filtros se pueden construir dentro del amplificador EDFA.

La característica de bajo ruido es necesaria ya que la señal de ruido es amplificada junto a la señal. Debido a que este efecto es acumulativo, y no puede ser filtrado, la relación señal a ruido es un factor limitante en el número de amplificadores que pueden ser concatenados, y por consiguiente, en la longitud de un enlace de fibra. En la práctica las señales pueden viajar hasta 120 Km entre amplificadores. Para grandes distancias de 600 a 1000 Km, la señal debe ser regenerada. Esto se debe a que el amplificador EDFA sólo amplifica las señales y no realiza lo que se conoce como las funciones 3R ( reshape, retime, retransmit : reformar, reubicar en el tiempo y retransmitir). Los EDFAs están disponibles para la banda C y la banda L.

También surge la necesidad de ubicar tantos canales ( $\lambda$ ) como sea posible dentro de una única fibra, lo que implica que la distancia entre dos canales sea muy pequeña entre 0.8 y 1.6 nm. Esto producirá que la interferencia entre canales sea significativa. Este hecho llega a convertirse en imperativo, aumentar el ancho de banda útil de la fibra evitando el efecto de interferencia entre los canales. Esto conduce al desarrollo de los amplificadores DBFA (Dual Band Fiber Amplifier). También basadas en silicio, estas fibras son similares a las

EDFAs y pueden generar transmisiones de terabits con éxito. Sin embargo, la característica más importante de un amplificador DBFA es su ancho de banda, entre 1528 y 1610 nm.

Un amplificador DBFA tiene dos amplificadores de subbanda. El primero está en el rango del EDFA y el segundo es conocido como EBFA (Extended Band Fiber Amplifier). Estos amplificadores tienen características más atractivas que los tradicionales EDFAs:

- Ganancia plana: EBFAs consiguen una ganancia constante sobre un rango de 35 nm comparado con los EDFAs.
- Saturación lenta: Un amplificador EBFA alcanza la saturación más lentamente que un amplificador EDFA. La saturación es el estado donde las salidas permanecen constantes incluso cuando el nivel de entrada sigue aumentando.
- Bajo ruido: Un amplificador EBFA presenta menor ruido que un EDFA.

Por consiguiente, un amplificador EBFA de 1590 nm representa un gran logro en la obtención de sistemas de fibras ópticas de alta capacidad. Un producto similar fue desarrollado por los Lucent Technologies, el amplificador óptico de ultra banda ancha (UWOA, Ultra-Wideband Optical Amplifier) que puede amplificar hasta 100 longitudes de onda a través de una única fibra óptica y tiene un ancho de banda útil de 80 nm. Este ancho de banda se divide en los canales entre 1530-1565 nm (banda C) y canales de gran longitud de onda entre 1565-1620 nm (banda L).

#### **2.2.5.4 Demultiplexores.**

Otro componente importante de un sistema DWDM es el demultiplexor. Con señales tan precisas y densas como las usadas en DWDM, es necesario que exista un mecanismo dentro del receptor óptico que realice la separación de los canales con exactitud. Esa solución debe ser fácil de implementar y mantener. Las primeras tecnologías de filtrado eran demasiado imprecisas para un sistema DWDM, demasiado sensibles a las variaciones de temperatura y polarización, vulnerables a interferencias de los canales adyacentes y muy costosas. Estos factores frenaron la evolución de los sistemas DWDM.

Para alcanzar esos requerimientos se desarrolló una tecnología de filtrado basada en redes de difracción directamente grabadas en la fibra, las rejillas de Bragg (in-fiber Bragg grating). Esta tecnología consiste en modificar el índice de refracción del núcleo de la fibra de

una forma periódica, generalmente exponiéndola a un patrón de interferencia ultravioleta. El resultado es un componente que actúa como un reflector dependiente de la longitud de onda y que es útil para la separación precisa de las longitudes de onda. La longitud de onda del filtro se fija durante el proceso de fabricación, mediante consideraciones geométricas simples. Este dispositivo pasivo, fabricado en el interior de una fibra, es robusto y duradero.

### 2.2.6 Interfaces DWDM.

La mayoría de los sistemas DWDM soportan interfaces ópticos de corto alcance SDH/SONET. En la mayoría de los casos son interfaces STM-16/OC-48 operando en una  $\lambda$  de 1310 nm. También se pueden usar otros interfaces como Ethernet (Fast y Gigabit Ethernet).

En el lado cliente se pueden conectar terminales SDH/SONET, ADMs, conmutadores ATM o routers. Dentro de un sistema DWDM un transponder convierte la señal óptica que viene del equipo terminal a eléctrica y le realiza las funciones 3R. Esa señal eléctrica se usa para atacar el láser WDM. Este proceso se ve en la figura 2.25.

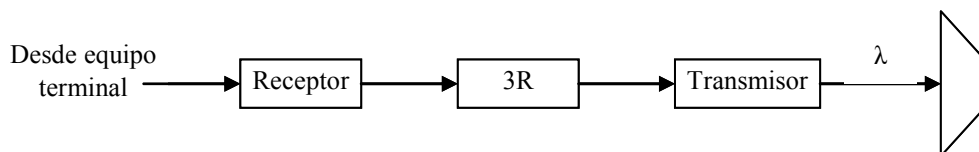


Figura 2.25: Conversión opto-eléctrica

Cada transponder dentro del sistema convierte su señal de cliente a una señal óptica a distinta  $\lambda$ . Todas las longitudes de onda de los dispositivos son multiplexados ópticamente. En la recepción tiene lugar el efecto contrario. Las longitudes de onda individuales son filtradas desde la fibra multiplexada y alimenta a cada transponder, que convierte la señal a eléctrica y la conduce a cada interfaz de cliente.

En la figura 2.26 muestra la operación punto a punto de un sistema DWDM unidireccional.

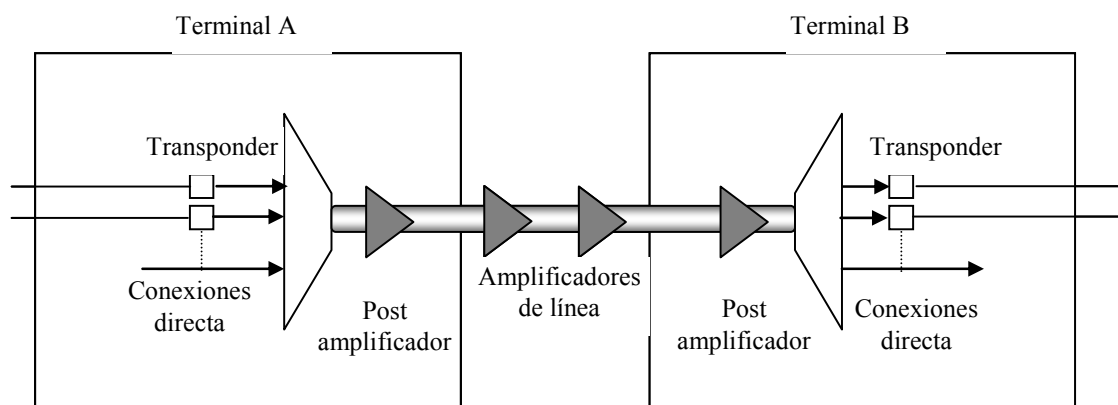


Figura 2.26: Operación punto a punto de un sistema DWDM unidireccional

Los siguientes pasos describen el sistema:

1. El transponder acepta la entrada en la forma de láser monomodo o multimodo estándar. La entrada puede provenir de distintos medios físicos, diferentes protocolos y tipos de tráfico.
2. La longitud de onda de cada entrada es mapeada a una  $\lambda$  del sistema DWDM.
3. Las longitudes de onda DWDM desde los transpondedores son multiplexados en una única señal óptica y lanzada a la fibra. El sistema podría incluir la posibilidad de admitir señales ópticas directamente en el multiplexor.
4. Un post amplificador amplifica la potencia de la señal óptica antes de dejar el sistema (opcional).
5. Si fuese necesario se usarían amplificadores de línea (opcional).
6. Un preamplificador aumenta la señal antes de llegar al sistema final (opcional).
7. La señal de entrada es demultiplexada en longitudes de onda DWDM individuales.
8. Cada  $\lambda$  DWDM se mapea al tipo de salida requerido y enviadas al correspondiente transponder.

### 2.2.7 Sincronización.

Las redes SDH/SONET multiplexan canales de baja velocidad hasta conseguir altos anchos de banda. Los equipos multiplexores y regeneradores necesitan de una gran sincronización para garantizar la calidad y el correcto trasiego de información. Los sistemas DWDM se basan en la multiplexación de diferentes longitudes de onda donde no existe ninguna relación temporal. La necesidad de un sistema temporal, similar al usado en los sistemas síncronos, no existe en los sistemas DWDM.

Aún así, la sincronización se podría usar para asegurar una buena calidad. Los numerosos regeneradores/transpondedores y otros dispositivos en el camino de una señal introducen jitter. La sincronización se puede usar para asegurar la calidad, limpiando las señales transmitidas en cada nodo.

### 2.2.8 Equipamiento DWDM.

Los componentes importantes de un sistema DWDM son los multiplexores de inserción y extracción (ADM: Add/Drop Multiplexer), el Crossconnect óptico (OXC) y los Splitter ópticos [7].

El ADM selecciona longitudes de onda sin tener que usar equipos terminales SDH/SONET. El ADM añade nuevas longitudes de onda a la red o extrae algunas longitudes de onda en sus puntos de terminación. Existen dos tipos de implementaciones de ADM, el WADM fijo y el WDM reconfigurable. En la figura 2.27 se ve un WADM.

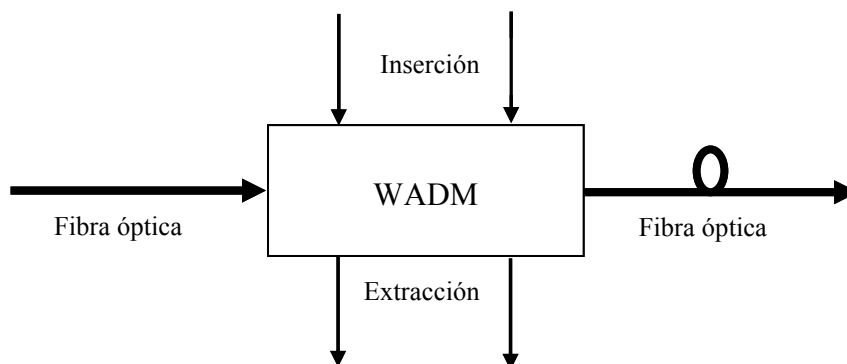


Figura 2.27: WADM

El Crossconnect Óptico actúa como un crossconnect entre  $n$  puertos de entrada y  $n$  de salida. Permite el eficiente manejo de las longitudes de onda en la capa óptica. En la figura 2.28 tenemos una representación de estos equipos que proporcionan funciones de monitorización de señales, restauración, provisión y agrupamiento.

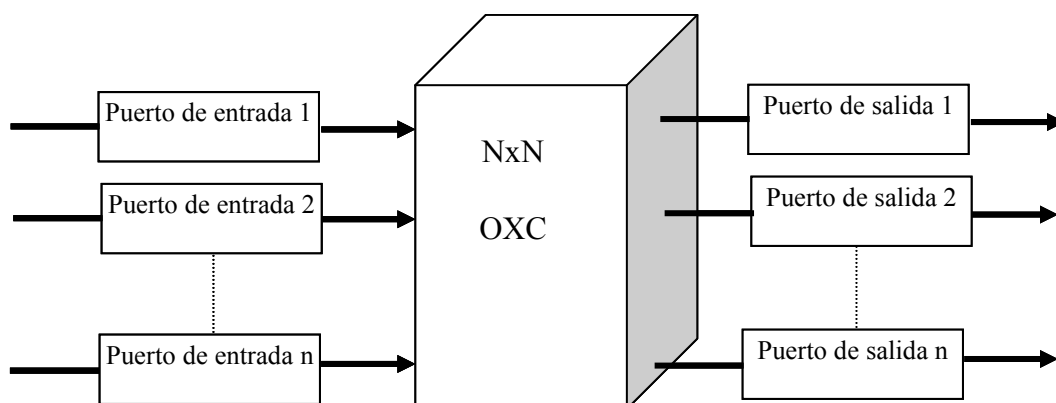


Figura 2.28: Crossconnect Óptico

Los Splitters Ópticos se usan en conmutadores con capacidad de multicast que enrutan longitudes de onda para proveer una multidifusión óptica. Es un dispositivo pasivo que ayuda a replicar señales ópticas, de esta forma se incrementa la conectividad lógica reduciendo las distancias de salto que tienen que ser transitados. Un splitter óptico de  $n$  salidas realiza una división de la señal de entrada, de forma que la señal de salida tiene una potencia menor o igual a  $1/n$  veces la potencia de entrada. Esta disminución de la potencia de las señales conlleva al uso de amplificadores de potencia dentro de la red. Un banco de splitter es un elemento dentro de la red que ya realiza la división de la señal de entrada y la amplificación óptica de las señales. Además estos elementos podrían incorporar características para la conversión de longitudes de onda y la regeneración de señales.

Los gateways Ópticos son dispositivos que permiten la suave transición de tráfico hacia la capa óptica. Se pueden usar redes ATM de alta velocidad o una mezcla de sistemas SDH y servicios ATM como un gateway.

### 2.2.9 Medidas de rendimiento de los sistemas.

Hay varios aspectos que hacen único al diseño de los sistemas DWDM. El espectro de los canales DWDM podría acumular efectos que degraden la señal conforme ésta se propaga a lo largo de una cadena de amplificadores. Cada amplificador introduce emisiones espontá-

neas amplificadas (ASE, Amplified Spontaneous Emissions) en el sistema que pueden causar la disminución de la relación señal a ruido (SNR), conduciendo a la degradación de la señal. En la fotodetección hay que tener en cuenta algunas características de los sistemas amplificadas de forma óptica. La tasa de error de bits (BER) se determina de forma diferente en un sistema amplificado de forma óptica que en un regenerador convencional. La probabilidad de error en los regeneradores depende fundamentalmente de la cantidad de ruido del receptor. En un sistema amplificado ópticamente la probabilidad de error al recibir un “1” es determinado por la intensidad de la señal más las emisiones espontáneas amplificadas, mientras que la probabilidad de recibir un error cuando se detecta un “0” sólo depende del ruido ASE.

A la hora de diseñar un sistema DWDM hay que tener en cuenta los requerimientos de potencia transmitida y la relación señal a ruido óptica. El BER de un canal DWDM lo determina la SNR óptica que llega al fotodetector. En un sistema comercial típico, una SNR óptica de 20dB, medida en un ancho de banda de 0.1 nm, se requiere para conseguir un BER aceptable de  $10^{-15}$ . Este SNR se consigue a través del análisis de la potencia de la señal por canal, las distancias de los amplificadores y el espaciamiento de frecuencia entre canales.

Para un determinado SNR en el receptor, la cantidad de potencia transmitida en cada canal es linealmente proporcional al número de amplificadores tanto como al ruido y al SNR de cada amplificador, y es exponencialmente proporcional a la pérdida de potencia entre amplificadores. Debido a que la potencia transmitida depende de la tecnología del láser y a las no linealidades de las fibras, el factor clave para el trabajo es el espaciamiento entre amplificadores. En adición a la acumulación de los ASE y a la dispersión, hay varios tipos de no linealidades en las fibras que limitan el rendimiento de los sistemas de transmisión por fibra óptica. Estas no linealidades se pueden encuadrar en dos grupos: fenómenos de dispersión y fenómenos del índice de refracción.

### **2.2.9.1 Fenómenos de dispersión.**

Un primer subtipo de este fenómeno es el conocido como SBS (Stimulated Brillouin Scattering), causado por la interacción entre la señal óptica y las ondas acústicas en la fibra. El resultado es que la potencia de la señal se dispersa de vuelta hacia el transmisor. SBS es un proceso de banda estrecha que afecta a cada canal en un sistema DWDM de forma indivi-

dual. Este efecto tiene mayor repercusión en sistemas STM-64 donde se requieren mayores niveles de potencia.

Una segunda forma de dispersión es conocida como SRS (Stimulated Raman Scattering) y se debe a la interacción de la señal óptica con las moléculas de silicio dentro de la fibra. Esta interacción puede conducir a transferencias de potencia de las longitudes de ondas más pequeñas a las más grandes. Es un fenómeno de banda ancha que afecta a todo el espectro óptico transmitido y se acentúa cuando la potencia se incrementa y el ancho de banda total del espectro DWDM aumenta. Para combatir este fenómeno hay que usar potencias moderadas en los canales y realizar un adecuado plan de canales densamente empaquetados que minimice el ancho de los espectros.

### **2.2.9.2 Fenómenos del índice de refracción.**

Este grupo de no linealidades incluye SPM (Self-Phase Modulation), CPM (Cross-Phase Modulation) y FWM (Four-Wave Mixing). Estos fenómenos son causados debido al índice de refracción, y por consiguiente de la velocidad de propagación en la fibra, siendo dependientes de la intensidad de la luz. Esta dependencia es significativa en las aplicaciones de largo alcance.

SPM, que se refiere a la modulación que un pulso de luz tiene en su propia fase, actúa en cada canal DWDM de forma independiente. El fenómeno causa que el espectro de la señal aumente y puede desembocar en crosstalk e inesperados fallos por dispersión. En contraste, CPM se debe a fluctuaciones de la intensidad de otro canal y es un efecto único de los sistemas DWDM. Finalmente, FWM hace referencia a la combinación no lineal de dos o más señales ópticas de forma que se producen nuevas frecuencias ópticas. Este fenómeno no se da en fibras monomodo pero sí en las fibras de dispersión desplazada que se usan en sistemas STM-64.

Estos tres efectos se pueden controlar con la elección adecuada de la potencia de los canales o incrementando el espaciamiento entre canales.



## 2.3 Arquitecturas de protección en redes de transporte.

En este apartado se tratará un aspecto fundamental de las redes de transporte. La mejora de la disponibilidad de la red se puede conseguir teniendo rutas alternativas que impidan que los servicios se pierdan. Para esto se establece una estrategia de protección que utiliza una capacidad preasignada para reemplazar las entidades de transporte degradadas o en fallo.

### 2.3.1 Arquitecturas de protección.

La arquitectura de protección depende de la asignación de entidades de protección a entidades de trabajo [1] [2].

- Arquitectura 1+1. Se utiliza una entidad de protección para proteger una entidad de transporte. El tráfico se transmite por ambos caminos, siendo el receptor quien decide que señal recoger. Como desventaja tendremos el consumo de más recursos dentro de la red, pero siempre nos aseguramos tener un camino alternativo.
- Arquitectura 1:1. Como la anterior, una entidad de protección protege a la de transporte, aunque en este caso el tráfico sólo va por la entidad de transporte, conmutando la transmisión a la entidad de protección en caso de detectar algún fallo. En estos casos se puede transportar por el lado de protección tráfico que se considere no prioritario ni crítico, donde podamos asumir que se pierda cuando se requiera el camino de protección. Por contra, estos sistemas tienen que usar dobles conmutadores, tanto en la transmisión como en la recepción.
- Arquitectura M:N. Se utilizan M entidades de protección para proteger N entidades de transporte. En este caso las entidades de protección también pueden transportar tráfico de baja prioridad.

Las arquitecturas 1+1 y 1:1 se denominan de protección dedicada ya que a cada una de las entidades de trabajo le corresponde una entidad de protección. La arquitectura M:N es de

protección compartida, puesto que las entidades de trabajo comparten una o más entidades de protección.

### 2.3.1.1 Tipos de conmutación.

El tipo de conmutación indica dónde se realiza la conmutación de protección en caso de fallo unidireccional.

Para explicar estos conceptos, vamos a partir de un esquema básico como el que tenemos en la figura 2.29.

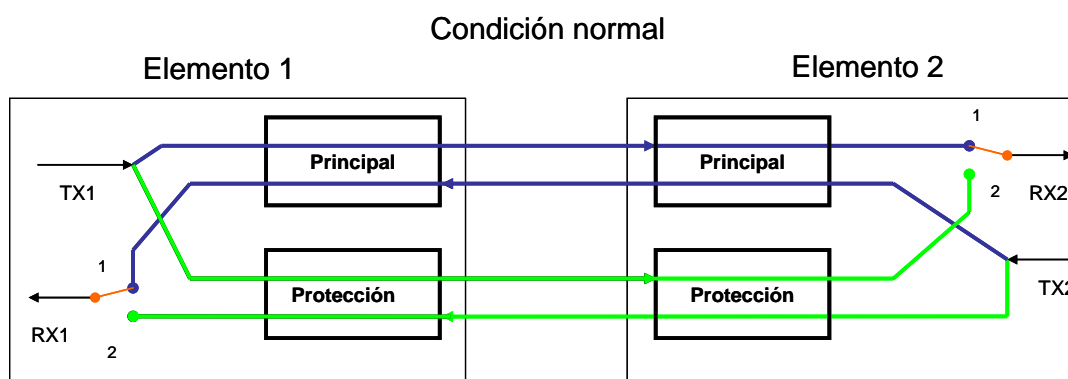


Figura 2.29: Esquema básico de conexión de dos nodos

En este ejemplo, el tráfico se está tomando de la línea azul, siendo los receptores los que eligen porque camino toman la información.

- Single-ended: En caso de fallo unidireccional, es decir que sólo falle uno de las direcciones de un camino, se conmuta a la entidad de protección sólo la dirección afectada. En la figura 2.30 se representa un corte en la recepción de la línea azul del elemento de red número 2. Esto hace que se produzca la conmutación hacia la línea verde. Al estar configurado como single-ended, sólo conmuta una dirección. El elemento 1 recibe por la línea azul y el elemento 2 por la línea verde.

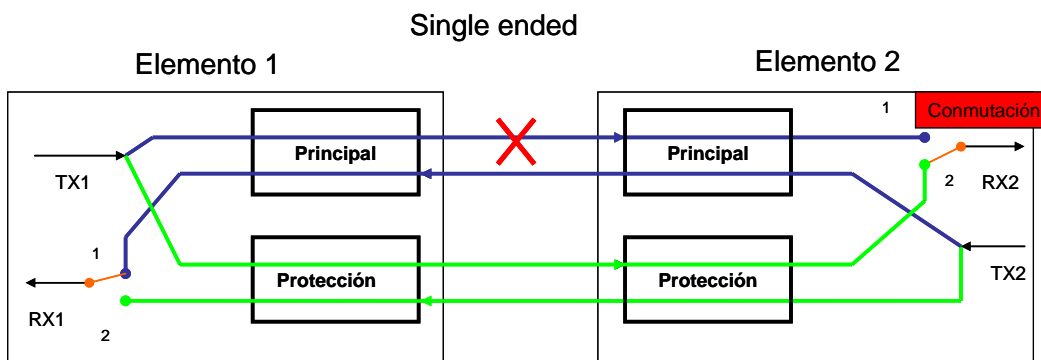


Figura 2.30: Esquema single-ended

- Dual-ended: En cualquier tipo de fallo (unidireccional o bidireccional) se conmuta a la entidad de protección ambas direcciones. En la figura 2.31, vemos que ante un corte unidireccional en el camino azul, se produce una conmutación en los receptores de ambos equipos, yendo hacia la línea verde.

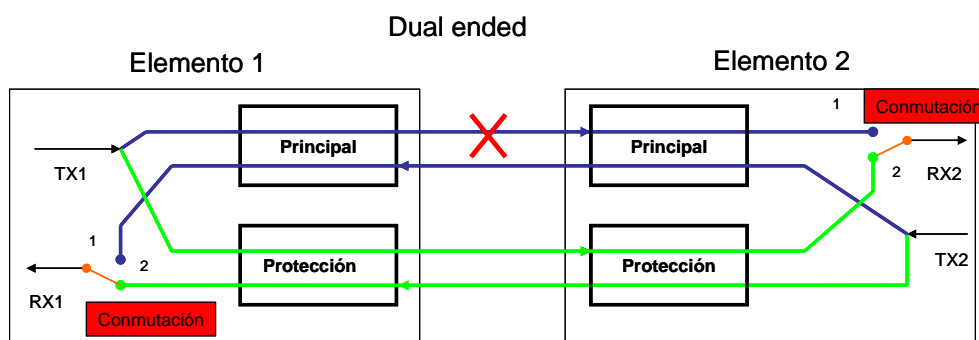


Figura 2.31: Esquema dual-ended

### 2.3.1.2 Modos de operación

El modo de operación describe el comportamiento del esquema de protección cuando se restaura el fallo. De esta forma puede ser reversible o no reversible.

- Modo reversible: Una vez desaparece el fallo, el tráfico se restaura por el camino definido originalmente como de trabajo.
- Modo no reversible: Una vez recuperado el fallo, el tráfico permanece por el camino de protección.

### **2.3.1.3 Parámetros relevantes.**

Existen otros conceptos importantes en las conmutaciones a protección.

La acción de conmutación puede realizarse de forma automática por la detección de un corte o una degradación, o forzar la conmutación por un comando de operaciones.

Los tiempos de conmutación esperados en estos sistemas se espera que sean lo más rápidos posibles, para intentar que el cliente final no perciba el corte. Se están manejando tiempos de conmutación inferiores a 50ms.

Otro parámetro que podemos establecer en las conmutaciones es el tiempo de espera para proteger (hold-off). Se trata del retardo entre que se detecta el fallo o la degradación y el comienzo de la conmutación.

Por último está el tiempo de espera para revertir (WTR, wait to restore), que es el retardo desde que se detecta que el fallo ha desaparecido, hasta que reversionamos el funcionamiento a la entidad de trabajo.

### **2.3.2 Esquemas de protección de camino.**

En una protección de camino, un camino de trabajo se reemplaza por un camino de protección cuando se ve afectado por un fallo o una degradación. La detección del problema lo realizan las unidades receptoras y la conmutación de protección la realiza una matriz de protección, localizada en la subcapa de protección de camino.

Hay dos tipos, dependiendo de la capa donde se localiza la protección del camino:

- Protección de camino de sección de multiplexación (Protección MS-Trail). Protege extremo a extremo de los MS-Trails. Hay dos esquemas, la protección MS-lineal y los anillos de protección compartida MS.
- Protección de camino de orden superior (Protección HO-Trail). Ofrece protección extremo a extremo de los trayectos de orden superior.

En ambos casos, la reconfiguración puede involucrar conmutación de protección en varios elementos de red (NEs). La coordinación de la conmutación en varios NEs se realiza por

medio de un protocolo de conmutación de protección automática (APS: Automatic Protection Switching).

El APS establece la recuperación automática ante fallos (pérdida de señal, demasiados bits erróneos, degradaciones, ...). Las acciones son coordinadas mediante mensajes del protocolo APS. Se emplean los bytes K para esta señalización.

### 2.3.2.1 Protección MS Lineal (MSP 1+1: Multiplex Section Protection).

Se caracteriza por tener dos secciones de multiplexación con rutas físicas diferentes. El tráfico se transmite permanentemente por las dos líneas, siendo el receptor quien conmuta ante la detección de un fallo o degradación en una de las líneas.

Para realizar la conmutación de protección, los dos nodos se comunican mediante un canal APS transportado por los bytes K1 y K2 de la sección de multiplexación de la cabecera.

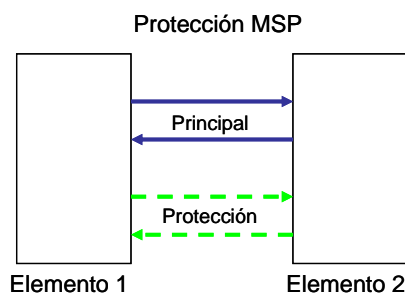


Figura 2.32: Protección MSP

El tipo de conmutación puede ser single-ended o dual-ended y el modo de operación reversible o no reversible.

Como ya se indicó, la principal desventaja de esta arquitectura es que se consume el doble de recursos de los necesarios.

### 2.3.2.2 Anillos de protección compartida (MS-SPRing: Multiplex Section Shared Protection Ring).

En un anillo de protección compartida, la capacidad de transporte de una sección de multiplexación se divide en capacidad de trabajo y capacidad de protección. Los canales de trabajo transportan el servicio a ser protegido, mientras que los canales de protección se re-

servan para la protección del servicio. La capacidad del enlace entre los dos nodos se divide en dos, una de las partes llevará el tráfico y la otra protegerá. En cada sentido se aprovecha sólo la mitad de la capacidad del enlace.

Este mecanismo se basa en la detección de fallos por un nodo del enlace con fallo y la conmutación de protección automática realizada por los dos nodos del enlace en fallo. Veamos el comportamiento de este tipo de arquitectura. En la figura 2.33 tenemos el comportamiento normal. El tráfico va del ADM-1 al 3, pasando a través del camino verde en un sentido y por el camino rojo en el otro sentido.

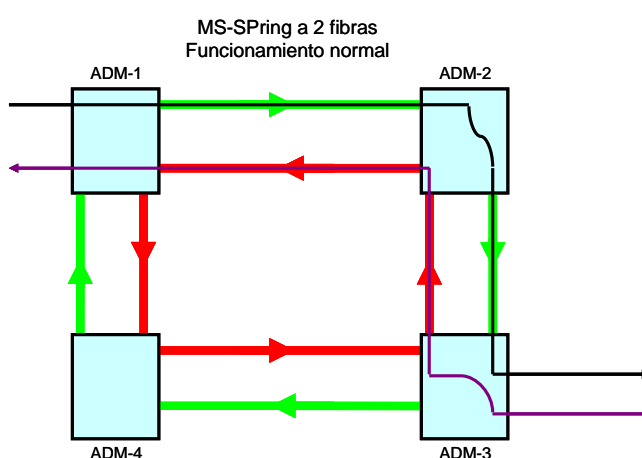


Figura 2.33: Anillo sin corte con configuración MS-SPRing

Cuando se produce un corte, figura 2.34, los nodos adyacentes que lo detectan, devuelven el tráfico en el sentido contrario.

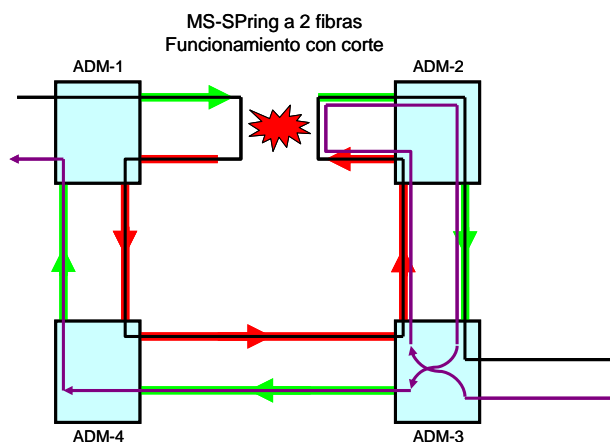


Figura 2.34: Anillo con corte con configuración MS-SPRing

### **2.3.2.3 Protección de HO-Trail.**

Este esquema de protección es un mecanismo de protección de la capa de trayecto basado en la monitorización de la información de la cabecera de trayecto y puede utilizarse para proteger un camino a través de la red SDH. Es un esquema de protección dedicada extremo-extremo que puede utilizarse sobre cualquier estructura física (mallas, anillos o redes mixtas).

La detección de fallos y la conmutación de protección se produce dentro de la capa de trayecto de orden superior.

La arquitectura de protección es del tipo 1:1 con conmutación single-ended, pudiendo ser reversible o no.

### **2.3.3 Esquema de protección de conexión de subred SNCP (Sub-Network Connection Protection).**

El objetivo es proteger parte del camino de la conexión. La señal por dos caminos diferentes y se selecciona la mejor.

Una conexión de subred (SNC) es una entidad de transporte formada por una conexión a través de una subred entre puntos de conexión (CPs). Una conexión de red (NC) está formada por una serie de conexiones entre puntos de terminación de conexión (TCPs).

La SCNP consiste en un mecanismo de protección dedicado que consiste en reemplazar una conexión de subred de trabajo con una conexión de subred de protección cuando la primera falla o su calidad cae por debajo del nivel requerido.

Estos esquemas de protección se caracterizan por el método de monitorización utilizado como criterio de conmutación:

- Monitorización inherente: Se usa la información derivada de la capa servidora
- Monitorización no intrusiva: La conexión de subred se monitoriza empleando una función de terminación de camino.

La arquitectura de protección SNCP es del tipo 1:1, con un tipo de conmutación single-ended y admitiendo los modos de operación reversible o no reversible.

La conmutación de protección se decide por la detección de fallo o por comando externo.

El criterio de conmutación automática es diferente dependiendo del tipo de monitorización:

- SNC inherente (SNCP/I):
  - Detecto de fallo de señal servidora, por ejemplo LOP (Pérdida de puntero: Loss of pointer) o SIA (Signal Indication Alarm).
- SNC no intrusiva (SNCP/N):
  - Detecto de fallo de señal servidora, por ejemplo LOP (Pérdida de puntero: Loss of pointer) o SIA (Signal Indication Alarm).
  - Defecto de trayecto desequipado.
  - Defecto de discordancia de identificador de trayecto.
  - Defecto de error excesivo de trayecto.
  - Defecto de trayecto degradado.

En la figura 2.35 tenemos un esquema de cuatro nodos conectados en anillo que nos ayudará a explicar el funcionamiento de este tipo de protecciones.

Se establece una subred de conexión entre el ADM-1 y el ADM-3. Las crossconexiones de trabajo se fijan por el lado verde del anillo y las de protección por el lado rojo. En el ADM-2 y ADM-4 se deben establecer crossconexiones de paso que van de una línea a la otra, sin bajar a ningún tributario en esos elementos de red.

Por ambos caminos, hay una reserva de recursos. Las unidades tributarias y de línea siempre están transmitiendo el tráfico, siendo los receptores quien conmutan a un lado u otro del camino.



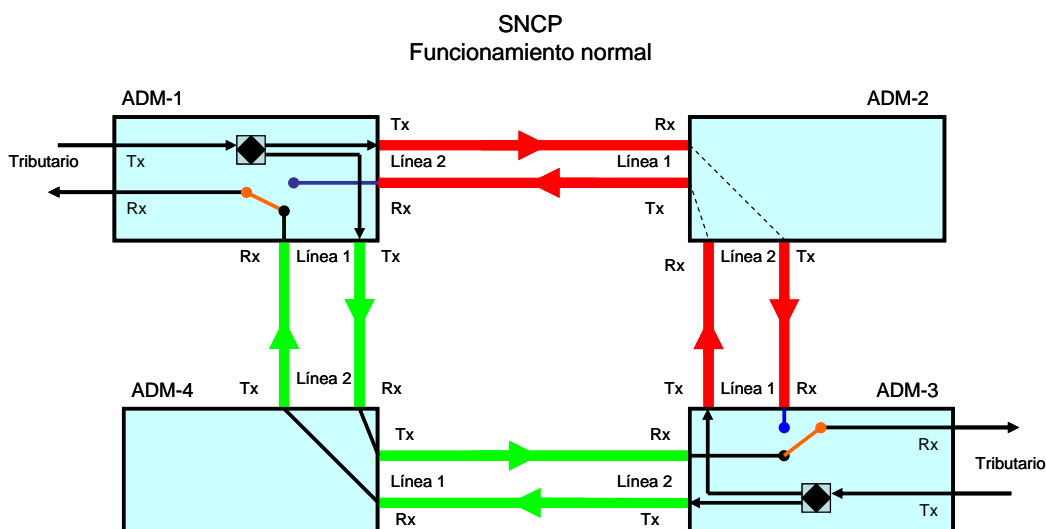


Figura 2.35: Circuito con protección SNCP

En la figura 2.36 se simula una condición de fallo. Se produce un corte en el sentido transmisión de la línea 1 del ADM-4 a la recepción de la línea 2 del ADM-3.

En este caso en la línea 2 del ADM-3 se detecta una pérdida de señal, lo que provoca la conmutación a la recepción de la línea 1 del ADM-3.

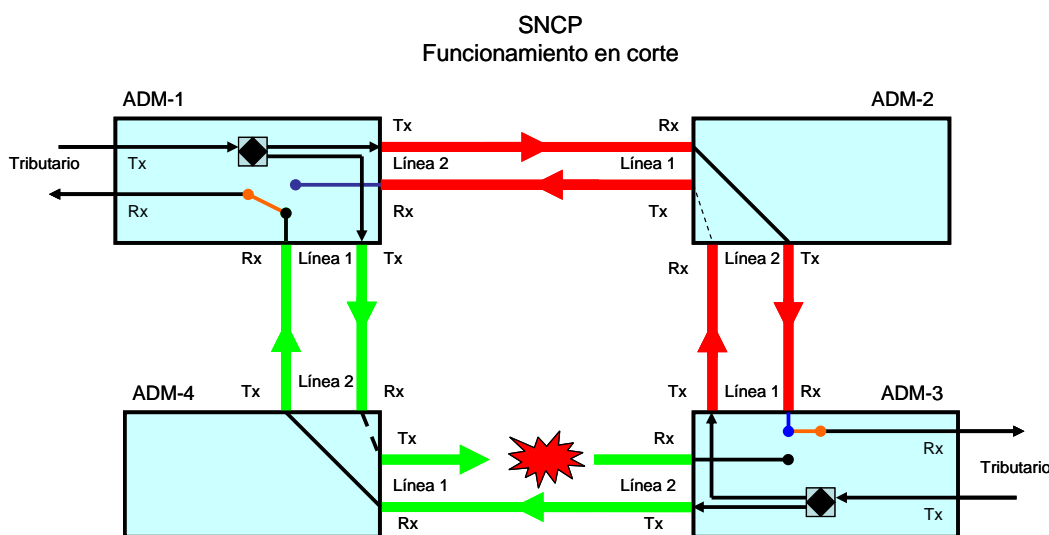


Figura 2.36: Corte en circuito con protección SNCP

## 2.4 Fibra Óptica.

Las comunicaciones por fibra óptica se basan en el principio de que la luz en un medio de cristal puede llevar más información sobre grandes distancias que lo que las señales eléctricas pueden transmitir sobre un medio de cobre o coaxial. La pureza de las fibras hoy en día, junto con las mejoras en los sistemas electrónicos, permite que las fibras transmitan señales de luz digitalizadas sobre 100 km sin amplificación. Con pocas pérdidas de transmisión, bajas interferencias y un alto potencial de ancho de banda, la fibra óptica es casi un medio ideal medio de transmisión.

### 2.4.1 Transmisión por la teoría de rayos.

Antes de entrar en la teoría de rayos aplicada a las fibras ópticas, vamos a recordar algunas de las leyes básicas de la óptica [21].

El *índice de refracción* es una medida de la velocidad que alcanza la luz en un medio más o menos denso. Su expresión es:

$$n = \frac{c}{v}$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío y  $v$  en el medio.

Según el *Principio de Fermat*, la trayectoria que sigue la luz para llegar de un punto a otro es en la que invierte menos tiempo. Existe un *Principio de Fermat Modificado*, que indica que el camino óptico es invariante frente a variaciones diferenciales del mismo.

La *Ley de Reflexión* establece que los ángulos incidentes y reflejados, en una superficie de reflexión, son iguales y están en el mismo plano.

#### 2.4.1.1 Reflexión total interna.

Cuando un rayo incide en la superficie de separación de dos medios dieléctricos con índices de refracción distintos,  $n_1$  y  $n_2$ , parte de la radiación se transmite, se refracta, y parte se refleja. En la figura 2.37 el medio incidente llega del medio 1 (vidrio) al 2 (aire) con un ángulo de incidencia  $\Phi_1$  con respecto a la normal.

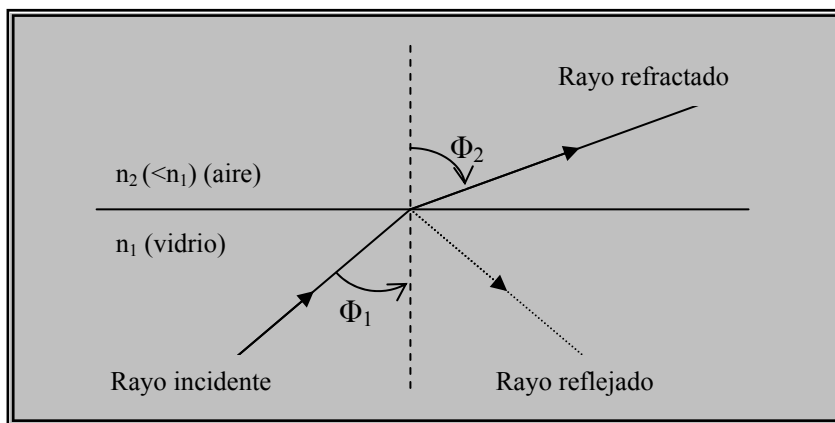


Figura 2.37: Rayo incidente

La relación entre los ángulos de incidencia y de refracción se conoce como **Ley de Snell**:

$$n_1 * \text{sen}\Phi_1 = n_2 * \text{sen}\Phi_2$$

Como  $n_1 > n_2$  el rayo refractado se aleja de la normal. Por tanto si el ángulo de refracción  $\Phi_2$  es de  $90^\circ$ , todos los rayos refractados son paralelos y rasantes a la interfase, el de incidencia será menor de  $90^\circ$  como se refleja en la figura 2.38. Este ángulo, caso límite de la refracción, se conoce como **ángulo crítico**,  $\theta_c$ , y su valor es:  $\theta_c = \text{sen}^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

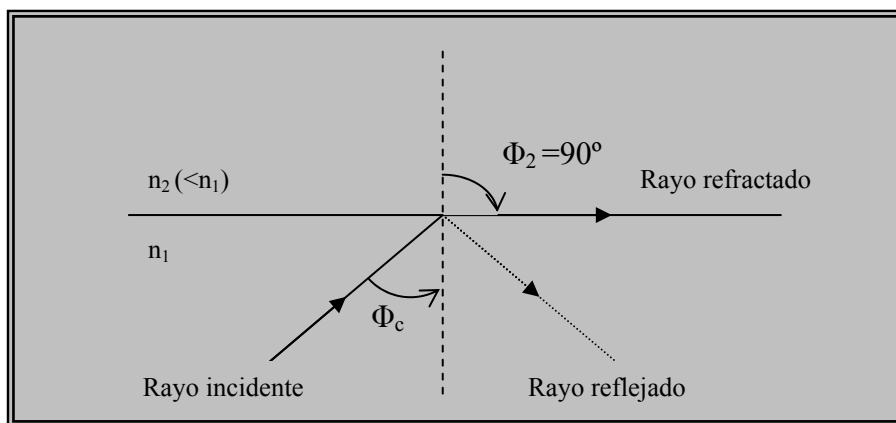


Figura 2.38: Caso límite de la refracción

Para ángulos de incidencias mayores al crítico, toda la luz se refleja en el medio incidente y se produce el fenómeno conocido como **reflexión total interna**. Este mecanismo es el que se aprovecha para la propagación de la luz en las fibras ópticas. En la figura 2.39 se puede ver como se confina un rayo de luz dentro del núcleo de una fibra óptica siempre que incida en la interface núcleo-cubierta, con ángulos mayores que el crítico y se produz-

ca reflexión total interna. Los rayos representados en esta figura se conocen como meridionales porque pasan por el eje.

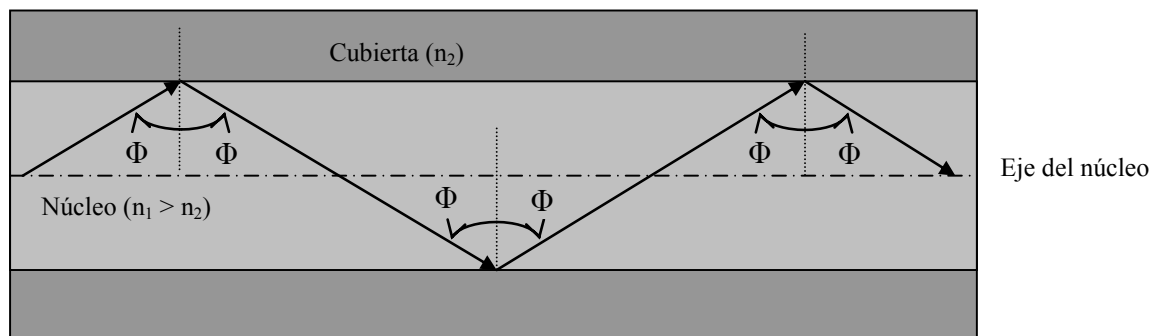


Figura 2.39: Rayo confinado en fibra

### 2.4.1.2 Ángulo de aceptación.

Por el núcleo de la fibra sólo se propagan los rayos que inciden en la interfase núcleo-cubierta con un ángulo superior al crítico. En la figura 2.40 un rayo incide en la interfase aire-núcleo con un ángulo  $\theta_a$ , se refracta, rayo meridional A, y alcanza la interfase núcleo-cubierta con el ángulo crítico y se refleja internamente. Cualquier rayo que llegue al núcleo desde el exterior con un ángulo superior a  $\theta_a$ , no se reflejará internamente en el núcleo, llega a la interfase núcleo-cubierta con un ángulo inferior al crítico y por tanto no se propagará (rayo B), porque pasará a la cubierta y se perderá por radiación. Todos los rayos que entren en el núcleo de la fibra dentro del *cono de aceptación* definido por  $\theta_a$  se propagarán. A este ángulo se le conoce como *ángulo de aceptación*.

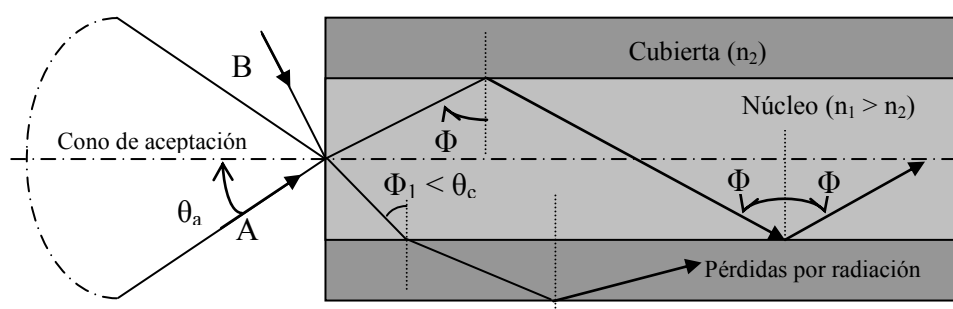


Figura 2.40: Inserción haz de luz en fibra

### 2.4.1.3 Apertura numérica.

Se busca una relación entre el ángulo de aceptación y los índices de refracción de los tres medios implicados en la transmisión (aire, cubierta y núcleo). Esta relación da la apertura numérica, AN, de la fibra.

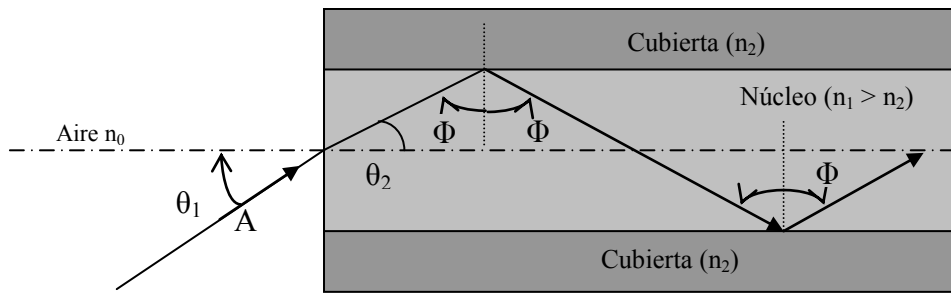


Figura 2.41: Apertura numérica

En la figura 2.41, donde el ángulo de incidencia  $\theta_1$  es menor que el ángulo de aceptación y  $n_1 > n_2$ . Aplicando la ley de Snell a la refracción en la interfase aire-núcleo se tiene:

$$n_0 * \text{sen} \theta_1 = n_1 * \text{sen} \theta_2$$

El caso límite para la reflexión total interna se da cuando  $\Phi$  al ángulo crítico.

$$n_0 * \text{sen} \theta_1 = n_1 * \text{sen}(90 - \Phi_c) = n_1 * \cos \Phi_c$$

$$n_1 * \text{sen} \Phi_c = n_2 * \text{sen} 90 = n_2$$

En este caso  $\theta_1$  es el ángulo de aceptación  $\theta_a$  obteniendo la base para la definición para la apertura numérica:

$$AN = n_0 * \text{sen} \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Se define la diferencia de índices relativa como:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2 * n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Aplicando esta definición resulta la apertura numérica:

$$AN \approx n_1 \sqrt{2 * \Delta}$$

La apertura numérica proporciona una medida de la cantidad de luz que puede ser colectada por la fibra, siendo independiente del diámetro del núcleo y de la longitud de la fibra.

#### **2.4.1.4 Rayos no meridionales (oblicuos)**

Los rayos no meridionales son aquellos que no pasan por el eje de la fibra, siguiendo una trayectoria helicoidal. En cada reflexión se produce un cambio de dirección de  $2\gamma$ , donde  $\gamma$  es el ángulo entre la proyección del rayo en dos dimensiones y el radio del núcleo en el punto de incidencia. A diferencia de los rayos meridionales, el punto de salida de la fibra depende del número de reflexiones y no de las condiciones de entrada de la luz en la fibra. Los rayos no meridionales se propagan muy cerca de la cubierta y complementan a los rayos meridionales, incrementando la capacidad de la fibra.

#### **2.4.2 Comunicaciones por fibra óptica.**

La fibra óptica es un medio de transmisión cuya estructura está especialmente diseñada para propagar señales a frecuencias ópticas con poca atenuación y un gran ancho de banda. Su estructura es cilíndrica y está formada por dos medios dieléctricos de índices de refracción diferentes: el núcleo y la cubierta. Un revestimiento de protección de acrilato rodea la cubierta. En la mayoría de los casos este recubrimiento es una composición de doble capa.

La operación de una fibra óptica se basa en el principio de reflexión total interna. La luz se refleja o refracta dependiendo del ángulo con el cual impacta contra la superficie. La luz es guiada a través del núcleo de la fibra, siendo transmitida hasta el final de la fibra mediante la reflexión dentro del núcleo. Mediante el control del ángulo de incidencia con el cual la onda de luz incide en la fibra, es posible controlar la eficiencia de la transmisión. La composición de la cubierta respecto al núcleo determina la capacidad de la fibra para transmitir la luz. La diferencia entre los índices de refracción de la cubierta y el núcleo produce que la mayoría de la luz transmitida permanezca en el núcleo y no pasen a la cubierta. Así el núcleo de una fibra actúa como una guía onda para la luz.

Cuando se transmite un pulso óptico por una fibra, éste se ensancha según se propaga. Este efecto se llama dispersión temporal. Sin embargo, el producto ancho de banda-dispersión por unidad de longitud se mantiene constante. Como la dispersión depende de la longitud de la fibra, se tiene que el producto ancho de banda-distancia es aproximadamente constante. En la evolución histórica de las fibras siempre se han buscado fibras con la menor atenuación y dispersión posibles.

Para reducir la atenuación se han dirigido los trabajos en tres direcciones: mejorar los procedimientos de fabricación, encontrar materiales adecuados y trabajar a longitudes de ondas mayores. En cuanto a la dispersión se ha investigado la estructura y el perfil de los índices de refracción. Las fibras ópticas se pueden clasificar en tres grandes grupos: multimodo, índice gradual y monomodo.

Las fibras multimodo fueron las primeras en ser comercializadas. Tienen mayor núcleo que las monomodos. Su nombre se debe a que múltiples nodos o rayos de luz pueden ser transportados simultáneamente a través de la guía onda. Las fibras de salto índice presentan un índice de refracción constante tanto en el núcleo como en la cubierta, produciéndose el salto de índice en la interfase. Los modos deben viajar distintas distancias para llegar al destino. Esta disparidad en los tiempos de llegada se llama dispersión modal y se traduce en una baja calidad de señal en el extremo receptor y también limitan la distancia de transmisión. Por este motivo estas fibras no se usan en aplicaciones de grandes áreas. Por otro lado, el gran diámetro del núcleo facilita el uso de transmisores y conectores de bajo coste.

Para compensar la dispersión existente en estas fibras, surgieron las fibras de índice gradual. En estas fibras el índice de refracción en el núcleo está graduado, disminuyendo su valor desde el centro del núcleo hacia la interfase con la cubierta. La mayor refracción en el centro del núcleo disminuye la velocidad de algunos rayos de luz, permitiendo que todos los haces alcancen su destino aproximadamente al mismo tiempo, reduciendo la dispersión modal.

Reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta que sólo se propague un modo se puede anular la dispersión intermodal. Así surgieron las fibras monomodo. De esta forma la señal se mantiene con mejor calidad sobre distancias grandes y la dispersión modal se reduce. Esto se traduce en un mayor ancho de banda que las fibras multimodo. Debido a la gran capacidad de transmisión y las bajas pérdidas, son fibras adecuadas para aplicaciones de gran ancho de banda y grandes distancias, incluyendo DWDM.

Sin embargo las fibras monomodo no están exentas de dispersión. Ésta se debe a la combinación de dos fenómenos: variación del perfil de índices con la longitud de onda y a la anchura espectral de la fuente. Debido a ello, las distintas componentes espectrales se pro-

pagan a velocidades diferentes. Este tipo de dispersión se conoce como material o cromática y se puede minimizar con fuentes ópticas de anchura espectral mínima.

Son las fibras que presentan mejor producto ancho de banda-distancia, sin embargo la realización de las conexiones presentan mayor dificultad que las otras debido a las dimensiones del núcleo.

### **2.4.2.1 Importancia de las fibras ópticas.**

La fibra óptica es el medio de transmisión en los sistemas de comunicaciones ópticas. La importancia de los sistemas de comunicaciones ópticas se debe a:

- Su baja atenuación, por ejemplo en tercera ventana (1550nm) la atenuación es de 0.2dB/km.
- Su gran capacidad. En comunicaciones ópticas se puede alcanzar un ancho de banda modal de hasta 32 THz x km.
- La fibra óptica es inmune a las interferencias electromagnéticas.
- Son más seguras, pues la fibra óptica es más difícil de pinchar y no radia las señales que transmite al exterior, como pasa con el coaxial.
- Presentan menor tamaño y peso, y su mayor flexibilidad que otros medios como los cables coaxiales.
- El material con que se fabrica la fibra óptica, el SiO<sub>2</sub> es el más abundante en la tierra.

Los principales inconvenientes de la fibra óptica son: su elevado coste para aplicaciones en las que no se necesita tanta capacidad, no son adecuadas para sistemas de difusión y la gran delicadeza con la que hay que tratar la fibra óptica y demás componentes ópticos, ya que requieren una gran limpieza y los conectores son muy sensibles.

La fibra óptica es una guía de ondas cilíndricas que consta de tres partes, como se muestra en la figura 2.42.



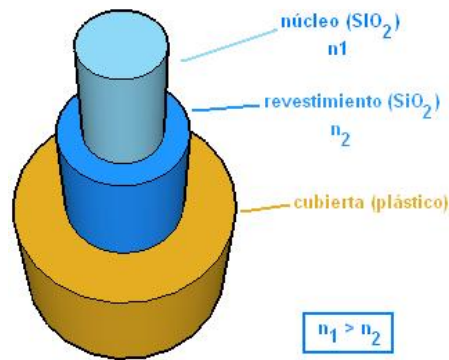


Figura 2.42: Fibra óptica

El núcleo (core), es la parte interior de la fibra, que esta fabricado por un material dieléctrico, normalmente, vidrio de sílice (SiO<sub>2</sub>) dopado con materiales como B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GeO<sub>2</sub> o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para ajustar su índice de refracción, aunque también se encuentran en el mercado fibras ópticas con el núcleo de plástico o cuarzo fundido.

El revestimiento (cladding), que envuelve al núcleo, está fabricado con materiales similares al núcleo pero con un índice de refracción menor, para que se produzca el fenómeno de la reflexión total interna. Gracias a este fenómeno los rayos de luz que entran en la fibra hasta, cierto ángulo, quedan confinados en el núcleo de ésta siendo guiados por la fibra hasta el otro extremo.

La camisa o cubierta, generalmente fabricada en plástico que protege mecánicamente a los dos anteriores.

### 2.4.2.2 Tipos de fibra óptica.

Existen distintas clasificaciones de las fibras ópticas atendiendo a distintos criterios; las principales clasificaciones son según el modo de propagación, según el índice de refracción y según los materiales de fabricación (básicamente de plástico y de SiO<sub>2</sub> con distintos materiales dopantes como B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GeO<sub>2</sub> o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). En la figura 2.43 se resumen los tipos de fibras ópticas.

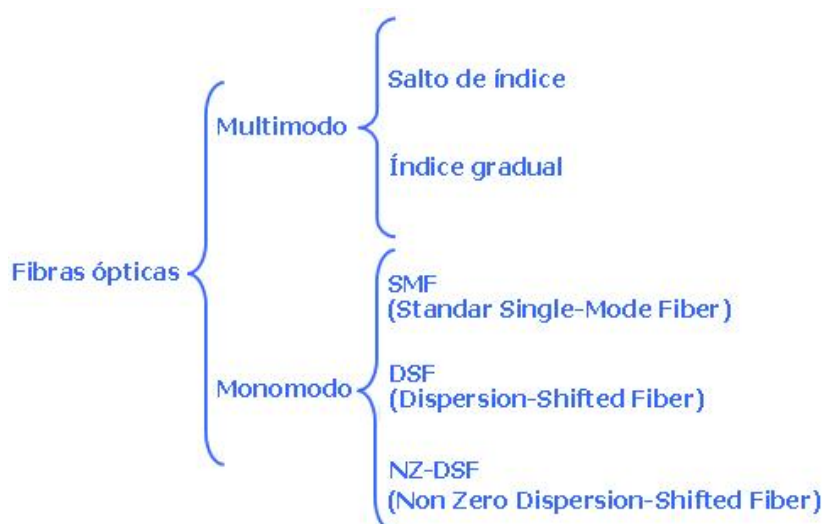


Figura 2.43: Tipos de fibra óptica

- Fibra monomodo. Como su nombre indica, en este tipo de fibra sólo se propaga un modo por lo que se evita la dispersión modal, debida a la diferencia de velocidad de propagación de los modos que se transmiten por la fibra. Esto se debe al pequeño tamaño de su núcleo, inferior a  $9\mu\text{m}$ . Esto dificulta el acoplamiento de la luz, pero permite alcanzar mayores distancias y tasas de transmisión más elevadas que la fibra óptica multimodo.
- Fibra multimodo. A diferencia de las anteriores, en ellas se pueden propagar varios modos de forma simultánea. El diámetro del núcleo de este tipo de fibras suele ser  $50\mu\text{m}$  ó  $62.5\mu\text{m}$ , por lo que el acoplamiento de la luz es más sencillo que las anteriores.

En la figura 2.44 tenemos el esquema de estas fibras. El diámetro de la fibra suele ser de  $125\mu\text{m}$ . La figura *a* es la multimodo y la *b* la monomodo.

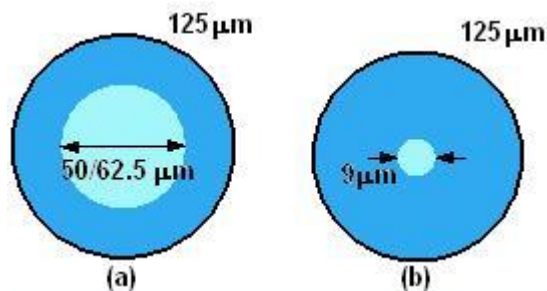


Figura 2.44: Núcleos en fibras multimodo y monomodo

Dentro de las fibras monomodo tenemos destacan tres tipos de fibra:

- Fibra monomodo o estándar, conocida por sus siglas en inglés SMF (Standar Single Mode Fiber). Este tipo de fibra monomodo tiene como características más destacadas una atenuación de unos 0,2 dB/km y una dispersión cromática de 16 ps/km•nm en 3ª ventana (1550 nm). En la segunda ventana la dispersión es nula pero la atenuación es mayor, casi el doble que en 3ª ventana.
- Fibra DSF (Dispersion Shifted Fiber). Las fibras DSF son fabricadas de tal manera que logran tener una dispersión cromática nula en la 3ª ventana. Por contra su atenuación aumenta ligeramente (unos 0.25dB/km); y su principal inconveniente se debe a los efectos no lineales como el fenómeno de mezclado de cuarta onda (FWM) que imposibilitan la utilización de esta fibra óptica en sistemas WDM.
- Fibra NZDSF (Non Zero Dispersion Shifted Fiber). Para resolver los inconvenientes de la fibra anterior, surge la fibra NZDSF. Estas tienen un valor de dispersión próximo a cero pero, no nulo, para lograr contrarrestar los efectos de los fenómenos no lineales mediante la dispersión cromática.

Dentro de las fibras multimodo tenemos dos tipos de fibra según su índice de refracción:

- Fibras ópticas de índice en escalón o de salto de índice. En este tipo de fibras el índice de refracción del núcleo y del revestimiento son uniformes, siendo el índice de refracción del núcleo sensiblemente mayor, por lo que el cambio de índice de refracción al pasar de una zona a otra cambia bruscamente, de ahí su nombre.
- Fibras ópticas de índice gradual. En este tipo de fibras el índice del núcleo varía gradualmente desde el centro del núcleo hasta el revestimiento. Con este tipo de fibras se reduce la dispersión modal ya que con ellas se consigue reducir la diferencia de caminos que recorren los distintos modos que se propagan por la fibra.

Existe un tipo de fibras ópticas cuyo núcleo se construye con materiales plásticos (POF: Plastic Optical Fiber). Su núcleo tiene un diámetro del orden de 1mm. Tienen una atenuación de entre 0,15dBm a 650 nm, por lo que se emplean en aplicaciones de cortas distancias (en automóviles, en oficinas) empleando un LED rojo como transmisor. Su ancho de banda muy reducido debido a su gran apertura numérica. Sus principales ventajas son su

reducido coste, su fácil manejo e sencillos y una mayor robustez (las pérdidas debidas a su curvatura son muy bajas con radios de hasta 25 mm, lo que facilita su instalación en paredes y lugares estrechos).

En la figura 2.45 se muestran la distancia máxima (km) de un enlace para distintos tipos de fibra óptica a distintas longitudes de onda.

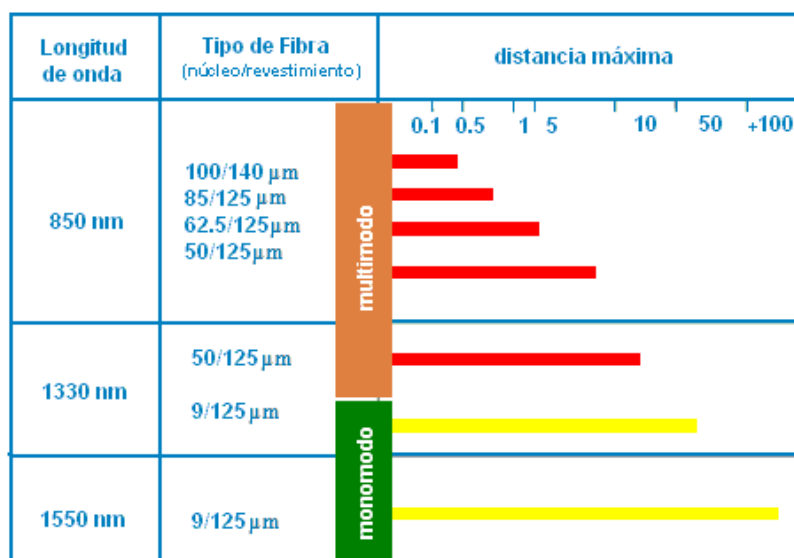


Figura 2.45: Distancia máxima de enlace (km) para distintos tipos de fibra óptica a distintas longitudes de onda.

### 2.4.2.3 Tipo de conectores de las fibras ópticas.

En el mercado existen una gran variedad de conectores de fibra óptica. La gran mayoría de los conectores actuales tiene algunos elementos comunes como se muestra en el conector genérico de la figura 2.46.

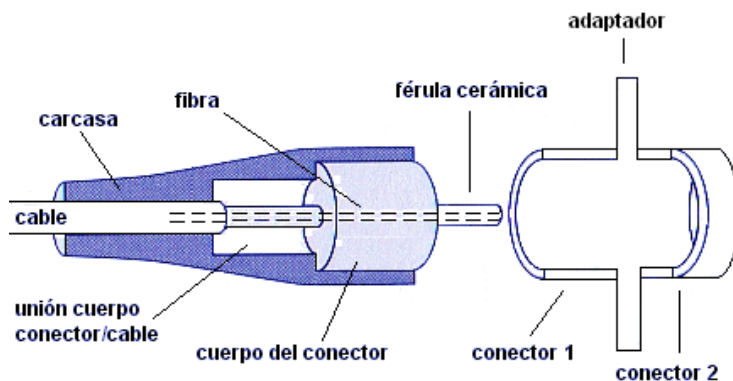


Figura 2.46: Conector genérico

La fibra se monta a lo largo de la férula, un cilindro de cerámica cuyo diámetro coincide con el diámetro del revestimiento de la fibra, cuya misión es alinear y proteger mecánicamente a la fibra. El extremo final de la fibra llega al final de la férula, que suele ser pulido y alisado. El pulido de la férula puede ser de dos formas PC (Physical Contact) o APC (Angled Physical Contact), como se muestra en la figura 2.47. La férula está montada en el cuerpo del conector que está unido al cable de la fibra. Una carcasa protege la unión entre el conector y el cable de la fibra. A diferencia de los conectores electrónicos la mayoría de los estándares de conectores de fibra carece de polaridad macho/hembra. Por ello para los conectores de fibra se acoplan a través de adaptadores. Los conectores suelen tener un pigtail que es un cable de una sola fibra.

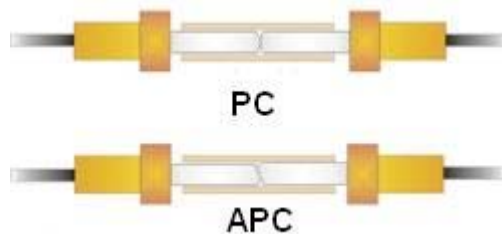


Figura 2.47: Corte extremo de fibra óptica

Una alternativa a los conectores son los empalmes. Existen dos métodos: empalmes mecánicos y empalmes por fusión.

- Los empalmes mecánicos o manuales, que pueden ser tanto temporales como permanentes, son muy rápidos de realizar pues se requiere ningún equipamiento especial, tan sólo una cortador que permita hacer un corte recto en los extremos de las fibras que se quieren unir. El mayor inconveniente son las pérdidas que introducen que suelen superar los 0.15dB. Se suele incorporar un gel en la zona de contacto de los dos extremos para reducir las reflexiones.
- Los empalmes por fusión son empalmes permanentes y tienen unas menores pérdidas, entre 0.05dB. Para ello se requiere una máquina, empalmador por fusión, con la que realizar la fusión de los dos extremos de las fibras a unir. En ella se introducen los dos extremos a unir, tras haberlos cortados perfectamente, se alinean mecánica o manualmente y a continuación se aplica un arco eléctrico producido por dos electrodos.

En la figura 2.48 se presentan los principales conectores que se comercializan actualmente.

conector	pérdidas por inserción	repeatability	tipo de fibra	aplicaciones
 FC	0.50-1.00 dB	0.20 dB	SM, MM	Datacom, Telecommunications
 FDDI	0.20-0.70 dB	0.20 dB	SM, MM	Fiber Optic Network
 LC	0.15 dB (SM) 0.10 dB (MM)	0.2 dB	SM, MM	High Density Interconnection
 MT Array	0.30-1.00 dB	0.25 dB	SM, MM	High Density Interconnection
 SC	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 SC Duplex	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 ST	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.50 dB (MM)	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.20 dB (MM)	SM, MM	Inter-/Intra-Building, Security, Navy

SM, Single-mode  
MM, Multimode

Figura 2.48: Principales conectores para fibra óptica comercializados

#### 2.4.2.4 Cables de fibra óptica

El cable es la estructura que protege a las fibras ópticas de la degradación medioambiental, de daños mecánicos, facilita la manipulación de las fibras y las aísla de las tensiones mecánicas que pueden ocurrir en su instalación.

Existe una multitud de tipos de cables ya que estos son diseñados en función del entorno en el que van a ser empleados. Desde cables para oficinas, cables para equipos de test, cables submarinos, etc. El diseño de un cable se basa además del entorno en tres características de la fibra óptica:

La **sensibilidad a la curvatura**. Al curvarse la fibra óptica se produce una atenuación adicional, pues ciertos modos se escapan del núcleo. Como se muestra en la figura 2.49 estas pérdidas varían exponencialmente con la curvatura y no son apreciables hasta llegar a un ángulo crítico.

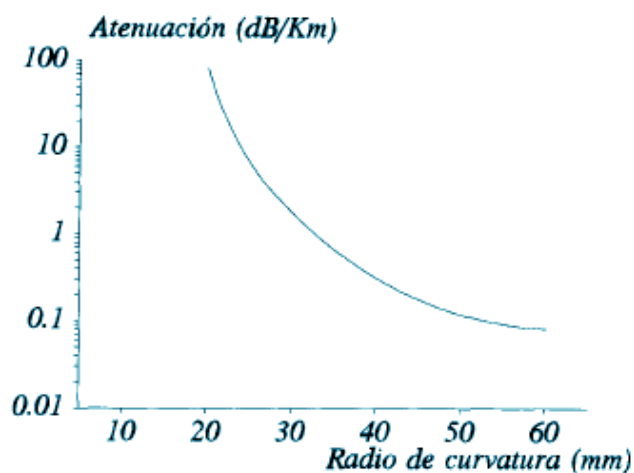


Figura 2.49: Sensibilidad a la curvatura de una fibra óptica

Como regla práctica el radio de curvatura de la fibra óptica mínimo debe ser 10 veces el diámetro de la protección secundaria de la fibra.

La **resistencia mecánica**. La resistencia mecánica de la fibra óptica es menor que las tensiones a las que puede verse sometida en su instalación. Por lo que los cables deben incorporar elementos adicionales que les proporcionen la suficiente resistencia.

La **fatiga estática y el envejecimiento**. Los cables deben incluir elementos hidrófugos que protejan a la fibra óptica de la humedad que puede provocar el aumento del tamaño de las fisuras producidas por la tracción a la que se somete.

En la figura 2.50 se muestra los elementos más importantes de un cable de fibra óptica:

1. Fibra óptica
2. Protección secundaria (holgada o densa)
3. Elemento de tracción (aramida o fibra de vidrio)
4. Cubierta interna (PVC, polietileno...)
5. Coraza
6. Cubierta exterior (PVC, polietileno...)

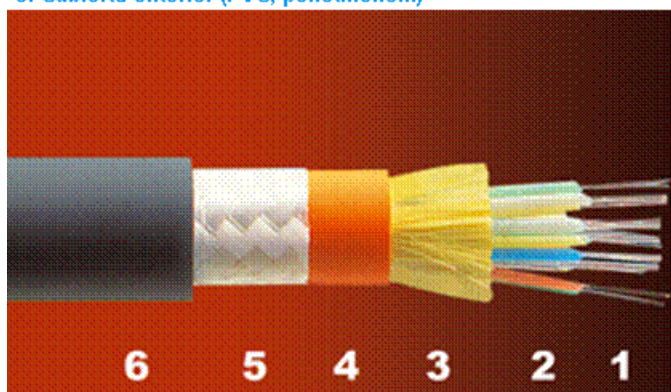


Figura 2.50: Elementos de las fibras

Existen dos estructuras básicas de cables de fibras ópticas: estructura holgada y estructura densa.

En un cable de estructura holgada la fibra o fibras ópticas (se suelen agrupar en grupos de 6, 8, 10 o 12 fibras) se alojan holgadamente dentro de una protección secundaria de un diámetro de entre 1 y 3 mm, y un espesor de 0.25 mm. Este puede estar hueco (con aire) o bien relleno de un gel (grasa de silicona) que evita la entrada de agua. A su vez, como se muestra en la figura 2.51, esta protección secundaria puede ir junto con otras y un elemento de refuerzo central (de acero o Kevlar<sup>®</sup> 49, con un diámetro de entre 0.7 y 4 mm) dentro de una coraza de hilos de aramida e hilos rasgados rellena con un gel. Todo el conjunto está rodeado por una funda protectora de polietileno o PVC.

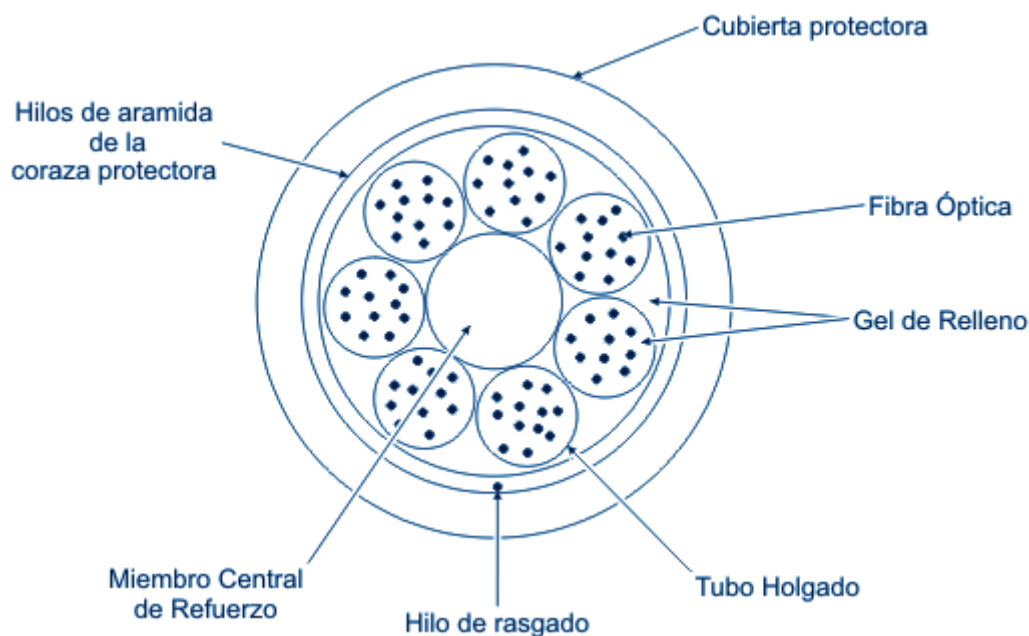


Figura 2.51: Cable de estructura holgada

El elemento de refuerzo central proporciona al cable aislamiento de las tensiones mecánicas propias de la instalación. Esta estructura se utiliza en la mayoría de las instalaciones exteriores, pero no es muy adecuado en las instalaciones verticales por el riesgo a que el gel fluya y se desplacen las fibras.

Ejemplos de este tipo de estructura son los cables submarinos y los cables aéreos autoportantes o autosoportados.



En un cable de estructura densa, cada fibra óptica está ceñida a su protección secundaria que consiste en una cubierta plástica con un diámetro de 900  $\mu\text{m}$  y un espesor de entre 0.5 y 1 mm, como se muestra en la figura 2.52. La misión de esta protección ceñida es proporcionar soporte y protección a cada fibra individualmente, además de identificar cada fibra por el color de su recubrimiento.

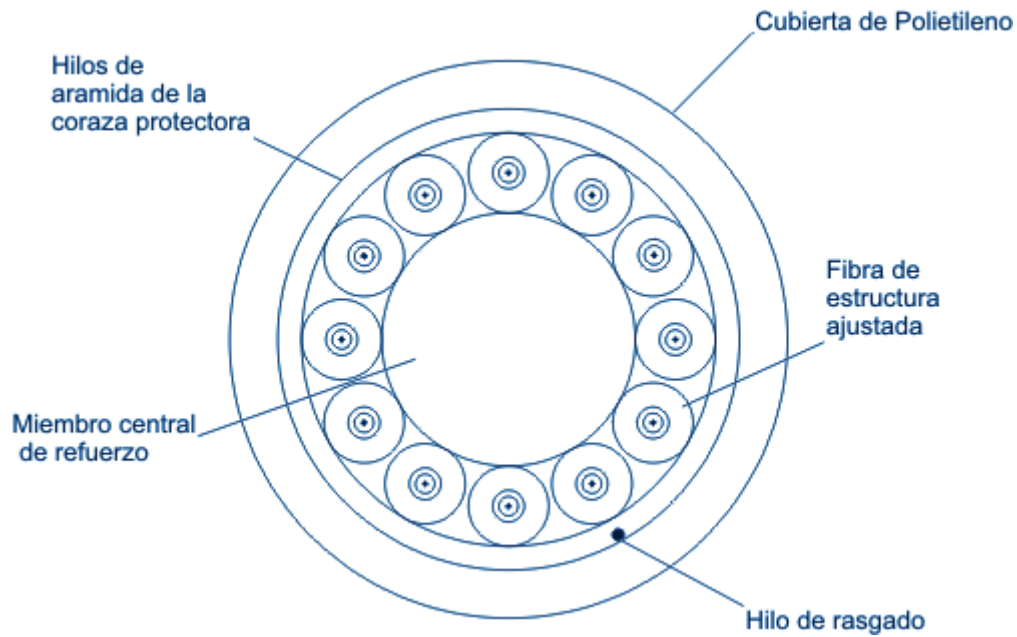


Figura 2.52: Cable de estructura densa

Este cable ha sido diseñado para ser empleado en interiores ya que es más flexible y tiene un mayor radio de curvatura. Además es más adecuado que el anterior en instalaciones verticales de cierta altura debido al soporte individual de cada fibra. Un ejemplo de cable con este tipo de estructura son los cables en abanico (que no requieren un panel de conexión).

En la tabla 2.1 se resumen las características de estas dos estructuras.

<b>Características</b>	<b>Estructura holgada</b>	<b>Estructura densa</b>
Número de fibras en la protección secundaria	Varias	Una
Protección contra humedad	Protección con gel	Sin protección
Flexibilidad	No flexibles	Flexibles
Conexión de las fibras ópticas	Laborioso	Fácil
Radio curvatura	Grande	Pequeño
Conexión de las fibras ópticas	Laborioso	Fácil
Diámetro del cable	Grande	Pequeño
Resistencia a golpes y presiones	Menor	Mayor
Comportamiento con la temperatura	Peor	Mejor
Densidad de fibras	Alta	Baja

Tabla 2.1: Tabla comparativa para distintas estructuras de fibras

# Capítulo 3

## Red implementada

Se presentará el diseño de la red actual. Se explicarán los emplazamientos que se utilizan y las conexiones entre los mismos. Se detallará la red de transporte SDH y los equipos que la forman. También se verá un ejemplo de las conexiones existentes para el resto de las tecnologías. Se realizarán medidas reflectométricas de las fibras disponibles para determinar cuáles se usarán.

### 3.1 Visión global de la red

La red de telecomunicaciones sobre la que vamos a trabajar la implantó una operadora de cable en Gran Canaria en el año 1998. Esta red se diseñó para cubrir los servicios requeridos por los clientes tanto del mercado residencial como del mercado de empresas. Los servicios que se debían proporcionar eran varios:

- Servicio de telefonía: POTS (Plain Old Telephone Services: Servicio básico de telefonía), RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) y servicios de 2Mbps para centralitas de empresas (PBX: Private Branch Exchange).
- Servicio de datos: Accesos a Internet a diferentes velocidades, VPN (Virtual Private Network), tunneling entre distintas sedes de las empresas, ...

- Servicio de televisión: Inicialmente se ofertó un servicio de televisión analógica con algunos canales PPV (Pay Per View). Posteriormente se implantó un servicio de televisión digital.

Para ofrecer estos servicios se montaron dos redes paralelas que podemos ver la figura 3.1:

- Red de transporte SDH para llevar circuitos de 2Mbps, 34Mbps y STM1. Sobre esta red se transportan las señales para dar los servicios de telefonía y datos. También servicios dedicados a empresas, las interconexiones con otras operadoras y todos los circuitos encargados de proporcionar una red de gestión y supervisión de los equipos y emplazamientos de la red.
- Red HFC (Híbrida Fibra Coaxial): Sobre esta red se proporcionaron los servicios de acceso a Internet a través de cablemodem y televisión. Posteriormente, se implantó el servicio de voz sobre IP.

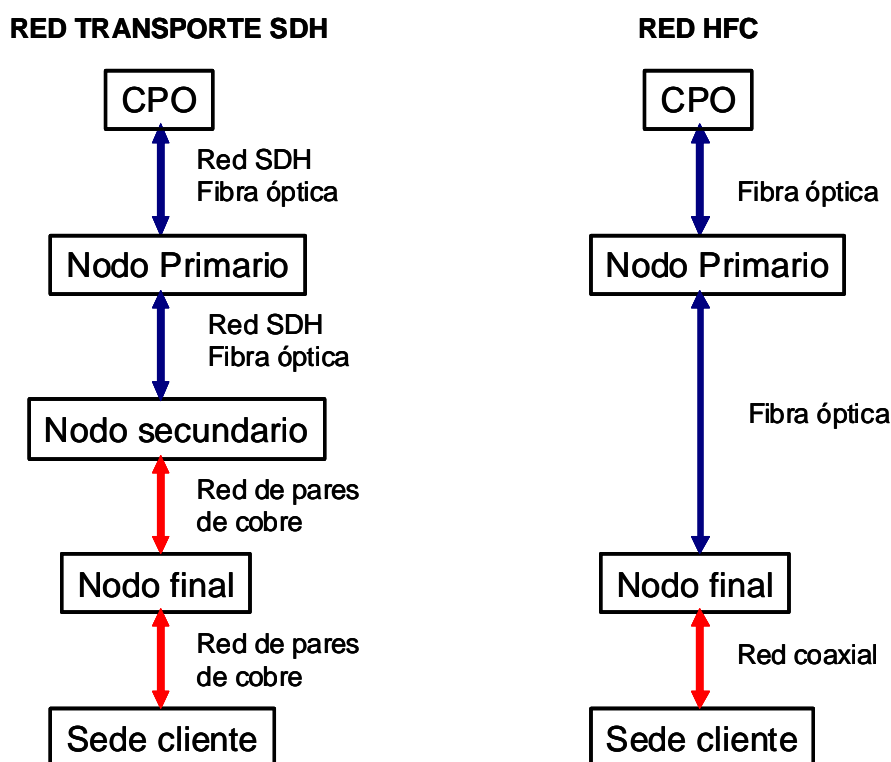


Figura 3.1: Redes paralelas

### 3.1.1 Tipos de emplazamientos.

Para soportar una red de telecomunicaciones es necesario tener unas infraestructuras que permitan ubicar, alimentar y mantener un entorno adecuado para los equipos que se tienen que instalar. En la figura 3.1 tenemos el esquema de las dos redes existentes, donde se han utilizado una serie de términos que ahora vamos a describir. Son los tipos de emplazamientos que nos encontramos en la red y que coinciden prácticamente con las que implantaron las principales operadoras de cable de España.

#### 3.1.1.1 CPO (Centro Principal de Operaciones)

Por lo general, cada red tiene un centro principal de operaciones (CPO) por provincia. También se conoce a este centro como cabecera ya que en el mismo se reciben o generan las señales y se distribuyen los servicios a proporcionar al resto de la red.

En el CPO se ubica el equipamiento encargado de generar los servicios como las centrales de conmutación para los servicios de voz o la cabecera de televisión donde se recepcionan los canales de los proveedores por satélite, con antenas terrestres o directamente por fibra y se insertan en la red HFC para que lleguen a los clientes. En la figura 3.2 se muestra la arquitectura de referencia de la red HFC [19].

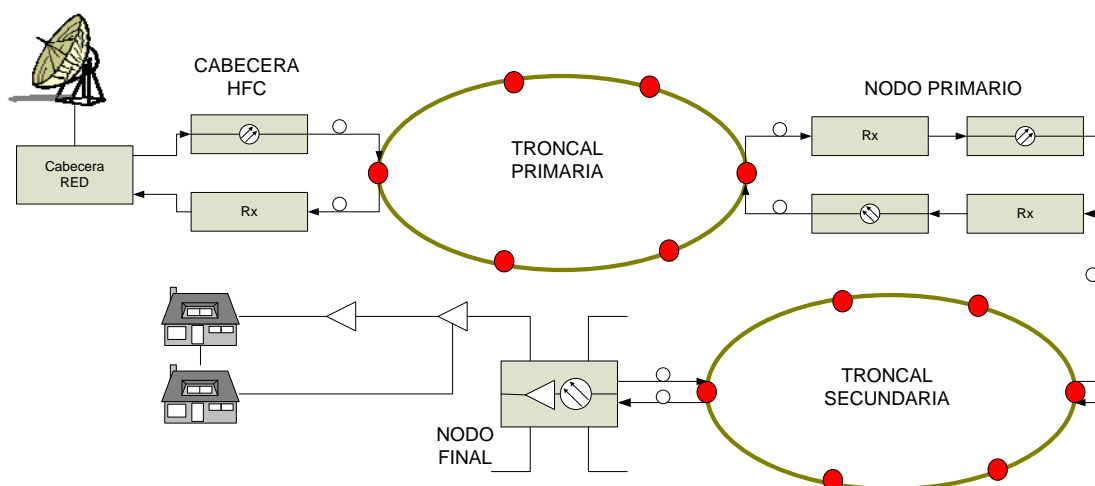


Figura 3.2: Arquitectura de referencia

También se establecen en las cabeceras los puntos de interconexión con otros operadores que por lo general son conexiones a través de fibra óptica.

Son centros concentradores de todo el tráfico que lleva la red de transporte, por lo que tienen el equipamiento principal de la red SDH.

En el CPO se establece la conexión con los servidores de Internet, por lo que todo el tráfico de datos de la red se concentra en este centro. Los routers agregadores son los encargados de acumular todo el tráfico de Internet.

De esta forma podemos concluir que todo el tráfico que manejan los clientes pasa por este emplazamiento, de ahí la importancia del mismo. Al ser el emplazamiento más crítico de nuestra red, debe estar correctamente acondicionado para que tenga una disponibilidad constante y sin interrupciones. Para ello es fundamental que se garantice que siempre tengamos los equipos alimentados, por lo que además del suministro eléctrico tendremos que contar con alimentación de respaldo en caso de caídas del suministro principal. Así en el CPO tenemos instalado un grupo electrógeno, un sistema de SAIs (Sistema de Alimentación Ininterrumpida) y gran capacidad de baterías de respaldo.

Para mejorar la fiabilidad de la red, es aconsejable que todos los equipos que tengan doble fuente de suministro, se alimenten de líneas independientes que cuelguen de distintos cuadros eléctricos.

Además es imprescindible que las salas donde se ubican los equipos estén aclimatadas a la temperatura adecuada de trabajo. En este sentido se aconseja la instalación de  $n+1$  máquinas de climatización, siendo  $n$  las máquinas necesarias para que la sala esté a una temperatura adecuada. El instalar una máquina adicional es para cubrir cualquier eventualidad. La temperatura es un factor importante a tener en cuenta a la hora de mantener una red de telecomunicaciones. Cada vez los equipos son más sensibles a la temperatura y un funcionamiento en condiciones inadecuadas puede degradar el servicio de los clientes.

El CPO se conecta al resto de emplazamientos de la red a través de fibra óptica. Siendo un centro crítico, también es fundamental que las fibras que salen de este emplazamiento se encaucen por dos caminos independientes, de forma que un corte simple de fibras no afecte al servicio.

Desde el CPO también se puede proporcionar servicio directo a los clientes que están próximos al emplazamiento a través de la red de pares sin necesidad de utilizar fibras. Principalmente se darían servicios de voz (POTS y RDSI). También se pueden proporcionar servicios de hasta 2Mbps a través de HDSL (High Bit Rate Digital Subscriber Line) o ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) para empresas que solicitan servicios de datos dedicados y primarios de voz (PBX). Estos servicios se pueden proporcionar en un radio de entre 3 y 4 Kms, dependiendo de la calidad del par de cobre.

También desde el CPO podemos llegar por fibra óptica directamente a los nodos secundarios y finales sin necesidad de pasar por una red troncal de fibras. Lo mismo que se puede llegar con fibra a clientes próximos que requieran gran capacidad.

### **3.1.1.2 Nodos Primarios (NP)**

Cubrir una ciudad con casi 400000 habitantes desde un único centro es inviable, ya que la cantidad de fibras y pares que se requerirían no sería factible económicamente y supondría un problema en cada ampliación requerida.

Por tanto, es necesario establecer unos segundos centros dentro de cada municipio, que variarán en número dependiendo de los hogares que haya que cubrir.

En estos emplazamientos no se generan los servicios, se aglutinan los servicios de los nodos que dependen del mismo y sirven de punto de tránsito para el tráfico del resto de emplazamientos.

Al ser centros concentradores de servicios son considerados emplazamientos críticos, ya que la caída del mismo, puede dejar sin servicio a todo un municipio o a una gran parte del mismo. Por tanto debemos conseguir implantar las mejores condiciones de suministro eléctrico y climatización con criterios similares a los indicados en el CPO. Igual de crítico es lo referente a las fibras ópticas, por lo que es necesario que ataquemos los emplazamientos por canalizaciones independientes.

Se construyó una red troncal de fibra entre el CPO y los nodos primarios, utilizando canalizaciones independientes para atacar los centros con la idea de conseguir una alta disponibilidad de la red. Para llevar los servicios entre los emplazamientos se monta una red de transporte SDH o se conectan directamente las fibras entre los equipos.

Dentro del nodo primario se encuentra el equipamiento encargado de distribuir los servicios a los clientes que dependen del mismo.

Tiene instalado el equipamiento SDH necesario para cerrar el anillo de la troncal primaria de fibra con el CPO. Necesitaremos 4 fibras por cada anillo STM16 que tengamos. También tendrá los equipos SDH que distribuirán las señales hacia los nodos secundarios de la red de transporte.

En el nodo primario también tenemos el equipamiento de HFC que recibe la señal de TV del CPO y la distribuye hacia los nodos finales. Cada nodo primario recibe dos fibras de camino descendente de la cabecera de televisión. También para el servicio PPV se necesitarán dos fibras para el camino ascendente. El hecho de usar dos fibras por sentido es para tener redundancia de caminos, para evitar pérdidas de servicio ante cortes en alguna de las canalizaciones.

Como elemento clave para los servicios que ofrece la operadora, en los nodos primarios se instala el cabecero de cablemodem (CMTS: Cable Modem Termination System). Este equipo es el encargado de proporcionar los servicios de alta velocidad para el acceso a Internet o la voz sobre IP de los clientes.

Por una parte, el equipo se conecta a los agregadores del CPO a través de enlaces Gigabit Ethernet (GbE). Necesitaremos un par de fibras por cada enlace. Estos enlaces van aumentando en número conforme aumenta el número de clientes y las velocidades que tienen contratadas. Los agregadores del CPO son los encargados de interconectar con los routers de acceso a los proveedores de servicios de Internet.

Aguas abajo, la CMTS tiene conexión con todos los nodos ópticos que dependen de ese nodo primario y que distribuyen la señal hacia los cablemodems que hay instalados en las viviendas de los clientes.

Para cada nodo final, se combina la señal de TV que viene del CPO con la señal que entrega el cabecero de cablemodem, antes de atacar los transmisores que dan servicio a los nodos finales. Esa conexión se realiza en el nodo primario de HFC. Podemos ver en las figura 3.3 y 3.4 los esquemas básicos de los caminos ascendentes y descendentes [19].



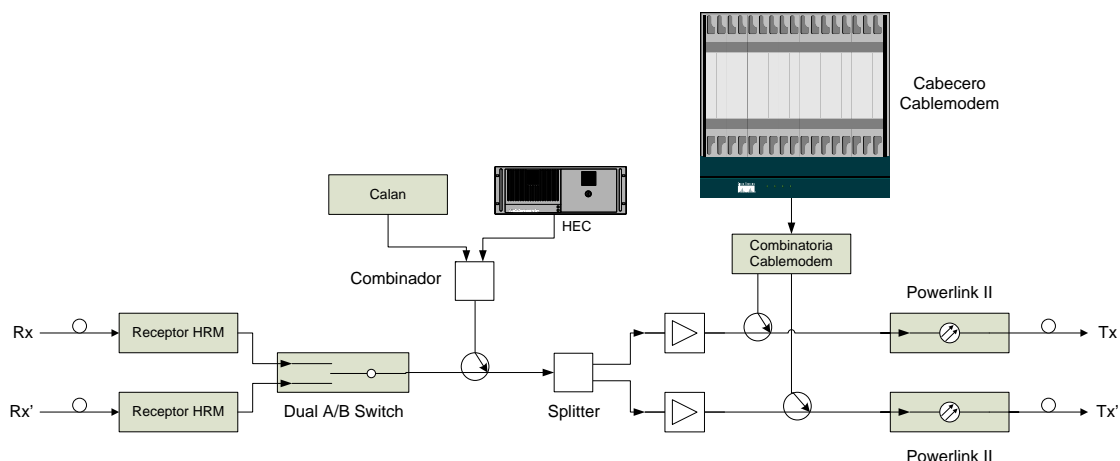


Figura 3.3: Esquema de bloques descendente

La señal de descendente llega al nodo primario desde el nodo de cabecera por medio de dos fibras ópticas, una principal y otra redundante, tal y como podemos observar en la figura 3.3. Estas dos fibras terminan en el repartidor óptico del nodo primario y son enlazadas por medio de dos latiguillos de fibra hasta los receptores ópticos HRM3811 (fabricante: Harmonic), alojados en una plataforma HLP4200. Estos receptores trabajan con longitudes de onda de 1250 nm a 1600 nm, por lo que son compatibles con los transmisores de segunda y tercera ventana que están instalados.

Del Switch obtenemos una única salida que es acoplada con las señales de gestión del Netmentor (portadora generada por el ordenador HEC de cada nodo primario a una frecuencia de 118 MHz) y una señal de telemetría del HP Calan (este equipo es la referencia utilizada por los HP Calan de campo en los barridos de ascendente). No se utilizarán para hacer medidas.

A partir de este punto la señal se divide en dos caminos (principal y redundante) para atacar al conjunto de transmisores de descendente Powerlink (transmisores de segunda ventana), alojados en una plataforma HLP4200. La salida de cada transmisor llega al repartidor de fibras mediante un latiguillo y allí se puede “splitear” hasta 8 ramas para atacar 8 nodos finales, de tal forma que a cada nodo le llegarán dos fibras, una principal y otra redundante.

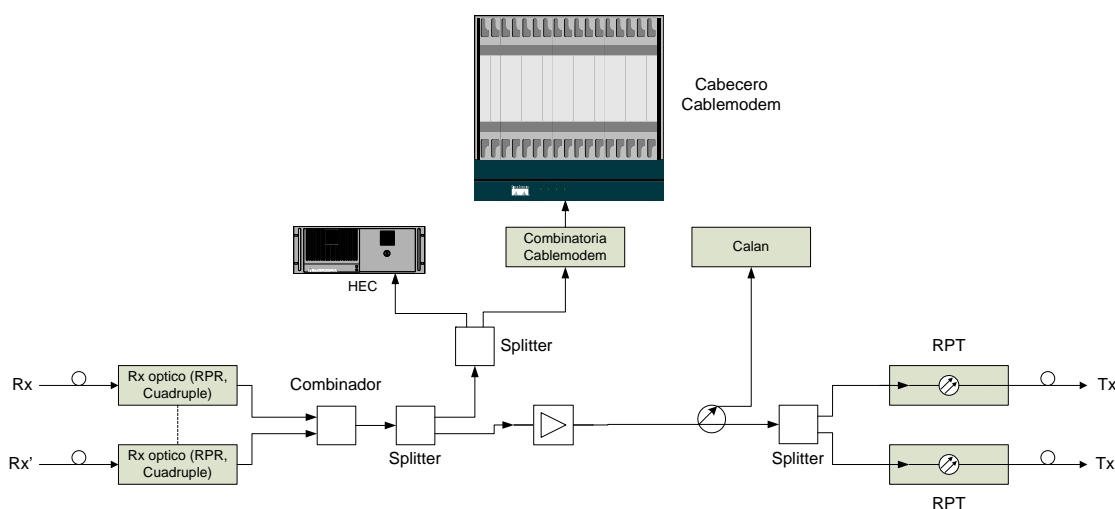


Figura 3.4: Esquema de bloques ascendente

La señal de ascendente llega al nodo primario desde cada uno de los nodos finales a través de dos fibras, una principal y otra redundante, tal y como podemos apreciar en la figura 3.4. Estas dos fibras terminan en el repartidor de fibras del nodo primario y son enlazadas por medio de dos latiguillos de fibra hasta los receptores ópticos (RPR). Ambos receptores ópticos están enlazados mediante un cable de control para asegurar que sólo uno de los receptores esté entregando señal de RF a la salida. En el caso de las RPR's esta unión se realiza mediante un cable externo.

El combinador a la salida de los receptores se encarga de tener siempre una señal de RF presente en su salida. La señal se divide para alcanzar el cabecero de cablemodem, y por otro lado, la señal se entrega a los transmisores de Harmonic (RPT), la cual llega a la cabecera de HFC por medio de dos fibras.

Desde cada nodo primario podemos dar servicio a unos 120 nodos finales, cubriendo unos 60000 hogares.

### 3.1.1.3 Nodo secundario (NS)

En estos emplazamientos tenemos los últimos equipos de la red de transporte SDH. Forman con los equipos SDH del nodo primario anillos secundarios.

Además en estas ubicaciones tenemos un multiplexor de acceso. A este equipo se le entrega a través de la red de transporte al menos una trama de 2Mbps que tiene conexión con la central de conmutación que existe en el CPO. En esa trama es donde se encapsulan las llamadas de telefonía.

Desde este equipo sale la troncal de pares de cobre que se distribuyen a los nodos terminales y de aquí a los clientes. Sobre esta red se dan los servicios básicos de telefonía (POTS y RDSI). Además podemos dar otros servicios de voz y datos para empresas sobre HDSL, usando la red de pares y circuitos de 2Mbps dedicados en la red de transporte.

Por lo general, desde un nodo secundario se alimenta en pares a cuatro nodos terminales, cubriendo una zona de unos 2000 hogares.

De la misma forma que en los emplazamientos anteriores, lo ideal es que al equipo de transporte se le ataque por dos caminos de fibra independientes. Este equipo de transporte SDH se inserta dentro de un anillo secundario junto a otros equipos de nodos secundarios diferentes. El anillo se cierra contra un equipo de SDH del nodo primario. El tráfico que manejan estos equipos no es muy grande, por lo que como máximo se equipa en el lado agregado con tarjetas STM1, teniendo los anillos secundarios una capacidad equivalente de un STM1. En la figura 3.5 podemos ver un ejemplo de un anillo secundario, donde los equipos de transporte representados son equipos de la familia MSH de Marconi que se verán más adelante.

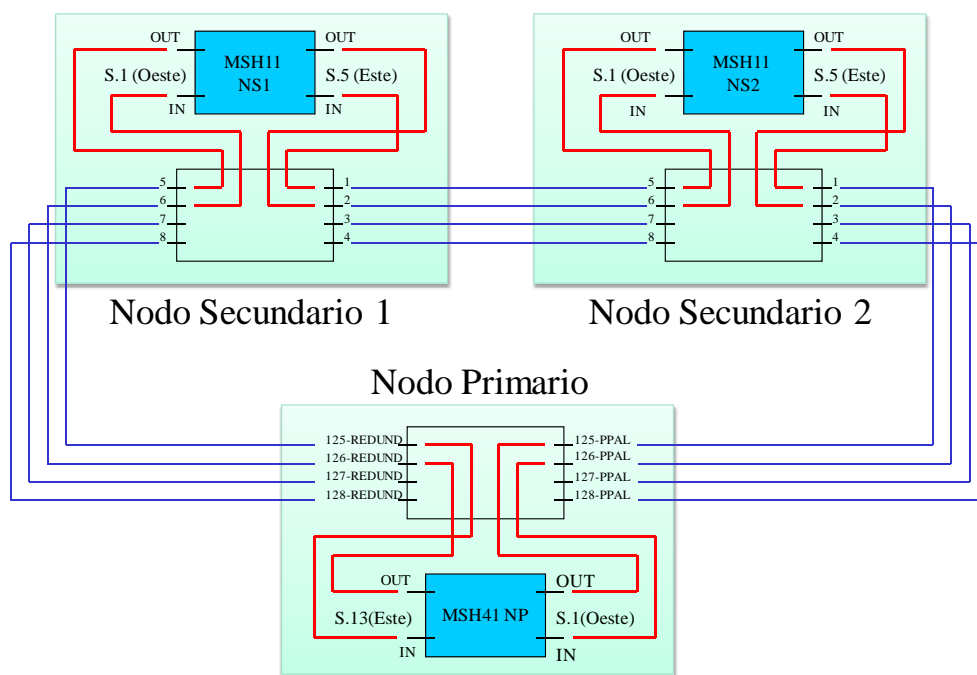


Figura 3.5: Ejemplo de anillo secundario

### 3.1.1.4 Nodos finales (NF)

Es el último emplazamiento de la red antes de llegar a los clientes. Para el servicio de telefonía en este tipo de ubicaciones sólo tenemos un repartidor de pares de cobre. Por una parte estarán los pares que vienen del equipo de acceso que está en el nodo de secundario (pares centrales) y por otra parte los pares de distribución que van a las cajas de pares que dan servicio a los clientes.

Para los servicios de datos y TV que vienen de la red HFC, en este emplazamiento tenemos el equipo que realizará la conversión óptico-eléctrica, el nodo óptico. Se conecta con el nodo primario HFC a través de fibra óptica, necesitando una fibra para el camino ascendente y otro para el descendente. Por lo general estas fibras están redundadas.

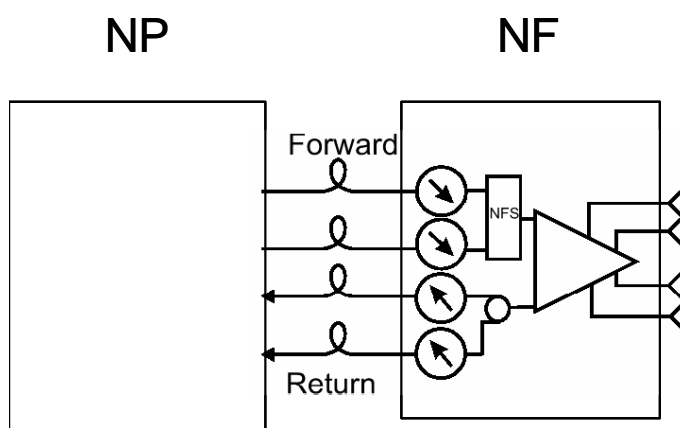


Figura 3.6: Conexión NP-NF

El nodo óptico conecta con la red coaxial que distribuye los servicios hasta las casas de los clientes a través de una red de amplificadores y elementos pasivos.

Desde cada nodo terminal se cubren unos 500 hogares.

### 3.1.2 Zona de cobertura

En la red que nos ocupa, para cubrir los hogares de Las Palmas de Gran Canaria se ha establecido un CPO en la zona de La Isleta. Denominaremos a este nodo CPO Isleta y codificándolo como *GC-ISL*.

Como ya se ha comentado, desde el CPO se proporciona servicio directamente a los clientes que están dentro de su radio de acción, unos 8 Kms. De esta forma se cubren los sectores de La Isleta, Puerto, Las Canteras y Guanarteme.

El servicio a proporcionar a los clientes dentro de estos sectores va directamente desde el CPO hasta los nodos finales sin pasar por ningún nodo primario. En el CPO tenemos el equipamiento de un nodo primario de HFC para distribuir los servicios de TV y datos.

Para el servicio de telefonía, o se ataca directamente con pares desde el CPO o se llega a los equipos de acceso por una red de transporte secundaria, pero sin necesidad de pasar por la troncal primaria de fibra que une a los nodos primarios con el CPO.

En nuestra red, para cubrir el resto de la ciudad se establecen dos nodos primarios. El primero por el centro de la ciudad, en la zona de Arenales, cubriendo las zonas de Triana, Vegueta, Plaza de la Feria y el cono Sur. Denominaremos a este emplazamiento como **Nodo Primario Arenales**, codificado como **GC-AR**.

El segundo nodo primario está ubicado en la zona de Las Ramblas y cubre la parte alta de la ciudad. Lo denominaremos **Nodo Primario Las Ramblas**, codificado como **GC-RMB** y cubre los sectores de Escaleritas, Lomo Los Frailes, 7 Palmas, La Paterna, La Feria, Las Rehojas y Lomo Apolinario.

En la figura 3.7 se ve como se cierra la troncal primaria de fibras entre el CPO y los nodos primarios de Las Palmas de Gran Canaria.



Figura 3.7: Anillo troncal de fibras de Las Palmas de Gran Canaria

## 3.2 Red de transporte SDH

El anillo SDH urbano de Las Palmas de Gran Canaria tiene que soportar todo el tráfico que transita entre el CPO y los dos nodos primarios. Entre este tráfico tenemos el que manejan todos los equipos multiplexores de acceso de los nodos secundarios. Por norma general, cada multiplexor necesita 2 tramas E1 (2Mbps) para llevar el tráfico telefónico entre los clientes y la central de conmutación. Cada circuito tiene la capacidad de llevar 30 canales de voz. Esto se debe a que la elección de la operadora ha sido tener una concentración de 1:8 y por lo general un nodo de acceso tiene unos 500 clientes. En algunos multiplexores de la red son necesarios más circuitos ya que la zona que cubren es mucho mayor. Además en los nodos secundarios se necesita un circuito adicional para gestionar y supervisar el multiplexor. También, si desde ese multiplexor se proporciona algún servicio a empresas a través de HDSL, necesitaremos al menos una trama E1 adicional.

Por otra parte, dependiendo del nodo primario pueden existir equipos SDH instalados en sedes de cliente (empresas) para dar servicios de 2 Mbps, 34Mbps, STM 1 o Fast Ethernet. Esto implica la necesidad de transportar hasta el CPO circuitos dedicados de diferentes capacidades para servicios de empresas.

Todo este tráfico se considera crítico y de alta prioridad para los clientes, por lo que la red de transporte que se ha montado establece un doble camino de fibras para llegar a cada equipo de transporte. De ahí que se haya elegido una arquitectura de red en anillo. Cada uno de los circuitos se llevará por los dos lados del anillo, teniendo un camino de trabajo y otro de protección. Tomando como ejemplo nuestra red de transporte, cada circuito que salga del nodo primario GC-AR hasta el CPO, tendrá un camino de protección a través del otro primario (GC-RMB).

Todos estos condicionantes nos llevan a la necesidad de tener un anillo primario SDH de gran capacidad. En nuestro caso el anillo tiene una capacidad STM16 lo que nos permitirá manejar un tráfico de 16 STM1 equivalentes protegidos.

En la figura 3.8 tenemos un esquema general de la red SDH existente. El anillo principal que une los nodos primarios y el CPO tiene una capacidad STM16. Este anillo está formado con equipos MSH51c de Marconi.

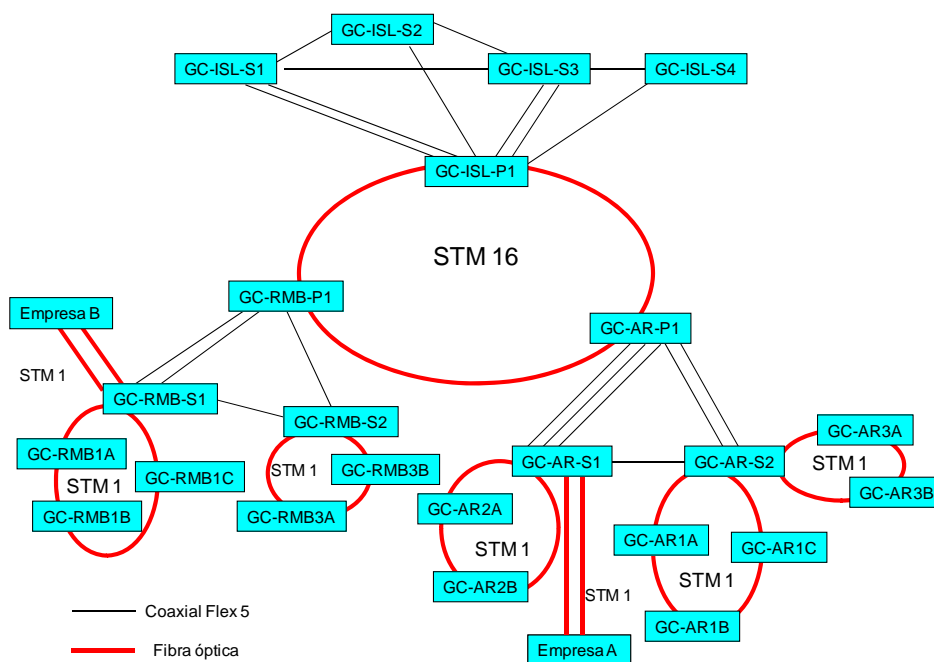


Figura 3.8: Ejemplo de red transporte SDH

En cada emplazamiento, junto al MSH51c existen otros equipos modelo MSH41c que permitirán montar los anillos secundarios con capacidad SMT1. Las conexiones entre los equipos dentro de un mismo emplazamiento se realizan con cable coaxial tipo Flex 5. También desde los MSH41c tendremos conexiones a través de fibra óptica con los equipos SDH que están instalados en sede de cliente.

A continuación veremos las características principales de los equipos SDH existentes en el CPO y los nodos primarios.

### 3.2.1 MSH51c

Para formar el anillo STM16 se utilizan equipos MSH51c de Marconi. Es un equipo compuesto por un doble subrack diseñado en base a la especificación ETSI ETS 300 119 4. En la figura 3.10 se presenta una estructura típica y una imagen de este equipo [3].

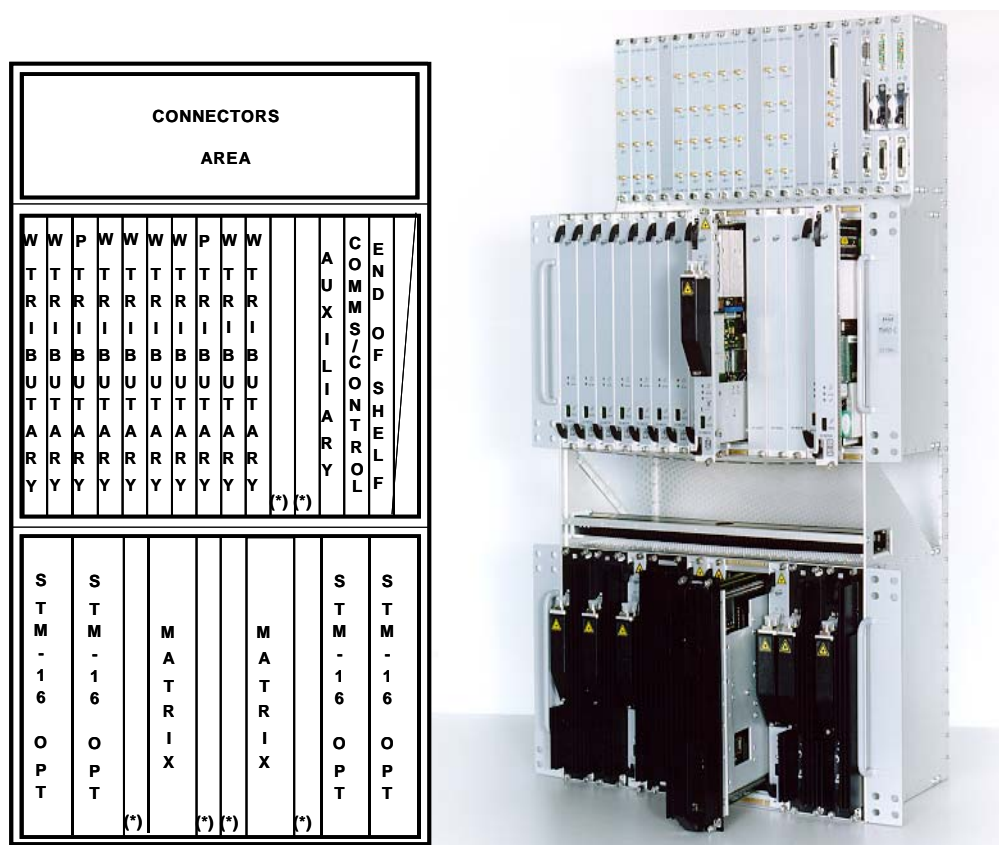


Figura 3.10: MSH51c

Se trata de un equipo modular en el que se pueden instalar diferentes tarjetas en función de la configuración de equipo que se desee. Así estos elementos pueden trabajar como regeneradores, en modo TM (Terminal Multiplexer) o como ADM (Add & Drop Multiplexer). En nuestro caso, se configurarán los equipos como ADM.

El equipo tiene una doble fuente de alimentación a tensión continua de -48Vcc.

En la parte superior se encuentra el área de conexión para las unidades tributarias eléctricas y resto de cableado del equipo (sincronismo, alimentación y gestión).

En la figura 3.11 se presenta el esquema de bloque genérico de un MSH51c como un ADM.



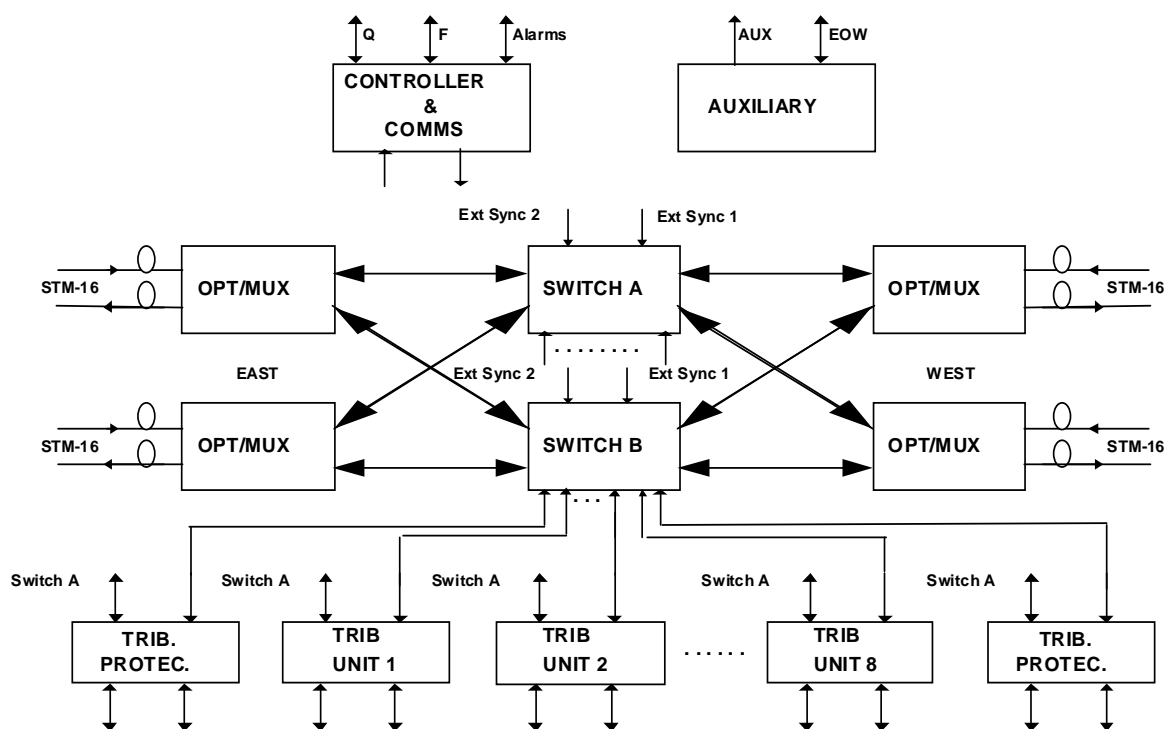


Figura 3.11: Esquema de bloques de un ADM

El equipo se instala con una controladora (Controller & COMMS) que proporciona el control y la supervisión del equipo vía los interfaces F (conexión local) o Q (conexión remota). Además guarda toda la información del equipo.

También existe una unidad de alarmas EOS (End of shelf) que proporciona las indicaciones luminosas de alarmas y almacena la copia de seguridad de la base de datos que contiene la configuración del equipo.

En el equipo se instala una matriz de conmutación que gestiona las crossconexiones a nivel de VC-4 y el sistema de sincronización. Además permite la configuración de todas las protecciones posibles. Para asegurar una alta disponibilidad del sistema, se puede instalar una segunda matriz para protección en configuración 1+1.

El MSH51c tiene una capacidad de crossconexión de 96 STM-1 equivalentes, 32 en el lado tributario y 32 STM-1 equivalentes en cada una de las líneas.

Estos equipos soportan configuraciones tributarias de 140/155 Mbps a nivel eléctrico, STM1 ópticos y STM4 ópticos. Las tarjetas eléctricas se pueden configurar con protección de equipo 1:N (con N hasta 4). La conmutación se produce por fallo de tarjeta o al extraer

manualmente una tarjeta de trabajo. En la figura 3.12 se indican las distintas unidades tributarias que se pueden instalar en estos equipos.

INTERFACE	SIGNAL STRUCTURE	MAX N OF TRIBS[1]	INTERF./UNIT
139264 kb/s / STM-1 el	Asynchronous Channel / ITU-T/G.707	32	4
STM-1 opt.	ITU-T/G.707	16 or 32	2 or 4
STM-4 opt.	ITU-T/G.707	8	1
10Mbit/s Ethernet elec./ 100Mbit/s Fast Ethernet elec./opt. on 10/100M Ethernet (Mapper) Unit	IEEE 802.3	32	4
10Mbit/s Ethernet elec./ 100Mbit/s Fast Ethernet elec./opt. on Layer 2 Unit for STM-4 slot	IEEE 802.3	32	4
Gigabit Ethernet on Layer 2 Unit for STM-4 slot	IEEE 802.3	8	1

Figura 3.12: Unidades tributarias MSH51c

En el lado agregado se equipa con tarjetas STM16 ópticas que pueden ser de corto o largo alcance, y de segunda o tercera ventana (1300nm o 1550nm). Si se necesitase, para cubrir largas distancias, se podrían instalar amplificadores BOOSTER desde +10dBm a +16dBm. En nuestra red no son necesarios estos elementos. En la figura 3.13 se indican las distintas unidades de línea que se pueden instalar en estos equipos.

INTERFACE	SIGNAL STRUCTURE	MAX No OF PORTS	INTERF./UNIT
STM-16 opt.	ITU-T/G.707	4	1
Gigabit Ethernet opt. on Dual Gigabit Ethernet (Mapper) Unit	IEEE 802.3	8	2
10Mbit/s Ethernet elec./ 100Mbit/s Fast Ethernet elec./opt. on Layer 2 Unit for STM-16 slot	IEEE 802.3	32	8
Gigabit Ethernet on Layer 2 Unit for STM-16 slot	IEEE 802.3	16	4

Figura 3.13: Unidades de línea del MSH51c

A nivel de tráfico, se pueden establecer protecciones MSP 1+1 o 1:N (Multiple Section Protection) a nivel STM1, STM4 o STM16. También se pueden establecer protecciones a nivel de subred SNC y protecciones MS-Spring a 2/4 fibras.

Las características de los interfaces ópticos se pueden ver en la figura 3.14. La primera letra de la tarjeta indica la distancia que cubre el interfaz óptico siendo “I” para las fibras dentro de la oficina (Intra Office), “S” para indicar corto alcance (Short-haul) y “L” para largo alcance (Long-haul).

El primer número indica la capacidad de la tarjeta “1” para la STM-1, “4” para STM-4 y “16” para las STM-16.

El último sufijo indica la ventana de trabajo de la tarjeta. “1” indica 2ª ventana (1310nm) según recomendación G.652, “2” para las de 3ª ventana (1550nm) según recomendación G.652 y “3” para las de 3ª ventana (1550nm) según recomendación G.653 (cable de fibra óptica con dispersión desplazada).

<b>STM-1</b>	<b>Tipo de interfaz óptico</b>	<b>Rango de atenuación</b>	<b>Máxima dispersión</b>
	I-1/S-1.1	0 - 18 dB	150 ps/nm
	S-1.2	0 - 12dB	NA
	L-1.1	0 - 28 dB	246 ps/nm
	L-1.2 / L-1.3	0 - 28 dB	3600 ps/nm / NA

<b>STM-4</b>	<b>Tipo de interfaz óptico</b>	<b>Rango de atenuación</b>	<b>Máxima dispersión</b>
	I-4/ S-4.1	0 - 12 dB	74 ps/nm
	S-4.2	0 - 12 dB	NA
	L-4.1	10 - 24 dB	NA
	L-4.2 / L-4.3	10 - 24 dB	1600 ps/nm / NA
	L-4.2 ext. disp	10 - 32 dB	2500 ps/nm

<b>STM-16</b>	<b>Tipo de interfaz óptico</b>	<b>Rango de atenuación</b>	<b>Máxima dispersión</b>
	I-16	0 - 7 dB	12 ps/nm
	S-16.1	0 - 12 dB	NA
	S-16.2	0 - 12 dB	800 ps/nm
	L-16.1	10 - 24 dB	NA
	L-16.2 / L-16.3	10 - 24 dB	1600 ps/nm

Figura 3.14: Interfaces ópticos

La gestión del equipo puede ser local a través de interfaz F o en remoto a través del interfaz Q o los canales DCC.

El equipo tiene dos entradas de sincronismo externas a 2Mhz, aunque también se puede sincronizar por línea o de las unidades tributarias. Además el equipo puede entregar dos señales de sincronismo externo de 2Mhz.

En la figura 3.15 se muestra el esquema del anillo STM-16 existente en la red actual.

En los tres MSH51c se instalan tarjetas ópticas L16.1 en los slots 17 y 26, de largo alcance y segunda ventana. Esas tarjetas tienen conectores FC/PC. Las tarjetas instaladas tienen una potencia de emisión entre +2 y -2 dBm. La sobrecarga en la recepción tiene un límite de -8dBm y la sensibilidad de la recepción está en -27dBm.

Los equipos se conectan a los repartidores ópticos de los emplazamientos con latiguillos monomodo con conector SC/APC en el lado del repartidor. En la figura 3.15 podemos ver varios repartidores ópticos (ROM: Repartidor óptico modular) en cada emplazamiento. En estos repartidores se conectarán las fibras que vienen de la calle y las fibras que vienen de los equipos, para dar continuidad al anillo.

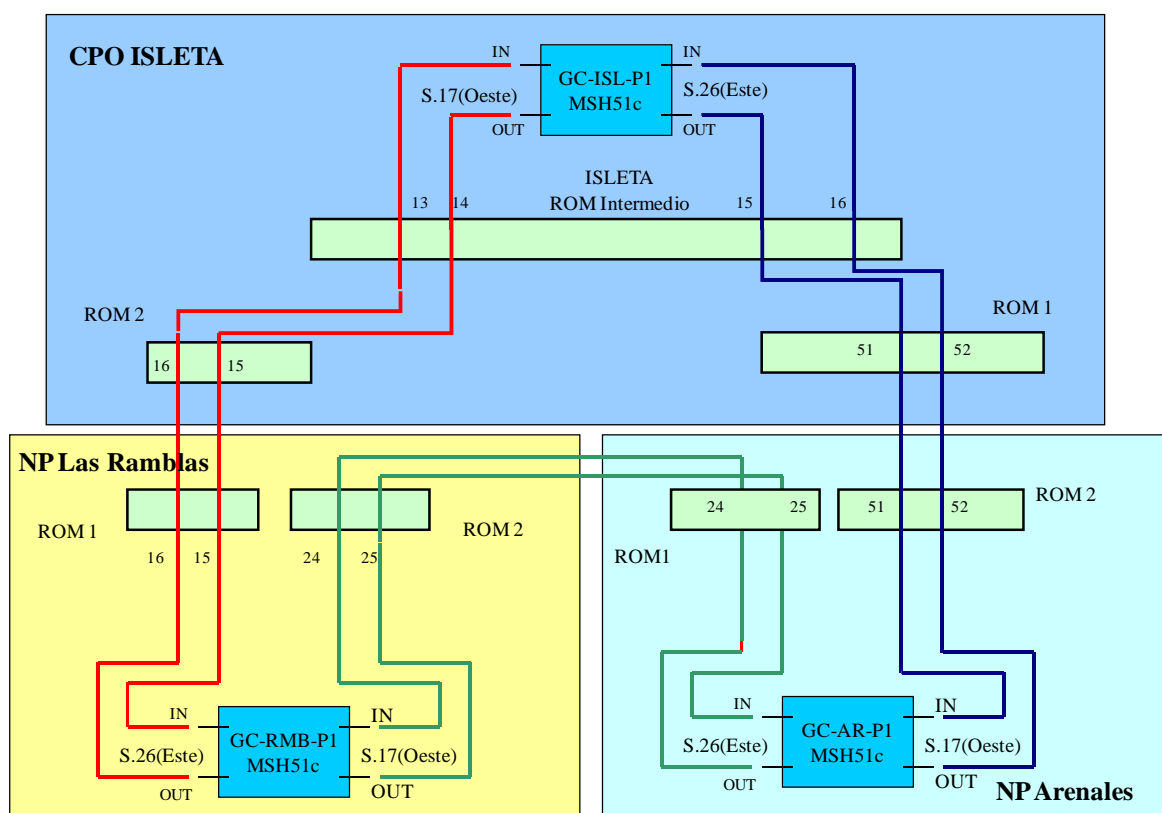


Figura 3.15: Anillo SDH primario STM16

En el lado tributario, estos equipos se instalan con tarjetas 4xSTM1 eléctricos (4 puertos) con protección de equipo 1:N. Estos puertos se usarán para la conexión eléctrica con los equipos MSH41c existentes en el nodo primario.

Un aspecto fundamental de las redes SDH es el sincronismo. En este caso, el sincronismo lo entrega el MSH51c que tenemos en el Isleta (GC-ISL-P1) y lo entrega a los nodos primarios por las dos líneas STM16 (Slot 17 y 26). Se establece que el sincronismo de la red siga el sentido de las agujas del reloj. De esta forma, se fija como primera fuente de sincronismo de los MSH51c de los nodos primarios, la línea del slot 17. Como segunda fuente de sincronismo se establece el slot 26 de los MSH51c. Esta fuente sólo se activará en caso de fallo de la primera.

### 3.2.2 MSH41c

Como ya se ha visto, el equipo MSH51c no maneja bajadas a tributarios por debajo del VC-4, por tanto en los emplazamientos se instalan unos segundos equipos que permitan manejar tráfico de 2 y 34Mbps. Este equipo es el MSH41c de Marconi [4].

Es un equipo compuesto por un único subrack para tarjetas con estructura mecánica de acuerdo a la norma ETSI ETS 300 119-4 y 300 119-3. En la figura 3.16 se presenta una estructura típica y una imagen de este equipo.

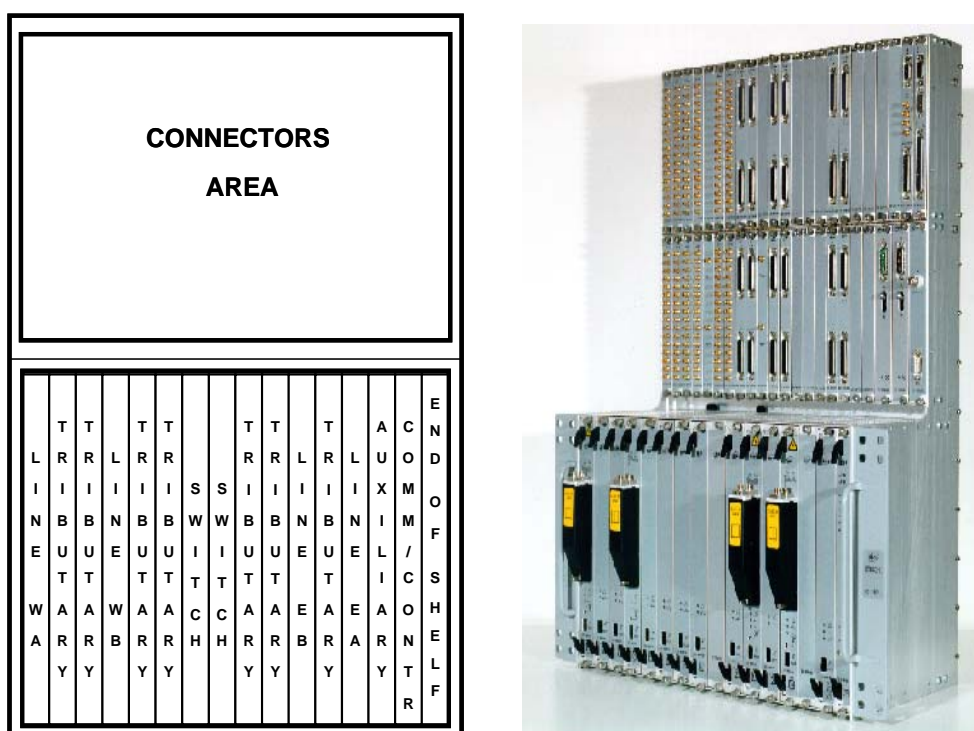


Figura 3.16: MSH41c

Se trata de un equipo modular en el que se pueden instalar diferentes tarjetas en función de la configuración de equipo que se desee. Así estos elementos pueden trabajar como regeneradores, en modo TM (Terminal Multiplexer) o como ADM (Add & Drop Multiplexer). En nuestro caso, se configurarán los equipos como ADM.

El equipo tiene una doble fuente de alimentación a tensión continua de -48Vcc. En la parte superior se encuentra el área de conexión para las unidades tributarias eléctricas y resto de cableado del equipo (sincronismo, alimentación y gestión).

En la figura 3.17 se presenta el esquema de bloque genérico de un MSH41c como un ADM.

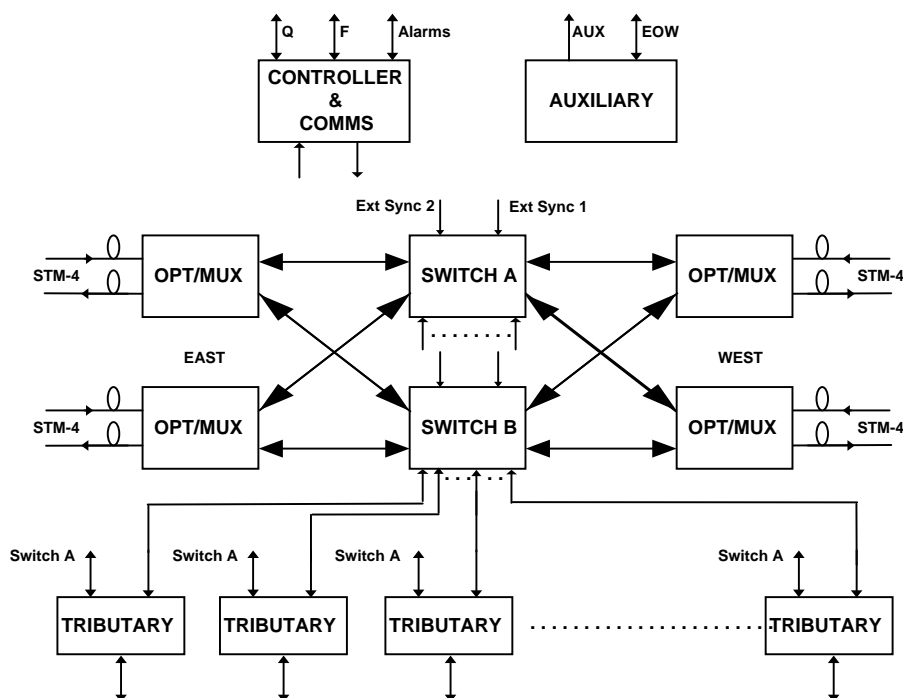


Figura 3.17: Esquema de bloques de un ADM

El equipo se instala con una controladora (Controller & COMMS) que proporciona el control y la supervisión del equipo vía los interfaces F (conexión local) o Q (conexión remota). Además guarda toda la información del equipo.

También existe una unidad de alarmas EOS (End of shelf) que proporciona las indicaciones luminosas de alarmas y almacena la copia de seguridad de la base de datos que contiene la configuración del equipo.

En el equipo se instala una matriz de conmutación que gestiona las crossconexiones y el sistema de sincronización. Además permite la configuración de todas las protecciones posibles. Para asegurar una alta disponibilidad del sistema, se puede instalar una segunda matriz para protección en configuración 1+1.

La matriz de este equipo permite conexiones en las rutas de alto y bajo orden, permitiendo crossconexiones en diferentes niveles:

- VC-4 // VC-4-Xc
- VC-3
- VC-2 // VC-2-nc
- VC-12
- VC-11

El MSH41c tiene una capacidad de crossconexión de 16 STM-1 equivalentes en total (8xSTM-1 equivalentes en el lado tributario y 4xSTM-1 equivalentes en cada lado de línea). Estos equipos soportan configuraciones tributarias 1.5 Mbps, 2 Mbps, 34Mbps, 45 Mbps, 140 Mbps, 155 Mbps a nivel eléctrico. Las tarjetas eléctricas de 34 y 45Mbps se pueden configurar en protección 1+1. El resto de tarjetas eléctricas se pueden configurar con protección de equipo 1:N (con N hasta 4). La conmutación se produce por fallo de tarjeta o al extraer manualmente una tarjeta de trabajo. En la figura 3.18 se indican las distintas unidades tributarias que se pueden instalar en estos equipos.

INTERFACE (kbit/s)	SIGNAL STRUCTURE	MAX N. OF TRIBS	INTERF./UNIT
1544 el. G.703	Asynchronous Channel / ITU-T G.707	252	32 or 63
2048 el. G.703	Asynchronous Channel / ITU-T G.707	252	32 or 63
2048 el. G.704/706	Asynchronous Channel / ITU-T G.704/706	252	32 or 63
34268 el. G.703	Asynchronous Channel / ITU-T G.707	24	3
44736 el. G.703	Asynchronous Channel / ITU-T G.707	24	3
139264 el. G.703	Asynchronous Channel / ITU-T G.707	8	1 or 2
STM-1 el. G.703	ITU-T G.707	8	1 or 2
STM-1 opt.	ITU-T G.707	8	1 or 2
STM-4 opt.	ITU-T G.707	2	1
10/100Mb/s FE	IEEE 802.3	8	8
L2C Aggregation	IEEE 802.3	8	8

Figura 3.18: Unidades tributarias MSH41c

En el lado agregado se puede equipar con hasta 4 tarjetas STM-4 ópticas, dos en cada lado. También se pueden instalar tarjetas STM-1 ópticas.

A nivel de tráfico, se pueden establecer protecciones MSP 1+1 o 1:N (Multiple Section Protection) a nivel STM1 o STM4. También se pueden establecer protecciones a nivel de subred SNC y protecciones MS-Spring a 2/4 fibras.

Las características de los interfaces ópticos se pueden ver en la figura 3.19. La primera letra de la tarjeta indica la distancia que cubre el interfaz óptico siendo “I” para las fibras dentro de la oficina (Intra Office), “S” para indicar corto alcance (Short-haul) y “L” para largo alcance (Long-haul).

El primer número indica la capacidad de la tarjeta “1” para la STM-1 y “4” para STM-4.

El último sufijo indica la ventana de trabajo de la tarjeta. “1” indica 2ª ventana (1310nm) según recomendación G.652, “2” para las de 3ª ventana (1550nm) según recomendación G.652 y “3” para las de 3ª ventana (1550nm) según recomendación G.653 (cable de fibra óptica con dispersión desplazada).

<b>STM-1</b>	<b>Tipo de interfaz óptico</b>	<b>Rango de atenuación</b>	<b>Máxima dispersión</b>
	I-1/S-1.1	0 - 18 dB	150 ps/nm
	L-1.1	0 - 28 dB	246 ps/nm
	L-1.2 / L-1.3	10 - 28 dB	3600 ps/nm / NA

<b>STM-4</b>	<b>Tipo de interfaz óptico</b>	<b>Rango de atenuación</b>	<b>Máxima dispersión</b>
	I-4/ S-4.1	0 - 14 dB	90 ps/nm
	L-4.1	9 - 26 dB	NA
	L-4.2	10 - 32 dB	2500 ps/nm (Extended Dispersion Range)
	L-4.2 / L-4.3	10 - 32 dB	1800 ps/nm / NA
	JE-4.2 / JE-4.3:	10 - 38 dB	3500 ps/nm

Figura 3.19: Interfaces ópticos

La gestión del equipo puede ser local a través de interfaz F o en remoto a través del interfaz Q o los canales DCC.

El equipo tiene dos entradas de sincronismo externas a 2Mhz, aunque también se puede sincronizar por línea o de las unidades tributarias. Además el equipo puede entregar dos señales de sincronismo externo de 2Mhz.



En la figura 3.20 se muestra el diagrama de equipos existente en el nodo primario de Arenales. En el CPO y en el otro nodo primario tenemos un esquema similar donde sólo varía el número de equipos instalados.

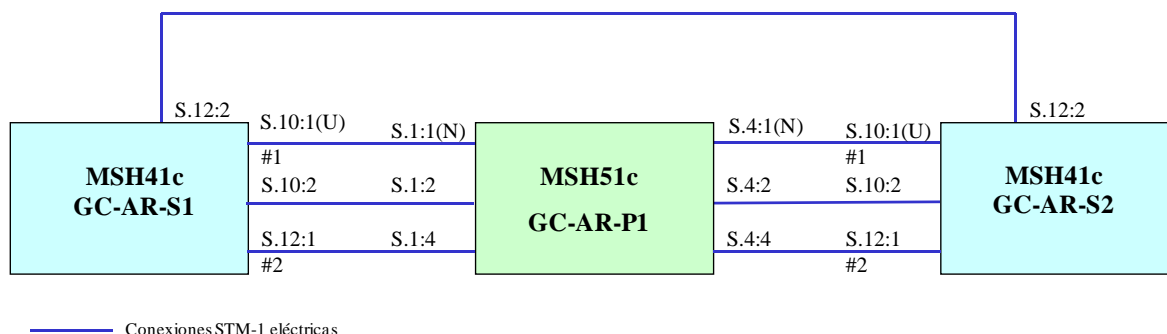


Figura 3.20: Diagrama equipos transporte en NP GC-AR

Como se ha comentado, en cada emplazamiento que forma el anillo STM-16 es necesario una conexión con equipos MSH41c para poder bajar los circuitos a tramas menores que la STM1.

Como vemos en el esquema entre el MSH51c y los MSH41c existen varias conexiones STM-1 eléctricas realizadas con cable coaxial Flex 5. En los MSH41c se instalan tarjetas de 2Mbps y 34Mbps para los circuitos de esas capacidades que se entregan en esos emplazamientos. Las tarjetas con interfaces 133/150Mbps eléctricos son del tipo 2xSTM-1 eléctricos. Se instalan en los slots 10 y 12. En la tarjeta 9, se instala otra tarjeta que es protección 1:2 de las otras.

El sincronismo que toma del anillo STM-16 el equipo MSH51c, lo entrega por sus líneas a los MSH41 y al resto de la red SDH del nodo primario.

Por otra parte, desde los MSH41c también se forman los anillos secundarios STM-1 ópticos con los nodos secundarios existentes en la zona de cobertura de ese nodo primario. En la figura 3.21 podemos ver un ejemplo de un anillo secundario que cuelga del nodo primario de Arenales.

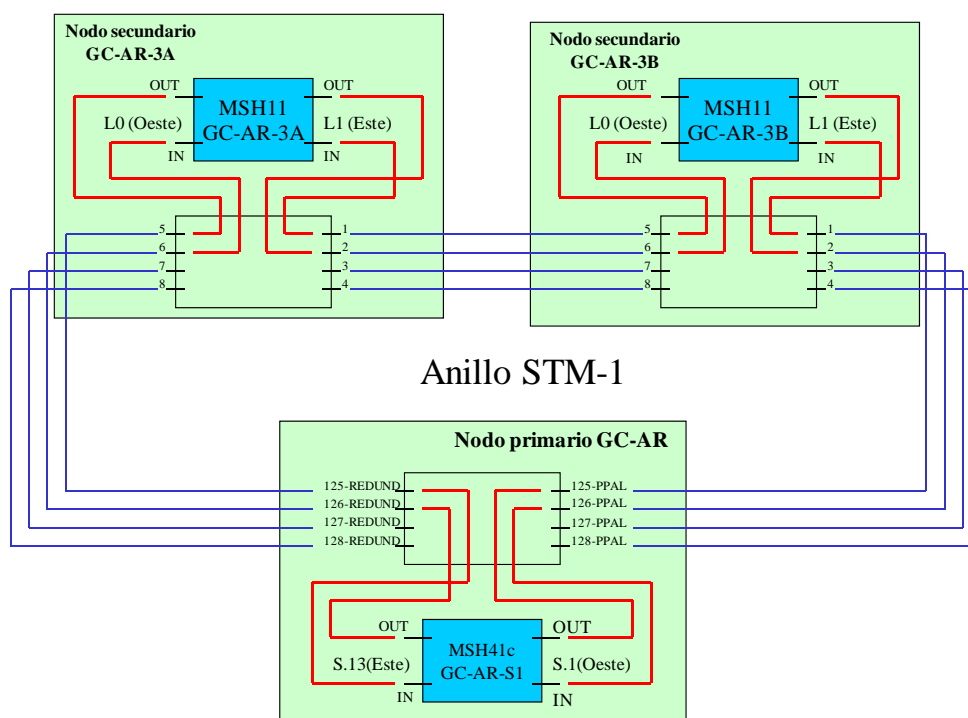


Figura 3.21: Anillo secundario STM1

En los MSH41c se instalan tarjetas ópticas S1.1 (corto alcance y 2ª ventana). Necesitaremos un par de tarjetas por cada anillo secundario. Por lo general, en cada MSH41c se pueden instalar 6 tarjetas S1.1, con lo que podemos formar 3 anillos secundarios. Esas tarjetas tienen conectores FC/PC. Las tarjetas instaladas tienen una potencia de transmisión entre -8 y -15dBm, siendo la típica -12dBm. La sobrecarga en la recepción tiene un límite de -8dBm y la sensibilidad de la recepción está en -34dBm.

Los equipos se conectan a los repartidores ópticos de los emplazamientos con latiguillos monomodos con conector SC/APC en el lado del repartidor.

En estos anillos secundarios, nos encontramos que en los nodos secundarios se instalan los equipos MSH11 [5]. Estos equipos tienen dos tarjetas de línea STM-1 del tipo S1.1 que permiten formar los anillos con el nodo primario.

### 3.2.3 Tráfico dentro del anillo SDH

Como se ha indicado, los equipos MSH51c no pueden bajar los circuitos a tributarios menores a 155Mbps.

En los anillos primarios y secundarios se establecerán los circuitos con protección tipo SNCP. En la figura 3.22 se puede ver el esquema de las rutas que se deben crear para llevar el tráfico entre el CPO y los nodos primarios. A estas rutas se les conoce como VC4-Path. Son rutas con capacidad VC4 creadas entre un puerto STM-1 eléctrico de un MSH41c de un nodo primario, y un puerto eléctrico STM-1 MSH41c del CPO.

Dentro del anillo STM-16, se utiliza un AU4 de los 16 disponibles para llevar el tráfico, añadiéndole protección SNCP por el otro lado del anillo.

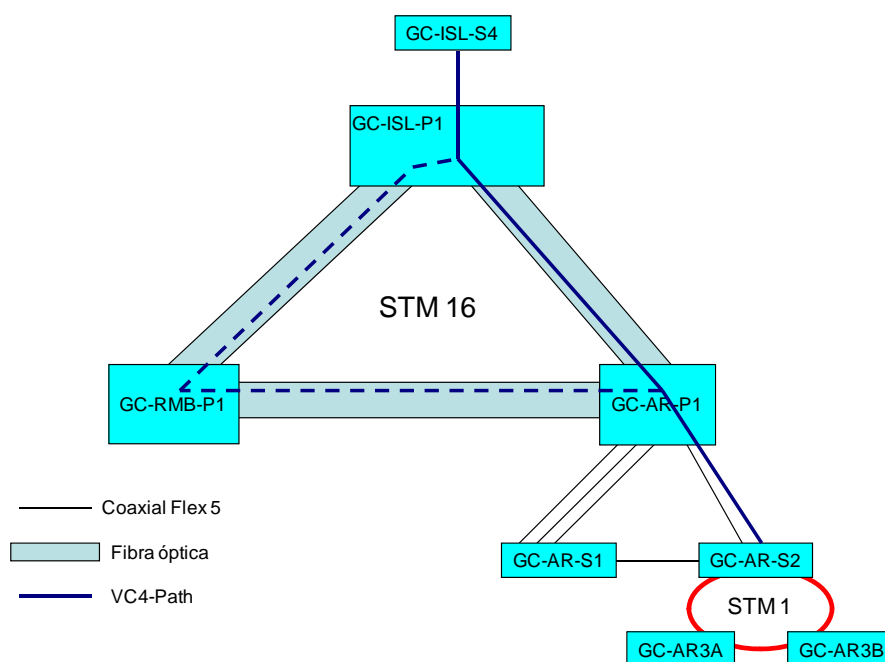


Figura 3.22: VC4-Path

El VC4-Path se debe estructurar según las necesidades del tráfico que tenga que transportar. En nuestra red los circuitos que se llevan son de 2Mbps, de 34Mbps o de 155Mbps. Por tanto el VC4-Path se puede estructurar para:

- Llevar un único circuito STM-1.
- Llevar hasta 63 circuitos de 2Mbps.
- Llevar 3 circuitos de 34Mbps.
- Llevar 1 circuito de 34Mbps y 42 circuitos de 2Mbps.
- Llevar 2 circuitos de 34Mbps y 21 circuitos de 2Mbps.

Se crearán tantos VC4-Path como sean necesarios para soportar todo el tráfico existente entre los nodos primarios y los CPOs, teniendo una limitación de 16 rutas protegidas dentro del anillo STM-16.

### 3.3 Transporte directo por fibras.

Como ejemplo de los servicios que van directamente a través de fibras entre emplazamientos, sin pasar por equipos de transmisión, se va a explicar la conexión de un circuito de 1 Gbps desde un cabecero de cablemodem en un nodo primario hasta el router que proporciona la interconexión con internet. En la figura 3.23 se muestra el esquema de una de estas conexiones.

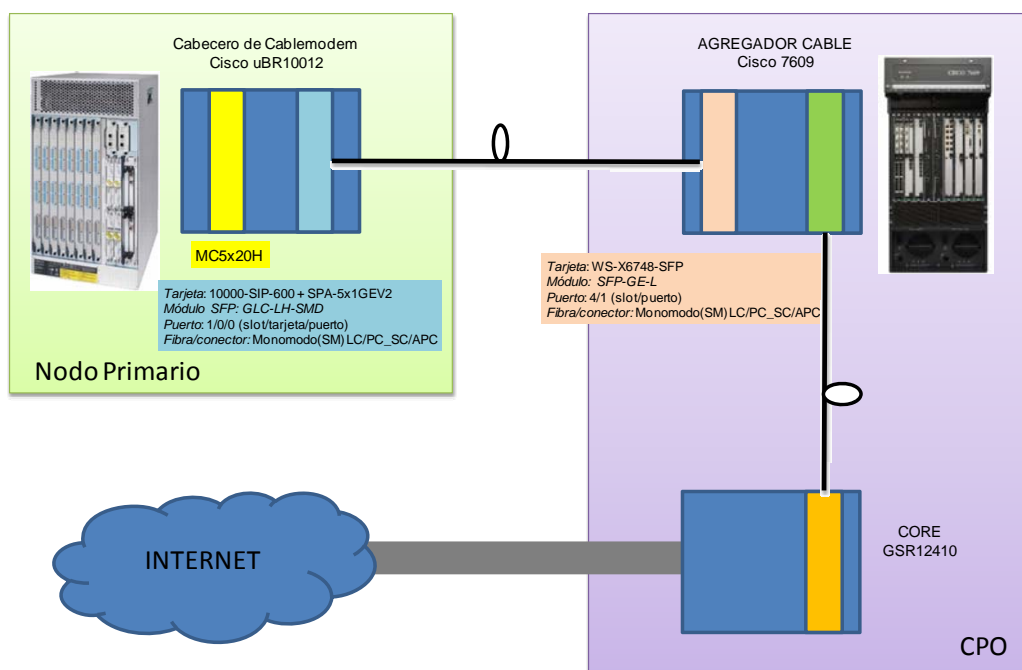


Figura 3.23: Conexión de datos entre NP y CPO

Como ya vimos en el apartado 3.1, el cabecero de cablemodem es un elemento clave para los servicios que ofrece la operadora. Se instala en cada nodo primario y es el encargado de proporcionar los servicios de alta velocidad para el acceso a Internet o la voz sobre IP de los clientes.

El equipo instalado en nuestra red es un  $\mu$ BR10012 de CISCO [20]. La interfaz con los nodos finales se realiza a través de la tarjeta MC5x20H. La interfaz del lado de línea se instala en la tarjeta 10000-SIP-600, insertando un módulo SPA (Share Port Adapter: Adap-

tador de puerto compartido). Se pueden instalar módulos SPA de 2, 5, 8 y 10 puertos Gigabit Ethernet, permitiendo la escalabilidad de la red. En nuestro caso se han instalado módulos SPA-5x1GEV2 (figura 3.24) con 5 puertos.



Figura 3.24: Módulo SPA-5x1GEV2

En cada uno de los puertos se tiene que insertar un transceiver óptico SFP (Small Form-factor Pluggable) para obtener la interfaz física con la fibra óptica. En este caso el módulo SFP que se utiliza es el GLC-LH-SMD (figura 3.25). Se trata de un módulo 1000Base-LH/LX de largo alcance y que trabaja en segunda ventana. La potencia de transmisión está entre -9dBm y -3dBm, teniendo una sensibilidad en la recepción de -20dBm. El equipo regula la potencia de transmisión de forma que mantiene la atenuación del enlace establecido ante variaciones. El conector de la fibra es dual LC/PC con fibras monomodo.



Figura 3.25: Transceiver SFP GLC-LH-SMD

El par de fibra que sale de este conector, se lleva hasta el repartidor de fibra (ROM) del nodo primario que tendrá un conector SC-APC, y aquí se interconecta con las fibras que llegan hasta el CPO.

El número de circuitos gigas necesarios entre cada nodo primario y el CPO dependerá del número de clientes que tenga ese nodo primario y de la capacidad de los servicios contratados. La tendencia es que tanto los clientes como las capacidades contratadas vayan en

constante crecimiento, por lo que el sistema nos ofrece la suficiente flexibilidad para adaptarnos a estos crecimientos.

Diariamente se obtiene la información del promedio de uso del servicio de datos de los clientes de un nodo primario y se establece la capacidad utilizada multiplicando el número de clientes por el promedio. Esto nos permite realizar el dimensionamiento de los enlaces necesarios.

En el CPO se necesita un equipo que concentre todo el tráfico de datos que le llegue de los nodos primarios y enrute el tráfico entre los nodos primarios y el equipo que interconecte con los proveedores de servicio de Internet. A este equipo se le denomina *Agregador Cable* y en nuestro caso se instala un router CISCO 7609. El equipo puede manejar hasta 130 puertos Gigabit Ethernet.

En este equipo se instala la tarjeta WS-X6748-SFP (figura 3.26) que proporciona 48 puertos con interfaz óptica SFP.



Figura 3.26: Tarjeta WS-X6748-SFP

La interfaz física con la fibra óptica la proporciona un módulo SFP-GE-L (figura 3.27). Se trata de un módulo 1000Base-LH/LX de largo alcance (hasta 10Kms) y que trabaja en segunda ventana. La potencia de transmisión está entre -9dBm y -3dBm, teniendo una sensibilidad en la recepción de -20dBm. El equipo regula la potencia de transmisión de forma que mantiene la atenuación del enlace establecido ante variaciones. El conector de la fibra es dual LC/PC con fibras monomodo.



Figura 3.27: Transceiver SFP GE-L

El par de fibras se conecta a este módulo y se lleva hasta el repartidor del CPO, donde interconecta con las fibras que vienen del nodo primario.

El agregador se conecta con el router que proporciona la conexión con los proveedores de servicio de Internet a través de enlaces de 10 Gbps. En nuestro caso tenemos como equipo CORE el GSR12410 de CISCO.

### 3.3.1 Esquema de protección de circuitos.

Como se ha comentado, desde el cabecero de cablemodem de un nodo primario hasta el router agregador en el CPO se establecerán varios circuitos Gigabit Ethernet para transportar el servicio de datos hasta los clientes de ese nodo primario.

Estos circuitos no tienen ningún esquema de protección. En caso de caída del circuito se perderá la capacidad soportada en ese enlace. El servicio de los clientes se reenrutará por los circuitos gigas que permanezcan levantados.

Para dotar al sistema de fiabilidad, los circuitos gigas entre los emplazamientos se enrutan por caminos independientes. Siempre que sea posible, por cada camino se llevará el 50% de la capacidad del servicio que proporciona el cabecero de cablemodem.

En caso de un corte total de uno de los caminos de fibra, los enlaces que permanezcan levantados llevarán todo el tráfico, y dependiendo de los clientes que estén conectados y el uso que le estén dando al servicio, podremos llegar a una situación de saturación de los enlaces. El cliente seguirá teniendo servicio, aunque es probable que la percepción que tenga es de lentitud en el mismo.

En la figura 3.28 se muestra el esquema de conexión entre un nodo primario y el CPO por caminos independientes.

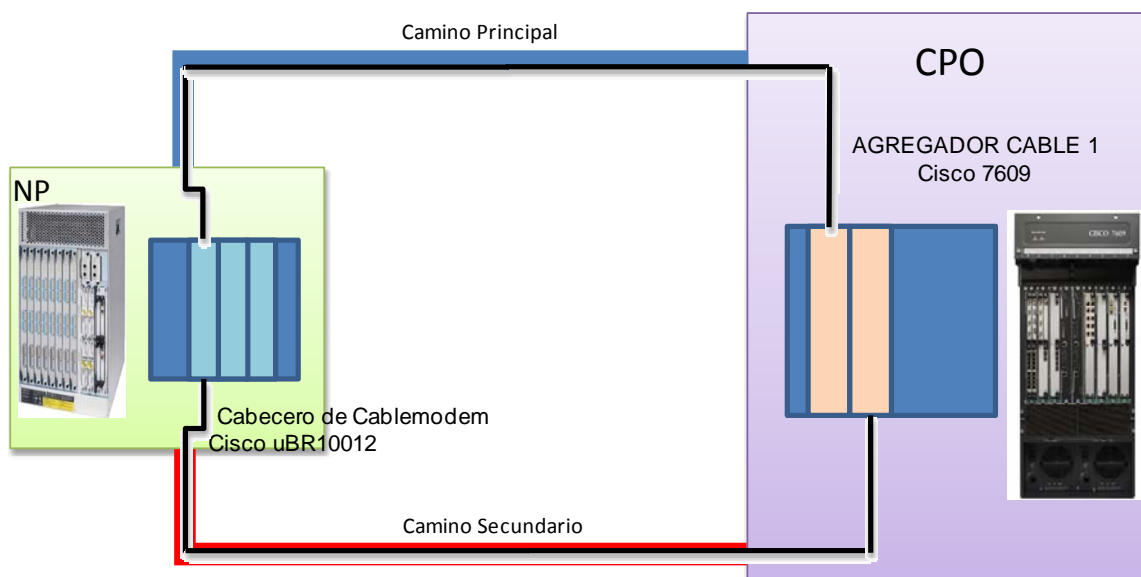


Figura 3.28: Conexión NP-CPO por distintas canalizaciones

## 3.4 Auditoría de la red existente

Vamos a describir el trabajo de campo que se ha realizado en este proyecto. Se trata de realizar medidas de las fibras existentes dentro del anillo urbano, es decir entre el CPO de la Isleta y los nodos primarios de Arenales y Las Ramblas. Se realizarán las medidas de los tramos de fibra óptica entre los tres centros con reflectómetro en segunda y tercera ventana con el objeto de seleccionar las fibras necesarias para soportar la futura capa óptica.

### 3.4.1 Descripción de actividades

#### 3.4.1.1 Aparatos de medida y accesorios necesarios.

Para la correcta ejecución de los trabajos de medición de los enlaces de fibra óptica son necesarios los siguientes aparatos y accesorios:

- Reflectómetro óptico (OTDR: Optical Time Domain Reflectometer): Es un equipo de medida que utiliza los fenómenos de retrodispersión (Rayleigh) o scattering de la fibra y la reflexión (Fresnel) al pasar de un medio a otro, para caracterizar un enlace de fibra en el dominio del tiempo. Para las medidas que se presentarán en este proyecto se usará el equipo MTS8000 del fabricante JDSU con módulo OTDR. En la figura 3.29 se ve el equipo de medida (interfaz gráfico y área de conexiones) [17].





Figura 3.29: MTS8000

- Bobinas de referencia de fibra óptica monomodo G.652 D, mayor de 1Km.
- Jumpers con un extremo SC/APC y el otro adecuado al equipo de medida de unos 3m.
- Enfrentadores SC/APC.
- Acopladores de fibra suelta.
- Kit de limpieza óptico para conectores.

Vamos a usar las medidas reflectométricas o de retrodispersión para determinar la calidad de los enlaces. En la figura 3.30 podemos ver el fenómeno de retrodispersión o dispersión de Rayleigh.

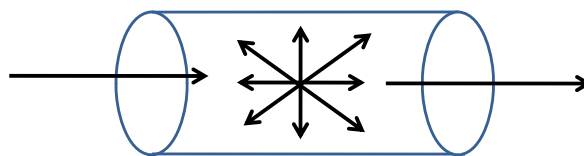


Figura 3.30: Dispersión de Rayleigh

### 3.4.1.2 Medidas reflectométricas.

Con este tipo de medidas se pueden detectar defectos en la fibra óptica instalada, medir las pérdidas originadas por conectores y empalmes, y medir las pérdidas de retorno puntuales y la longitud del enlace.

Un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR) nos permite la medición de la potencia de luz dispersa de retroceso en la fibra óptica, la cual es la suma de dos tipos de reflexiones:

- Reflexiones que se producen a lo largo del tramo de fibra óptica según el coeficiente de retrodispersión de la fibra óptica o backscattering.
- Reflexiones que se producen en los puntos de discontinuidad óptica o por eventos puntuales como conectores ópticos o empalmes de fusión.

La utilización de un reflectómetro nos permite:

- Realizar medidas de atenuación de la fibra óptica.
- Localizar puntos de discontinuidad óptica, roturas, empalmes, conectores, falta de homogeneidad puntual de la fibra o de cualquier otro evento.

La sistemática de medición consiste en realizar la medida desde uno de los extremos de fibra óptica que se quiere caracterizar para, a continuación, repetir la medición en el sentido inverso, desde el otro extremo.

El resultado de la medición o traza que se visualiza en la pantalla del reflectómetro conjuntamente con el resto de parámetros en base a los que se realizó la medición, recibe el nombre de protocolo de medición reflectométrica. El resultado final de la medición consistirá en una media absoluta de los valores obtenidos en ambas mediciones.

La señal que regresa al equipo es función de dos veces la pérdida de la fibra y el coeficiente de retrodispersión (figura 3.31)



$$D = \frac{c \times t}{2 \times n}$$

- D es la distancia
- c es la velocidad de la luz en el vacío
- t es el tiempo de retorno
- n es el índice de refracción

Figura 3.31: Medida de distancia de una fibra

La figura 3.32 muestra el esquema básico de un OTDR.

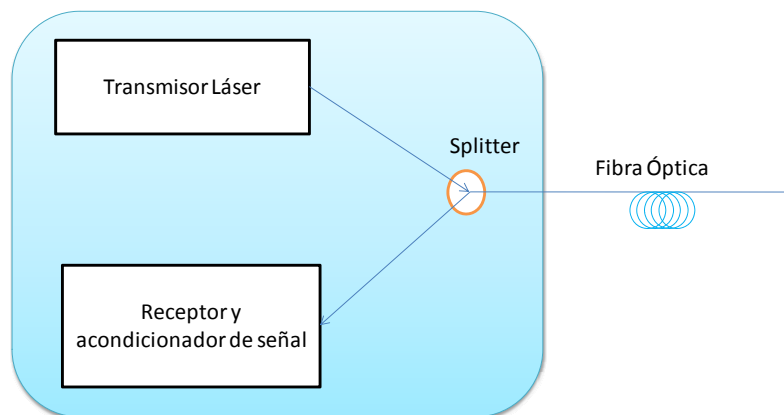


Figura 3.32: OTDR

En la figura 3.33 se puede ver un ejemplo de una traza reflectométrica típica, donde se aprecian el comienzo de la fibra, la pendiente de la traza (atenuación), las fusiones (soldaduras), una reflexión por un conector y el final de la fibra.



Figura 3.33: Traza reflectométrica

### 3.4.1.3 Consideraciones previas.

Todas las fibras que se van a medir están conectorizadas. El coeficiente de dispersión de una fibra lo marca el fabricante.

Como consecuencia del efecto Fresnel (pérdida producida cuando la luz pasa de un medio a otro con índice de refracción diferente), para poder realizar medidas en los primeros metros se deberá intercalar una bobina de referencia o lanzamiento de una longitud superior a 1000 metros. Esto nos permitirá caracterizar el primer conector con el que nos encontramos.

En la realización de las medidas, los OTDRs utilizan niveles de señal óptica muy bajos, que disminuye con la distancia, por tanto, la relación señal a ruido (SNR) también se va degradando con la distancia, siendo el margen dinámico del equipo el margen de atenuación para una  $SNR=1$ .

Para garantizar la precisión de las medidas, éstas deberán realizarse siempre 4dB por encima del pico de ruido. La SNR puede mejorarse mediante el número de promediados y el ancho de los pulsos. La elección de estos parámetros nos permite mantener un compromiso entre la resolución de la medición y la potencia inyectada.

La potencia óptica insertada deberá ser siempre menor a 10dBm, evitando así la atenuación por efectos no lineales de la fibra óptica. El rango dinámico es la diferencia entre la potencia al comienzo de la difusión y el pico de ruido, y está directamente relacionado con la potencia de la fuente. Es fundamental que el OTDR que elijamos tenga el rango dinámico adecuado para la distancia que vamos a medir, ya que el final de línea siempre debe estar al menos 4dB por encima del ruido para considerar que la medida es válida. En la figura 3.34 podemos ver el rango dinámico de un OTDR.

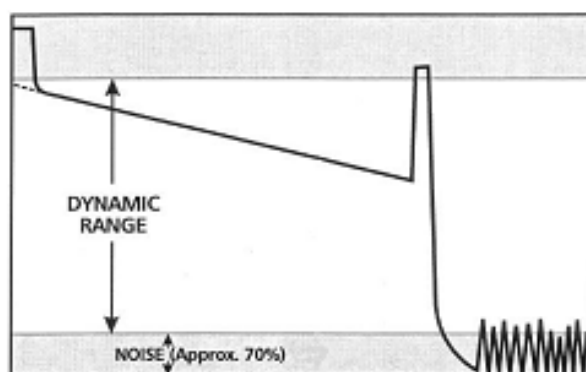


Figura 3.34: Rango dinámico.

Otro aspecto a tener en cuenta antes de iniciar la medida es la resolución, esto es, la distancia entre dos puntos de muestro y que depende de dos parámetros: Ancho del pulso que viaja por la fibra y la distancia entre los muestreos a realizar. Si aumentamos el ancho del pulso, aumentaremos la distancia mínima entre dos puntos de muestreo.

La *zona muerta* fija la distancia durante la cual el OTDR no puede distinguir dos efectos consecutivos. A mayor ancho del pulso, mayor zona muerta, promediando los eventos que envuelve el ancho del pulso.

Todos estos factores nos llevan a varias conclusiones:

- Los pulsos más anchos implican una menor resolución en los resultados pero cubren las distancias mayores, porque introducen menos ruido.
- El rango dinámico caracteriza el rango de potencia útil (eje vertical).
- La *zona muerta* describe el límite de la mínima distancia (eje horizontal) en el que se podrá encontrar un fallo después de una reflexión.
- Un pulso más largo implica una mayor *zona muerta* (un pulso de 100ns equivale a 10m de fibra). Aumentar la duración del pulso en 10, implica aumentar su energía pudiendo llegar a mayores distancias, pero también se extiende la zona muerta por 10 (un pulso de 1 $\mu$ s equivale a 100m en la fibra).
- Será obligatorio el uso de una bobina de lanzamiento si queremos caracterizar el conector inicial. Para buscar un corte no suele ser necesario.
- La reflectometría debe ser bidireccional para caracterizar la fibra correctamente. Con la medida en ambos sentidos se evitan los errores de ganancia o pérdida exagerada (gainer o exaggerate loss). Estos errores suelen ocurrir en puntos donde dos fibras diferentes se unen por medio de una fusión o conector. Los valores de atenuación serán el promedio.
- Es necesario realizar una limpieza previa de los conectores antes de realizar una medida.
- Las mediciones se harán en 2ª y 3ª ventana para caracterizar correctamente las fibras.

- Es obligatorio desconectar las entradas y salidas ópticas del enlace bajo inspección para evitar dañar los equipos.
- La medida se realizará sobre una traza libre de ruido, por lo que deberá dejarse el suficiente tiempo de adquisición. Este tiempo es proporcional a la longitud del enlace a medir.
- Para medir la distancia del enlace debemos ajustar el índice de refracción del OTDR a lo que marque el fabricante de la fibra. Si se desconoce este dato se puede fijar a un valor próximo a 1,47.
- En la tabla 3.1 podemos ver algunos ejemplos de configuración del ancho del pulso. Como norma general, para longitudes de tramo menores de 10 Kms, la duración del impulso será menor a 0,1µs.

Para tramos entre 10 y 20Kms el pulso puede ser menor que 0,5 µs, y para distancias mayores, menor de 1µs.

Objetivo de la medida	Ventana	Rango	Tiempo de adquisición	Pulso
Detalle del conector del repartidor origen y empalmes de inicio de línea	2 (1310 nm)	10 Kms	3'	300 ns
	3 (1550 nm)			
Detalles de eventos intermedios y eventos de todo el enlace (3ª ventana)	3 (1550 nm)	> 2xLongitud del enlace	3'	1 µs
				10 µs
				20 µs
Detalles de eventos intermedios y eventos de todo el enlace (2ª ventana)	2 (1310 nm)	> 2xLongitud del enlace	3'	1 µs
				10 µs
				20 µs

Tabla 3.1: Pulsos típicos.

- En la tabla 3.2 podemos ver los valores máximos de las pérdidas genéricas.

	Ventana de transmisión	
	2ª ventana (1310nm)	3ª ventana (1550 nm)
Tramo de fibra	0,35 dB/Km	0,2 dB/Km
Empalme	0,15 dB	0,1 dB
Conector	0,4 dB	
Pig-tail (incluidos empalmes de fusión y enfrentadores)	0,8 dB	

Tabla 3.2: Niveles máximos de atenuación.

### 3.4.1.4 Interpretación de eventos.

En las medidas reflectométricas nos encontramos con dos tipos de eventos, los reflexivos y los no reflexivos [18].

- Eventos reflexivos: Son los picos en las gráficas y se deben a conectores y al fin de línea. En la figura 3.35 se pueden ver dos ejemplos.

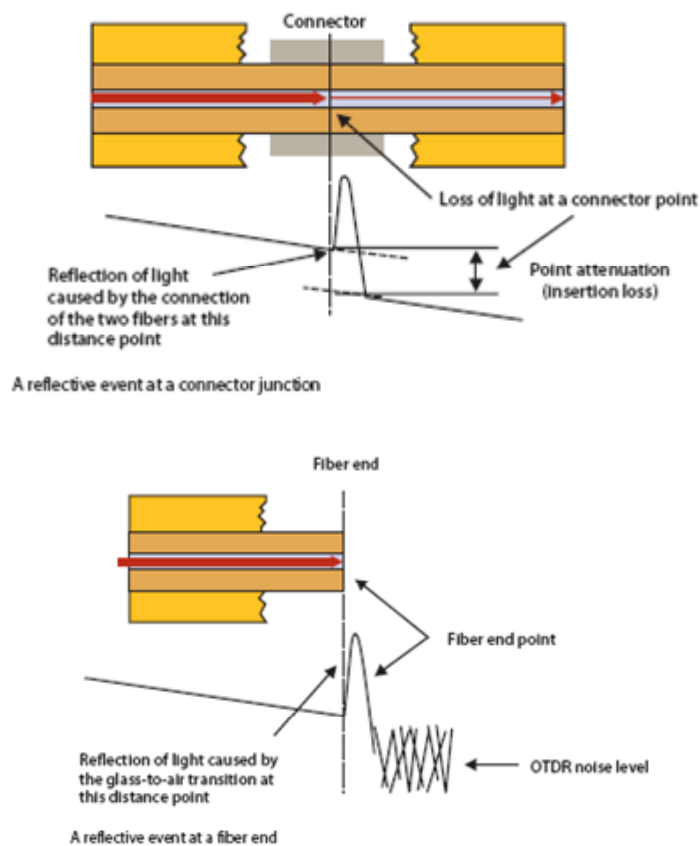


Figura 3.35: Eventos reflexivos.

- Eventos no reflexivos: Son los escalones en las gráficas y se deben a fusiones o macrocurvaturas. La figura 3.36 representa una fusión y el evento no reflexivo.

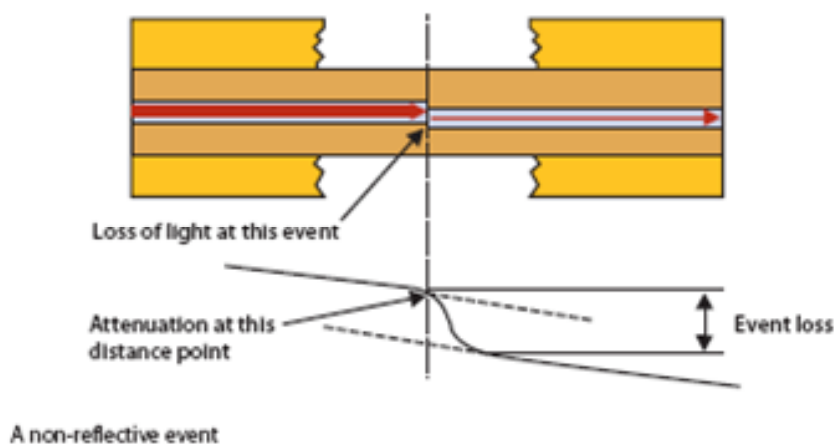


Figura 3.36: Evento no reflexivo.

### 3.4.1.5 Medidas de potencia.

Con este tipo de medidas se puede evaluar la atenuación total del enlace. Las medidas de potencia se efectuarán por el método de inserción en 2ª y 3ª ventana de transmisión, con una tolerancia máxima de luz estabilizada de  $\pm 35$  nm.

Aunque no usaremos este tipo de medidas para la elección de las fibras que se usarán, se ha considerado necesario explicarlo ya que es fundamental para las operaciones en redes de fibras ópticas.

Para estas medidas se usarán un par de equipos, por un lado un emisor o fuente óptica y en el otro extremo un medidor óptico. El receptor debe ser compatible con las características de la fuente. La detección debe ser directa y de características lineales. El rango del equipo debe ser mayor de 10dB de atenuación a medir, para garantizar una SNR correcta durante la medición.

Antes de realizar las medidas, hay que limpiar los conectores implicados en el enlace.

Lo siguiente que se hace es configurar la pareja emisor-receptor:

- Ambos equipos deben configurarse en la misma ventana de trabajo.
- El emisor se configura sin modulación (modo CW) ya que las modulaciones disminuyen en 3 dB la potencia emitida.



- En el receptor obtendremos la medida en unidades de potencia (dBm).

Se debe comprobar las pérdidas en los latiguillos, y conexiones equipo–latiguillo, usando las configuraciones de las figuras 3.37 (at.< 1,5 dB) ó figura 3.38 (at. < 1dB), y apuntar el valor obtenido. Si los valores son superiores a los indicados, tendremos que descartar los latiguillos.

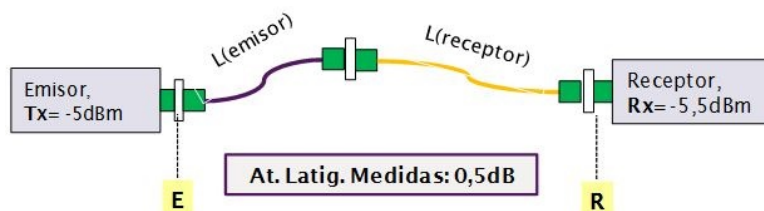


Figura 3.37: Medida atenuación latiguillos I

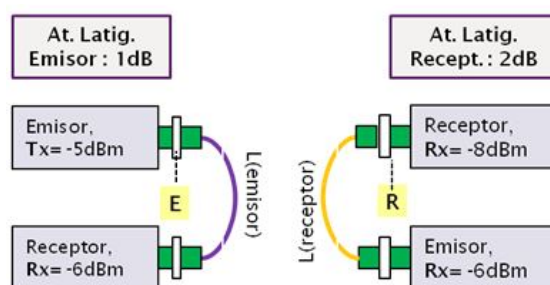


Figura 3.38: Medida atenuación latiguillos II

Una vez obtenida la atenuación de los latiguillos, se puede medir la atenuación total entre equipos, y restando la atenuación de los latiguillos calculadas previamente, se consigue la atenuación del enlace. En la figura 3.39 se representa la medida de atenuación típica.

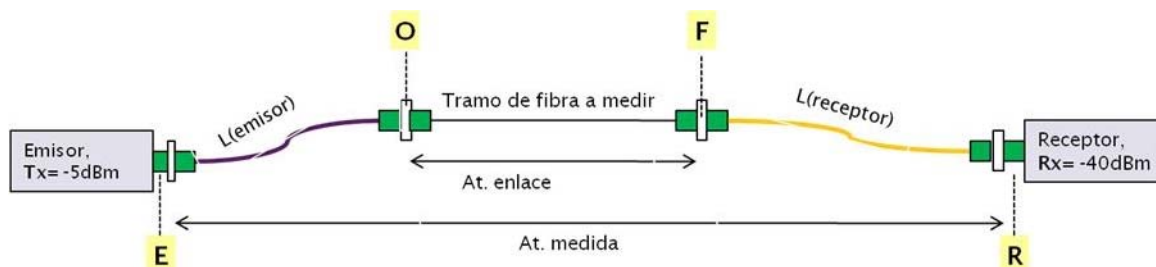


Figura 3.39: Medida de atenuación enlace.

### 3.4.2 Reflectometrías.

Se seleccionarán varias fibras disponibles entre los centros, realizando medidas reflectométricas. Posteriormente, se elegirán las fibras que se usarán para implantar la capa óptica. Se han localizado 7 fibras disponibles entre el CPO GC-ISL y el NP GC-AR, 6 fibras entre el CPO GC-ISL y el NP GC-RMB, y 4 fibras libres entre ambos nodos primarios.

Las medidas se realizarán en 2ª y 3ª ventana y en ambos sentidos, usando el equipo MTS8000 con módulo insertable OTDR E8126MR (figura 3.40). Este OTDR es de rango medio y alta resolución [17].



Figura 3.40: OTDR

El ancho de pulso que proporciona este equipo está entre 3ns y 20µs. Tiene un rango dinámico de 40dB para 1310nm y 38dB para 1550nm. En nuestro caso, las distancias que vamos a medir son inferiores a 15 Kms, siendo el OTDR del que disponemos el adecuado para realizar las medidas. Usaremos un pulso de 30ns que nos permita caracterizar correctamente las fibras.

En cada emplazamiento tenemos dos repartidores ópticos modulares (ROM) u optical distribution frame (ODF). A cada repartidor llegan las fibras de otro emplazamiento pero por canalizaciones distintas, tal como se indica en la figura 3.41. Son fibras monomodo.

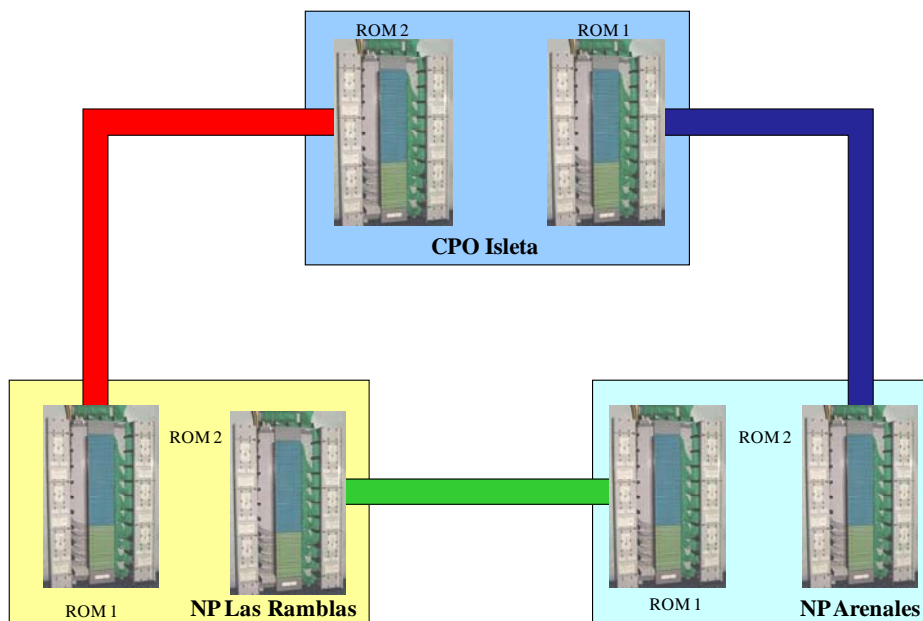


Figura 3.41: Unión repartidores entre emplazamientos.

Cada repartidor se divide en bandejas con 12 posiciones. Las fibras que vienen de la calle se conectorizan con un pigtail SC/APC y se terminan en un enfrentador SC/APC-SC/APC en una posición de la bandeja. En la figura 3.42 tenemos una imagen del pigtail y del enfrentador.



Figura 3.42: Pigtail y enfrentador SC/APC.

### 3.4.2.1 Medidas enlace GC-ISL y GC-AR.

El enlace entre el CPO de Isleta y el nodo primario de Arenales se establece entre el ROM 2 de GC-AR y el ROM 1 de GC-ISL. Se han localizado 7 fibras disponibles en la bandeja 11 de ambos repartidores, posiciones de la 122 a la 128.

Se realizan medidas en segunda y tercera ventana, en ambas direcciones. Nos quedaremos con los valores promedios de atenuación. Los resultados se muestran en la tabla 3.3.

REFLECTOMETRÍAS REALIZADAS DESDE EL ISLETA (GC-ISL)					
Posición ROM 1 GC-ISL	Distancia (metros)		Atenuación (dB)		Posición ROM 2 GC-AR
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	
Bandeja 11 F.O.122	7371	7378,6	3,203	1,902	Bandeja 11 F.O.122
Bandeja 11 F.O.123	7376	7379,3	2,73	1,64	Bandeja 11 F.O.123
Bandeja 11 F.O.124	7376	7379,3	3,069	1,661	Bandeja 11 F.O.124
Bandeja 11 F.O.125	7375,8	7379,3	3,103	1,846	Bandeja 11 F.O.125
Bandeja 11 F.O.126	7377	7380,6	3,169	1,849	Bandeja 11 F.O.126
Bandeja 11 F.O.127	7376,9	7380,6	3,05	1,945	Bandeja 11 F.O.127
Bandeja 11 F.O.128	7375,5	7378,6	2,984	1,939	Bandeja 11 F.O.128

REFLECTOMETRÍAS REALIZADAS DESDE EL N.P. ARENALES (GC-AR)					
Posición ROM 2 GC-AR	Distancia (metros)		Atenuación (dB)		Posición ROM 1 GC-ISL
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	
Bandeja 11 F.O.122	7375	7378	3,466	1,774	Bandeja 11 F.O.122
Bandeja 11 F.O.123	7376	7379	3,066	1,724	Bandeja 11 F.O.123
Bandeja 11 F.O.124	7376	7379	2,794	1,637	Bandeja 11 F.O.124
Bandeja 11 F.O.125	7375,8	7378,6	3,36	1,993	Bandeja 11 F.O.125
Bandeja 11 F.O.126	7377	7379	3,425	1,881	Bandeja 11 F.O.126
Bandeja 11 F.O.127	7377	7379,9	3,442	1,939	Bandeja 11 F.O.127
Bandeja 11 F.O.128	7375,6	7378,6	3,46	2,037	Bandeja 11 F.O.128

PROMEDIO ATENUACIONES ENLACE GC-ISL ⇔ GC-AR					
Posición ROM 1 GC-ISL	Distancia (metros)		Atenuación (dB)		Posición ROM 2 GC-AR
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	
Bandeja 11 F.O.122	7373,0	7378,3	3,335	1,838	Bandeja 11 F.O.122
Bandeja 11 F.O.123	7376,0	7379,2	2,898	1,682	Bandeja 11 F.O.123
Bandeja 11 F.O.124	7376,0	7379,2	2,932	1,649	Bandeja 11 F.O.124
Bandeja 11 F.O.125	7375,8	7379,0	3,232	1,920	Bandeja 11 F.O.125
Bandeja 11 F.O.126	7377,0	7379,8	3,297	1,865	Bandeja 11 F.O.126
Bandeja 11 F.O.127	7377,0	7380,3	3,246	1,942	Bandeja 11 F.O.127
Bandeja 11 F.O.128	7375,6	7378,6	3,222	1,988	Bandeja 11 F.O.128

Tabla 3.3: Medidas enlace GC-ISL ⇔ GC-AR

Tras analizar las gráficas de las 7 fibras, se han seleccionado de la 122 a la 125 para el futuro enlace de capa óptica entre los centros GC-AR y GC-ISL.

Las fibras seleccionadas presentan la menor atenuación de todas las revisadas. Además son las que menos eventos presentan en la medida, sólo detectándose alguna fusión, por lo que tenemos menos elementos en el enlace que puedan presentar problemas.

En el Anexo I se presentan las gráficas de las fibras medidas en el enlace GC-ISL ⇔ GC-AR.

### 3.4.2.2 Medidas enlace GC-ISL y GC-RMB.

El enlace entre el CPO de Isleta y el nodo primario de Las Ramblas se establece entre el ROM 1 de GC-RMB y el ROM 2 de GC-ISL. Se han localizado 6 fibras disponibles en la bandeja 11 de ambos repartidores, posiciones de la 123 a la 128.

Se realizan medidas en segunda y tercera ventana, en ambas direcciones. Nos quedaremos con los valores promedios de atenuación. Los resultados se muestran en la tabla 3.4.

REFLECTOMETRÍAS REALIZADAS DESDE EL ISLETA (GC-ISL)					
Posición ROM 2 GC-ISL	Distancia (metros)		Atenuación (dB)		Posición ROM 1 GC-RMB
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	
Bandeja 11 F.O.123	11988,54	11994,27	5,034	3,462	Bandeja 11 F.O.123
Bandeja 11 F.O.124	11987,27	11993	4,518	3,309	Bandeja 11 F.O.124
Bandeja 11 F.O.125	11988,54	11994,27	5,918	4,715	Bandeja 11 F.O.125
Bandeja 11 F.O.126	11987,91	11993	5,252	3,907	Bandeja 11 F.O.126
Bandeja 11 F.O.127	11988,54	11993	5,158	3,904	Bandeja 11 F.O.127
Bandeja 11 F.O.128	11989,8	11994,9	4,423	3,273	Bandeja 11 F.O.128

REFLECTOMETRÍAS REALIZADAS DESDE EL N.P. LAS RAMBLAS (GC-RMB)					
Posición ROM 1 GC-RMB	Distancia (metros)		Atenuación (dB)		Posición ROM 2 GC-ISL
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	
Bandeja 11 F.O.123	11988,5	11994,2	4,953	3,24	Bandeja 11 F.O.123
Bandeja 11 F.O.124	11987,9	11993	4,621	3,379	Bandeja 11 F.O.124
Bandeja 11 F.O.125	11989,1	11994,2	6,024	4,632	Bandeja 11 F.O.125
Bandeja 11 F.O.126	11987,9	11993	5,215	3,769	Bandeja 11 F.O.126
Bandeja 11 F.O.127	11988,5	11993,6	5,139	3,723	Bandeja 11 F.O.127
Bandeja 11 F.O.128	11989,1	11994,2	4,667	3,288	Bandeja 11 F.O.128

PROMEDIO ATENUACIONES ENLACE GC-ISL ⇔ GC-RMB					
Posición ROM 2 GC-ISL	Distancia (metros)		Atenuación (dB)		Posición ROM 1 GC-RMB
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	
Bandeja 11 F.O.123	11988,52	11994,24	4,994	3,351	Bandeja 11 F.O.123
Bandeja 11 F.O.124	11987,59	11993,00	4,570	3,344	Bandeja 11 F.O.124
Bandeja 11 F.O.125	11988,82	11994,24	5,971	4,674	Bandeja 11 F.O.125
Bandeja 11 F.O.126	11987,91	11993,00	5,234	3,838	Bandeja 11 F.O.126
Bandeja 11 F.O.127	11988,52	11993,30	5,149	3,814	Bandeja 11 F.O.127
Bandeja 11 F.O.128	11989,45	11994,55	4,545	3,281	Bandeja 11 F.O.128

Tabla 3.4: Medidas enlace GC-ISL ⇔ GC-RMB

Tras analizar las gráficas de las 6 fibras, se han seleccionado de la 123 a la 126 para el futuro enlace de capa óptica entre los centros GC-RMB y GC-ISL.

Las fibras seleccionadas presentan la menor atenuación de todas las revisadas. Además son las que menos eventos presentan en la medida, sólo detectándose alguna fusión, por lo que tenemos menos elementos en el enlace que puedan presentar problemas.

En el Anexo II se presentan las gráficas de las fibras medidas en el enlace GC-ISL ⇔ GC-RMB.

### 3.4.2.3 Medidas enlace GC-AR y GC-RMB.

El enlace entre el nodo primario de Arenales y el nodo primario de Las Ramblas se establece entre el ROM 1 de GC-AR y el ROM 2 de GC-RMB. Se han localizado 4 fibras disponibles en la bandeja 11 de ambos repartidores, posiciones de la 125 a la 128.

Se realizan medidas en segunda y tercera ventana, en ambas direcciones. Nos quedaremos con los valores promedios de atenuación. Los resultados se muestran en la tabla 3.5.

REFLECTOMETRÍAS REALIZADAS DESDE EL N.P. ARENALES (GC-AR)					
Posición ROM 1 GC-AR	Distancia (metros)		Atenuación (dB)		Posición ROM 2 GC-RMB
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	
Bandeja 11 F.O.125	10468,6	10473,1	3,945	2,437	Bandeja 11 F.O.125
Bandeja 11 F.O.126	10468	10472,4	3,854	2,177	Bandeja 11 F.O.126
Bandeja 11 F.O.127	10468	10472,4	3,98	2,344	Bandeja 11 F.O.127
Bandeja 11 F.O.128	10469,9	10474	4,177	2,766	Bandeja 11 F.O.128

REFLECTOMETRÍAS REALIZADAS DESDE EL N.P. LAS RAMBLAS (GC-RMB)					
Posición ROM 2 GC-RMB	Distancia (metros)		Atenuación (dB)		Posición ROM 1 GC-AR
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	
Bandeja 11 F.O.125	10469,3	10473	3,858	2,43	Bandeja 11 F.O.125
Bandeja 11 F.O.126	10468	10472	3,917	2,408	Bandeja 11 F.O.126
Bandeja 11 F.O.127	10469,9	10473,7	4,095	2,555	Bandeja 11 F.O.127
Bandeja 11 F.O.128	10468	10472,5	3,905	2,471	Bandeja 11 F.O.128

PROMEDIO ATENUACIONES ENLACE GC-AR ⇔ GC-RMB					
Posición ROM 1 GC-AR	Distancia (metros)		Atenuación (dB)		Posición ROM 2 GC-RMB
	1310nm	1550nm	1310nm	1550nm	
Bandeja 11 F.O.125	10468,95	10473,05	3,902	2,434	Bandeja 11 F.O.125
Bandeja 11 F.O.126	10468,00	10472,20	3,886	2,293	Bandeja 11 F.O.126
Bandeja 11 F.O.127	10468,95	10473,05	4,038	2,450	Bandeja 11 F.O.127
Bandeja 11 F.O.128	10468,95	10473,25	4,041	2,619	Bandeja 11 F.O.128

Tabla 3.5: Medidas enlace GC-AR ⇔ GC-RMB

Se usarán las cuatro fibras para el futuro enlace de capa óptica entre los centros GC-RMB y GC-AR.

En el Anexo III se presentan las gráficas de las fibras medidas en el enlace GC-AR ⇔ GC-RMB.

# Capítulo 4

## Red de capa óptica

En este capítulo se diseñará la red de capa óptica. Se explicará la estructura elegida y los equipos que la forman. Habiendo decidido que diseño se va a implantar, se describirán los trabajos necesarios para la instalación y configuración de los nuevos equipos, minimizando el impacto sobre la red existente, de forma que no se vean afectados los servicios que proporciona la empresa.

### 4.1 Diseño de la red óptica

En este capítulo se propondrá el diseño de una red de capa óptica que se implantará en paralelo con la red de transporte SDH existente.

La red óptica enlazará los tres emplazamientos dentro de la ciudad de Las Palmas de G.C.: CPO de Isleta, nodo primario de las Ramblas y nodo primario de Arenales.

La distancia máxima entre los emplazamientos será de 12 km, en el enlace GC-ISL y GC-RMB.

En el capítulo anterior se analizaron las fibras existentes y se eligieron las que formarán parte de la red de fibras. Se ha comprobado que la atenuación máxima que existirá en la planta externa será de 6 dB.

### **4.1.1 Metodología de diseño**

La red se diseñará bajo unos criterios determinados:

- Mantener servicios actuales.
- Escalabilidad.
- Disponibilidad.
- Capacidad.
- Costos.
- Mantenimiento.
- Instalación.
- Gestión.

El principal objetivo a la hora de implementar la nueva red es mantener los servicios actuales, aumentando la capacidad de los enlaces. El uso de dos fibras por enlace, una para cada sentido de la transmisión nos permitirá obtener mayor ancho de banda entre los emplazamientos [11].

El diseño debe presentar una red robusta ante fallos, que impida que por cortes simples se pueda perder algún servicio, obteniendo una alta disponibilidad de la red.

La metodología que se seguirá para este diseño es la siguiente:

- Elección de los equipos y tarjetas. Se deben elegir los equipos a utilizar ya que estos marcarán las pautas para el diseño a nivel de potencia, ancho de banda y OSNR.
- Configuración de los equipos. Hay que realizar la configuración de cada uno de los nodos, con las tarjetas elegidas para cada señal existente.
- Diseño a nivel de potencia. Se requiere garantizar la potencia óptica en cada uno de los nodos para asegurar que no se pierda la señal en la fibra.



- Diseño a nivel de ancho de banda. Se garantiza la distancia máxima de transmisión para las señales que se van a utilizar.
- Diseño a nivel de ruido. Se asegura que la relación señal a ruido no sea muy alta y no genere problemas para la señal.

Es importante saber que tráfico y tipo de señales se transportan entre los emplazamientos. En la tabla 4.1 se indica el tráfico existente actualmente en los tres enlaces:

Enlace	Circuitos de 1Gbps	Circuitos de 2,5 Gbps
GC-ISL ↔ GC-AR	12	1
GC-ISL ↔ GC-RMB	10	1
GC-RMB ↔ GG-AR	0	1

Tabla 4.1: Tráfico entre emplazamientos

Se opta por implementar un sistema unidireccional para aprovechar el ancho de banda del enlace. En este sistema todas las  $\lambda$  (longitud de onda) viajan en la misma dirección dentro de la fibra, por lo que se necesitan dos fibras para cada enlace, una para cada sentido de la transmisión entre dos equipos.

### 4.1.2 Elección de equipos

En el mercado se pueden encontrar una amplia variedad de proveedores y equipos, existiendo varias posibilidades a la hora de realizar una elección.

Para nuestro diseño se ha elegido el equipo FSP3000R7 del proveedor ADVA Optical Networking [15]. Se trata de un equipo que ofrece una solución de transporte DWDM flexible y escalable, capaz de adaptarse a las crecientes necesidades de ancho de banda.

Es un equipo compacto de bajo consumo. Su modularidad permite que partiendo de un coste inicial bajo, nos podamos adaptar sin problemas a futuros requerimientos de mayor ancho de banda.

El FSP3000 soporta redes con hasta 96 canales ópticos DWDM en la banda C con velocidades de hasta 100 Gbps, o hasta 120 canales ópticos con 80 en banda C a 100 Gbps y 40 en banda L a 10 Gbps. También soporta multiplexación por división en longitudes de onda ligeras o CWDM y un modelo híbrido CWDM/DWDM.

Con este equipo se pueden montar diferentes topologías de red: punto a punto; punto a multipunto, inserción/extracción (add/drop), anillo y malla.

El FSP3000 es una aplicación de transporte multiservicio. En la figura 4.1 podemos ver los servicios que se pueden transportar.

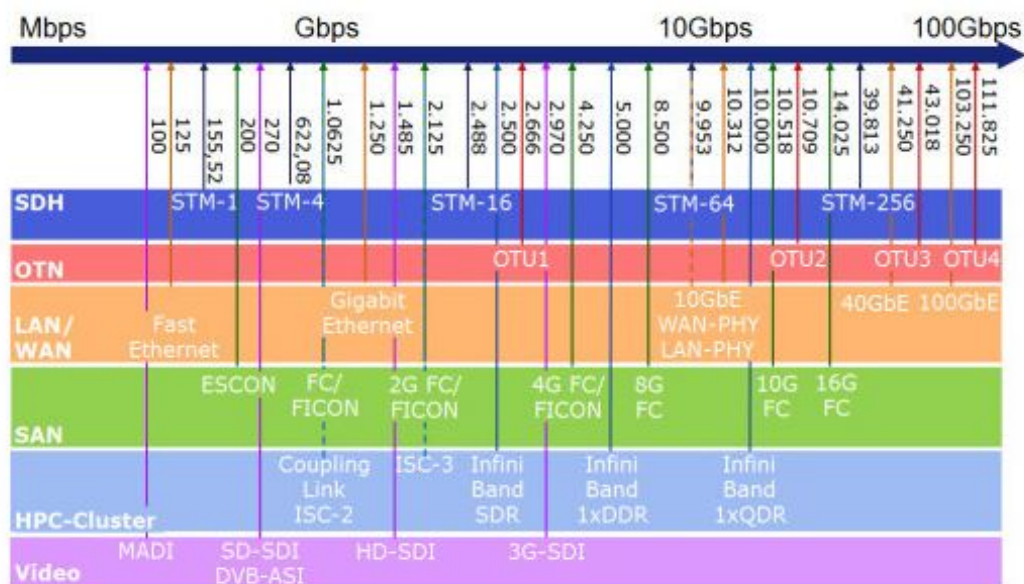


Figura 4.1: Servicios soportados por el FSP3000

El equipo es capaz de trabajar en cualquier tipo de redes, desde las de acceso, CORE, redes metropolitanas o regionales, cubriendo distancias por encima de los 3000 km sin regeneración.

En infraestructuras CORE soporta sistemas de transporte de larga distancia y redes metro. Como ejemplo de estas redes tenemos las redes de transporte de operadores móviles y de cable. Son redes de distancias entre los 200 y los 3000 km, soportadas con sistemas DWDM con canales espaciados entre 50 y 100 GHz. Los servicios transportados son de altas velocidades: circuitos de 10 GbE, 40 GbE y 100 GbE; OC-192/768; STM64/256; OTU-2/3/4.

En infraestructuras de acceso, nos encontramos con redes de transporte backhaul y redes de agregación Ethernet. Se manejan distancias entre los 10 y los 1200 km, soportadas con sistemas CWDM y DWDM. Los servicios transportados son: circuitos de 1 GbE y 10 GbE; OC-3/12/48/192; STM1/4/16/64; OTU-1/2.

Por último se pueden cubrir infraestructuras empresariales, uniendo diferentes sedes o CPDs (centros de procesamiento de datos). Para distancias menores a los 1200 km, soportadas con sistemas CWDM y DWDM. Los servicios transportados pueden ser: circuitos de 1 GbE, 10 GbE, 40 GbE y 100 GbE; FC-1/2/4/8/10/16 (Tecnología Fibre Channel); IB-5G/10G (InfiniBand).

#### 4.1.2.1 Espectros ópticos para sistemas WDM

El FSP3000 R7 soporta DWDM con un espaciado de 50/100 GHz, multiplexación por división aproximada de longitud de onda CWDM (Course Wavelength Division Multiplexing) con un espaciado de 20nm y una mezcla de ambos llamado híbrido CWDM/DWDM.

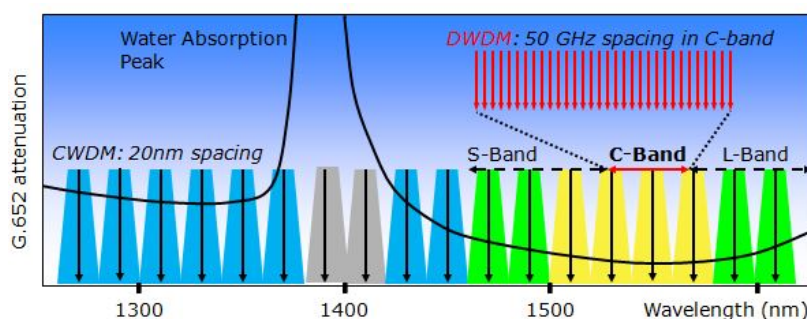


Figura 4.2: Espectro en fibras ópticas

La recomendación ITU-T G.694.2 [10] define el plan de frecuencias para CWDM. Los sistemas CWDM operan con longitudes de onda de las bandas ópticas que existen en la 2ª y 3ª ventana de transmisión de las fibras ópticas. CWDM tiene 18 canales espaciados en 20 nm entre 1271 y 1611 nm. En la figura 4.2 se muestran los 16 canales del sistema CWDM soportado por el FSP3000.

Las longitudes de onda se agrupan en 3 grupos:

- Grupo A: 1471, 1491, 1591 y 1611 nm ( $\lambda$  verdes en figura 4.2)
- Grupo B: 1511, 1531, 1551 y 1571 nm ( $\lambda$  amarillas en figura 4.2)
- Banda azul: 1271, 1291, 1311, 1331, 1351, 1371, 1431, 1451 ( $\lambda$  azules en figura 4.2)

La recomendación ITU-T G.694.1 [9] define el plan de frecuencias para DWDM, soportando diversos espaciamientos de canal que abarcan desde 12,5 GHz hasta 100 GHz, y espaciamientos mayores (múltiplos enteros de 100 GHz).

En la figura 4.3 tenemos la recomendación ITU-T G.694.1 para un espectro de 64 canales. Se usan dos sub-bandas, C y L, con 32 canales cada una. La nomenclatura de los canales D01 a D32 en la banda C, y D33 a D64 en la banda L.

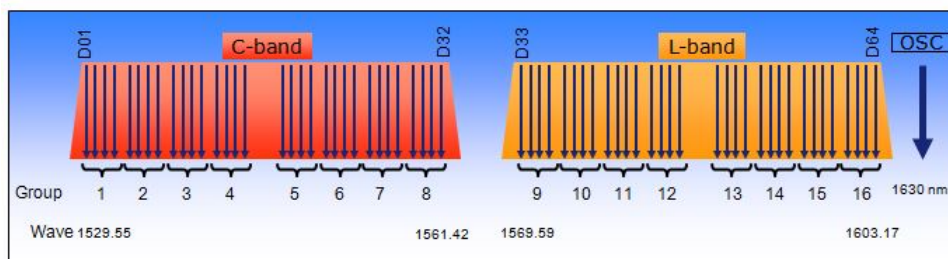


Figura 4.3: Recomendación ITU-T G.694.1 para 64 canales

Se forman 16 grupos de 4  $\lambda$ , espaciados 100 GHz ( $\sim 0,8$  nm) con una banda de guarda.

En la figura 4.4 tenemos la recomendación ITU-T G.694.1 para un espectro de 80 canales. Basado en el esquema para 64 canales, se añaden 8 canales en la banda C (DC1..DC8) y otros 8 canales en la banda L (DL1..DL8). Se mantiene el espaciado 100 GHz ( $\sim 0,8$  nm).

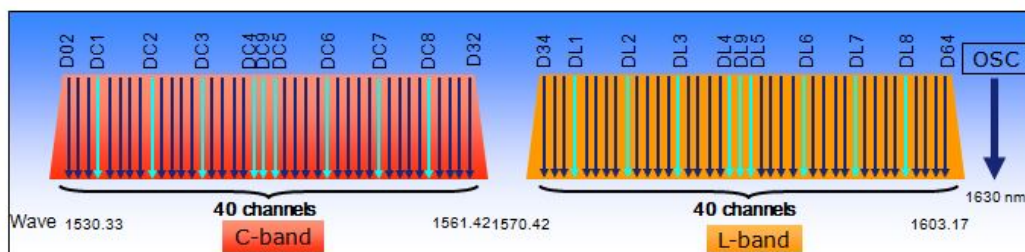


Figura 4.4: Recomendación ITU-T G.694.1 para 80 canales

También se puede obtener una grilla espectral de 80 canales en la banda C, según la recomendación ITU-T G.694-1, teniendo un espaciado entre canales de 50 GHz (figura 4.5).

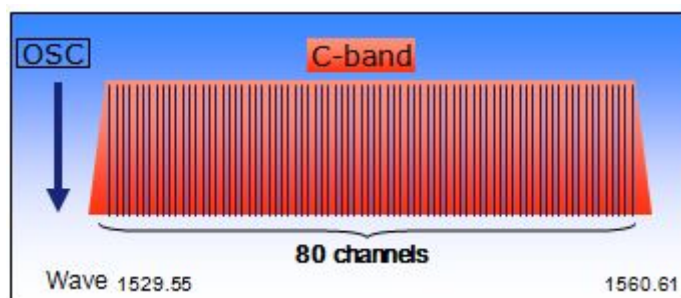


Figura 4.5: Recomendación ITU-T G.694.1 para 80 canales en banda C

#### 4.1.2.2 Chasis y alimentación.

De los diferentes tipos de chasis que nos presenta el proveedor, nos hemos quedado con el chasis 7U/19" que se adapta a nuestro tipo de instalación, ya que los equipos irán enrackados en bastidores de 21", y tiene la capacidad de tarjetas suficiente para cubrir las necesidades actuales y futuros crecimientos de red [16]. En la figura 4.6 se muestra este equipo.



Figura 4.6: FSP3000 R7

El chasis tiene 20 slots que pueden ser ocupados por diferentes tarjetas. Las tarjetas pueden ser cambiadas en caliente, es decir, con el equipo en funcionamiento, lo que permite mayores prestaciones en la operación.

El equipo cuenta con una unidad de ventilación (figura 4.7) integrada en la parte superior del mismo para mejorar el sistema de climatización.

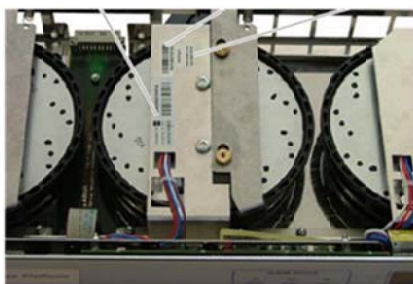


Figura 4.7: Unidades de ventilación

El equipo soporta doble alimentación redundante, con dos PSUs (Power Supply Units) de 400 o 600W. Cada tarjeta de alimentación ocupa dos slots, pudiendo ser de continua o alterna. En nuestro caso, como se cuenta con un sistema de continua robusto y redundado, se alimentará el equipo con dos fuentes de continua, procedentes de dos disyuntores de cuadros de alimentación independientes. Las tarjetas que se instalan son PSU/7HU-DC. Podemos ver el frontal de la tarjeta en la figura 4.8.

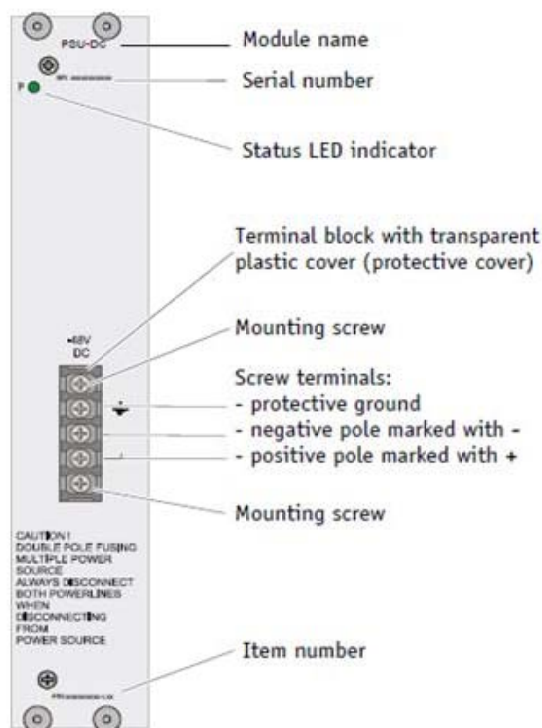


Figura 4.8: PSU/7HU-DC

El resto de tarjetas a instalar en el equipo se dividen en dos grupos:

- Módulos de gestión de red y plataforma.
  - Network Control Unit (NCU).

- Shelf Control Unit (SCU).
- Optical Supervisory Channel Modules (OSCMs).
- Módulos de comunicación de datos.
  - Tarjetas de canales ópticos activos.
  - Transceiver.
  - Tarjetas ópticas pasivas (filtros).

### 4.1.2.3 Módulos de control

El primer slot del equipo se divide en dos mitades para instalar las controladoras NCU (Network Control Unit) en la parte superior slot A y la SCU en el slot B (Shelf Control Unit).

Instalaremos una NCU por elemento de red, independientemente del número de subbastidores que presente la plataforma. En la figura 4.9 se presenta esta tarjeta. Es la unidad de control del equipo. A través de esta tarjeta se realiza la conexión local a través del puerto Ethernet C2.

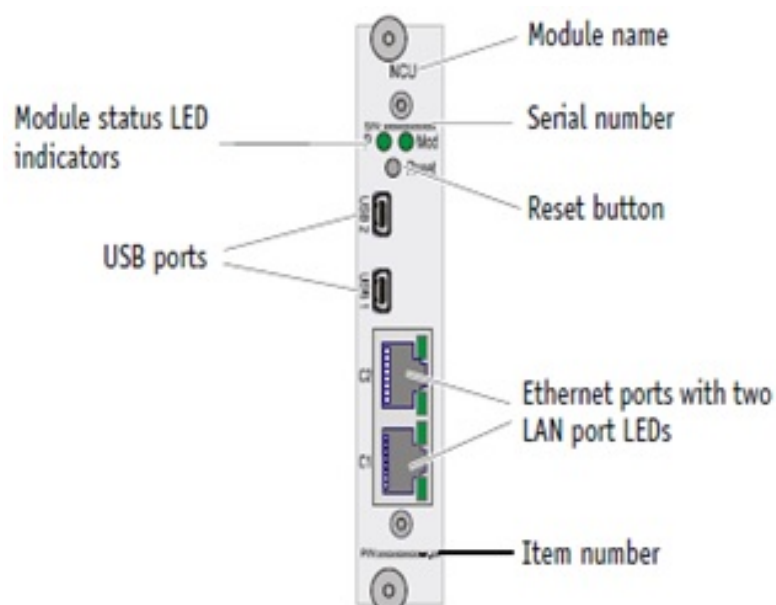


Figura 4.9: NCU

La SCU (figura 4.10) maneja las comunicaciones entre la NCU y el resto de módulos. Se instalará una tarjeta en cada subbastidor.

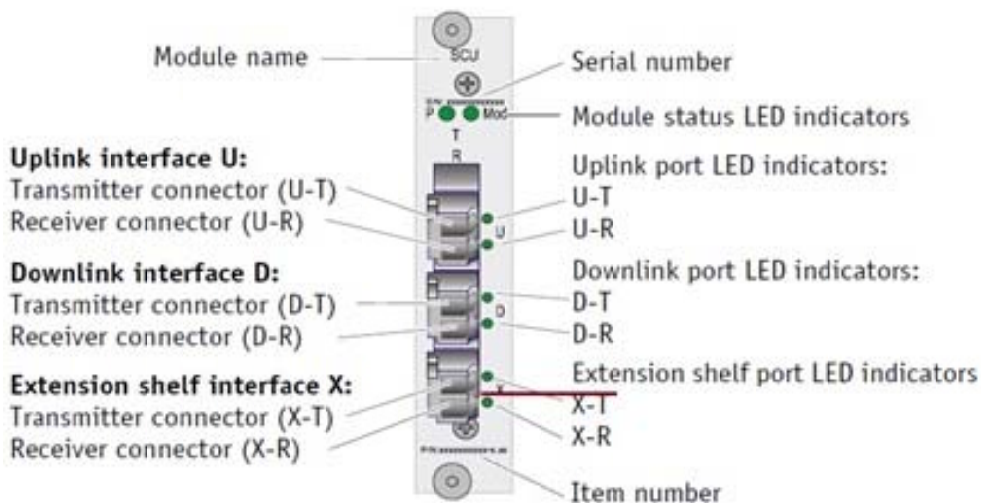


Figura 4.10: SCU

#### 4.1.2.4 Tarjetas de canales ópticos activos.

En este apartado veremos los equipos que proporcionan las interfaces para interconectar con el lado de línea (lado agregado) y con los clientes de la red capa óptica (lado tributario).

La principal función de estas tarjetas es realizar la conversión óptica-eléctrica-óptica para asignar las señales de entrada a una longitud de onda específica, como transponder o como muxponder en distintas configuraciones como se indica en la figura 4.11.

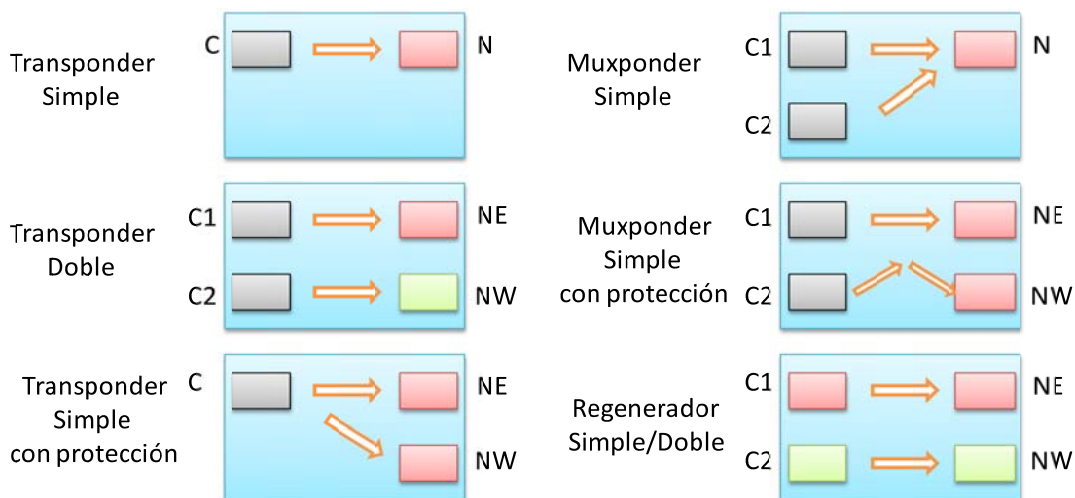


Figura 4.11: Configuraciones de tarjetas activas



Un transponder convierte señales eléctricas de sistemas clientes (SDH, PDH, ATM,...) en señales ópticas sobre longitudes de onda disponibles en sistemas DWDM. En recepción se produce el proceso inverso. Si las señales de entrada ya están en el dominio óptico de banda ancha, la convierte a longitudes de onda específicas dentro de una grilla DWDM utilizando una conversión óptica-eléctrica-óptica. Esta conversión permite que dispositivos no equipados con láseres de precisión de banda estrecha puedan multiplexarse en sistemas DWDM.

El transponder normalmente integra un diodo láser sintonizable, un modulador síncrono y un multiplexor para la transmisión óptica. En el lado receptor, incorpora un filtro óptico sintonizable, un demodulador síncrono y un demultiplexor.

El muxponder es un transponder al que se le ha añadido un multiplexor para agregar señales de menor jerarquía en una jerarquía superior. Posteriormente se produce el mismo proceso que en un transponder.

Hay distintos tipos de tarjetas de canales activos, para cubrir los diferentes tipos de servicio a transportar y los diferentes tipos de redes sobre las que se trabaja. Así nos podemos encontrar con:

- Módulos Transponder CORE (WCC).
- Módulos Transponder de Acceso (WCA).
- Módulos Transponder de Empresa (WCE).
- Módulos Muxponder CORE (xTCC).
- Módulos Muxponder de Acceso (xTCA).
- Módulos Muxponder de Empresa (xTCE).

En función de la configuración de los módulos, tal como se vio en la figura 4.11, estas tarjetas presentan uno o dos puertos de red, y entre uno y 10 puertos de cliente. Existen múltiples tipos de puertos de cliente y red.

Los puertos de cliente:

- Los módulos que usan frecuencias fijas.
- Transceiver conectable de frecuencia fija.

Del lado de red tenemos los siguientes módulos:

- Los módulos que usan frecuencias fijas.
- Los módulos que son sintonizables.
- Mezcla de puertos sintonizables y conectables.

ADVA usa transceivers conectables del tipo SFP (small form-factor pluggable) y XFP (extended form-factor pluggable). Estos transceivers pueden tener conectores eléctricos (RJ45) u ópticos (LC).

Los transceivers SFP se usan para aplicaciones con velocidades de datos hasta 4,25 Gbps. Los SFP+ soportan velocidades de datos entre 2,125 Gbps y 10,51875 Gbps. Los transceivers XFP se usan para velocidades de transmisión de 4,25 Gbps, 5 Gbps y 8 Gbps, y también para velocidades sobre 10 y 11 Gbps.

Los transceivers ópticos trabajan con fibras monomodo o multimodo, cubriendo las diferentes ventanas de trabajo: 850 nm, 1310 nm, 1550 nm, CWDM y DWDM.

Debido a la variedad de tarjetas existentes, se ha creado una nomenclatura de las tarjetas de módulos activos. El nombre de la tarjeta nos aporta la siguiente información:

- Puertos: Número de puertos de cliente.
- Tipo de módulo: WDM=WC; TDM+WDM=TC.
- Segmento de mercado: C=CORE; A=Acceso; E=Empresa.
- Transceivers: PC=lado cliente conectable (pluggable client); PCN= lado cliente y lado red conectables; PCTN=lado cliente conectable + lado de red sintonizable; PC1N=lado cliente conectable y un lado de red conectable.
- Velocidad de datos del cliente: Máxima velocidad de cliente soportada.
- Velocidad de datos agregados en el puerto de red.

- Alcance: L=Largo alcance; V=Muy largo alcance; U=Ultra largo alcance.
- Tipo de interface: C=CWDM + Lambda ; D=DWDM + número de canal.

En la figura 4.12 se muestra un ejemplo de nomenclatura de tarjeta transponder.

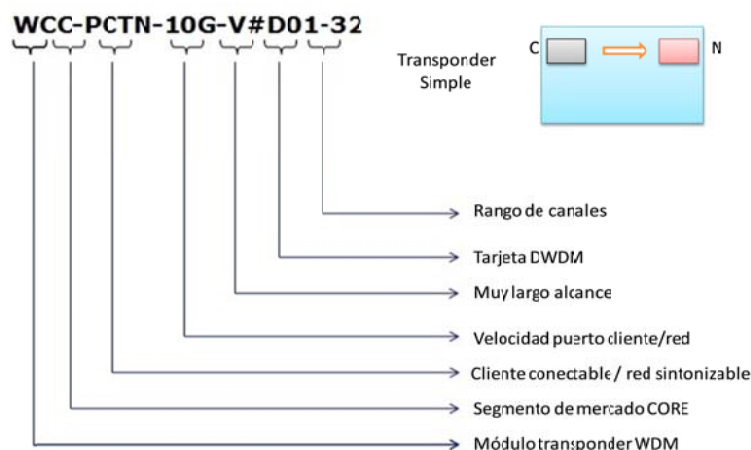


Figura 4.12: Tarjeta Transponder

En la figura 4.13 tenemos un ejemplo de nomenclatura de tarjeta muxponder.

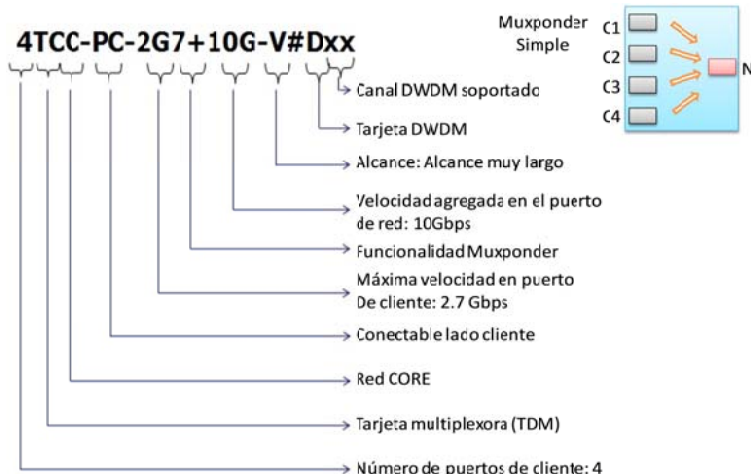


Figura 4.13: Tarjeta Muxponder

En la figura 4.14 tenemos el resumen de las tarjetas de canales activos instalables en el FSP3000 para el total de servicios soportados. En la imagen, cada tarjeta se resalta con un contorno distinto, indicando el tipo de puerto, fijo, conectable o sintonizable.

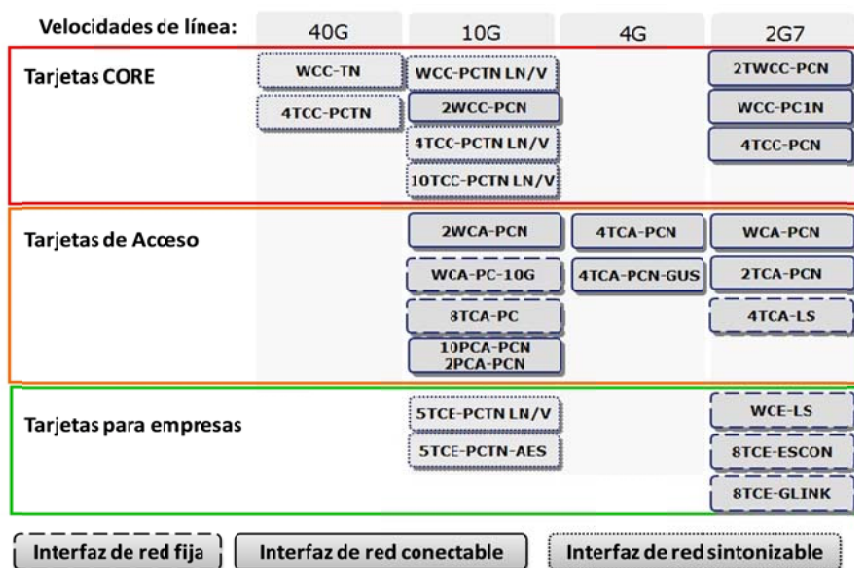


Figura 4.14: Tarjetas de canales activos y servicios

#### 4.1.2.5 Tarjetas ópticas pasivas (filtros).

Los filtros pasivos se usan en sistemas CWDM, DWDM y configuraciones híbridas para dividir y combinar en una línea de transmisión óptica simples longitudes de onda, bandas de longitudes de onda y/o grupos de longitudes de onda.

Existen diferentes filtros para diferentes requerimientos:

- Módulos divisores de canal (CSMs: Channel Splitter Modules).
- Módulos divisores de grupo (GSMs: Group Splitter Modules): Grupos formados por  $4 \lambda$ .
- Módulos divisores de banda (BSMs: Band Splitter Modules): Múltiples grupos formados por dos  $\lambda$ .
- Módulos divisores de banda C/L, A/B.

Los filtros ópticos se usan en configuraciones en cascada. Cada filtro introduce una atenuación de la señal, por lo que la estructura de filtros debería ser lo más simple posible.

Los filtros ópticos soportan dos esquemas de canales WDM, por un lado el CWDM con hasta 16 canales por fibra y por otro el DWDM con hasta 120 canales por fibra.

En las tarjetas de filtro del FSP3000 se encuentran diferentes puertos bidireccionales de interfaces ópticos:

- Puertos de cliente: Conectan con las tarjetas de canales activos.
- Puertos de red: Conexión con la línea óptica, bien de interconexión con la red troncal o con otra tarjeta de filtros.
- Puertos de upgrade: Puertos de cliente que no vienen de las tarjetas de canales activos. Se usan para canales de paso.

De la misma forma que se hacía con las tarjetas activas, las tarjetas pasivas tienen una nomenclatura específica que nos permitirá realizar una fácil identificación de las propiedades de las tarjetas:

- Número de puertos de cliente.
- Si son de canal (C) o grupo (AB, CL, G, B).
- SM: Módulo divisor.
- Tamaño de la unidad.
- Posibilidad de usar puertos de upgrade: + (en caso de usarlo) o – (no usa puerto de upgrade).
- Parrilla de longitudes de onda: C= CWDM +  $\lambda$  ; D= DWDM + número de canal, frecuencia.
- Si soporta redundancia de línea o no.

En la figura 4.15 se muestra un ejemplo de filtro de canal CWDM.

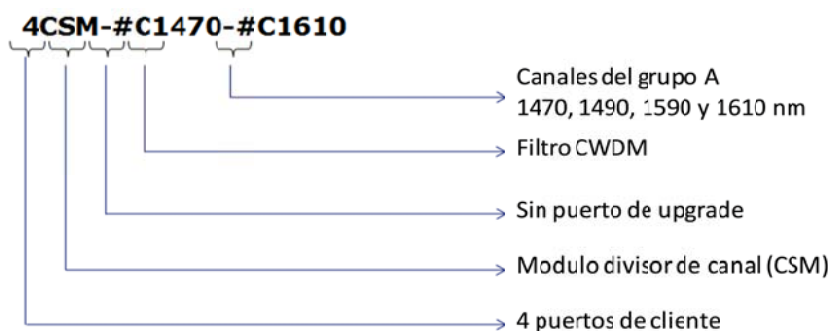


Figura 4.15: Filtro de canal CWDM

En la figura 4.16 se muestra otro ejemplo de nomenclatura, en este caso para un filtro de grupo DWDM:

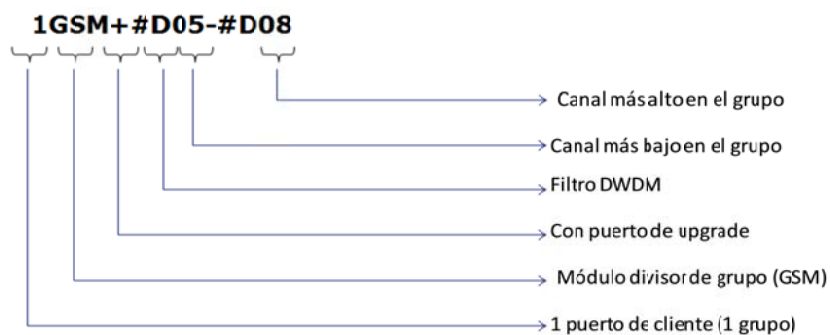


Figura 4.16: Filtro de grupo DWDM

### 4.1.3 Cálculo a nivel de potencia

Como en cualquier otro sistema de telecomunicaciones, la potencia de la señal en los sistemas ópticos decrece exponencialmente con la distancia. La potencia óptica la proporciona directamente el láser emisor y la potencia de salida es el resultado de los eventos que suceden a lo largo del enlace óptico. La energía se va perdiendo en los diferentes elementos que forman el enlace: la fibra óptica, los empalmes y los conectores. Además es preciso considerar un margen de seguridad, de forma que el enlace óptico no caiga por pequeñas variaciones que se produzcan [11].

Se puede considerar la siguiente fórmula:

$$P_{Tx} = P_{Rx(límite)} + Pérdidas + Ms(dB)$$

En esta ecuación,  $P_{Tx}$  es la potencia de salida del transmisor,  $P_{Rx(límite)}$  la sensibilidad del receptor y  $Ms$  el margen de seguridad.

El balance de potencias ( $\Delta P$ ) se suele calcular como la diferencia entre la potencia de salida del transmisor y la sensibilidad del receptor, que representa el máximo valor de pérdidas que puede tolerar el sistema para asegurar una recepción óptima del nivel de potencia. Si es negativo, indica que el sistema requiere amplificación y si es positivo, indica que el sistema puede funcionar sin necesidad de amplificar la señal.

En nuestro estudio conocemos a priori los valores de atenuación que tendremos en las fibras que se van a utilizar, debido a las reflectometrías realizadas en el capítulo 3. Se vio que la atenuación máxima de los enlaces que se constituirán era de 5 dB.

Se establece un nivel de 3 dB como margen de seguridad para garantizar el funcionamiento del sistema óptico ante posibles eventualidades.

Para conocer el balance de potencia por canal, se debe incluir las pérdidas de inserción en los elementos pasivos ópticos dentro del equipo.

A la hora de diseñar tenemos que tener en cuenta que no se puede sobrecargar los receptores. El receptor de las tarjetas puede ser dañado si sobrepasa unos niveles. Para los módulos con interface V (< 120 km) el nivel para dañar la tarjeta es de -8 dBm y para los módulos con interface LN (< 70 km: enlaces con muchos amplificadores y baja relación señal a ruido) el nivel es de -1 dBm.

Una vez que tengamos el diseño podremos calcular las pérdidas de inserción de los filtros.

#### 4.1.4 Mecanismos de protección

Los sistemas FSP3000 R7 se pueden utilizar en diferentes topologías de red, aportando las ventajas y desventajas que cada una de ellas presenta. De esta forma se pueden montar esquemas punto a punto, punto-multipunto, anillo, inserción-extracción y malla [14][15].

El objetivo principal de los esquemas de protección es eliminar puntos simples de fallo del sistema, buscando una ruta alternativa de protección. El nivel de protección dependerá del esquema de protección que se use. Los sistemas de protección se diferencian en que partes del sistema protegen y el coste de la implementación de los mismos. Hay que buscar un equilibrio entre el coste del sistema y el grado de protección conseguido. Veamos los tipos de protección que se pueden usar.

#### 4.1.4.1 Protección de la capa de cliente

En este tipo de protección es el cliente quien asume la protección de los circuitos mediante la duplicación de una ruta completa entre dos equipos. La conmutación se realiza en los equipos de cliente. En la figura 4.17 se presenta este esquema de protección.

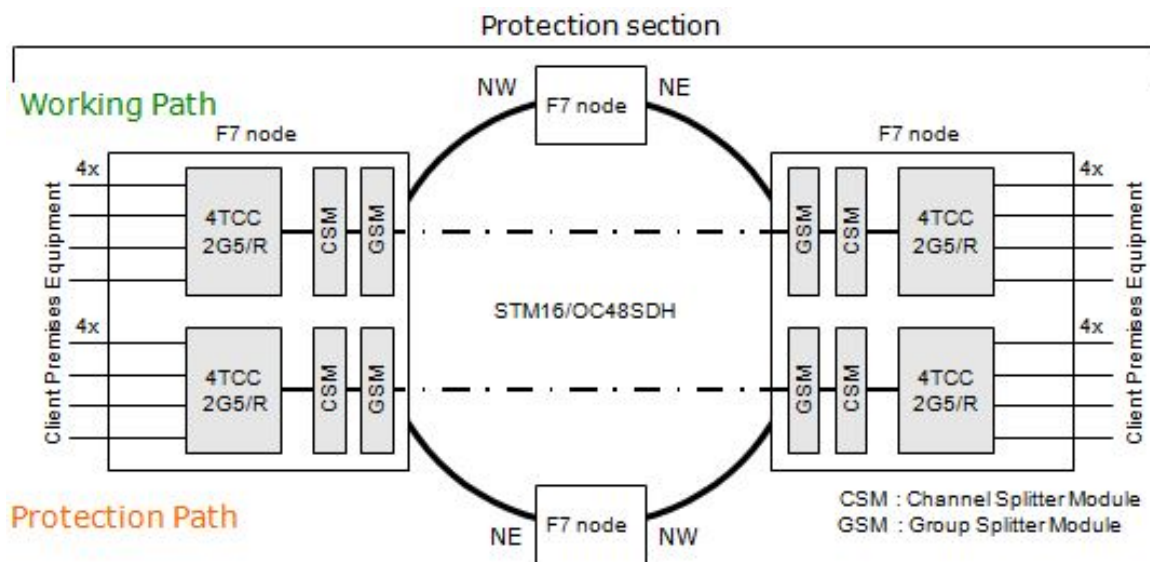


Figura 4.17: Protección de capa de cliente

Este esquema presenta una alta disponibilidad, protegiendo el canal de transmisión y el equipo. La sección de protección se establece entre los puertos de cliente de ambos FSP3000. Como punto en contra presenta elevados costes, ya que el equipamiento del FSP3000 se duplica totalmente.

#### 4.1.4.2 Protección de la tarjeta de canal de cliente

En este tipo de protección, el FSP3000 ofrece una posibilidad de proteger la señal entregada por el cliente. Se utiliza la tarjeta 1PM o 2PM (módulo de protección de servicio de cliente). La tarjeta 1PM divide la señal de entrada en 2, atacando puertos de tarjeta activa distintos. La tarjeta 2PM realiza la misma función, pero con dos señales de entrada. El cliente sólo entrega una señal, y es el FSP3000 quien lo divide en dos para atacar dos tarjetas de canal distintas. En la figura 4.18 se presenta este esquema de protección.



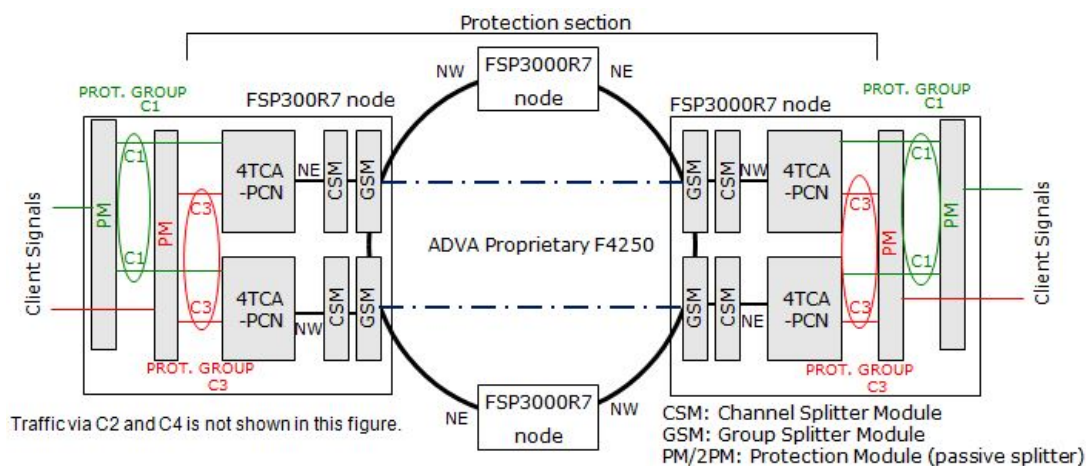


Figura 4.18: Esquema de protección de la tarjeta de canal cliente

Como ventajas de este sistema tenemos la protección de los equipos 1+1, no existiendo un punto simple de fallo en el equipamiento activo. La conmutación es muy rápida (<50ms). La conmutación se produce en ambos extremos.

El grupo de protección se establece en el lado de cliente de la tarjeta de canal. El fallo de un único puerto de cliente en la tarjeta de canal, produce una conmutación.

Es un sistema costoso de implementar debido a que se duplica el hardware, necesiéndose redundancia para las tarjetas de canal y de filtros pasivos, así como la necesidad de instalar tarjetas 1PM o 2PM.

No existe ningún tipo de protección para el enlace entre el equipo de cliente y el FSP3000 en cada extremo. Por tanto presenta menor disponibilidad que el mecanismo de protección anterior.

#### 4.1.4.3 Protección de la tarjeta de canal

Se protege el canal, redundando el equipamiento y la línea DWDM. Existiendo una línea de trabajo y otra de protección. Se utiliza la tarjeta 1PM o 2PM (módulo de protección de servicio de cliente). En la figura 4.19 se presenta este esquema de protección.

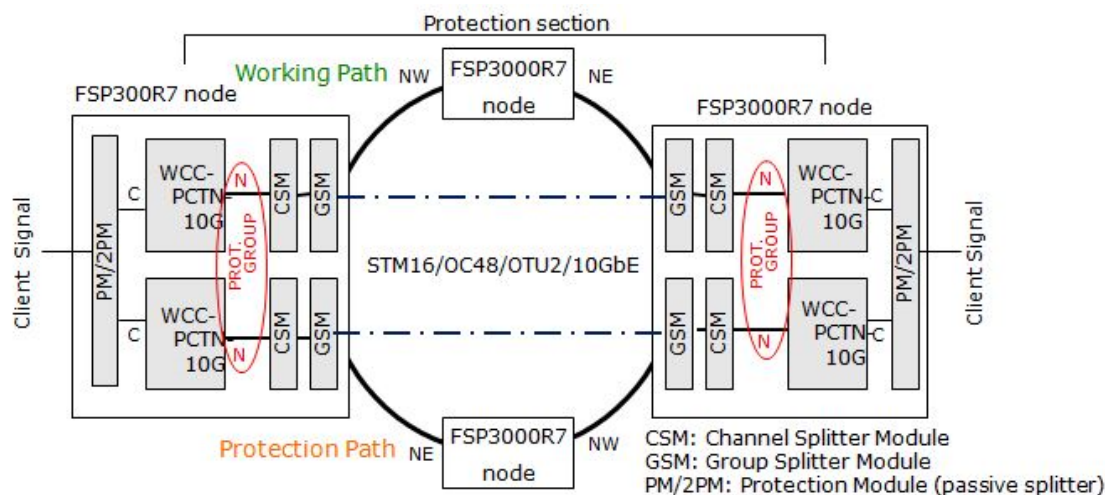


Figura 4.19: Protección de tarjeta de canal

El sistema presenta alta disponibilidad (>99,997%). La conmutación es muy rápida (<50ms). En las tarjetas TDM, todos los puertos se conmutan a la vez. La conmutación se produce en ambos extremos y puede ser revertiva o no.

Es menos fiable que la protección de tarjeta de canal de cliente, ya que el grupo de protección se crea en el lado de red (N). Además los fallos de un puerto de cliente no produce la conmutación. No existe ningún tipo de protección para el enlace entre el equipo de cliente y el FSP3000 en cada extremo.

Es un sistema costoso de implementar debido a que se duplica el hardware, necesitándose redundancia para las tarjetas de canal y de filtros pasivos, así como la necesidad de instalar tarjetas 1PM o 2PM.

#### 4.1.4.4 Protección de canal

En este tipo de mecanismo sólo se protege la línea. El tráfico de cliente, se transporta por cada lado de red de la tarjeta de canal (lado este (NE) y oeste (NW)). La tarjeta multiplexora se configura en modo “Multiplexer HST”. El fallo en la ruta de un canal en un puerto, provoca la conmutación hacia el otro lado. Se debe configurar la opción de “Protección de canal” y habilitarlo en los nodos extremos. En la figura 4.20 se presenta este esquema de protección.

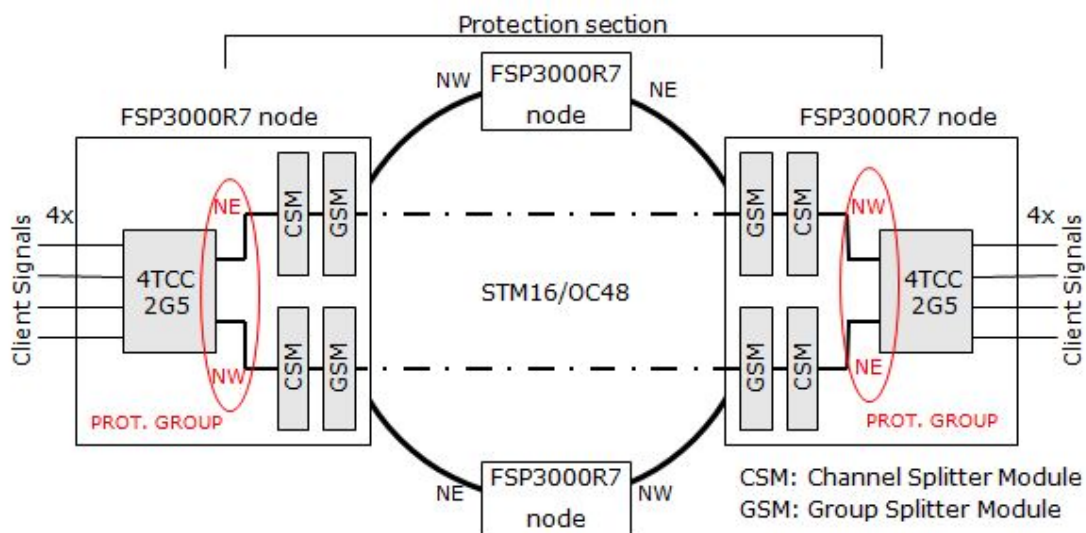


Figura 2.20: Protección de canal

Es menos costoso que los mecanismos de protección anteriores, ya que usa sólo una tarjeta de canal con dos interfaces de red (no necesita tarjeta de canal redundante).

La conmutación es muy rápida (<50ms). En las tarjetas TDM, todos los puertos se conmutan a la vez. La conmutación se produce en ambos extremos y puede ser revertiva o no.

Es menos fiable que la protección de tarjeta de canal ya que sólo existe una tarjeta de canal, siendo un punto simple de fallo. Además los fallos de un puerto de cliente no produce la conmutación. No existe ningún tipo de protección para el enlace entre el equipo de cliente y el FSP3000 en cada extremo. Los filtros pasivos sí están redundados.

#### 4.1.4.5 Protección de ruta

Similar a la protección de canal, pero en lugar de proteger todo el canal, se protegen independientemente cada uno de los canales virtuales (VCH) que se transportan por la línea. Se puede decidir que circuitos de cliente proteger. Requiere que se dupliquen los filtros ópticos y de línea en cada una de las rutas que se protegen. En la figura 4.21 se presenta el esquema de una protección de ruta dentro de un anillo.

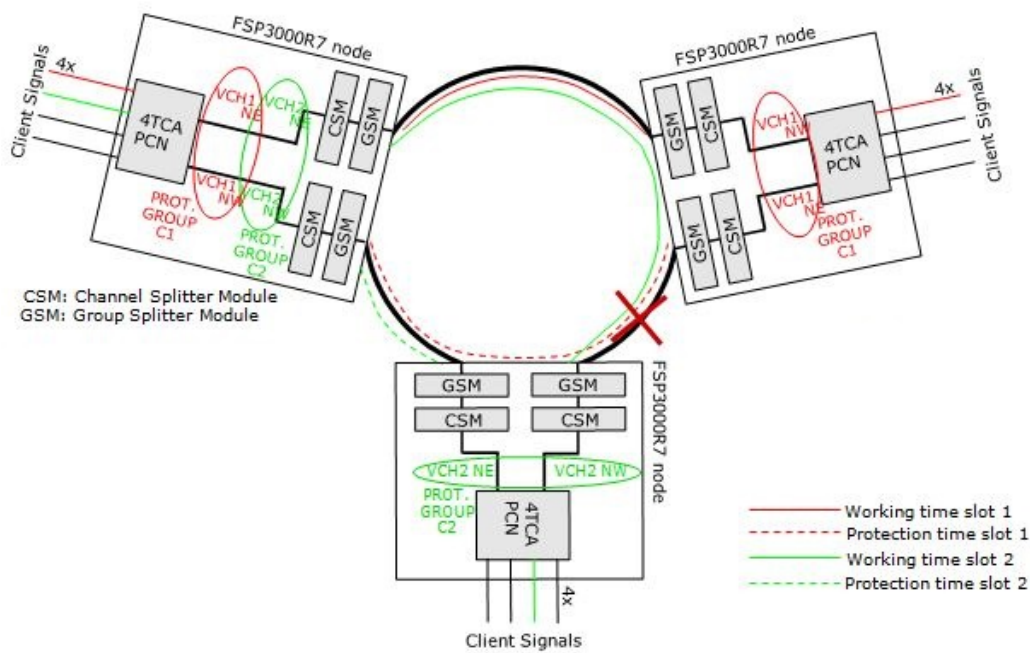


Figura 4.21: Protección de ruta

#### 4.1.4.6 Protección versátil

Este mecanismo de protección usa el módulo VSM (Versatile Switch Module) que es un conmutador óptico que permite realizar una protección de la línea, banda, subbanda, grupo o canal. En la figura 4.22 se presenta un esquema de protección versátil de línea. Además de la tarjeta VSM, se precisa una tarjeta OSFM (Optical Supervisory Channel Filter Module) para cada línea y una tarjeta OSCM (Optical Supervisory Channel Module). Este sistema utiliza la señal de un oscilador generada por el equipo remoto, para determinar si existen problemas en la línea y realizar la conmutación.

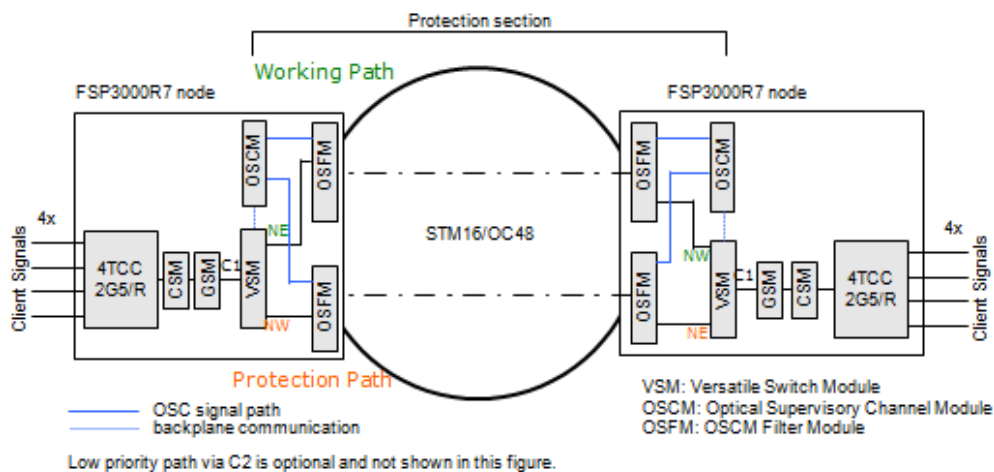


Figura 4.22: Protección versátil de línea

El módulo OSFM recibe la señal de la línea. Por un lado entrega la información de canales DWDM al módulo VSM y extrae la información del oscilador para entregarla al módulo OSCM. El módulo OSCM manda información de control a través del backplane a la tarjeta NCU, que envía información a la tarjeta VSM para producir la conmutación.

Es la solución menos costosa ya que no se duplican ni las tarjetas de canal ni los filtros. Por otra parte, esto hace que no haya ninguna redundancia de equipos, siendo estos un punto simple de fallo. La conmutación es muy rápida (<50ms).

Además los fallos de un puerto de cliente no produce la conmutación. No existe ningún tipo de protección para el enlace entre el equipo de cliente y el FSP3000 en cada extremo.

## 4.2 Red óptica propuesta

Para plantear el diseño, tenemos que tener en cuenta el tráfico que se maneja desde cada nodo primario actualmente.

Se vio en la tabla 4.1 que entre el nodo primario GC-AR y el CPO GC-ISL se transportan 12 circuitos de 1 Gbps y un circuito STM-16. Entre el nodo primario GC-RMB y el CPO GC-ISL existen 10 circuitos de 1 Gbps y un circuito STM-16. Finalmente, entre ambos nodos primarios se transporta un circuito STM-16.

Otro de los requisitos que hay que tener en cuenta, es proponer el sistema más simple posible, reduciendo las etapas de filtros pasivos para minimizar las pérdidas por inserción.

La plataforma de ADVA con el FSP3000 R7 nos ofrece una amplia variedad de posibilidades a la hora de implementar un sistema de capa óptica. Diferentes configuraciones y diferentes mecanismos de protección.

En la figura 4.23 se presenta el esquema propuesto.

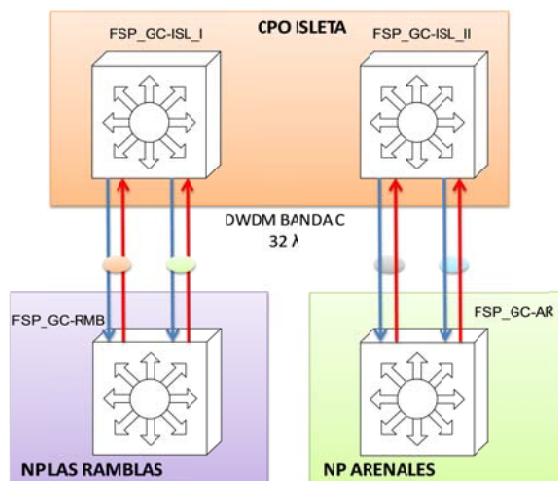


Figura 4.23: Esquema DWDM punto a punto

### 4.2.1 Topología de red

Nos hemos decidido por un esquema punto a punto desde cada nodo primario con la cabecera con protección de canal frente a uno en anillo, por las características de la red existente.

En la red actual, el tráfico entre los nodos primarios es reducido. Sólo existe un circuito STM-16 entre los MSH51C de ambos nodos primarios. La mayor parte del tráfico existente entre un nodo primario y el CPO son circuitos GbE que vienen del cabecero de cablemodem.

Además los circuitos GbE que vienen del nodo primario no tienen ningún tipo de protección en el lado de cliente. En el caso de que caiga un circuito, se perderá la capacidad transportada por el mismo, teniendo como consecuencia la pérdida de servicio del cliente o saturación en el resto de enlaces (en el caso del tráfico del cabecero de cablemodem).

Si utilizásemos una red en anillo con protección, tendríamos que posibilitar un camino de protección para cada circuito que salga de un nodo primario, a través del FSP3000 del otro nodo primario, mediante una crossconexión de paso en una tarjeta de canal.

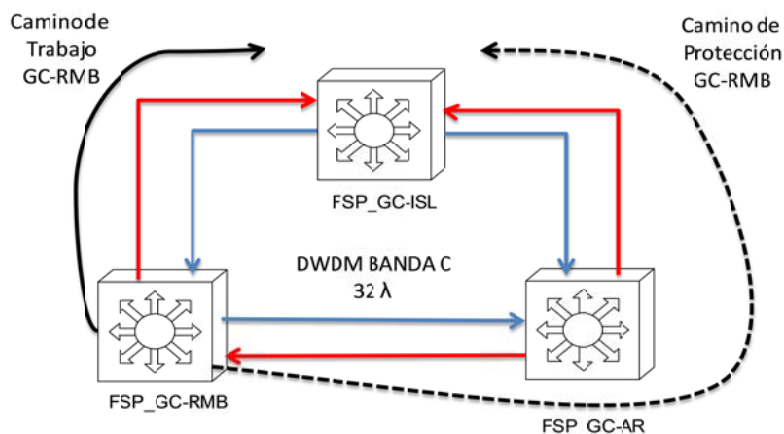


Figura 4.24: Topología en anillo

En la figura 4.25 se muestra un ejemplo de una crossconexión de paso en un FSP3000 configurado como un multiplexor.

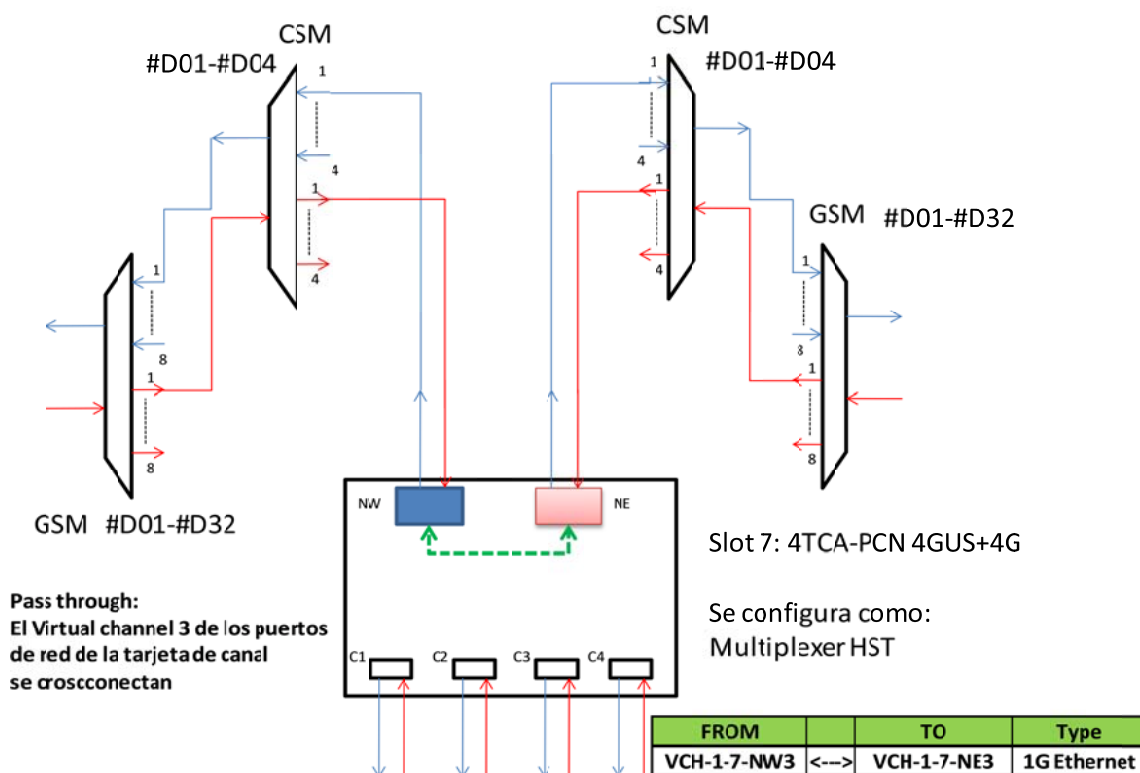


Figura 4.25: Esquema de crossconexión de paso en un FSP3000

En este caso, la tarjeta de canal es una 4TCA-PCN 4GUS+4G, que tiene cuatro puertos de cliente (C1..C4), y dos puertos de red (NW y NE). En el lado de red se maneja una capacidad de 4 gigas por puerto. Para cada puerto de cliente se puede crossconectar con un canal virtual (VC: Virtual Channel) del lado de red NW como trabajo y que su protección vaya

por el lado de red NE. Si necesitamos dar de paso un circuito de un lado del anillo al otro, es necesario realizar la crossconexión de paso entre los puertos de red de la tarjeta de canal. Esta crossconexión ocupará la misma capacidad que tenga el circuito, y esto reduce la capacidad de tráfico que podemos manejar en los puertos de cliente. Por ejemplo, si se da de paso a un circuito de 1 GbE, esto inhabilitará uno de los cuatro puertos de cliente de la tarjeta de canal.

Esto implica que por cada circuito protegido, perdamos un puerto de cliente de la tarjeta de canal, aumentando el coste de la implantación, ya que hay que aumentar el número de tarjetas de canal. Además, como consecuencia de esto, necesitaremos más tarjetas de módulos de filtros.

En la topología punto a punto que se ha propuesto, se forman dos sistemas DWDM punto a punto entre cada nodo primario y la cabecera. También se ha decidido instalar dos FSP3000 en la cabecera, de forma que los dos sistemas que cubren los dos nodos primarios, sean totalmente independientes. Esto nos permitirá trabajar con cada sistema de forma independiente, no afectando los problemas de un sistema al otro. Además nos posibilita el crecimiento individual de cada sistema, atendiendo a las necesidades que se produzcan en cada nodo primario. Esto nos obliga a tener que utilizar seis fibras más respecto a la solución en anillo.

Los enlaces de trabajo y protección entre cada NP y el CPO discurren por canalizaciones independientes, de manera que se reduce la posibilidad de caída total del servicio de un nodo primario en caso de corte de fibra.

Como ya se indicó, se opta por implementar un sistema unidireccional para aprovechar el ancho de banda del enlace. En este sistema todas las  $\lambda$  (longitud de onda) viajan en la misma dirección dentro de la fibra, por lo que se necesitan dos fibras para cada enlace.

## **4.2.2 Configuración de tarjetas de canal**

Teniendo en cuenta la red sobre la que se va a trabajar y la distancia entre nodos, se ha decidido utilizar tarjetas de canal de acceso, ya que son más económicas que las de CORE y cumplen con las prestaciones que necesitamos. Veamos los dos tipos de tarjetas de canal que se van a usar inicialmente en nuestro sistema para cubrir los servicios actuales.



### 4.2.2.1 Muxponder de 4G: 4TCA-PCN-4GUS+4G

Se trata de un módulo de canal TDM tipo acceso, con cuatro puertos de cliente y dos puertos de red. Realiza la multiplexación/demultiplexación eléctrica de hasta cuatro señales de cliente a una determinada longitud de onda estandarizada por la ITU-T. Ésta es la tarjeta que utilizaremos para transportar los enlaces GbE que se entreguen en el nodo primario hasta el CPO. La tarjeta ocupa un slot dentro del bastidor. En la figura 4.26 tenemos el frontal de esta tarjeta.

Este módulo puede transportar servicios de 4xGbE (1250 Mbps), 4xSTM-4/OC-12 o como máximo 24xSTM-1/OC-3. Los cuatro interfaces de cliente (C1 a C4) se pueden configurar individualmente a cualquiera de las velocidades de datos soportadas. Los servicios se multiplexan a una velocidad de datos de 4,25 Gbps con un protocolo propietario para su transmisión en los interfaces de red (NE y NW). Cada uno de los puertos tiene un conector para la transmisión (T) y otro receptor (R).

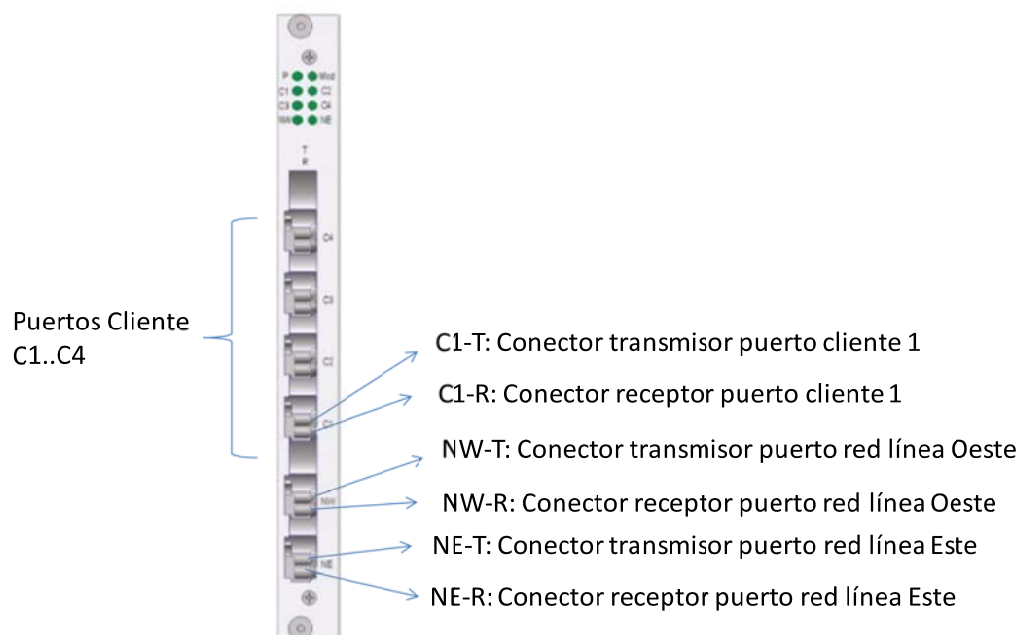


Figura 4.26: Módulo 4TCA-PCN-4GUS+4G

En la figura 4.27 se muestra el diagrama de bloques de esta tarjeta. En la dirección de transmisión, cada puerto de receptor de cliente recibe la señal óptica y la convierte a eléctrica. La señal se codifica, sincroniza y mapea en una trama de velocidad superior. Las cuatro señales de entrada se multiplexan en una señal propietaria 4G y se enruta hacia los dos puertos de red respectivamente. Los transmisores en el puerto de red convierten la se-

ñal eléctrica en óptica en una determinada longitud de onda DWDM y lo transmite por los puertos NE-T y NW-T.

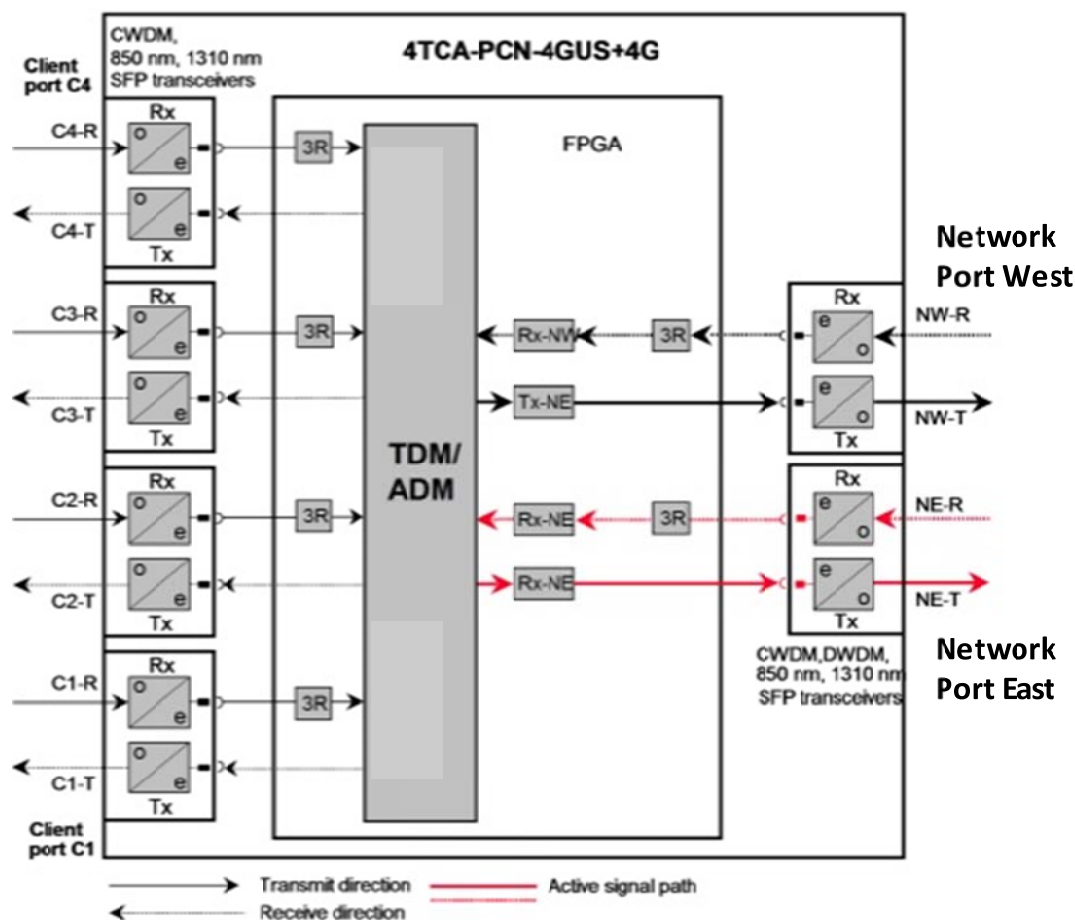


Figura 4.27: Diagrama de bloques 4TCA-PCN-4GUS+4G

En recepción, es donde se produce la conmutación. Las señales de los dos enlaces están monitoreándose continuamente, y elige uno de las dos señales 4G recibidas antes de entregarla al demultiplexor.

En el sistema que se propone, el módulo se configurará como un multiplexor terminal protegido. El modo de transmisión de la tarjeta se configura como “Multiplexer HST”. En este modo, uno de los interfaces de red se configura como canal de protección.

En esta configuración el mapeo de las facilidades de cliente dentro de los timeslots del interfaz de red es fijo y depende del tipo de servicio del cliente. En la figura 4.28 se muestra el multiplexor protegido. En nuestro sistema propuesto, cada puerto de cliente transportará un interfaz de 1 GbE.

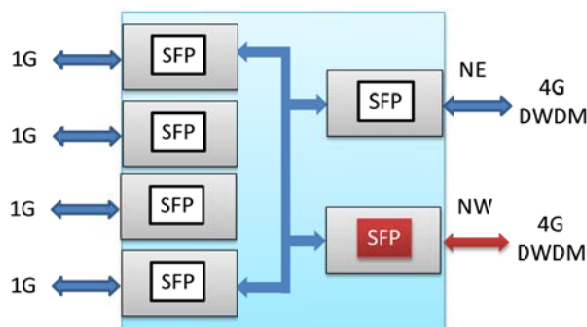


Figura 4.28: 4TCA-PCN-4GUS+4G como multiplexor protegido

Los puertos de cliente y red tienen interfaces SFP usando conectores LC para la terminación de las fibras. En los puertos se introduce un transceiver SFP conectable que puede ser de distintos modelos en función de la aplicación, de la longitud de onda, la distancia del enlace y el tipo de fibra.

En nuestro caso conectaremos en el lado de cliente un transceiver óptico para conectar enlaces GbE con fibras monomodo. Los circuitos GbE que vienen del cabecero de cablemodem se transportan en segunda ventana. Por tanto, los transceivers que se instalen en los puertos de cliente de la 4TCA deben trabajar en esta ventana.

Estos son los transceivers que se instalarán:

- Puertos de cliente: SFP/HS/1310S/SM/LC(Velocidades de datos entre 1,0625Gbps y 1,25 Gbps/2ª ventana/alcance entre 5 y 30 km/fibra monomodo/conector LC)
- Puertos de red: SFP/4GU/Dxxxx.xxV/SM/LC#Dxx (Velocidades de datos entre 1250 y 4250 Mbps/alcance entre 70 y 120km/fibra monomodo/conector LC/canal Dxx)

#### 4.2.2.2 Transponder de 2,5G: WCA-PCN-2G5U

Se trata de un módulo de canal WDM tipo acceso de multivelocidad, con un puerto de cliente y dos puertos de red. La tarjeta es un transponder. Ésta es la tarjeta que utilizaremos para transportar los enlaces STM-16de los equipos de transporte MSH-51 entre los tres emplazamientos. La tarjeta ocupa un slot dentro del bastidor. En la figura 4.29 tenemos el frontal de esta tarjeta.

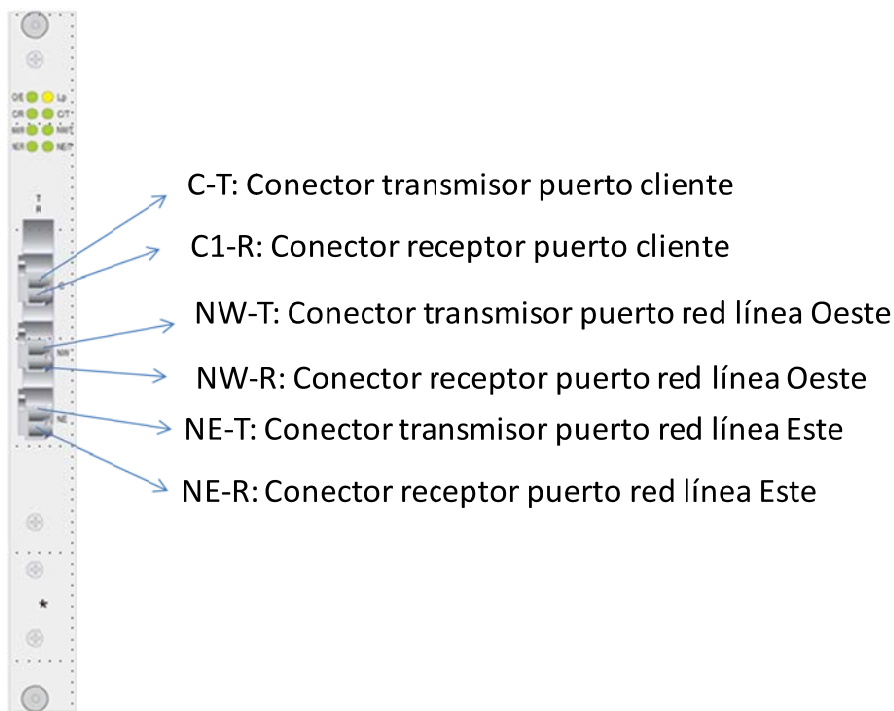


Figura 4.29: Módulo WCA-PCN-2G5U

En la figura 4.30 se muestra el diagrama de bloques de esta tarjeta.

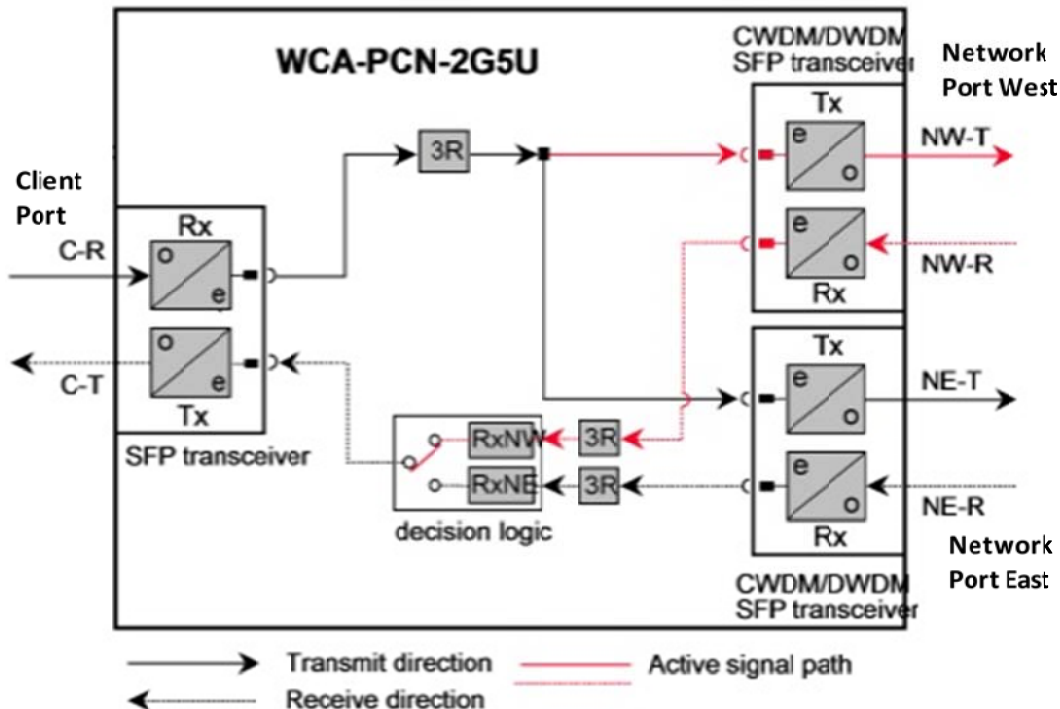


Figura 4.30: Diagrama de bloques WCA-PCN-2G5U

En la dirección de transmisión, el puerto de receptor de cliente C-R recibe la señal óptica del cliente y la convierte a eléctrica. Los transmisores en el puerto de red convierten la señal eléctrica en óptica en una determinada longitud de onda DWDM y lo transmite por los puertos NE-T y NW-T.

En recepción, es donde se produce la conmutación. Las señales de los dos enlaces están monitoreándose continuamente, y elige uno de las dos señales recibidas antes de entregarla al demultiplexor.

Esta tarjeta se usa para el transporte de múltiples aplicaciones, aunque en nuestro caso se usará para llevar las señales STM-16 entre los equipos MSH51c de los tres emplazamientos.

En el esquema que existe actualmente, el anillo SDH STM-16 está protegido tal como se explicó en el capítulo tercero. Cuando se migre el servicio, el anillo STM-16 seguirá existiendo, sólo que el sistema DWDM se inserta en medio del anillo STM-16, tal como se muestra en la figura 4.31.

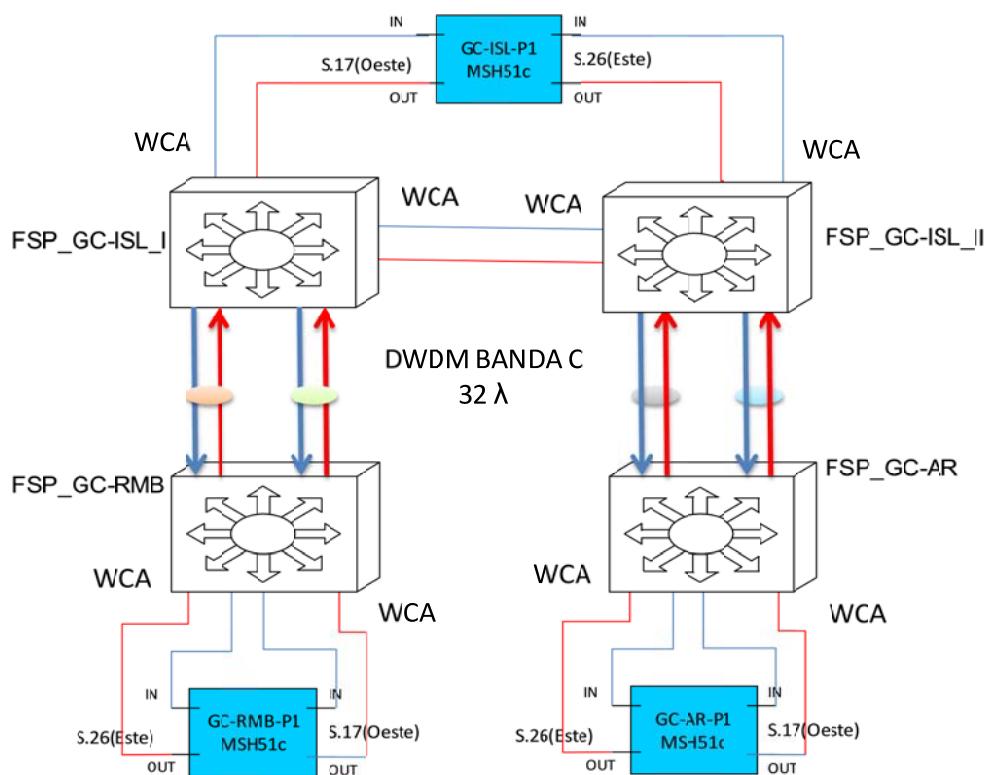


Figura 4.31: Inserción Anillo SDH en red DWDM

En este caso, la protección del anillo SDH se realiza en el equipo (MSH51c) de cada nodo primario, y por ese motivo los módulos WCA-PCN se configuran como un transponder simple sin protección. Usaremos dos tarjetas WCA-PCN en cada FSP3000 de los nodos primarios, una llevará en STM16 de trabajo, y la otra de protección. En cada uno de los FSP3000 de la cabecera, se instalará también una tarjeta WCA-PCN. De esta forma en los FSP3000 no tendremos configurada ninguna protección para estos circuitos, pero sí existirá una protección de equipo, que se considera necesaria debido a la criticidad de los servicios que van por el anillo STM16.

Con el sistema DWDM que se ha propuesto, para dotar de un camino de protección al anillo STM16 (enlace STM16 entre los MSH51c GC-AR-P1 y GC-RMB-P1), será necesario unir los puertos de cliente de dos tarjetas WCA-PCN en el CPO a través de unos latiguillos de fibra óptica.

Los puertos de cliente y red tienen interfaces SFP usando conectores LC para la terminación de las fibras. En los puertos se introduce un transceiver SFP conectable que puede ser de distintos modelos en función de la aplicación, de la longitud de onda, la distancia del enlace y el tipo de fibra.

En nuestro caso conectaremos en el lado de cliente un transceiver óptico para conectar enlaces STM16 con fibras monomodo. Los circuitos STM16 que vienen de los MSH51c se transportan en segunda ventana. Por tanto, los transceivers que se instalen en el puerto de cliente de la tarjeta WCA-PCN deben trabajar en esta ventana.

Estos son los transceivers que se instalarán:

- Puertos de cliente: SFP/2G5U/1310S/SM/LC (Velocidades de datos entre 100 y 2500 Mbps/2ª ventana/alcance entre 5 y 30 km/fibra monomodo/conector LC)
- Puertos de red: SFP/2G5U/Dxxxx.xxU/SM/LC#Dxx (Velocidades de datos entre 100 y 2670 Mbps/longitud de onda DWDM de acuerdo a la ITU-T G.694.1/alcance entre 120 y 240 km/fibra monomodo/conector LC/canal DWDM)

### **4.2.3 Sistema de filtros**

Debido al tráfico que se maneja en cada nodo primario, y la topología elegida, se ha decidido por implementar un sistema DWDM con 32  $\lambda$  en banda C. Se utiliza la recomenda-

ción ITU. La nomenclatura de los canales D01 a D32 en la banda C. La banda de guardia se establece en 100 GHz.

Se trata de un esquema sencillo, con la mínima etapa de filtros posible para minimizar las pérdidas por inserción.

En la figura 4.32 se representa un ejemplo del esquema de filtros que se usará en cada FSP3000. En este caso existe una tarjeta de canal activo 4TCA-PCN-4GUS+4G configurada como multiplexor hot standby (multiplexer HST) y protección de canal. Cada señal de cliente, tiene que pasar por dos filtros antes de ser entregada a la línea. Los filtros dividen y combinan en una línea de transmisión óptica. En nuestro caso se usarán dos filtros por cada línea del FSP3000. Los filtros son de dos tipos:

- Módulos divisores de canal (CSMs: Channel Splitter Modules).
- Módulos divisores de grupo (GSMs: Group Splitter Modules): Grupos formados por 4  $\lambda$ .

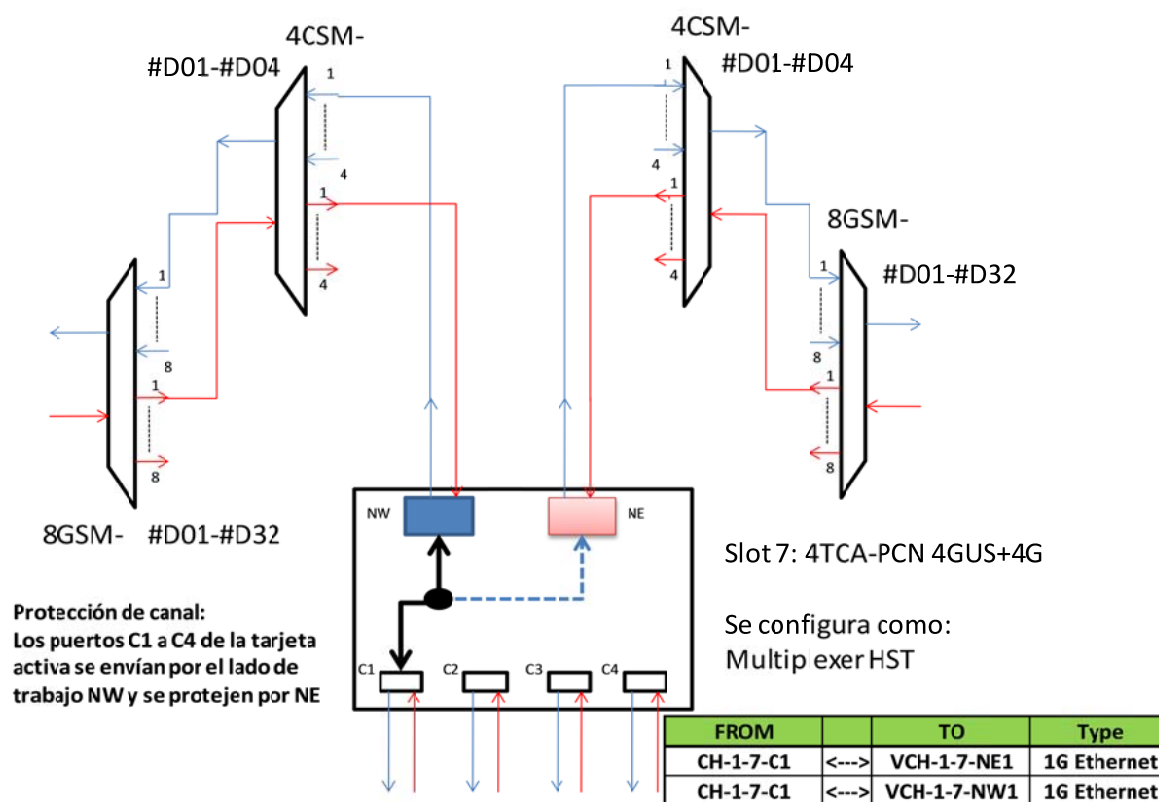


Figura 4.32: Cascada de filtros en un FSP3000

Cada puerto de red de una tarjeta de canal se conecta con un puerto de cliente del filtro 4CSM-. Este filtro realiza una división/combinación de 1:4. En nuestro sistema necesitaremos un módulo CSM por cada 4 puertos de red de canales activos. En el ejemplo de la figura 4.32, el puerto de red NW de la tarjeta 4TCA-PCN se conecta con uno de los puertos de cliente del filtro 4CSM-.

El puerto de red del módulo CSM se conecta con un puerto de cliente del filtro GSM-.Este filtro realiza una división/combinación de 1:8, obteniendo un enlace de 32 canales.

Esta estructura se repite en el mismo FSP3000 para cada línea de transmisión del equipo.

A continuación se explicarán las características de los dos filtros que se usarán en nuestro sistema.

#### 4.2.3.1 Filtro de canal 4CSM-#Dxx-#Dyy

En la figura 4.33 se presenta el frontal de esta tarjeta. Se trata de un módulo combinador y divisor de canal óptico. El módulo contiene una combinación de filtros de canal multiplexores/demultiplexores para la banda C. Estos filtros multiplexan/demultiplexan cuatro señales diferentes de grupos de canal a/desde la señal transportada por las fibras conectadas al puerto de red.

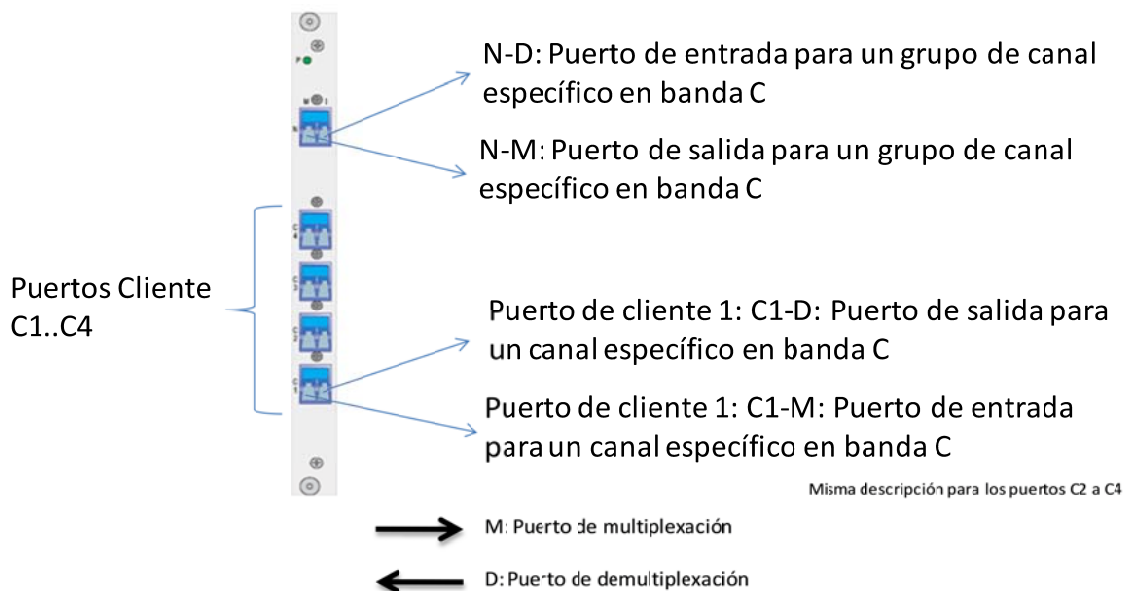


Figura 4.33: Módulo 4CSM-#Dxx-#Dyy



Estos módulos soportan 8 grupos de canal con un total de 32 canales ( $\lambda$ ) en banda C, de acuerdo con la recomendación ITU-T G.694.1 (espaciamiento de 100 GHz). El módulo tiene cuatro puertos de cliente y uno de red. En cada puerto de cliente, se conecta un par de fibras que vienen del puerto de red de las tarjetas de canal. De esta forma, con una tarjeta 4CSM se podrán trasportar 4 señales provenientes de 4 módulos de canal. Cada puerto tiene un conector tipo LC. Las pérdidas de inserción nominal por canal son de 3 dB.

La parte #Dxx-#Dyy en la nomenclatura de la tarjeta se refiere a un grupo específico de canal de la banda C, existiendo 8 variantes de esta tarjeta para cubrir los 32 canales de la banda. En la tabla 4.2 se indican las 8 variantes de este módulo. Los módulos tienen el mismo diseño y características, sólo difiriendo en los filtros ópticos que multiplexan/demultiplexan los canales dentro de un determinado grupo de canales.

Variante	Descripción
4CSM-#D01-#D04	Módulo divisor de canal DWDM de cuatro puertos - Canales #D01-#D04, banda C
4CSM-#D05-#D08	Módulo divisor de canal DWDM de cuatro puertos - Canales #D05-#D08, banda C
4CSM-#D09-#D12	Módulo divisor de canal DWDM de cuatro puertos - Canales #D09-#D12, banda C
4CSM-#D13-#D16	Módulo divisor de canal DWDM de cuatro puertos - Canales #D13-#D16, banda C
4CSM-#D17-#D20	Módulo divisor de canal DWDM de cuatro puertos - Canales #D17-#D20, banda C
4CSM-#D21-#D24	Módulo divisor de canal DWDM de cuatro puertos - Canales #D21-#D24, banda C
4CSM-#D25-#D28	Módulo divisor de canal DWDM de cuatro puertos - Canales #D25-#D28, banda C
4CSM-#D29-#D32	Módulo divisor de canal DWDM de cuatro puertos - Canales #D29-#D32, banda C

Tabla 4.2: Variantes del módulo 4CSM-#Dxx-#Dyy

En la figura 4.34 se muestra el esquema de operación de la tarjeta 4CSM-#D01-#D04 (el mismo esquema es válido para las otras siete tarjetas).

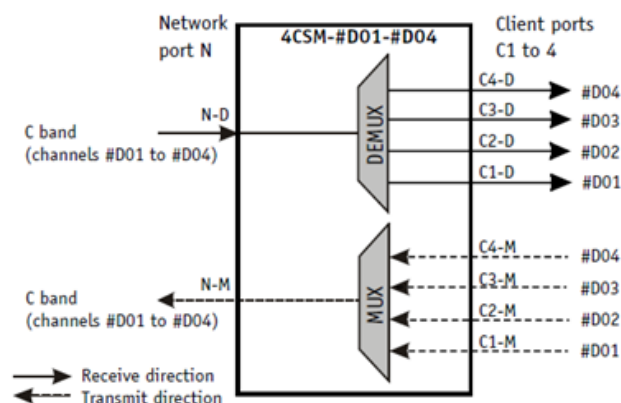


Figura 4.34: Esquema de operación 4CSM-#D01-#D04

En el sentido de recepción (demultiplexación) recibe una señal de grupo de canal específico a través de la entrada N-D del puerto de red desde el extremo remoto del enlace DWDM. El filtro DEMUX en la sección de splitter demultiplexa la señal de entrada en los canales que la componen, y las acoplan en la fibra correspondiente para tener los cuatro canales separados en las salidas de los puertos de cliente C1-D a C4-D. Los canales se transmiten a los correspondientes módulos de canal DWDM.

En el sentido de transmisión, la tarjeta recibe cuatro canales individuales desde módulos de canal activos a través de las entradas de los puertos de cliente C1-M a C4-M. El filtro MUX en la sección del combinador multiplexa los canales de entrada en una señal de grupo de canal y los acopla en la fibra de salida. La señal es dirigida a la salida del puerto de red N-M y transmitida al extremo remoto del enlace.

#### 4.2.3.2 Filtro de grupo 8GSM-#Dxx-#Dyy

En la figura 4.35 se presenta el frontal de esta tarjeta. Se trata de un módulo combinador y divisor de un grupo de canal óptico. El módulo contiene una combinación de filtros de canal multiplexores/demultiplexores para la banda C. Estos filtros multiplexan/demultiplexan ocho señales diferentes de grupos de canal a/desde la señal transportada por las fibras conectadas al puerto de red.

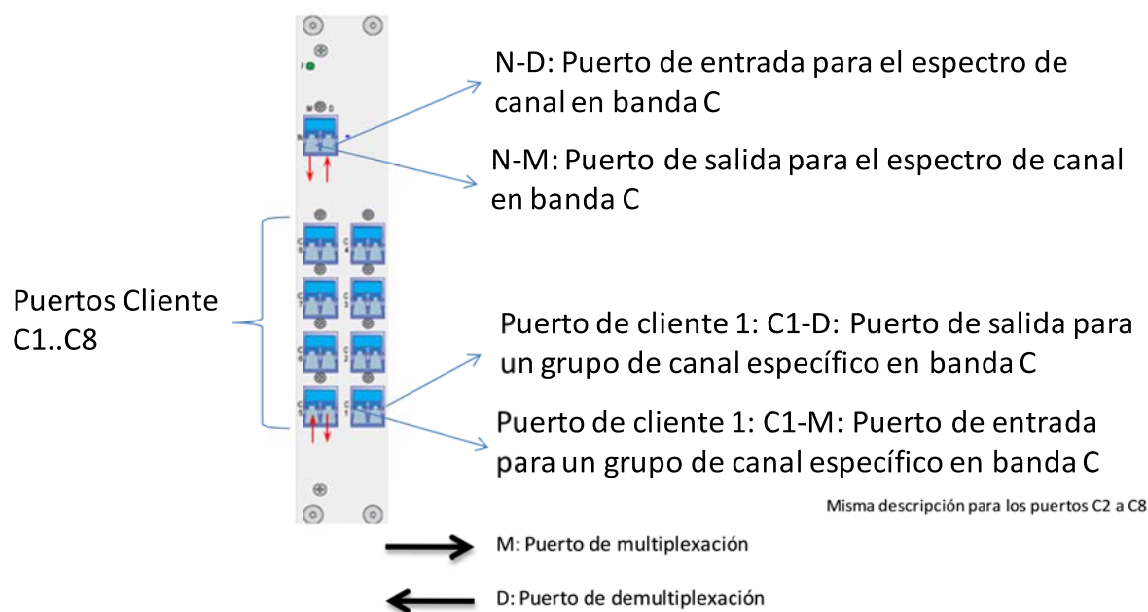


Figura 4.35: Módulo 8GSM-#D01-#D32

Este módulo soporta 8 grupos de canal con un total de 32 canales ( $\lambda$ ) en banda C, de acuerdo con la recomendación ITU-T G.694.1 (espaciamiento de 100 GHz). El módulo tiene ocho puertos de cliente y uno de red. En cada puerto de cliente, se conecta un par de fibras que vienen del puerto de red de las tarjetas 4CSM. De esta forma, con una tarjeta 8GSM se podrán transportar 32 señales provenientes de 32 módulos de canal. Cada puerto tiene un conector tipo LC.

Las pérdidas de inserción nominal por canal son de 3,6 dB.

En la tabla 4.3 se indica la asignación de canales a cada puerto de cliente de la tarjeta 8GSM.

Puertos de cliente	Grupos de canal en Banda C
C8 (C8-M ; C8-D)	#D29-#D32
C7 (C7-M ; C7-D)	#D25-#D28
C6 (C6-M ; C6-D)	#D21-#D24
C5 (C5-M ; C5-D)	#D17-#D20
C4 (C4-M ; C4-D)	#D13-#D16
C3 (C3-M ; C3-D)	#D09-#D12
C2 (C2-M ; C2-D)	#D05-#D08
C1 (C1-M ; C1-D)	#D01-#D04

Tabla 4.3: Asignación de canales en puertos de cliente 8CSM-#D01-#D32

En la figura 4.36 se muestra el esquema de operación de la tarjeta 8GSM-#D01-#D32.

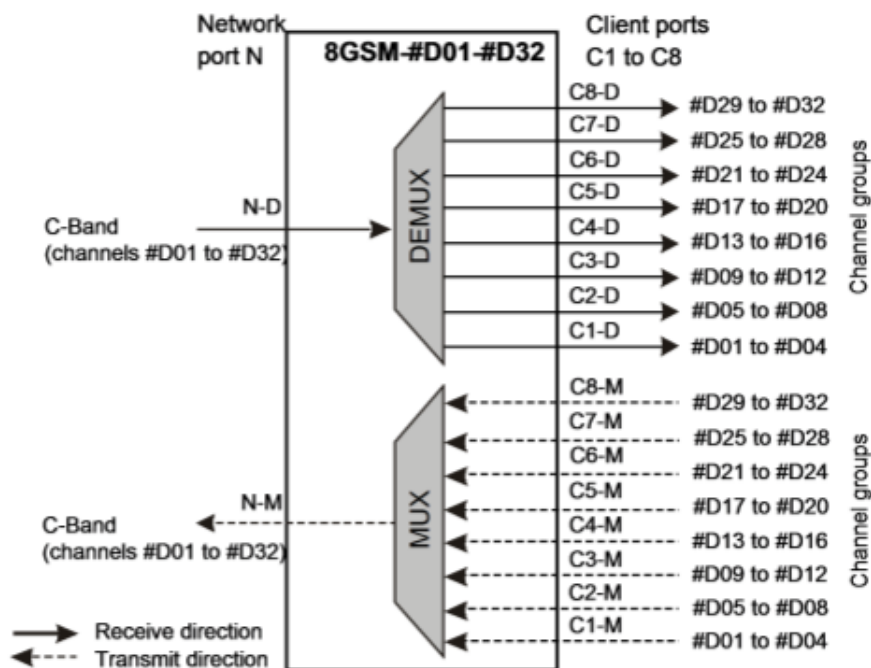


Figura 4.36: Esquema de operación 8GSM-#D01-#D32

En el sentido de recepción (demultiplexación) recibe una señal compuesta en banda C a través de la entrada N-D del puerto de red desde el extremo remoto del enlace DWDM. El filtro DEMUX en la sección de splitter demultiplexa la señal de entrada en los 8 grupos de canal que la componen, y las acoplan en la fibra correspondiente para tener los ocho grupos de canal separados en las salidas de los puertos de cliente C1-D a C8-D. Los grupos de canal se transmiten a las correspondientes tarjetas 4CSM para su posterior demultiplexación hacia las tarjetas de canal.

En el sentido de transmisión, la tarjeta recibe ocho grupos de canal de banda C de las tarjetas 4CSM a través de las entradas de los puertos de cliente C1-M a C8-M. El filtro MUX en la sección del combinador multiplexa los grupos de canal de entrada en una señal y los acopla en la fibra de salida. La señal es dirigida a la salida del puerto de red N-M y transmitida al extremo remoto del enlace.

#### 4.2.4 Configuración de equipos

Los equipos a instalar tendrán una configuración espejo en cada enlace. En total, se instalarán cuatro equipos FSP3000-R7 modelo 7U/19", dos equipos en el CPO y uno en cada nodo primario.

Inicialmente, cada equipo instalado sólo tendrá un subbastidor que será el que actúe como maestro en caso de que se necesite ampliar con más estantes el equipo. La plataforma FSP3000 soporta hasta 20 subbastidores por equipo.

En la figura 4.37 se muestra un ejemplo del equipamiento que se instalará en cada equipo. Cada estante tiene 20 slots.

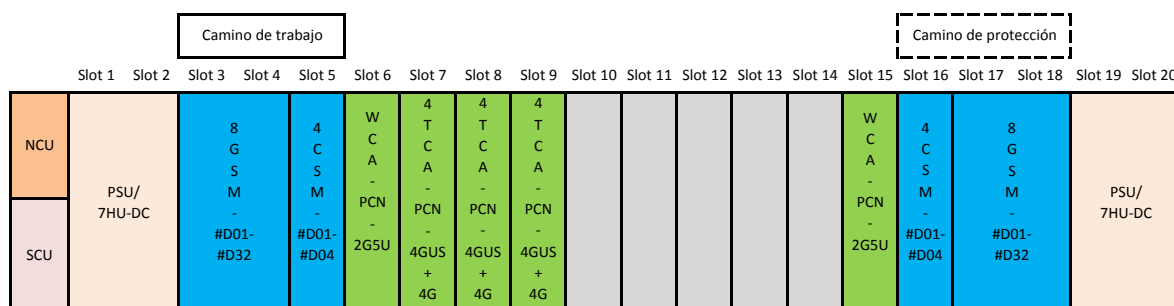


Figura 4.37: Ejemplo de equipamiento del FSP3000

Se instalarán dos tarjetas de alimentación (PSU). Cada tarjeta ocupa 2 slots en el bastidor. Por lo tanto, quedarán 16 posiciones para ocupar por tarjetas de canal o de filtros. Cada PSU se alimentará de disyuntores de 20 A instalados en distintos cuadros de alimentación. Es fundamental que las alimentaciones de ambas fuentes sean lo más independiente posible, de forma que no se puedan ver afectadas por un mismo problema, que origine el apagado total del equipo.

El bastidor se instalará con un par de tarjetas de control NCU y SCU que ya describimos anteriormente.

Entre cada nodo primario y el CPO se montará un sistema DWDM de 32 canales protegidos en banda C. Además se trabajará con protección de canal. Por tanto la estructura de filtros se repite para el lado de trabajo y el de protección.

Inicialmente nuestro sistema DWDM sólo usará los cuatro primeros canales, necesitando un módulo divisor de canal (4CSM) por cada enlace. Esta tarjeta cubrirá los cuatro primeros canales del sistema DWDM. La tarjeta a instalar será una 4CSM-#D01-#D04. Se instalará una para el enlace de trabajo y otra para el de protección.

Así la estructura de filtros para cada lado del enlace estará compuesta inicialmente por una tarjeta 4CSM-#D01-#D04 y una 8GSM-#D01-#D32. En la figura 4.38 vemos la conexión

de un FSP del CPO con uno del nodo primario. Los caminos de trabajo y protección van por canalizaciones independientes entre los dos emplazamientos.

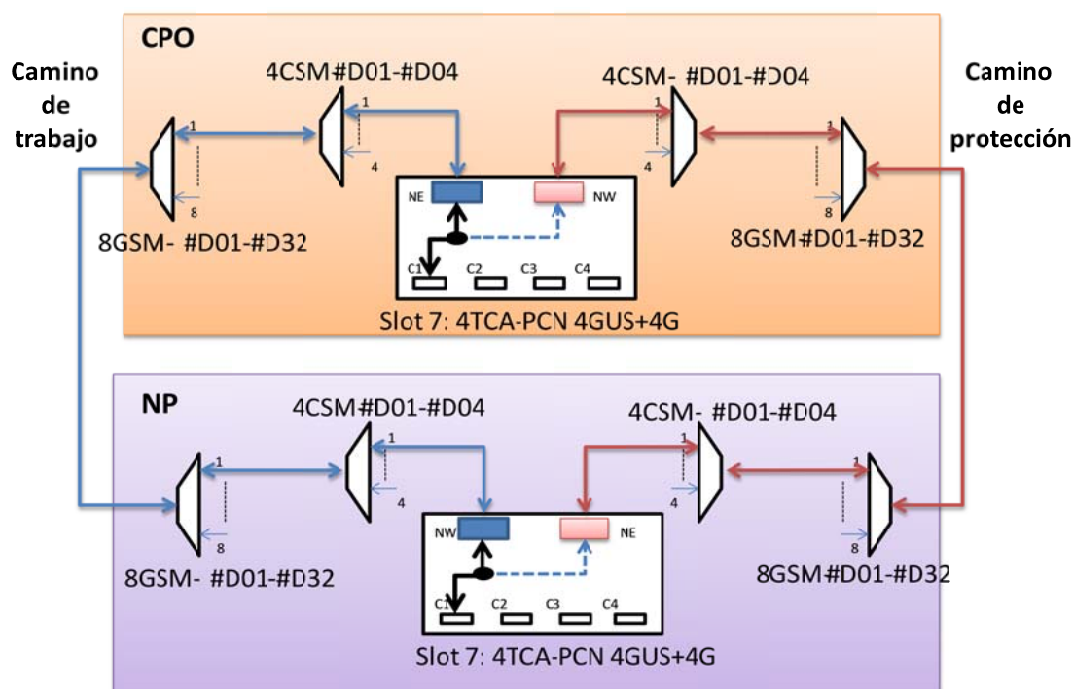


Figura 4.38: Conexión entre FSP de un nodo primario y uno del CPO

En caso de que sea necesario ampliar el equipo con una tarjeta de canal, será preciso instalar una nueva tarjeta de filtro CSM. Estas nuevas tarjetas soportarán los canales del quinto al octavo (4CSM-#D05-#D08).

En principio, para cubrir las necesidades actuales, por equipo se precisarán tres tarjetas modelo 4TCA-PCN-4GUS+4G para transportar el tráfico GbE y dos tarjetas WCA-PCN-2G5U para llevar el tráfico STM16.

La instalación de tarjetas en cada FSP3000 será la mostrada en la figura 4.37.

En la figura 4.39 se muestra el esquema de conexión de los equipos entre los tres emplazamientos, y como se establecerán los caminos de trabajo y protección de cada sistema DWDM.

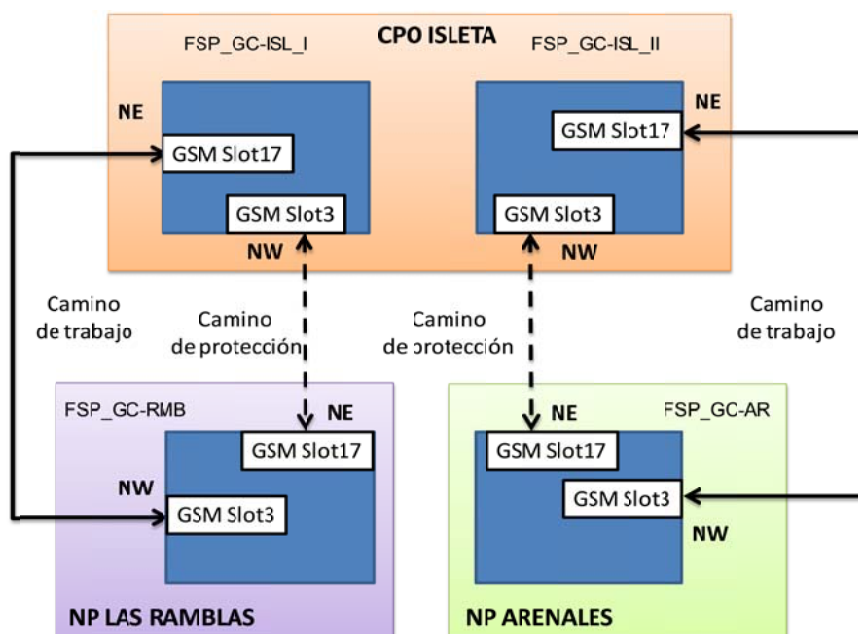


Figura 4.39: Esquema de conexión de los FSP3000 entre emplazamientos

## 4.2.5 Configuración de la protección

La protección para el tráfico Gigabit Ethernet consistirá en una protección de canal. Las tarjetas 4TCA-PCN-4GUS+4G se configuran como multiplexores en Hot Standby. Todo el tráfico de cliente, se transporta por dos puertos de red (NE y NW). Un puerto de red conecta con la estructura de filtros que proporcionan el lado de trabajo, y el otro puerto de red hacia la otra estructura de filtros.

Como norma se establecerá que las tarjetas de canal 4TCA en los nodos primarios, tendrán su lado de trabajo por el puerto de red Oeste (NW) y el de protección por el Este (NE). De esta forma, los puertos de red NW de estos módulos se conectarán a los puertos de cliente de la tarjeta de filtros de canal (CSM) del slot 5 y usarán la tarjeta GSM del slot 3 para la conexión con el enlace DWDM, fijando este enlace como el lado de principal. El puerto de red NE (lado Este) de las tarjetas 4TCA se conectan con el módulo CSM del slot 16 y usarán la tarjeta GSM del slot 17 para la conexión con el enlace DWDM, fijando este enlace como el lado de protección. En la figura 4.40 se muestra el esquema de conexiones entre las tarjetas de canal y las de filtro para los FSP de los nodos primarios.

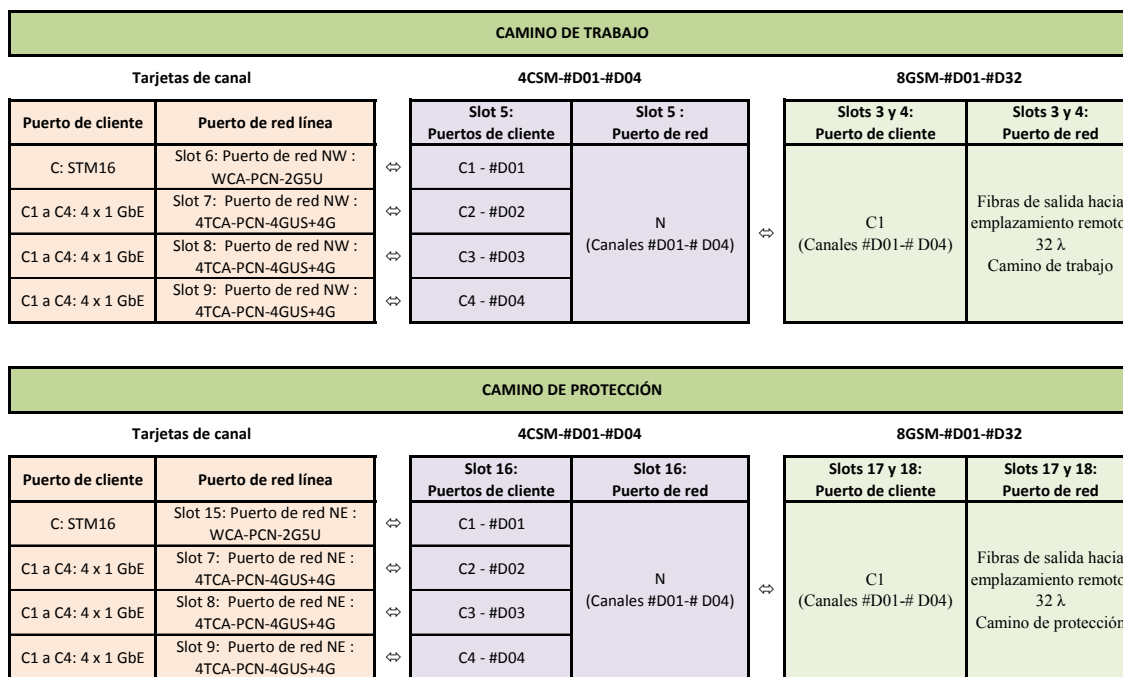


Figura 4.40: Caminos de trabajo y protección en los FSP3000 de los nodos primarios

En el CPO, los dos FSP se conectan y configuran de otra forma, fijando el lado Este como camino de trabajo y el Oeste como camino de protección, tal como se indica en la figura 4.41.

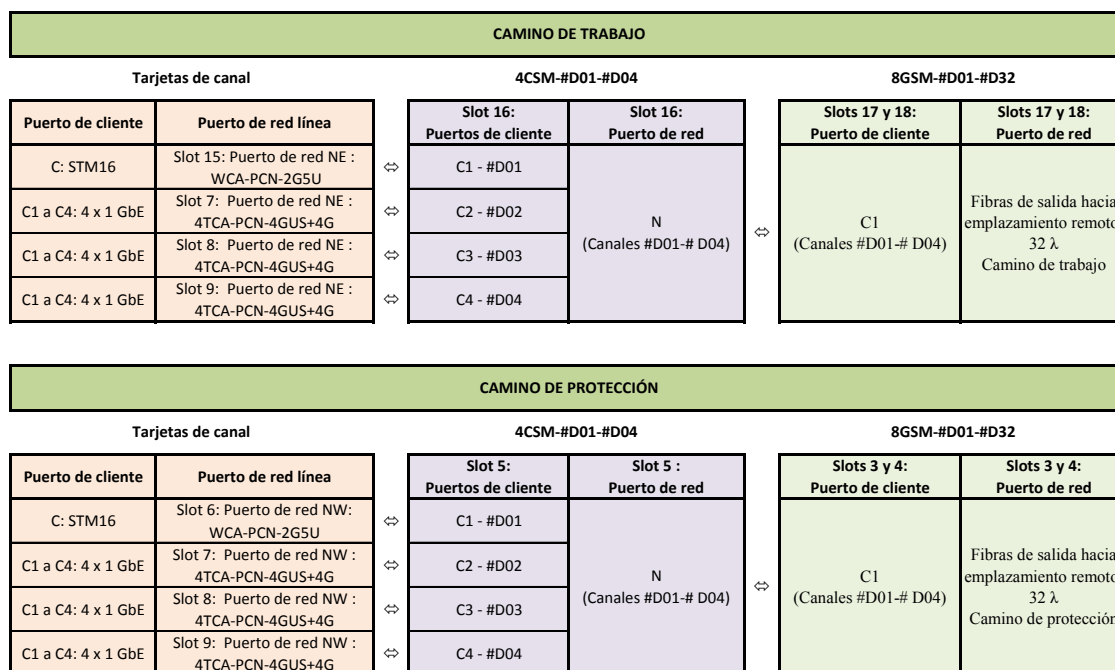


Figura 4.41: Caminos de trabajo y protección en los FSP3000 del CPO



La protección del tráfico STM16 se establecía en los equipos de cliente (MSH-51c), y por tanto para el FSP3000 es transparente el funcionamiento de esta protección. Por eso se instalan dos tarjetas WCA-PCN-2G5U, para transportar el tráfico STM16 por canalizaciones distintas entre el nodo primario y la cabecera. Las tarjetas actuarán como transponder simple sin ninguna protección, sólo utilizándose un puerto de red.

En la figura 4.42 se presenta el esquema de conexión para los dos sistemas DWDM punto a punto. Las líneas continuas marcan la ruta de trabajo y las discontinuas las de protección. Como se vio en el capítulo 3, existen tres canalizaciones. Una entre el CPO y el NP de Las Ramblas, otra en el CPO y el NP de Arenales, y otra entre los dos nodos primarios. Las rutas de trabajo de los enlaces entre los FSP utilizan las fibras por una única canalización, presentando menor atenuación que la ruta de protección, ya que esta ruta va por dos canalizaciones.

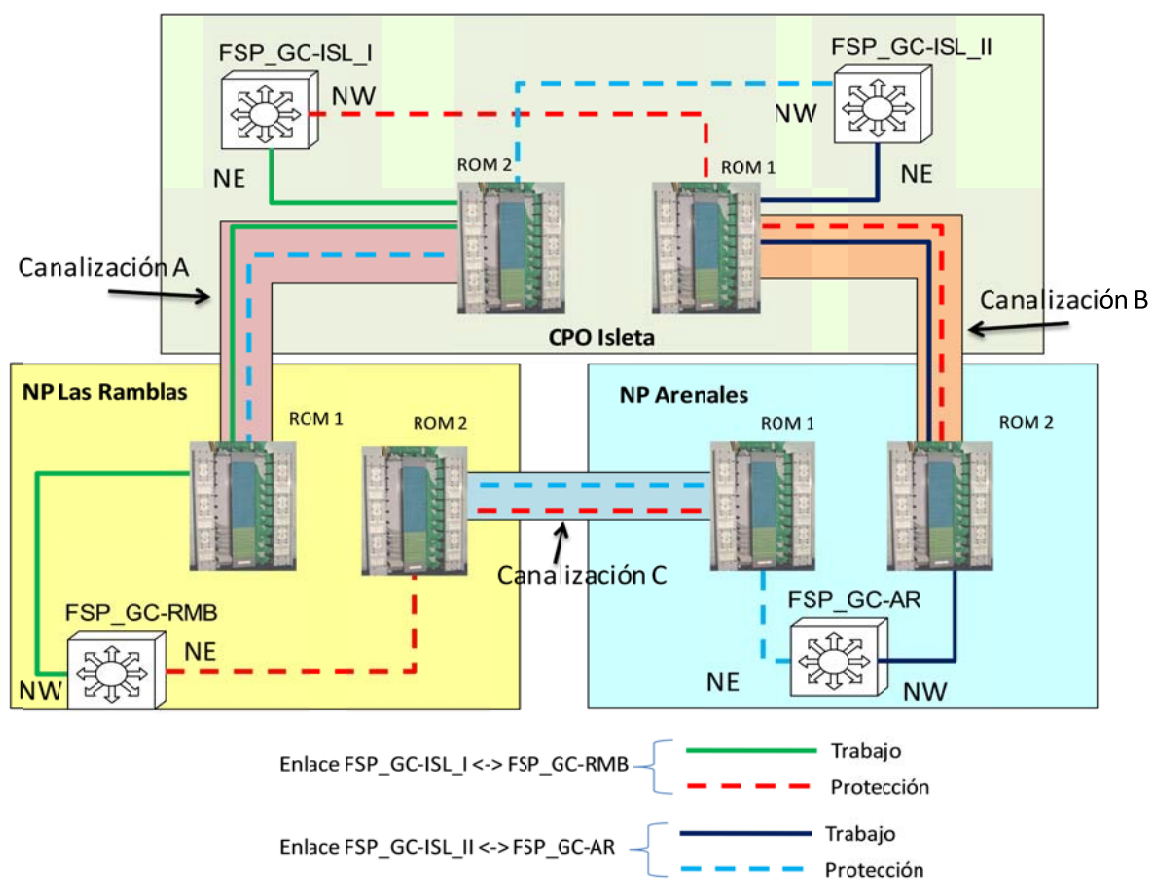


Figura 4.42: Rutas de trabajo y protección

### 4.2.6 Balance de potencia de cada enlace

Una vez conocido el sistema de filtros que se va a implementar, y teniendo en cuenta las atenuaciones de las fibras ópticas que se van a utilizar que se vieron en el capítulo tercero, se puede calcular el balance de potencia de cada enlace.

En la tabla 4.4 se muestran las atenuaciones máximas de los enlaces entre los tres emplazamientos para las fibras que se van a utilizar.

CANALIZACIÓN A		Fibras entre GC-ISL y GC-RMB	
PROMEDIO ATENUACIONES ENLACE GC-ISL ↔ GC-RMB			
Posición ROM 2 GC-ISL	Atenuación (dB)	Posición ROM 1 GC-RMB	
Bandeja 11 F.O.123	4,994	Bandeja 11 F.O.123	FSP_GC-ISL_I ↔ FSP_GC-RMB ENLACE DE TRABAJO
Bandeja 11 F.O.124	4,570	Bandeja 11 F.O.124	FSP_GC-ISL_I ↔ FSP_GC-RMB ENLACE DE TRABAJO
Bandeja 11 F.O.125	5,971	Bandeja 11 F.O.125	FSP_GC-ISL_II ↔ FSP_GC-ARENLACE DE PROTECCIÓN
Bandeja 11 F.O.126	5,234	Bandeja 11 F.O.126	FSP_GC-ISL_II ↔ FSP_GC-ARENLACE DE PROTECCIÓN

CANALIZACIÓN B		Fibras entre GC-ISL y GC-AR	
PROMEDIO ATENUACIONES ENLACE GC-ISL ↔ GC-AR			
Posición ROM 1 GC-ISL	Atenuación (dB)	Posición ROM 2 GC-AR	
Bandeja 11 F.O.122	3,335	Bandeja 11 F.O.122	FSP_GC-ISL_II ↔ FSP_GC-ARENLACE DE TRABAJO
Bandeja 11 F.O.123	2,898	Bandeja 11 F.O.123	FSP_GC-ISL_II ↔ FSP_GC-ARENLACE DE TRABAJO
Bandeja 11 F.O.124	2,932	Bandeja 11 F.O.124	FSP_GC-ISL_I ↔ FSP_GC-RMB ENLACE DE PROTECCIÓN
Bandeja 11 F.O.125	3,232	Bandeja 11 F.O.125	FSP_GC-ISL_I ↔ FSP_GC-RMB ENLACE DE PROTECCIÓN

CANALIZACIÓN C		Fibras entre GC-AR y GC-RMB	
PROMEDIO ATENUACIONES ENLACE GC-AR ↔ GC-RMB			
Posición ROM 1 GC-AR	Atenuación (dB)	Posición ROM 2 GC-RMB	
Bandeja 11 F.O.125	3,902	Bandeja 11 F.O.125	FSP_GC-ISL_I ↔ FSP_GC-RMB ENLACE DE PROTECCIÓN
Bandeja 11 F.O.126	3,886	Bandeja 11 F.O.126	FSP_GC-ISL_I ↔ FSP_GC-RMB ENLACE DE PROTECCIÓN
Bandeja 11 F.O.127	4,038	Bandeja 11 F.O.127	FSP_GC-ISL_II ↔ FSP_GC-ARENLACE DE PROTECCIÓN
Bandeja 11 F.O.128	4,041	Bandeja 11 F.O.128	FSP_GC-ISL_II ↔ FSP_GC-ARENLACE DE PROTECCIÓN

Tabla 4.4: Atenuación de fibras a usar en enlaces DWDM

En cada enlace DWDM se tienen dos módulos CSM y dos módulos GSM. Las pérdidas máximas de inserción de cada canal son de 3,2 dB para la tarjeta CSM y de 3,8 dB para el filtro GSM. Así que las pérdidas de los cuatro filtros como máximo sumarán 14 dB.

Con estos valores, podemos calcular las pérdidas de cada enlace. Estas pérdidas se muestran en la tabla 4.5.

Enlace	Atenuación máxima medida			Pérdidas de inserción en filtros	Pérdidas totales
	Canalización A	Canalización B	Canalización C		
FSP_GC-ISL_II ↔ FSP_GC-AR ENLACE DE TRABAJO		3,33		13,2	16,53
FSP_GC-ISL_II ↔ FSP_GC-AR ENLACE DE PROTECCIÓN	5,9		4,04	13,2	23,14
FSP_GC-ISL_I ↔ FSP_GC-RMB ENLACE DE TRABAJO	4,99			13,2	18,19
FSP_GC-ISL_I ↔ FSP_GC-RMB ENLACE DE PROTECCIÓN		3,13	3,9	13,2	20,33

Tabla 4.5: Pérdidas máximas en cada enlace

Los transceivers que se instalarán en las tarjetas WCA-PCN-2G5U son:

- Puertos de cliente: SFP/2G5U/1310S/SM/LC
- Puerto de red: SFP/2G5U/Dxxxx.xxU/SM/LC#Dxx

En la tabla 4.6 se indican las potencias máximas y mínimas de los transceivers que se usarán en las tarjetas WCA-PCN-2G5U.

Puerto de Red		SFP/2G5U/DxxxxU/SM/LC#Dxx	
	mínimo	máximo	
PRx	-28 dBm	-10 dBm	
PTx	2 dBm	8,1 dBm	

Puerto Cliente		SFP/2G5U/1310S/SM/LC	
	mínimo	máximo	
PRx	-18 dBm	0 dBm	
PTx	-7 dBm	2 dBm	

Tabla 4.6: Características ópticas de los transceivers usados en tarjetas WCA

Los transceivers que se instalarán en las tarjetas 4TCA-PCN-4GUS+4G son:

- Puertos de cliente: SFP/HS/1310S/SM/LC
- Puerto de red: SFP/4GU/Dxxxx.xxV/SM/LC#Dxx

En la tabla 4.7 se indican las potencias máximas y mínimas de los transceivers que se usarán en las tarjetas 4TCA-PCN-4GUS+4G.

Puerto de Red		SFP/4GU/DxxxxV/SM/LC#Dxx	
	mínimo	máximo	
PRx	-26 dBm	-9 dBm	
PTx	0 dBm	7 dBm	

Puerto Cliente		SFP/HS/1310S/SM/LC	
	mínimo	máximo	
PRx	-19 dBm	-3 dBm	
PTx	-12,1 dBm	0 dBm	

Tabla 4.7: Características ópticas de los transceivers usados en tarjetas 4TCA

Se usará la siguiente fórmula para determinar si es necesario usar amplificadores o si nuestro diseño cumple las exigencias de potencia óptica.

$$P_{Tx} = P_{Rx(límite)} + Pérdidas + Ms(dB)$$

En esta ecuación,  $P_{Tx}$  es la potencia de salida del transmisor,  $P_{Rx(límite)}$  la sensibilidad del receptor y  $Ms$  el margen de seguridad que consideraremos de 3dB.

El balance de potencia para las tarjetas WCA se puede calcular con tres premisas:

- Se considera el tramo con más pérdidas: 23,14 dB (tabla 4.5)
- Se considera una  $P_{Tx}$  media entre los valores que nos ofrece el transceiver: 5dBm
- El  $P_{Rx(límite)}$  se fija en -28 dBm (tabla 4.6)

$$P_{Tx} = P_{Rx(límite)} + Pérdidas + Ms(dB)$$

$$\Delta P = P_{Tx} - P_{Rx(límite)} = 33dBm$$

$$Pérdidas + Ms(dB) = 26,14dB$$

Esto supone que para las tarjetas WCA tendremos un balance de potencia superior a las pérdidas, por lo que no se necesitará el uso de amplificadores.

Para confirmar este punto, hay que realizar el mismo cálculo para las otras tarjetas de canal (4TCA).

El balance de potencia para las tarjetas 4TCA se puede calcular con tres premisas:

- Se considera el tramo con más pérdidas: 23,14 dB (tabla 4.5)
- Se considera una  $P_{Tx}$  media entre los valores que nos ofrece el transceiver: 3,5dBm
- El  $P_{Rx(límite)}$  se fija en -26 dBm (tabla 4.7)

$$P_{Tx} = P_{Rx(límite)} + Pérdidas + Ms(dB)$$

$$\Delta P = P_{Tx} - P_{Rx(límite)} = 29,5dBm$$

$$Pérdidas + Ms(dB) = 26,14dB$$

De nuevo, se consigue un balance de potencia superior a las pérdidas.

Podemos concluir que nuestro sistema podrá funcionar sin ningún amplificador.

### 4.3 Migración de servicios

Una vez se hayan instalado los equipos FSP3000 y tras establecerse los enlaces DWDM, será necesario realizar la migración de los servicios de los nodos primarios, de forma que el transporte entre los nodos primarios y el CPO se realice a través de la capa óptica.

Estos trabajos se deben realizar en horas de bajo tráfico de los clientes, para evitar que una mala operación pueda suponer una pérdida de servicio en los clientes.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es que a la hora de realizar las conexiones de las fibras en los módulos ópticos es necesario que midamos la potencia óptica que se recibe, ya que un nivel excesivo puede dañar la tarjeta. En caso de que el nivel de potencia recibida fuera muy grande, será necesario instalar atenuadores.

La migración de los circuitos GbE de la cabecera de cablemodem no es muy complicada. No es necesario realizar ningún tipo de configuración en los routers, ya que el medio de transporte será transparente para estos equipos. La migración se realizará circuito a circuito, minimizando el impacto sobre la red activa.

En los nodos primarios habrá que interconectar los puertos Gigabit Ethernet de los módulos SPA-5x1GEV2 del cabecero de cablemodem con los puertos de cliente de las tarjetas 4TCA-PCN-4GUS+4G.

En el CPO de Isleta hay que conectar los puertos de cliente de las tarjetas 4TCA-PCN-4GUS+4G con los puertos GbE de la tarjeta WS-X6748-SFP del router CISCO 7609.

Una vez realizada la conexión hay que comprobar que el enlace GbE vuelve a levantar y lleva tráfico de cliente, tanto de entrada como de salida. Si todo es correcto, se puede proceder a la migración de un nuevo circuito.

En la figura 4.43 se representa la foto final tras la migración de un circuito GbE de cada nodo primario.

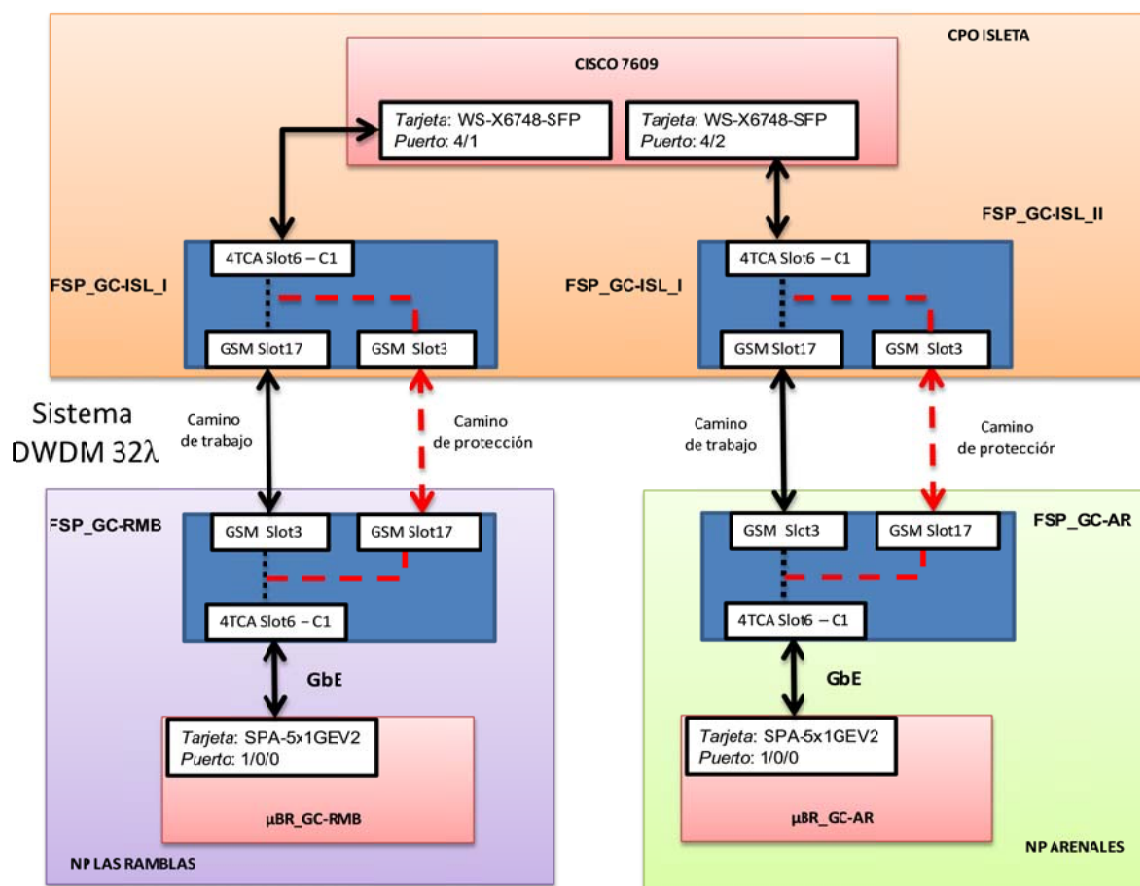


Figura 4.43: Esquema tras migración de un circuito GbE de cada nodo primario

Al tratarse de la primera implantación de nuestro sistema DWDM es necesario que se compruebe que las protecciones funcionan correctamente. Los circuitos GbE tendrán protección de canal. Podemos cortar el enlace de trabajo del sistema óptico punto a punto, y comprobar que los circuitos activos conmutan al lado de protección y que el circuito no se ha visto afectado en la cabecera de cablemodem.

### 4.3.1 Migración anillo SDH STM16

La migración del anillo SDH STM16 es un poco más complicada. En la figura 4.44 se representa el anillo SDH STM16 antes de la migración. Se ha identificado cada tramo entre los equipos como tramo A, B y C, para que nos sirva de ayuda a la hora de explicar el procedimiento de migración.

En la configuración de los equipos MSH51c no hay que realizar ningún cambio, sólo conectar los puertos de las tarjetas STM16 de los slots 17 y 26 a los puertos de las tarjetas

WCA-PCN-2G5U que corresponda, siguiendo una secuencia de pasos correcta para evitar que pueda verse afectado el servicio de los clientes.

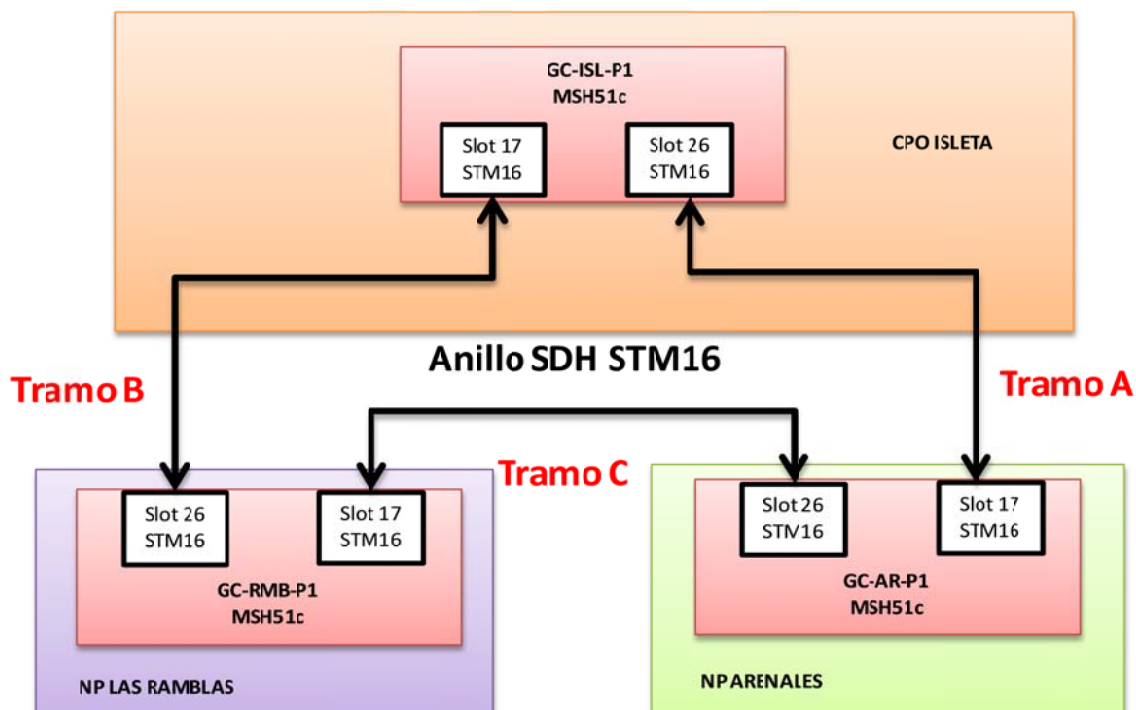


Figura 4.44: Foto inicial – Anillo SDH STM16

Como ya se indicó, no se va a establecer una conexión directa entre los nodos primarios a través de un sistema DWDM, por tanto para hacer el enlace entre los MSH51c de los dos nodos primarios, será necesario realizar una conexión en el CPO entre los puertos de cliente de las tarjetas WCA-PCN-2G5U instaladas en el slot 6 del FSP\_GC-ISL\_I y el slot 15 del FSP\_GC-ISL\_II. En la figura 4.45 se muestra la foto final que tendremos tras la migración, con el anillo SDH STM16 insertado dentro de los sistemas DWDM.

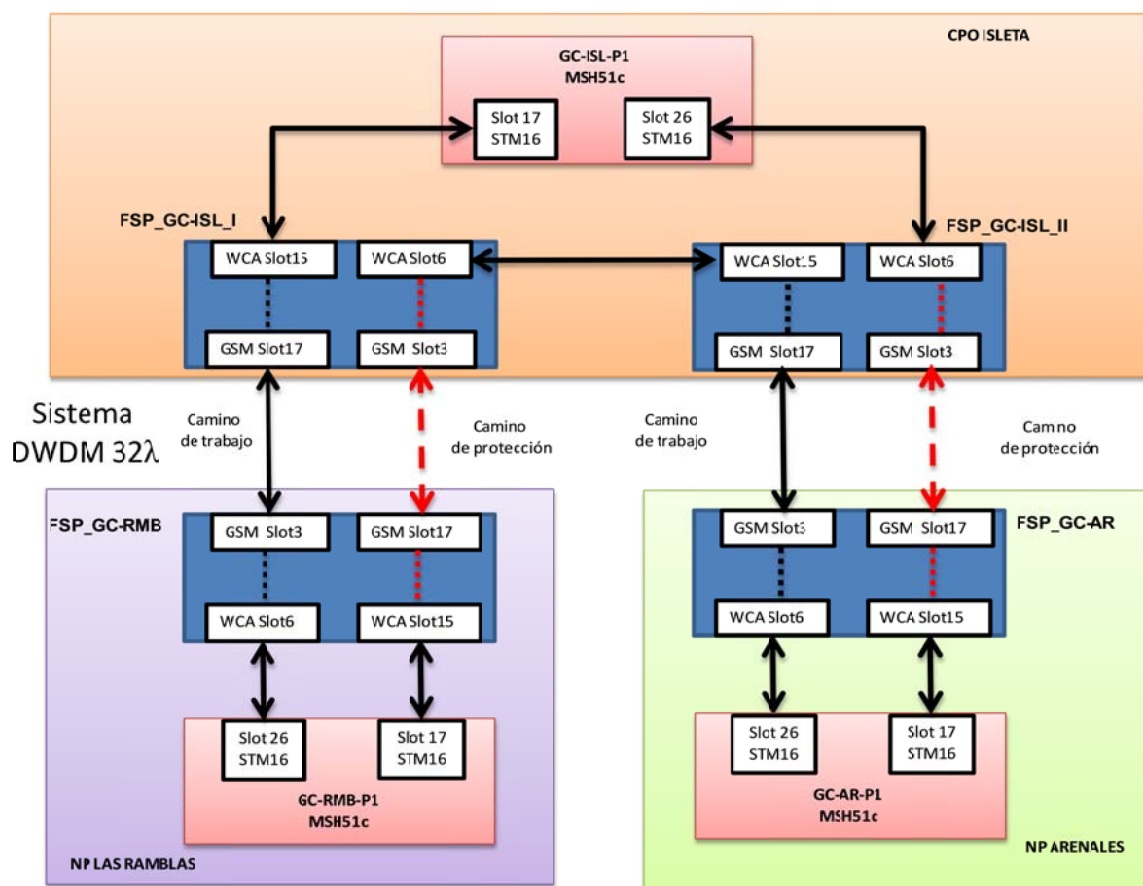


Figura 4.45: Foto final – Anillo SDH STM16 insertado en capa óptica DWDM

Los trabajos a ejecutar para realizar la migración serán los siguientes:

1. Conmutar todo el tráfico del anillo STM16 hacia el mismo lado. De esta forma garantizamos que no haya tráfico por el *tramo A* indicado en la figura 4.44.
  - a. MSH51c GC-ISL-P1 conmutar recepción al slot 17.
  - b. MSH51c GC-RMB-P1 conmutar recepción al slot 26.
  - c. MSH51c GC-AR-P1 conmutar recepción al slot 26.
2. Desconectar fibras Slot 26 GC-ISL-P1. Comprobar que no hay pérdida de ningún servicio transportado por enlace SDH. Si no se detecta ningún problema, se puede desconectar las fibras en el otro extremo de este enlace, Slot 17 GC-AR-P1. Debemos comprobar que los servicios siguen sin verse afectados.
3. Procedemos a conectar los puertos STM16 desconectados a los puertos de cliente de las tarjetas WCA de los equipos FSP3000.



- a. Interconectar con fibras monomodo el Slot 26 del MSH51c GC-ISL-P1 con el puerto de cliente de la tarjeta WCA del slot 6 del FSP\_GC-ISL\_II.
  - b. Interconectar con fibras monomodo el Slot 17 del MSH51c GC-AR-P1 con el puerto de cliente de la tarjeta WCA del slot 15 del FSP\_GC-AR.
  - c. Verificar que el enlace STM16 ha levantado y no existen alarmas.
  - d. Ya tenemos un lado del anillo STM16 (*tramo A*) funcionando a través del sistema DWDM.
4. Se va a proceder a migrar el *tramo C*. Conmutar el tráfico del MSH51c GC-AR-P1 hacia el slot 17 (*tramo A*).
  5. Conmutar el tráfico correspondiente al nodo primario GC-AR en el equipo MSH51c GC-ISL-P1 al slot 26 (*tramo A*).

De esta forma no tenemos tráfico activo en el *tramo C*. Todo el tráfico del nodo primario GC-RMB va por el *tramo B* y el tráfico del nodo primario GC-AR va por el *tramo A*.

6. Desconectar fibras Slot 26 GC-AR-P1. Comprobar que no hay pérdida de ningún servicio transportado por enlace SDH. Si no se detecta ningún problema, se puede desconectar las fibras en el otro extremo de este enlace, Slot 17 GC-RMB-P1. Debemos comprobar que los servicios siguen sin verse afectados.
7. Procedemos a conectar los puertos STM16 desconectados a los puertos de cliente de las tarjetas WCA de los equipos FSP3000.
  - a. Interconectar con fibras monomodo el Slot 26 del MSH51c GC-AR-P1 con el puerto de cliente de la tarjeta WCA del slot 6 del FSP\_GC-AR.
  - b. Interconectar con fibras monomodo el Slot 17 del MSH51c GC-RMB-P1 con el puerto de cliente de la tarjeta WCA del slot 15 del FSP\_GC-RMB.
  - c. En el CPO tienen que estar interconectadas los puertos de cliente de la tarjeta WCA del slot 6 del FSP\_GC-ISL\_I con el puerto de cliente de la tarjeta WCA del slot 15 del FSP\_GC-ISL\_II.

- d. Verificar que el enlace STM16 ha levantado y no existen alarmas.
  - e. Ya tenemos dos lados del anillo STM16 (*tramo A* y *C*) funcionando a través del sistema DWDM.
8. Se va a proceder a migrar el *tramo B*. Conmutar el tráfico del MSH51c GC-RMB-P1 hacia el slot 17 (*tramo C*).
9. Conmutar el tráfico correspondiente al nodo primario GC-RMB en el equipo MSH51c GC-ISL-P1 al slot 26 (*tramo A*). Todas las crossconexiones del anillo STM16 deben recibirse por el slot 26 del GC-ISL-P1.

De esta forma no tenemos tráfico activo en el *tramo B*. Todo el tráfico del nodo primario GC-RMB va por los *tramos A* y *C* y el tráfico del nodo primario GC-AR va por el *tramo A*.

10. Desconectar fibras Slot 26 GC-RMB-P1. Comprobar que no hay pérdida de ningún servicio transportado por enlace SDH. Si no se detecta ningún problema, se puede desconectar las fibras en el otro extremo de este enlace, Slot 17 GC-ISL-P1. Debemos comprobar que los servicios siguen sin verse afectados.
11. Procedemos a conectar los puertos STM16 desconectados a los puertos de cliente de las tarjetas WCA de los equipos FSP3000.
- a. Interconectar con fibras monomodo el Slot 17 del MSH51c GC-ISL-P1 con el puerto de cliente de la tarjeta WCA del slot 15 del FSP\_GC-ISL-I.
  - b. Interconectar con fibras monomodo el Slot 26 del MSH51c GC-RMB-P1 con el puerto de cliente de la tarjeta WCA del slot 6 del FSP\_GC-RMB.
  - c. Verificar que el enlace STM16 ha levantado y no existen alarmas.
  - d. Ya tenemos el último lado del anillo STM16 (*tramo B*) funcionando a través del sistema DWDM.
12. Con estos trabajos, ya estaría todo el anillo STM16 funcionando por la capa óptica.

# Capítulo 5

## Conclusiones

Lo primero que podríamos pensar hoy al ver una red de transporte construida hace 20 años es que los ingenieros que la diseñaron no tenían mucha idea de que es lo que se necesitaba. Seguro que todos podríamos llegar a esa conclusión y proponer otra implementación que cubriese mejor las necesidades que tenemos hoy.

Pero tenemos que situarnos en las demandas que tenía el mercado de las telecomunicaciones cuando se implementó esa red. La red de transporte SDH cubría perfectamente las demandas que tenía que satisfacer una operadora de cable a finales del siglo XX en España. Incluso hoy en día sigue siendo necesaria para cubrir algunos servicios que los clientes y los sistemas existentes siguen demandando.

Al incrementarse el tamaño y el tráfico de la red, las operadoras de cable se vieron obligadas a ampliar el equipamiento SDH que tenían, aumentando las capacidades de transmisión y las conmutaciones de red. El incremento de la demanda de  $\lambda$  tanto por parte de los clientes como de los sistemas proveedores de servicios, ha favorecido el desarrollo de las capas WDM. Las empresas se han visto obligadas a desarrollar redes ópticas que cubriesen esas demandas.

En el presente proyecto se ha cumplido el objetivo principal inicialmente planteado que es el diseño e implantación de una red de capa óptica que mejora las prestaciones de una red de transporte SDH en Las Palmas de Gran Canaria. Se ha tratado de exponer como se ha realizado esa migración en una operadora de cable.

Para ello primero se hizo una auditoría previa de la infraestructura existente, una red de transporte SDH formada por equipamiento de Ericsson (Familia MSHxx). Dicha auditoría nos facilitó la elección del nuevo equipamiento para posteriormente proponer la nueva red aprovechando las infraestructuras existentes, reduciendo considerablemente el coste de la implantación. Se propuso insertar equipamiento DWDM paralelo al anillo STM16 formado entre la Cabecera (Isleta) y otros dos emplazamientos dentro de la capital, Arenales y Las Ramblas.

Se explicó cómo implantar los equipos DWDM como una capa óptica superior a la red de transporte SDH. Esa capa nos permite implementar redes troncales de transporte más robustas y que soporten mayores capacidades de tráfico. A la vez que tendremos una red más flexible y modular que pueda evolucionar para adaptarse a los continuos incrementos de demanda de servicios de alta capacidad. El hecho de conseguir una red modular nos permitirá realizar inversiones económicas acorde a la demanda existente, sin necesidad de realizar una fuerte inversión inicial más difícil de amortizar. De hecho, el sistema propuesto tiene 32  $\lambda$  protegidas dentro de la banda C, más que suficiente para cubrir las necesidades actuales, pero está preparado para adaptarse a mayores exigencias, sin impactar en el servicio que actualmente se presta.

Finalmente se describieron los trabajos necesarios para la instalación y configuración de los nuevos equipos, minimizando el impacto sobre la red existente, de forma que no se vean afectados los servicios que proporciona la empresa. La metodología seguida fue la siguiente:

- Se eligieron los equipos y tarjetas a utilizar ya que estos marcarán las pautas para el diseño a nivel de potencia, ancho de banda y OSNR.
- Se configuraron los equipos para cada uno de los nodos, con las tarjetas elegidas para cada señal existente.
- Se garantizó la potencia óptica en cada uno de los nodos para asegurar que no se pierda la señal en la fibra.
- Se garantizó la distancia máxima de transmisión para las señales.
- Se aseguró que la relación señal a ruido no genere problemas para la señal.

## 5.1. Líneas futuras de trabajo

Como líneas futuras de trabajo, se propone la implantación de un sistema DWDM en el resto de la red de la operadora. En nuestro caso se han escogido dos nodos primarios en el municipio de Las Palmas de Gran Canaria. Habría que realizar esta misma implantación en el resto de municipios de la isla, y en el resto de islas donde la operadora presta servicio.

Además, habría que estudiar qué sistema usar para la interconexión de las capas ópticas entre todas las islas, así como la conexión con otros operadores.

Una vez tengamos una red troncal potente, habría que estudiar la posibilidad de ofertar otros servicios a los clientes. La implantación de un sistema FTTH (Fiber To The Home: Fibra hasta el hogar) para nuevos clientes o la migración del sistema de acceso actual a través de la red HFC a un sistema de fibras, será cuestión de estudio, evaluando el impacto económico que puede tener en los resultados de la compañía. En Canarias grandes compañías como Orange y Telefónica están apostando fuerte por las redes FTTH, siendo el objetivo tener una red de fibras que llegue hasta cada cliente para poder ofertarles servicios de 1Gbps simétricos. Se trataría de evaluar si los sistemas HFC pueden evolucionar hasta conseguir esas velocidades para poder competir en un mercado cada vez más exigentes, o si será necesario migrar todo a sistemas basados totalmente en la fibra óptica.



# Presupuesto

Una vez propuesto el diseño la red de capa óptica que mejora las prestaciones de una red de transporte SDH, se incluye un estudio económico con los costes tanto parciales como totales del proyecto.

## P.1 Costes de recursos humanos

En este punto se contabilizan los gastos asociados a mano de obra según salario correspondiente a la hora de un ingeniero. El cálculo de los honorarios se ha estimado tomando como referencia el precio/hora de mercado, que tras consultar diferentes presupuestos de varias compañías se ha estimado en 25 €/h.

Esta estimación se ha realizado como consecuencia de una circular del Ministerio de Economía y Hacienda recordando que por una directiva europea los baremos orientativos de honorarios publicados en los Colegios de Ingenieros deben ser eliminados.

El tiempo dedicado para la realización de este PROYECTO FIN DE CARRERA ha sido de 900 horas durante un periodo de 12 meses, equivalente a 20 horas semanales. Con todo lo expuesto, en la Tabla P.1 se presenta un resumen con los gastos derivados en ingeniería para este PROYECTO FIN DE CARRERA:

Tabla P.1: Tarifa de honorarios por tiempo empleado

	<b>Horas laborales</b>	<b>Coste hora</b>	<b>Coste total</b>
<b>Honorarios</b>	900	25,00 €	<b>22.500,00 €</b>

## P.2 Amortización de recursos materiales

En este apartado se consideran tanto el hardware como el software que se ha utilizado en la elaboración de este PROYECTO FIN DE CARRERA. A continuación, se presenta un desglose del coste de los recursos hardware y software.

### P.2.1 Amortización del material hardware

Para llevar a cabo este Proyecto Fin de Carrera se ha hecho uso:

- Ordenador portátil Windows 10 (Intel Core i5 2.5 GHz) 64 bits.
- Viavi Scalable Multitest Platform MTS-8000

Tabla P.2: Coste de recursos hardware

	<b>Valor de adquisición (€)</b>	<b>Tiempo de utilización (meses)</b>	<b>Amortización (€)</b>
Ordenador portátil (Amortización 3 años)	700,00	12	233,33 €
MTS-8000 (Amortización 10 años)	8.000,00	1	66,67 €
		<b>TOTAL</b>	<b>300,00 €</b>



## P.2.2 Amortización del material software

Las herramientas software utilizadas durante la realización de este PROYECTO FIN DE CARRERA son:

- Sistema Operativo Windows 10
- Microsoft Office 2007
- Fiber TraceViewer

Tabla P.3: Coste de recursos hardware

	Coste anual (€)	Tiempo de utilización (meses)	Amortización (€)
Sistema Operativo Windows 10	59,00	12	59,00
Fiber TraceViewer	0 €	12	0 €
Microsoft Office 2007	26,60	12	26,60
		<b>TOTAL</b>	<b>85,60 €</b>

## P.3 Material fungible

Los costes asociados al material fungible utilizado en la realización de este PROYECTO FIN DE CARRERA se muestran en la Tabla P.4.

Tabla P.4: Coste de material fungible

Material	Coste (€)
Material de papelería	10,00 €
CD-ROM	5,00 €
Impresión	40,00 €
Encuadernación	5,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>60,00 €</b>

## P.4 Presupuesto total

El coste total de este PROYECTO FIN DE CARRERA, desglosado en cada uno de los ítems anteriores, se resume en la Tabla P.5:

Tabla P.4: Coste total

Descripción	Coste (€)
P.1 Honorarios	22.500,00 €
P.2.1 Costes recursos hardware	300,00 €
P.2.2 Costes recursos software	86,60 €
P.3. Material fungible	60,00
Presupuesto antes de impuestos	22.946,60
IGIC (7%)	1606.26
<b>Presupuesto TOTAL</b>	<b>24.552,86 €</b>

D. José María Pampín Pita declara que el PROYECTO FIN DE CARRERA, “PROPUESTA PARA DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UNA RED DE CAPA ÓPTICA EN LAS PALMAS DE GRAN CANARIA”, asciende a un total de: **24.552,86 €**

Las Palmas de Gran Canaria, a 15 de junio de 2017.

Fdo.: D. José María Pampín Pita

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Omidyar, C.G. and Aldridge, A. (1995). Introduction to SDH/SONET. *IEEE Communications Magazine*, 31, 30-33.
- [2] Wandel & Goltermann. (1997). Transmisión Digital Síncrona (JDS/SDH).
- [3] Marconi. (2010). 2.5 Gbps Synchronous Add/Drop Multiplexer. MSH51c.
- [4] Marconi. (2010). 155-622 Mbps Synchronous Add/Drop Multiplexer. MSH41c.
- [5] Marconi. (2010). 155 Mbps Synchronous Add/Drop Multiplexer. MSH11c.
- [6] Cisco Systems. (2000). Introduction to DWDM for Metropolitan Networks. Recuperado de <http://www.abrconsulting.com/White%20Papers/dwdm.pdf>. Última visita [01 de septiembre de 2016].
- [7] Alcatel. (1995). Optical Networks tutorial, WEB ProForum Tutorial. Recuperado de [http://www.iec.org/online/tutorials/opt\\_net/](http://www.iec.org/online/tutorials/opt_net/). Última visita [18 de septiembre de 2016].
- [8] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2000). Recomendación UIT-T G.692: Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos. Recuperado de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.692/es>. Última visita [9 de febrero de 2017].

- [9] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2012). Recomendación UIT-T G.694.1: Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda densa. Recuperado de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1/es>. Última visita [9 de febrero de 2017].
- [10] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2003). Recomendación UIT-T G.694.2: Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de multiplexación por división aproximada de longitud de onda. Recuperado de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2-200312-I/es>. Última visita [9 de febrero de 2017].
- [11] Peñarredonda, D. A. B., Silva, I. D. T., & Mateus, E. A. (2011). Redes ópticas DWDM: diseño e implementación. *Visión Electrónica: algo más que un estado sólido*, 4(1), 70-80.
- [12] ADVA Optical Networking (2015). FSP 3000R7: Element Manager: User Manual. Recuperado de <http://www.advaoptical.com/en/products/scalable-optical-transport/fsp-3000.aspx>. Última visita [31 de enero de 2017].
- [13] ADVA Optical Networking. (2015). Optical Spectrum Services. ADVA FSP3000. Technical Overview.
- [14] ADVA Optical Networking. (2015). Fiber Service Platform 3000R7: Detailed Procedures.
- [15] ADVA Optical Networking. (2015). FSP 3000R7: Release 10.3.1 – Training Presentations.
- [16] ADVA Optical Networking. (2015). Fiber Service Platform 3000R7: Hardware Description.
- [17] JSDSU. MTS-8000 Tester. Optical Time Domain Reflectometer. Recuperado de: [www.jdsu.com/fiberopticstest](http://www.jdsu.com/fiberopticstest).
- [18] ONO. Pauta básica uso de OTDR y medidas de FO y potencia. Procedimiento interno ONO.

[19] ONO. Procedimientos de planta interna de la red de HFC. Procedimiento interno ONO.

[20] CISCO. (2017) Productos y servicios. Recuperado de:  
<http://www.cisco.com/c/en/us/products/index.html>. Última visita [18 de noviembre de 2016].

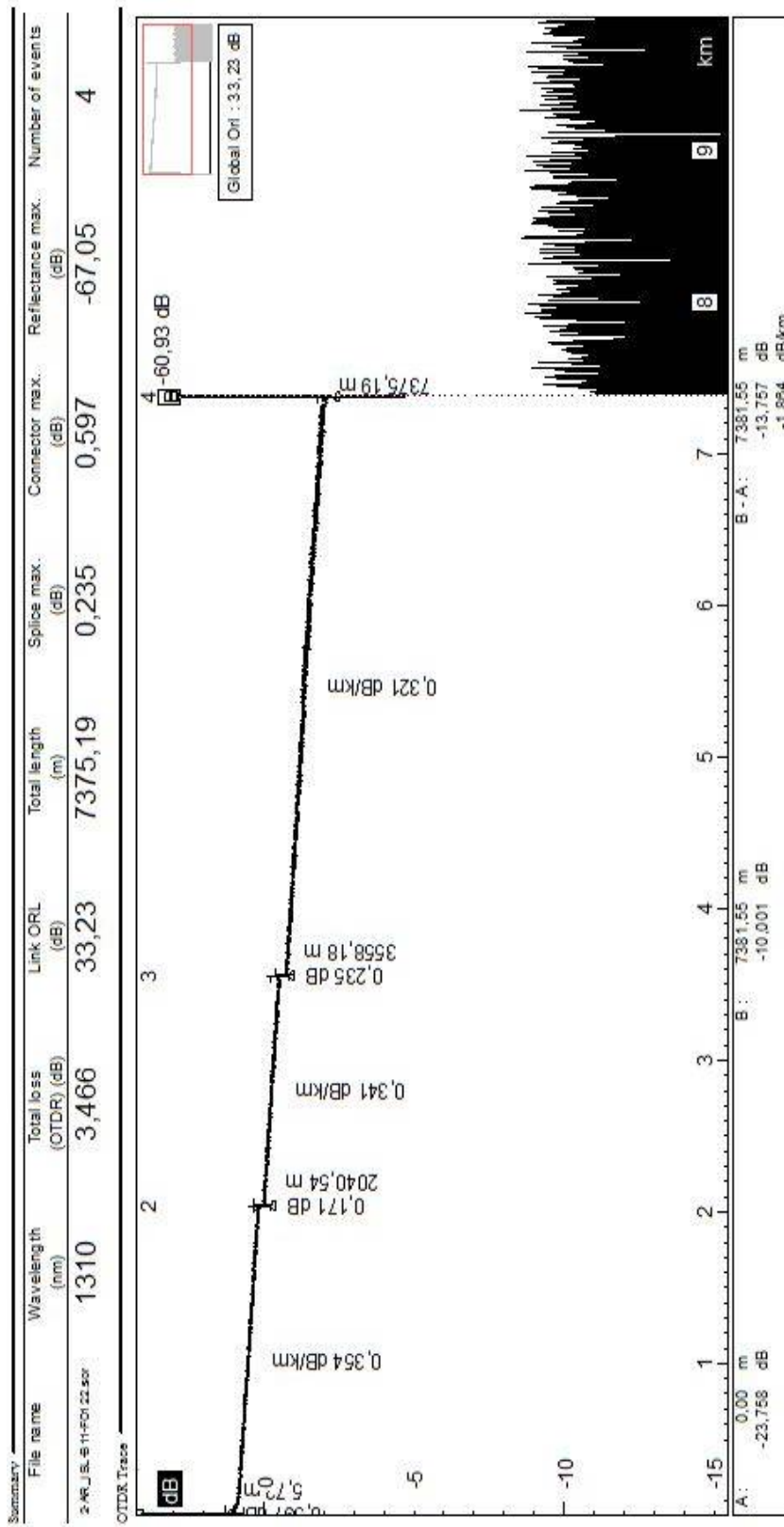
[21] Curso de fibra óptica. (2009). Juan Carlos Campo Rodríguez. Universidad de Oviedo. Recuperado de:  
<http://ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Fibra%20optica/Curso%20de%20Fibra%20Optica.pdf>. Última visita [15 de septiembre de 2017].



# **Anexo I**

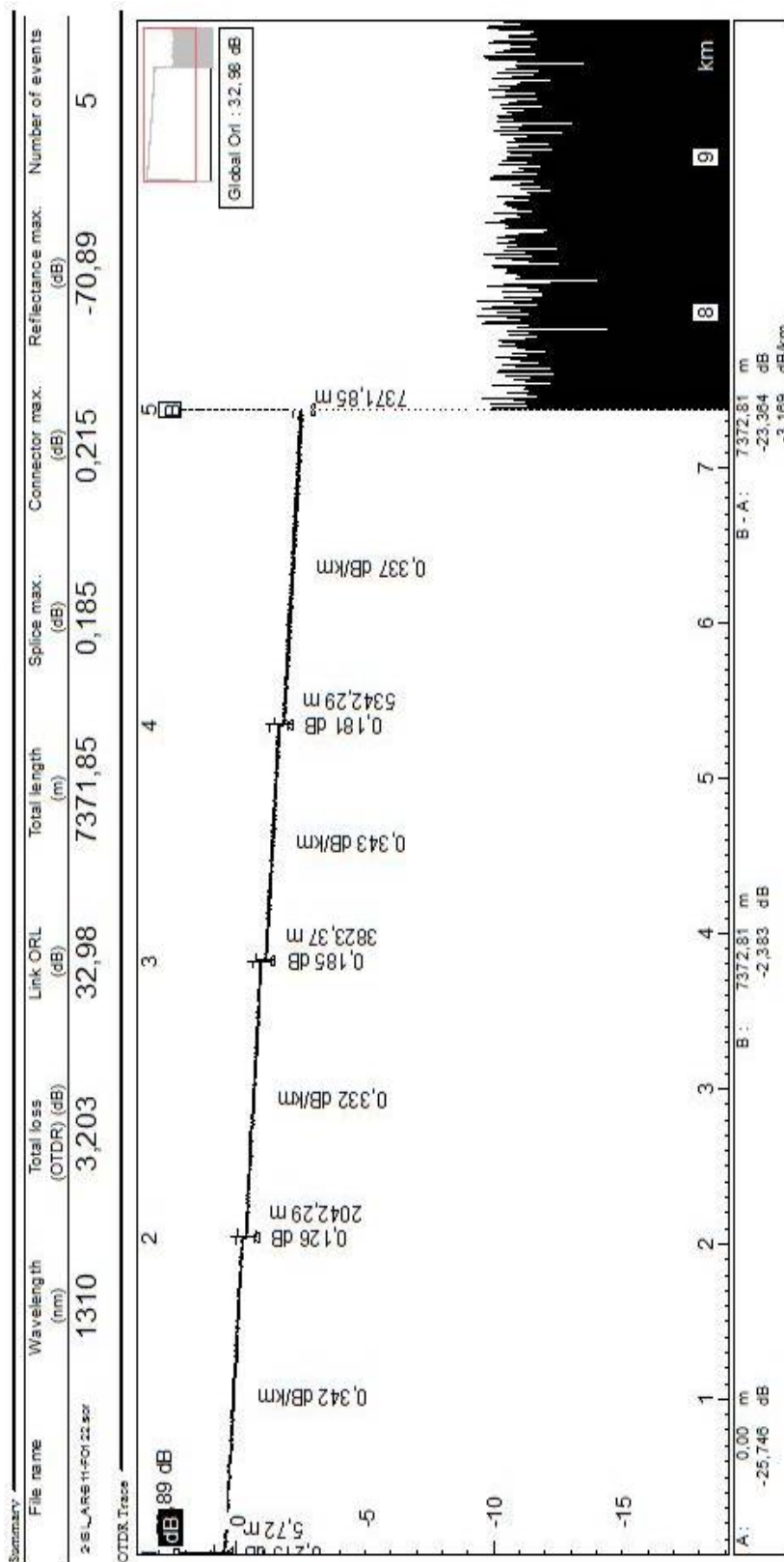
## **Reflectometrías enlace GC-ISL ↔ GC-AR**

- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 122 // Medida en 2ª ventana

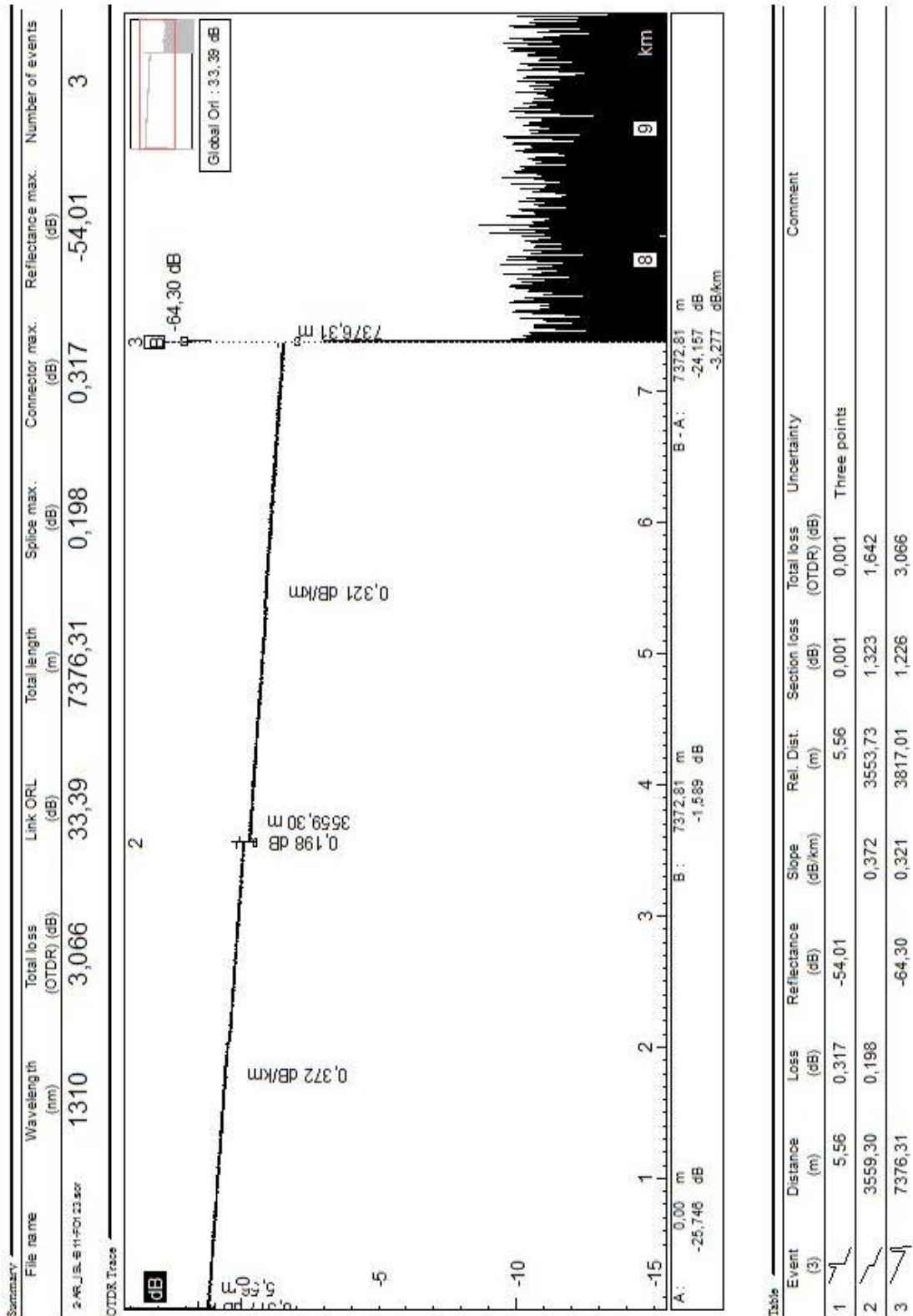




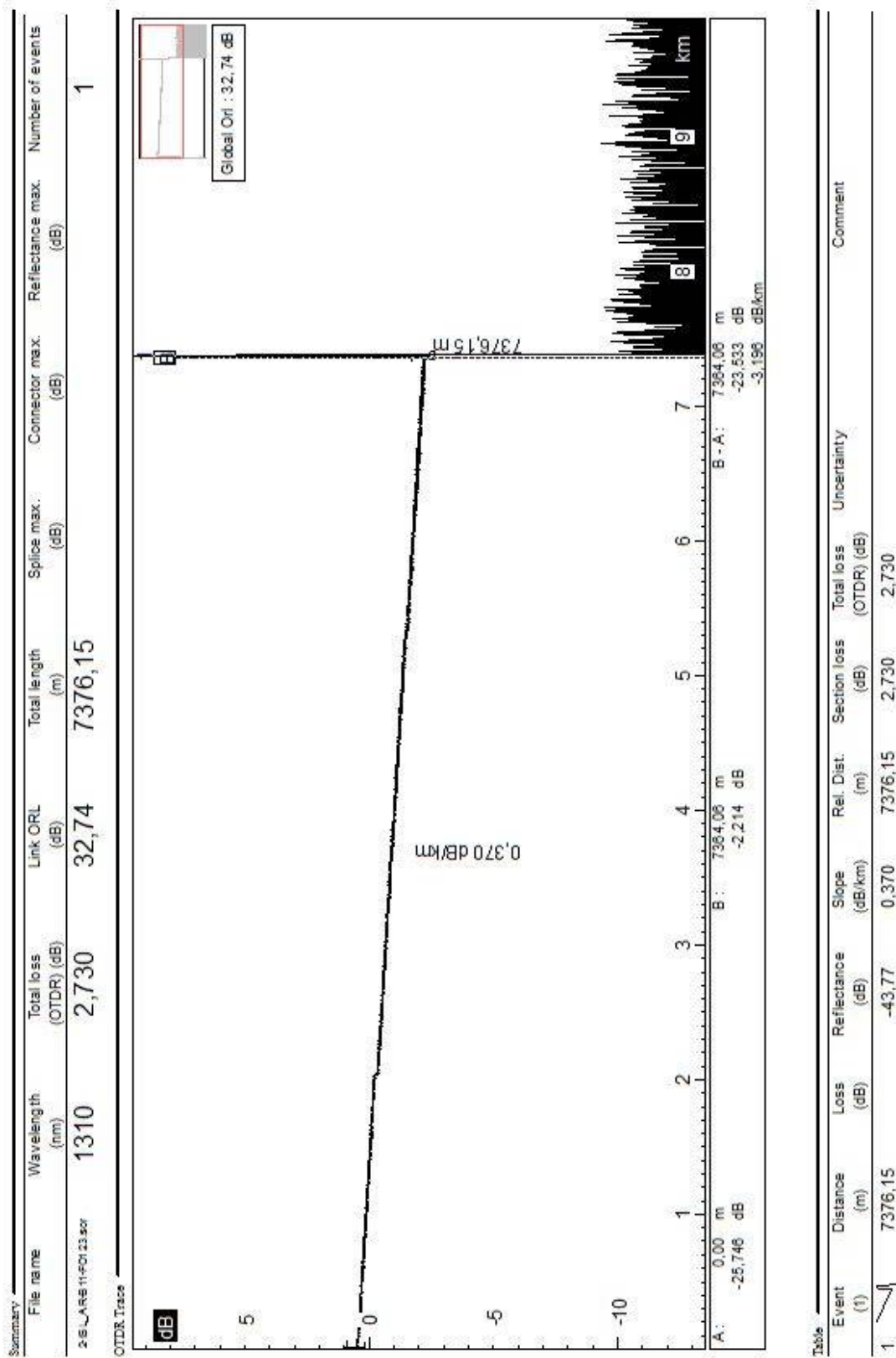
- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 122 // Medida en 2ª ventana



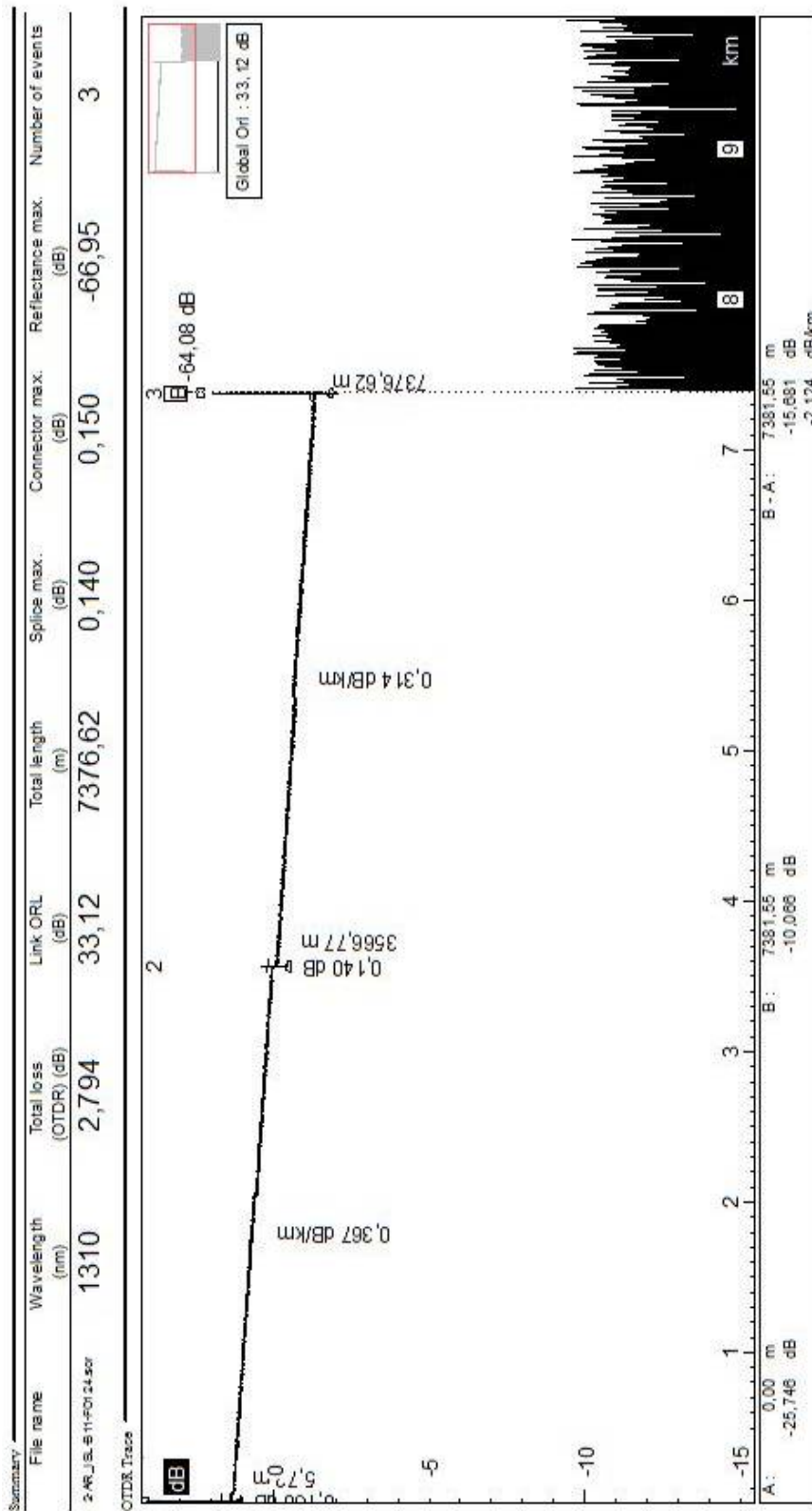
- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 123 // Medida en 2ª ventana



- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 123 // Medida en 2ª ventana



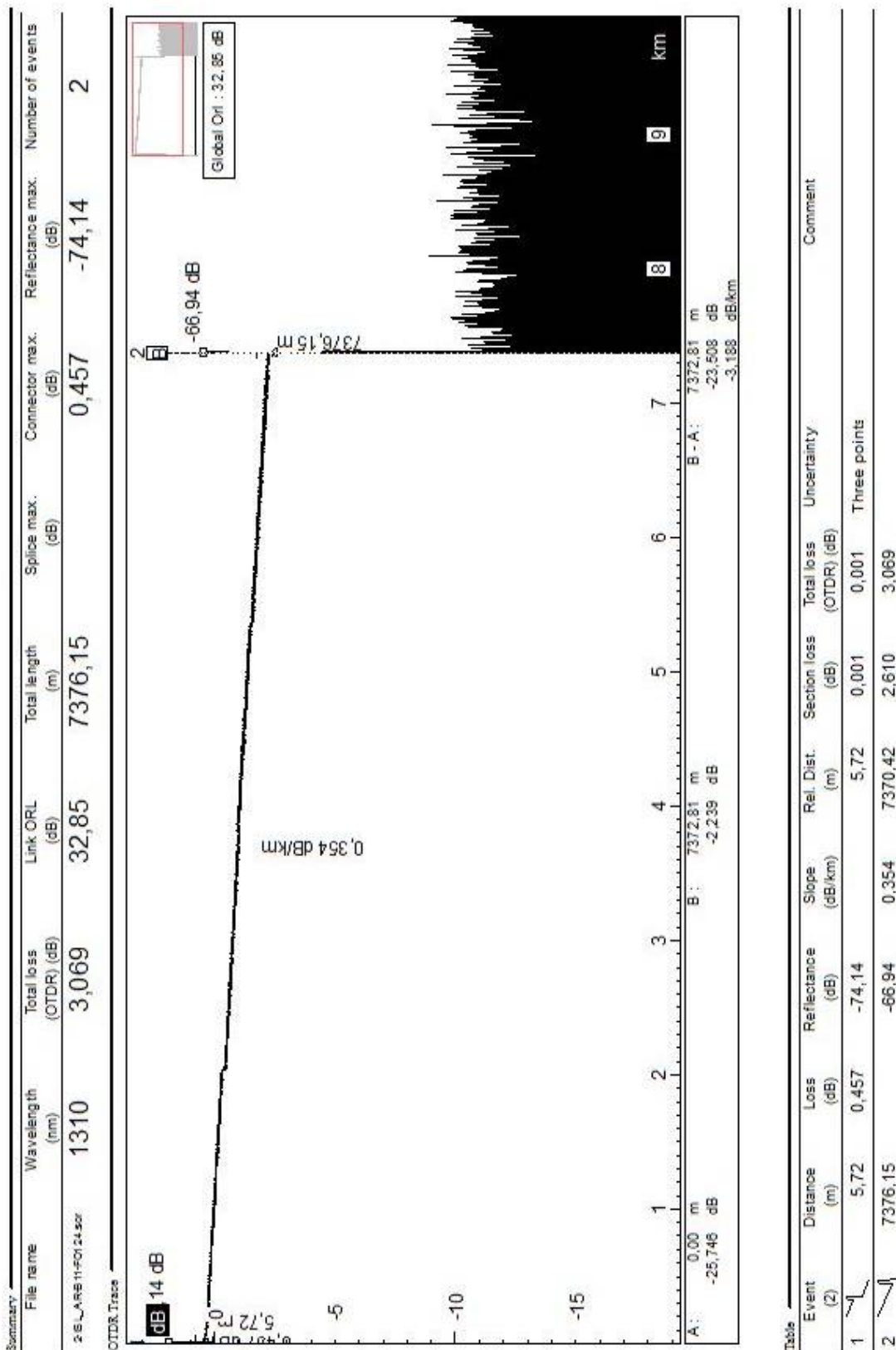
- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 124 // Medida en 2ª ventana



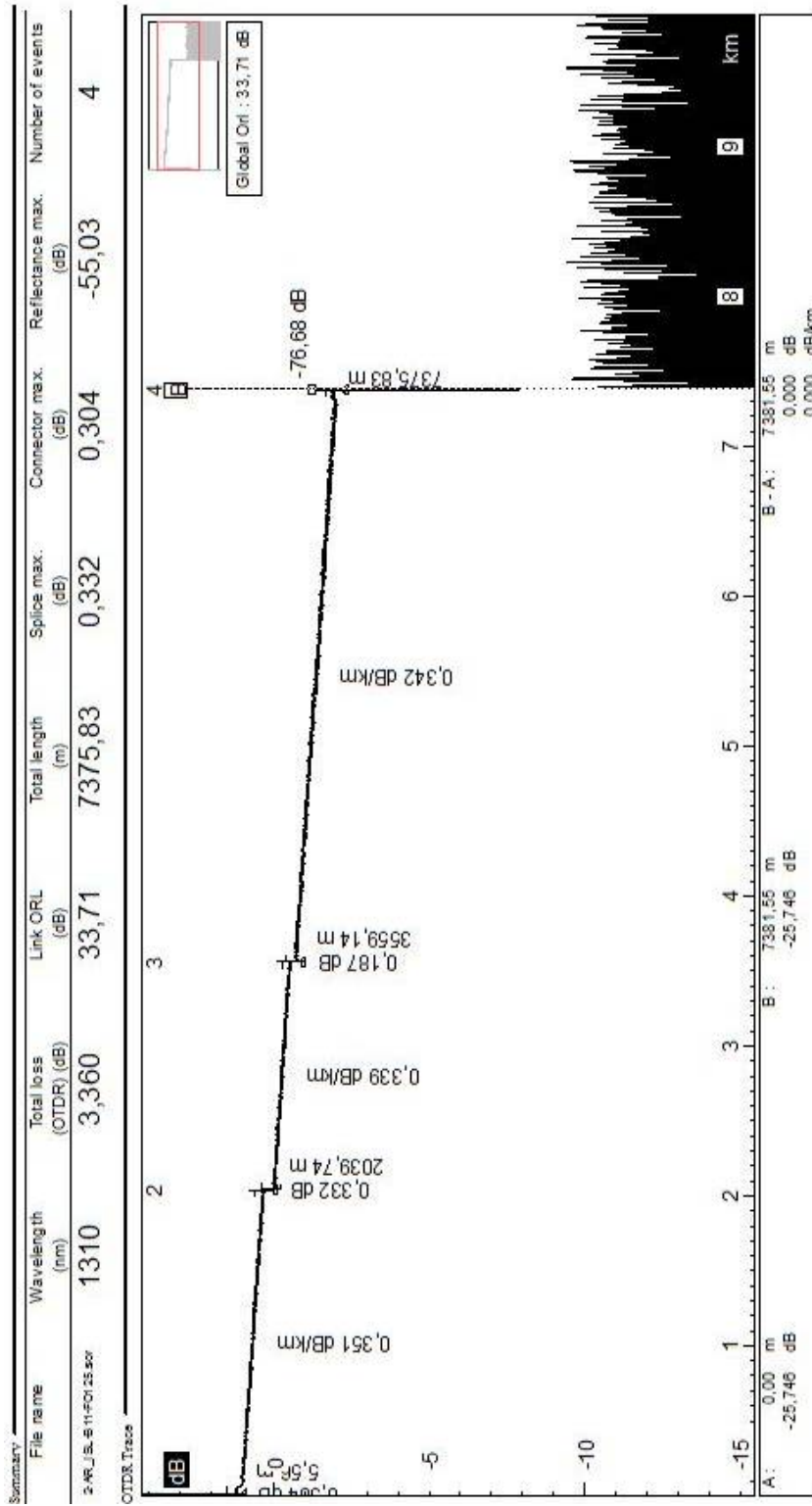
Table

Event (3)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	5,72	0,150	-66,95	0,367	5,72	0,003	0,003	Three points	
2	3566,77	0,140		0,314	3561,05	1,305	1,458		
3	7376,62		-64,08	0,314	3809,85	1,196	2,794		

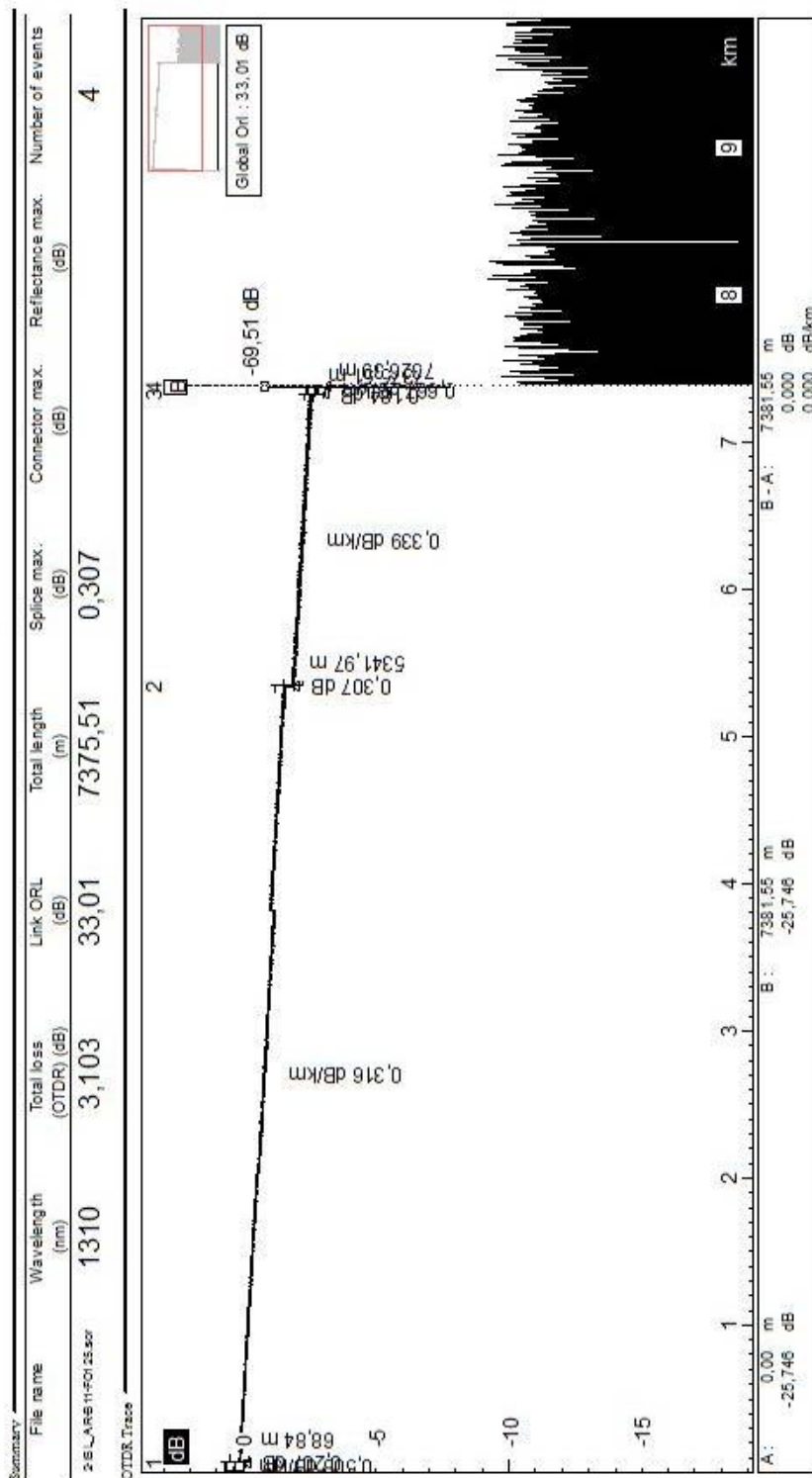
- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 124 // Medida en 2ª ventana



- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 2ª ventana



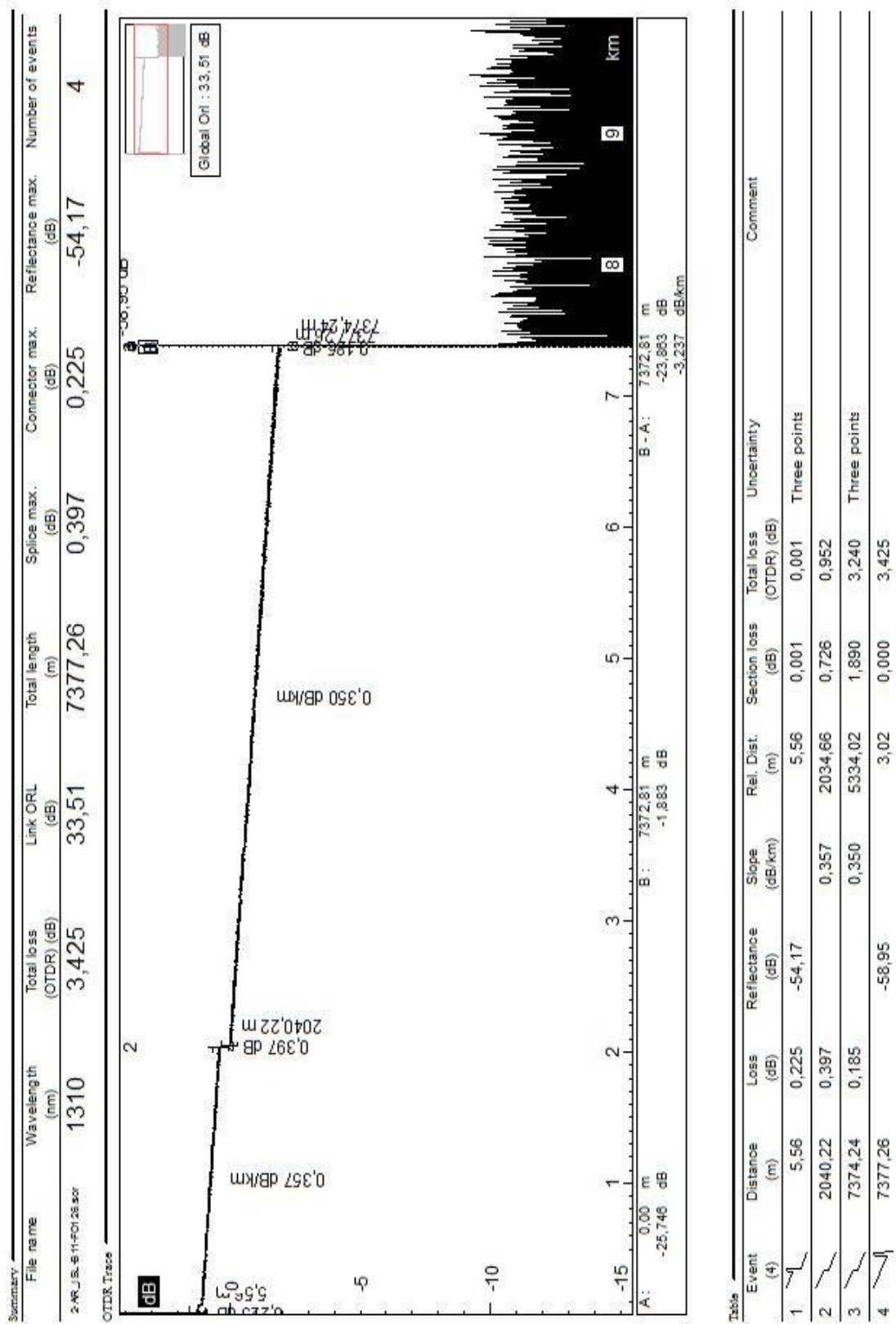
- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 2ª ventana



Table

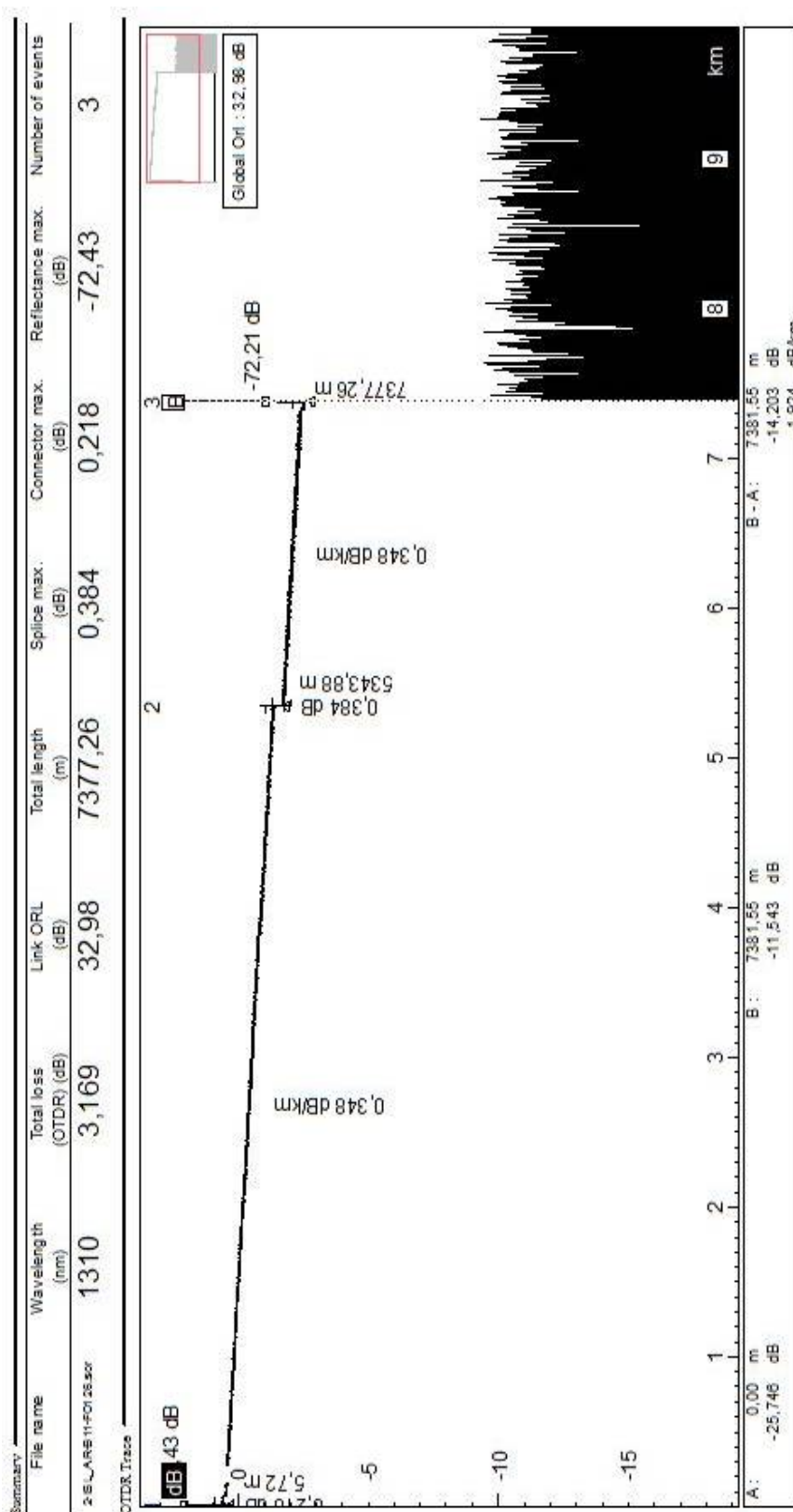
Event	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	68,84	0,207		0,508	68,84	0,034	0,034		
2	5341,97	0,307		0,316	5273,13	1,665	1,906		
3	7326,39	0,184		0,339	1984,42	0,673	2,887		
4	7375,51		-69,51	0,667	49,13	0,032	3,103		

- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 2ª ventana





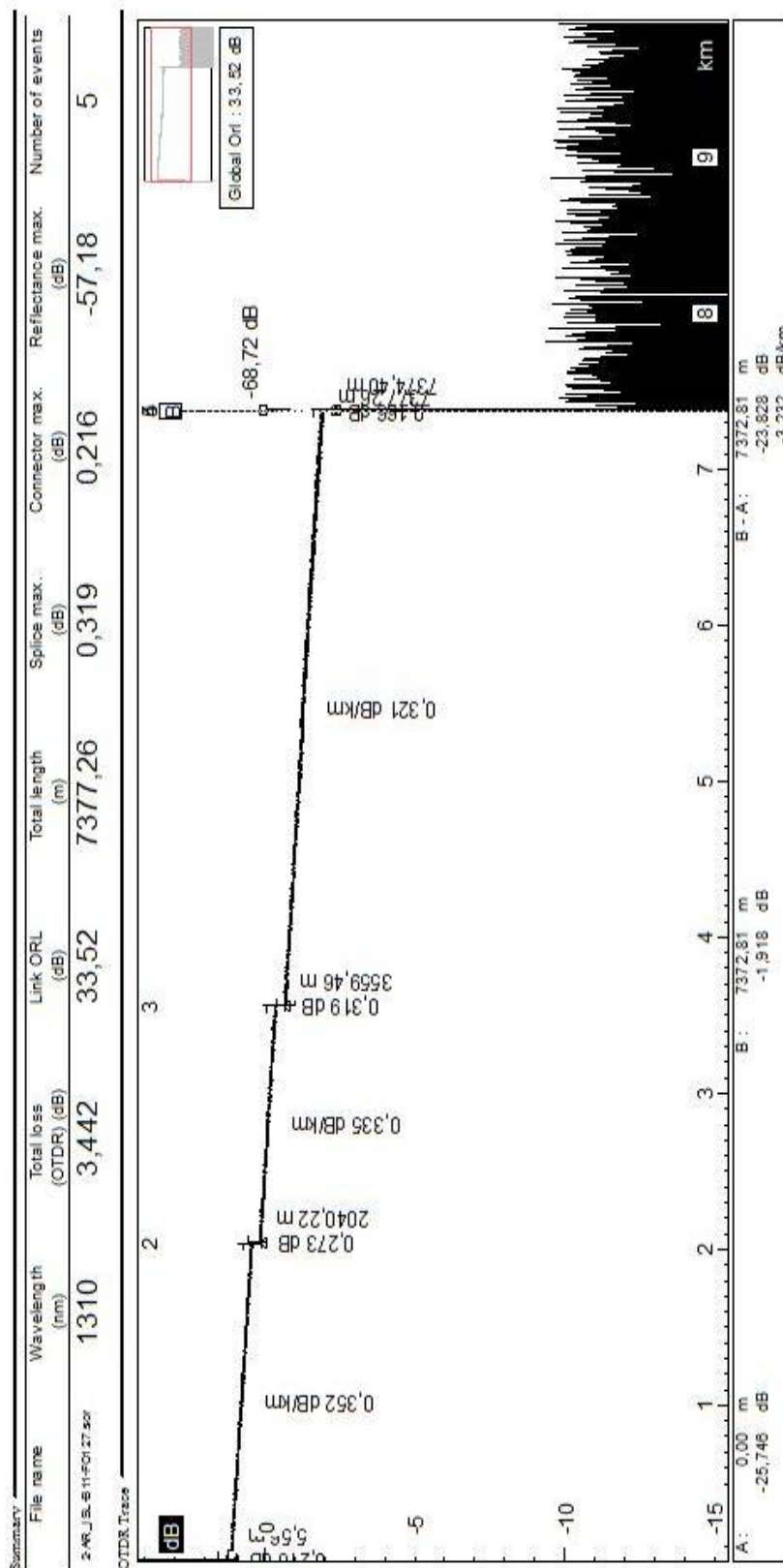
- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 2ª ventana



Table

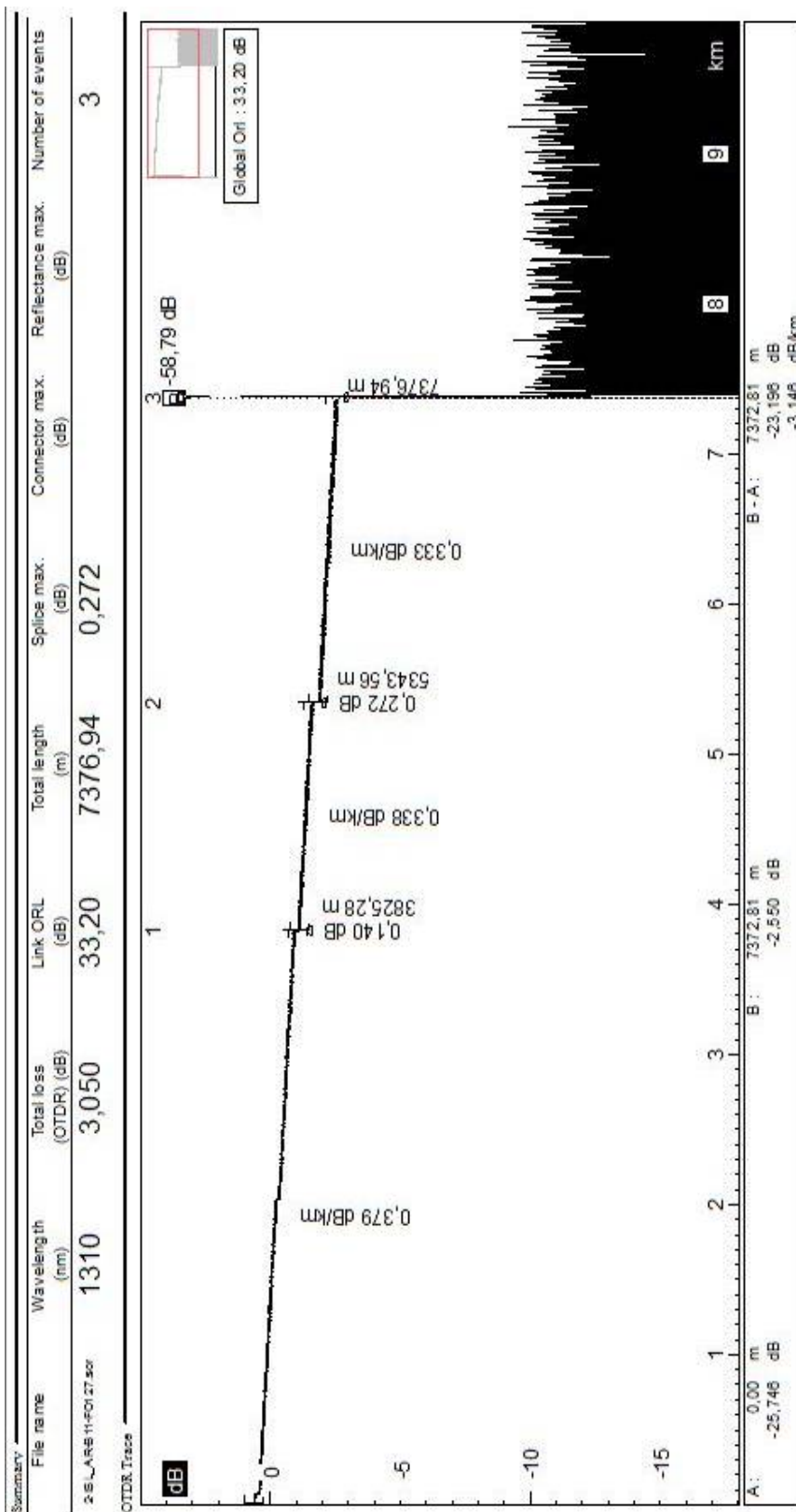
Event	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	5,72	0,218	-72,43	0,348	5,72	0,001	0,001	Three points	
2	5343,88	0,384	-72,21	0,348	5338,15	1,859	2,078		
3	7377,26		-72,21	0,348	2033,38	0,707	3,169		

- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 2ª ventana

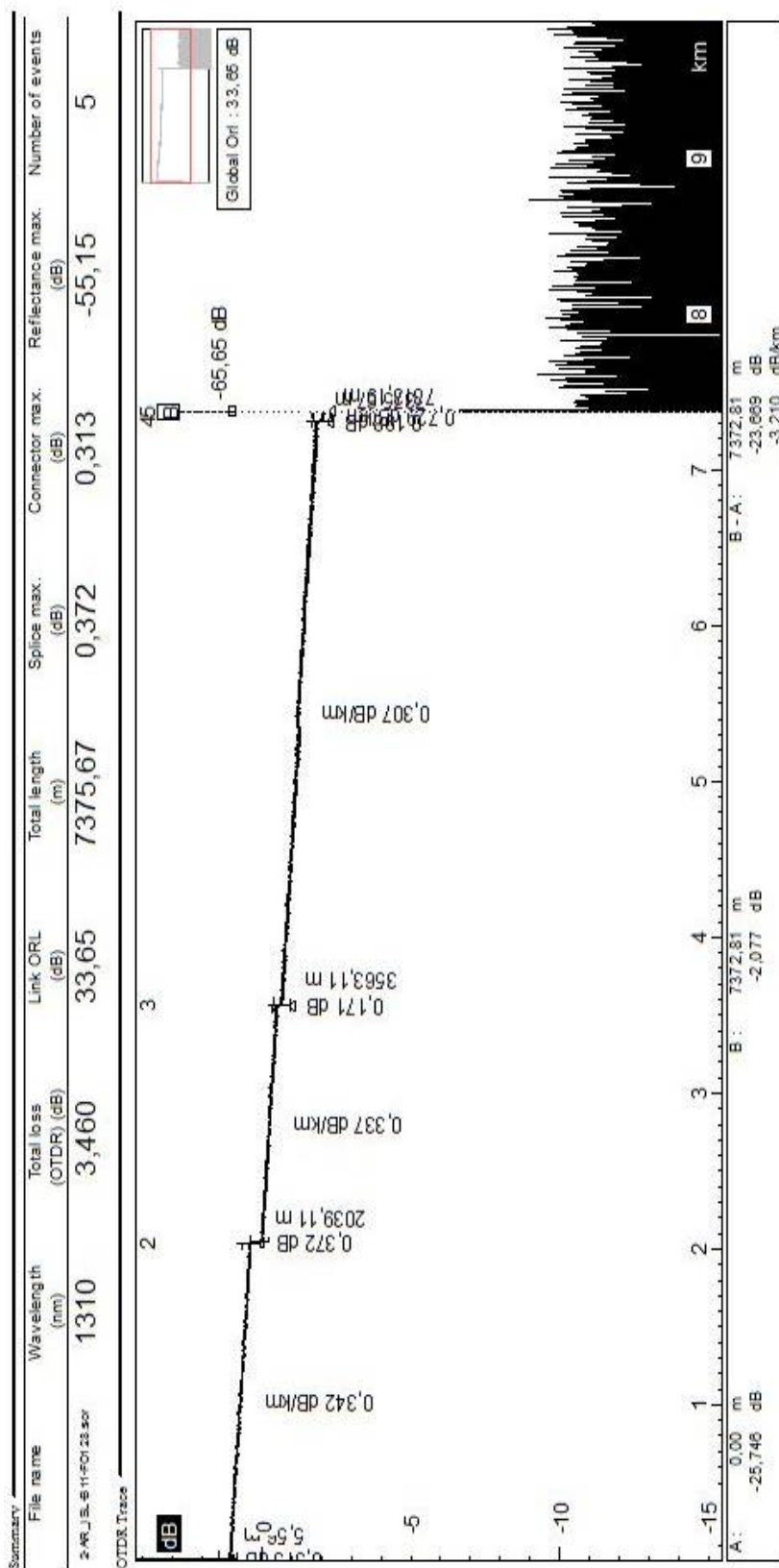


Event (5)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	5,56	0,216	-57,18	0,352	2034,66	0,714	0,933	Three points	
2	2040,22	0,273		0,335	1519,24	0,509	1,715		
3	3559,46	0,319		0,321	3814,94	1,242	3,276	Three points	
4	7374,40	0,166							
5	7377,26		-68,72		2,86	0,000	3,442		

- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 2ª ventana

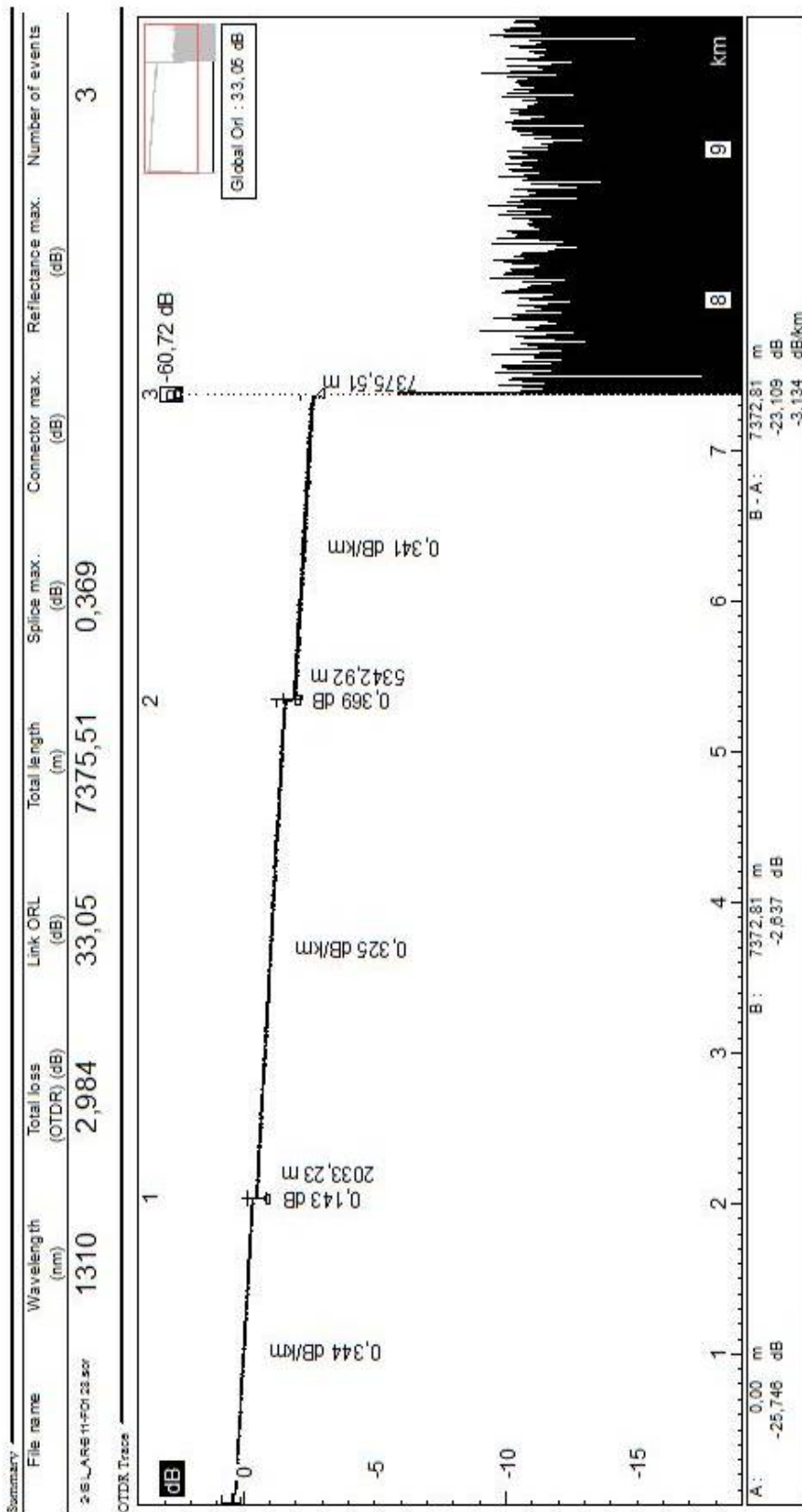


- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 2ª ventana

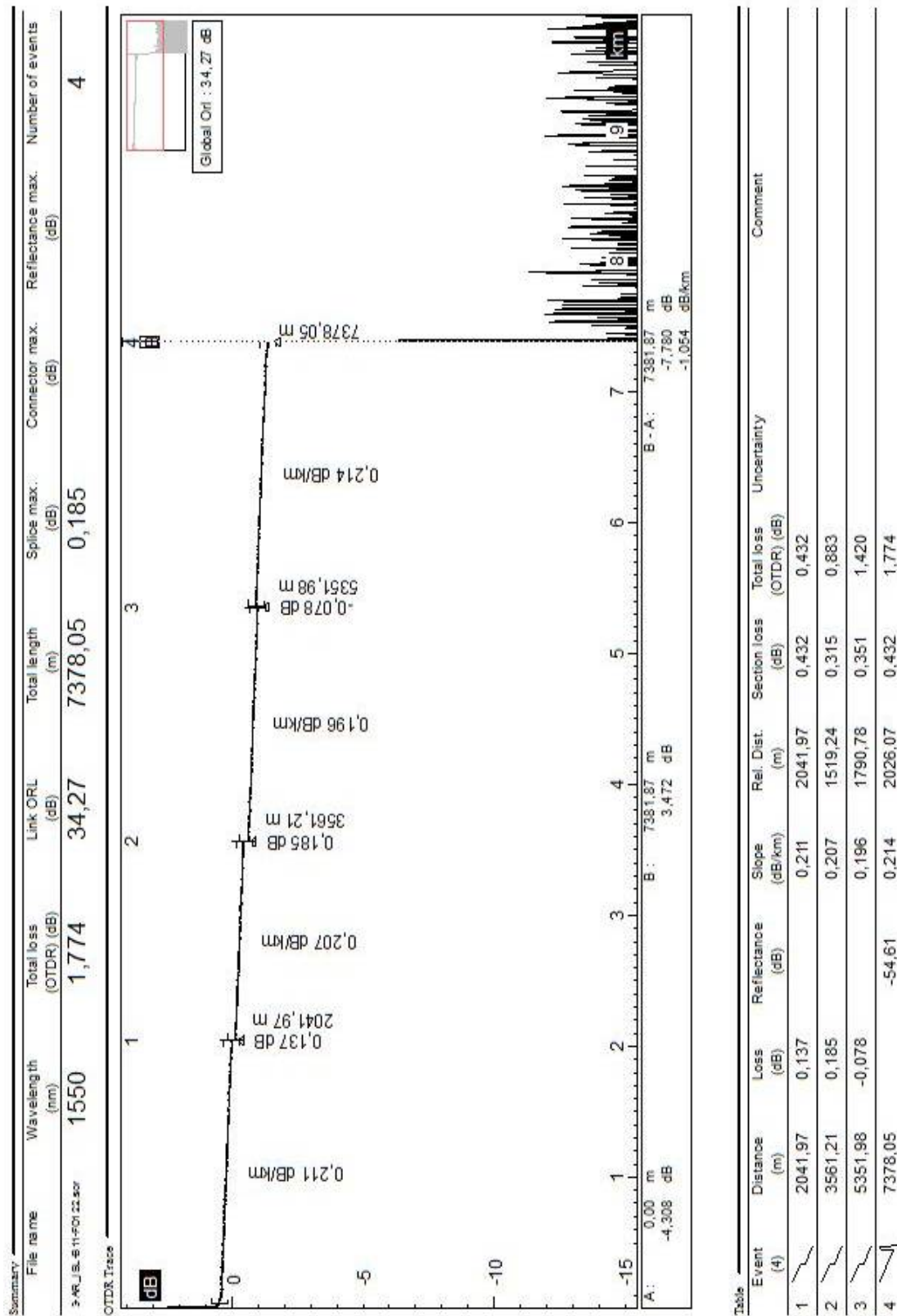


Event (5)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	5,56	0,313	-55,15	0,342	5,56	0,001	0,001	Three points	
2	2039,11	0,372		0,337	2033,54	0,695	1,010		
3	3563,11	0,171		0,307	1524,01	0,513	1,895		
4	7313,19	0,198		0,307	3750,08	1,151	3,216		
5	7375,67		-65,65	0,729	62,48	0,046	3,460		

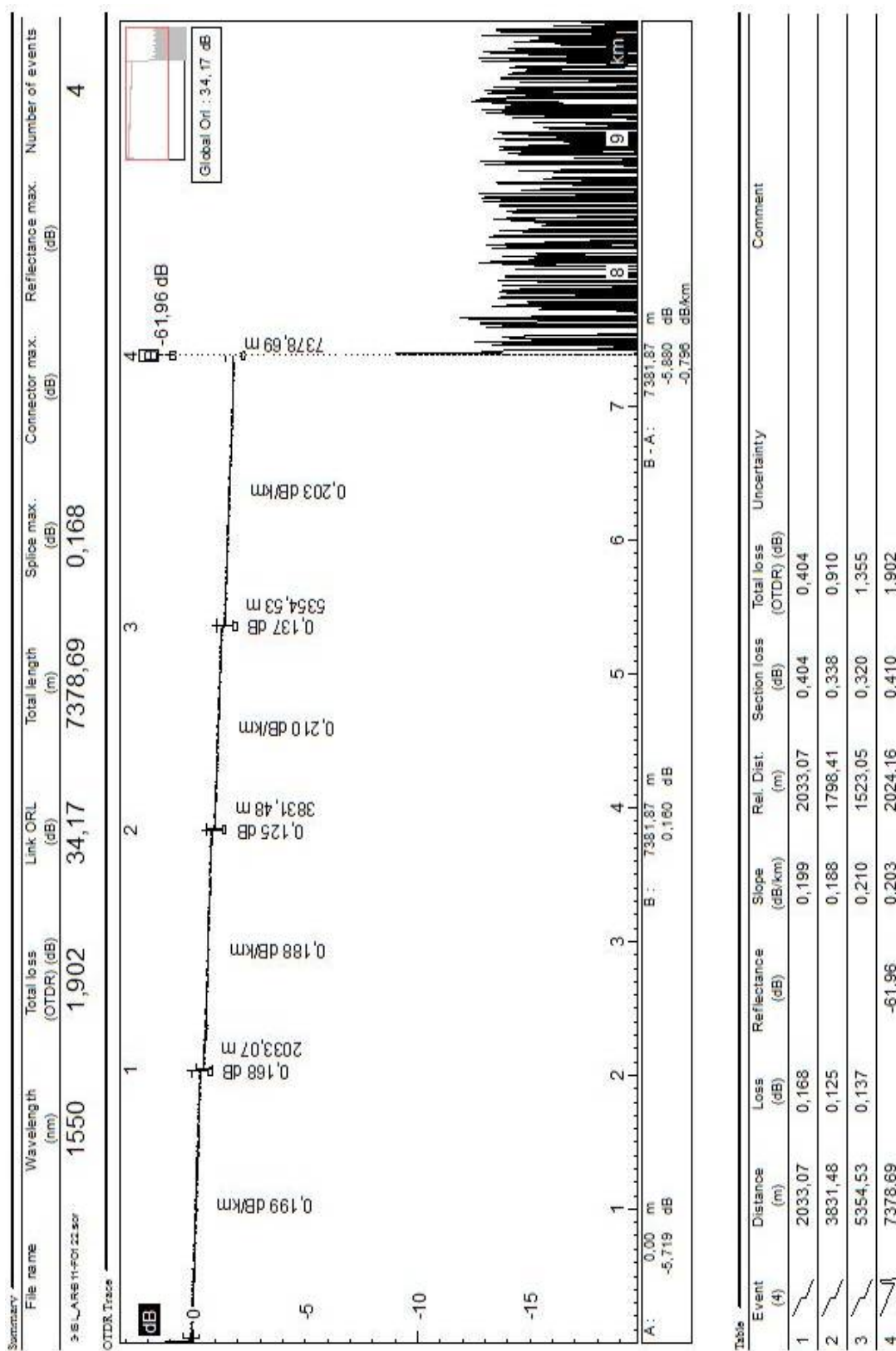
- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 2ª ventana



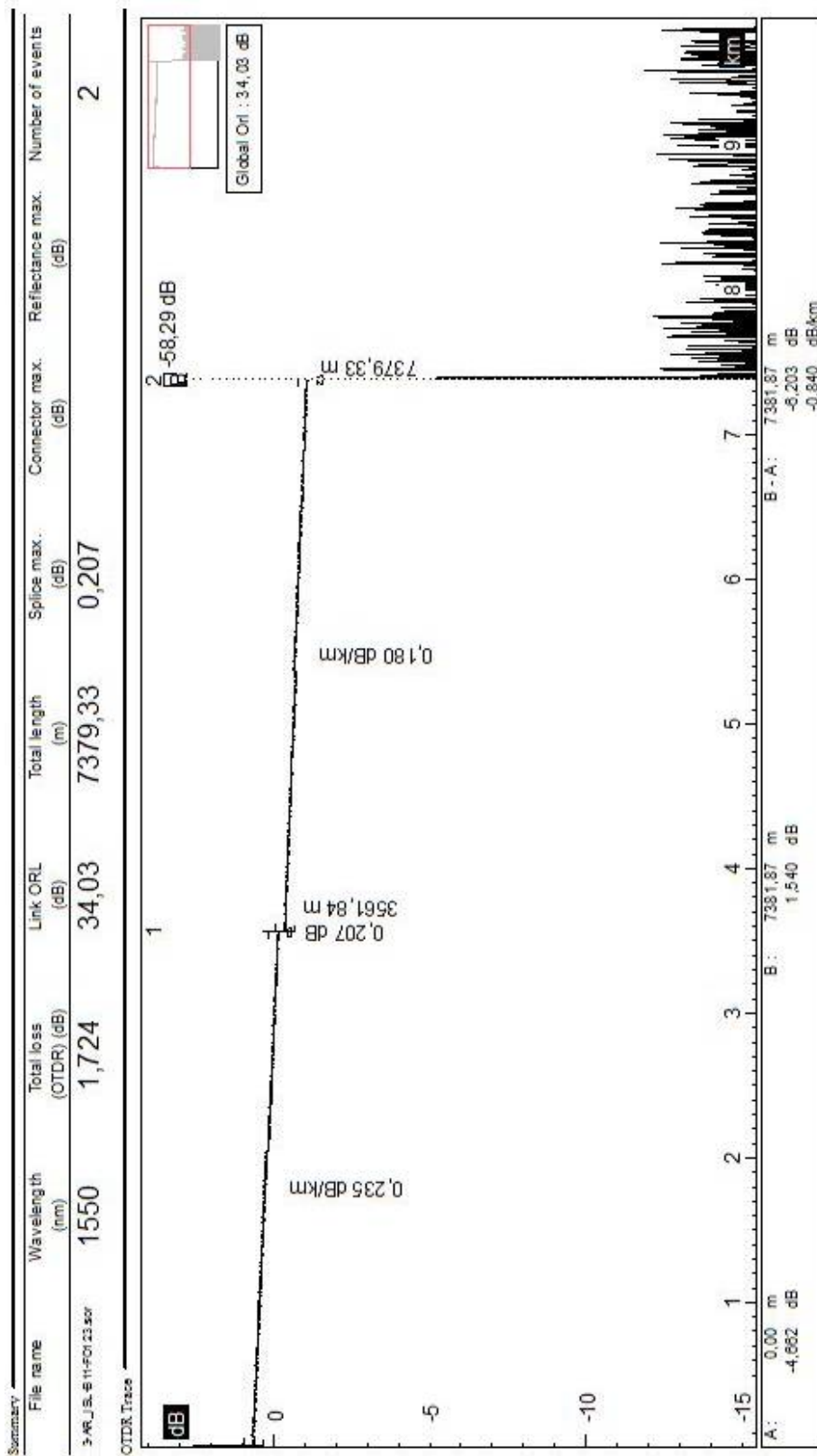
- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 122 // Medida en 3ª ventana



- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 122 // Medida en 3ª ventana



- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 123 // Medida en 3ª ventana

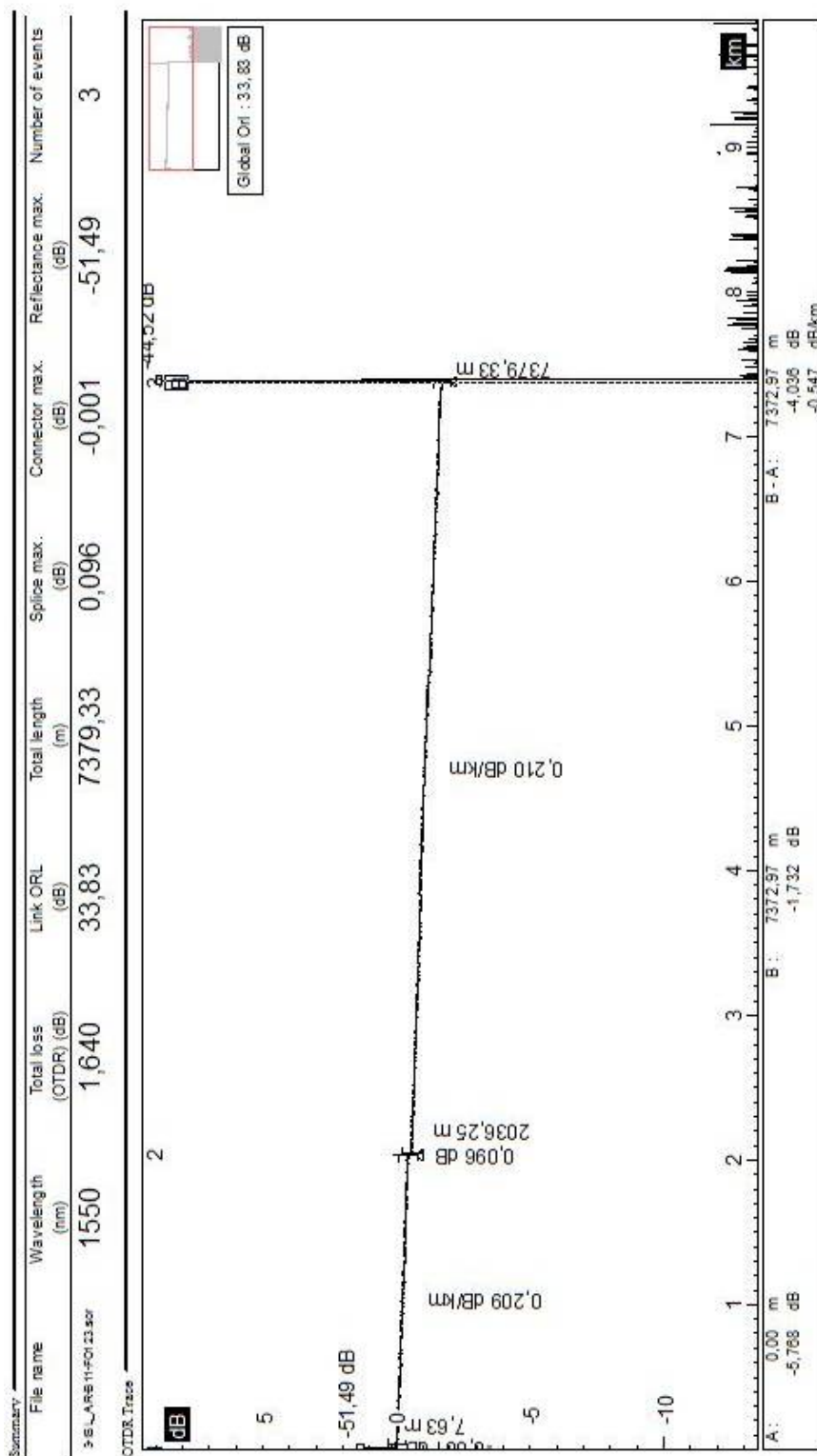


Table

Event	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	3561,84	0,207		0,235	3561,84	0,830	0,830		
2	7379,33		-58,29	0,180	3817,49	0,686	1,724		



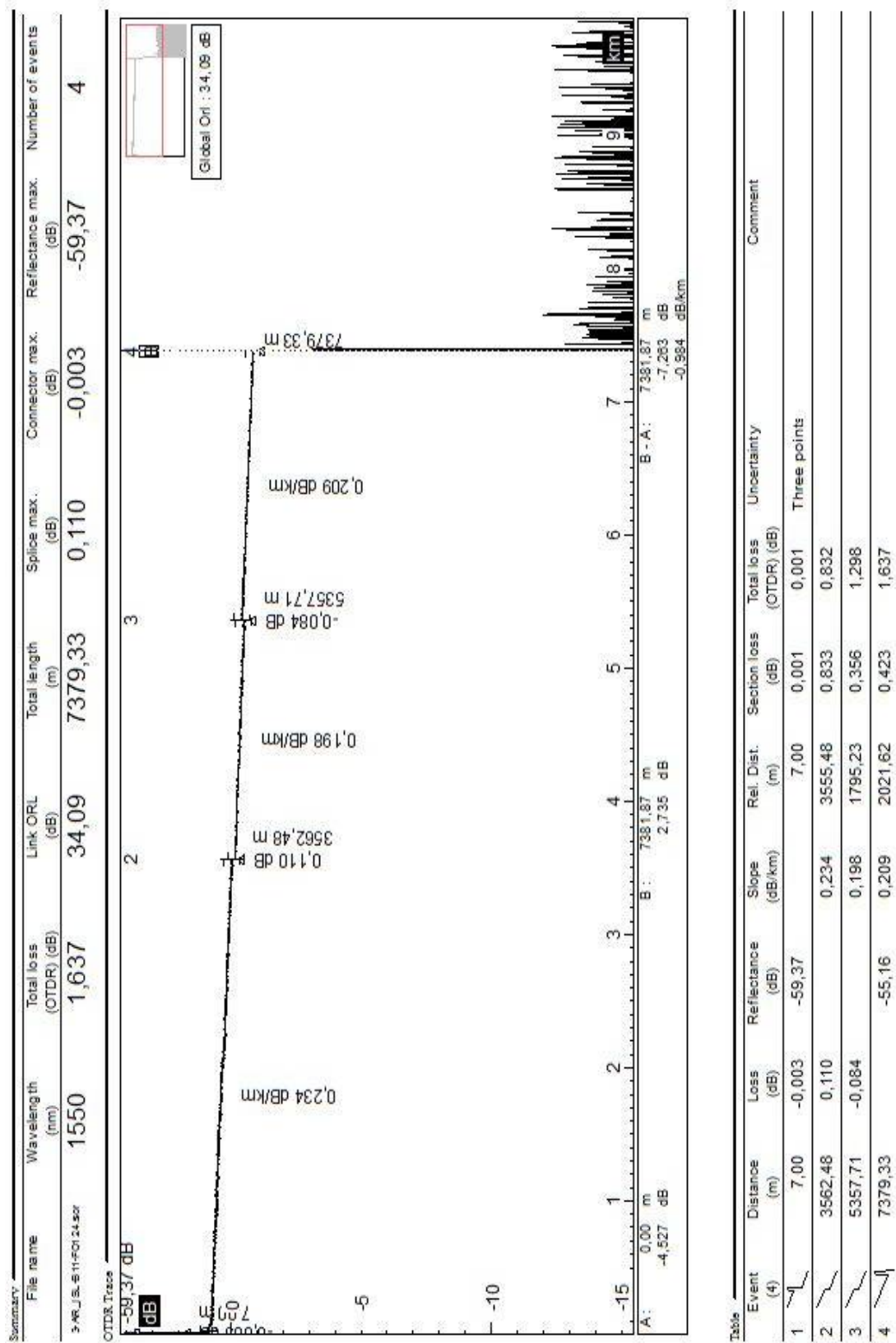
- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 123 // Medida en 3ª ventana



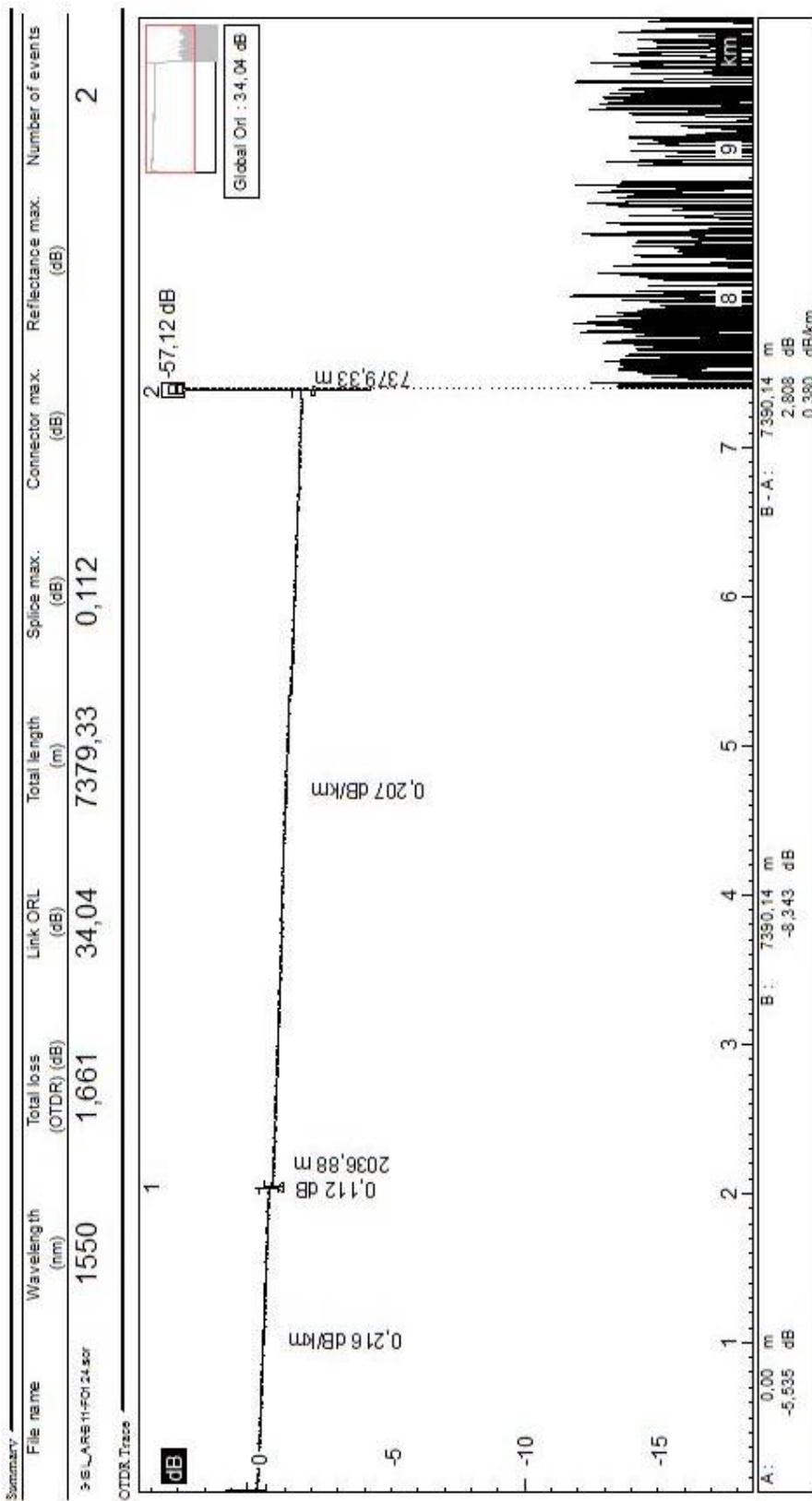
Table

Event (3)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	7,63	-0,001	-51,49	7,63					Three points
2	2036,25	0,096		0,209	2028,62	0,425	0,425		
3	7379,33		-44,52	0,210	5343,08	1,120	1,640		

- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 124 // Medida en 3ª ventana

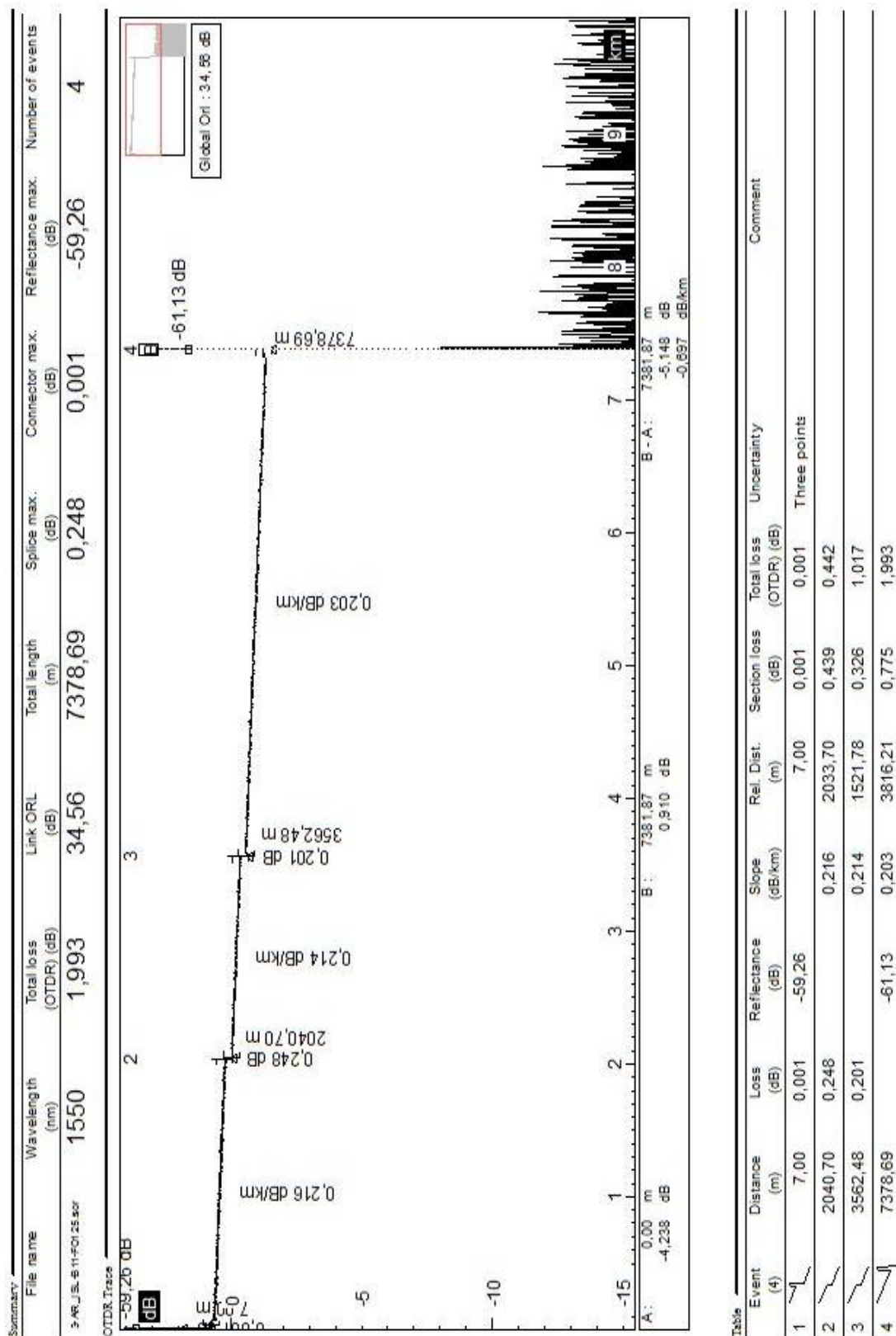


- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 124 // Medida en 3ª ventana

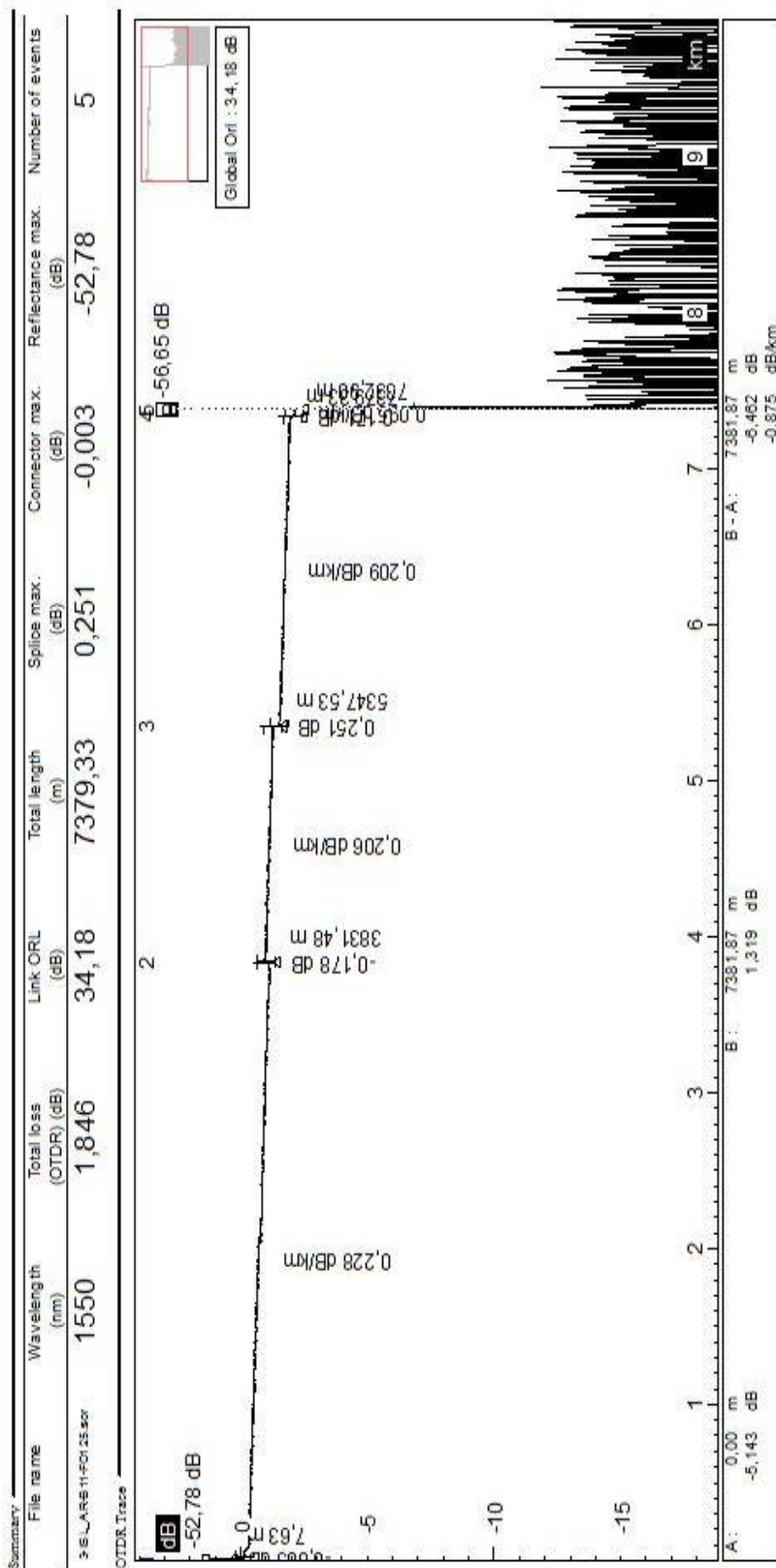


Table

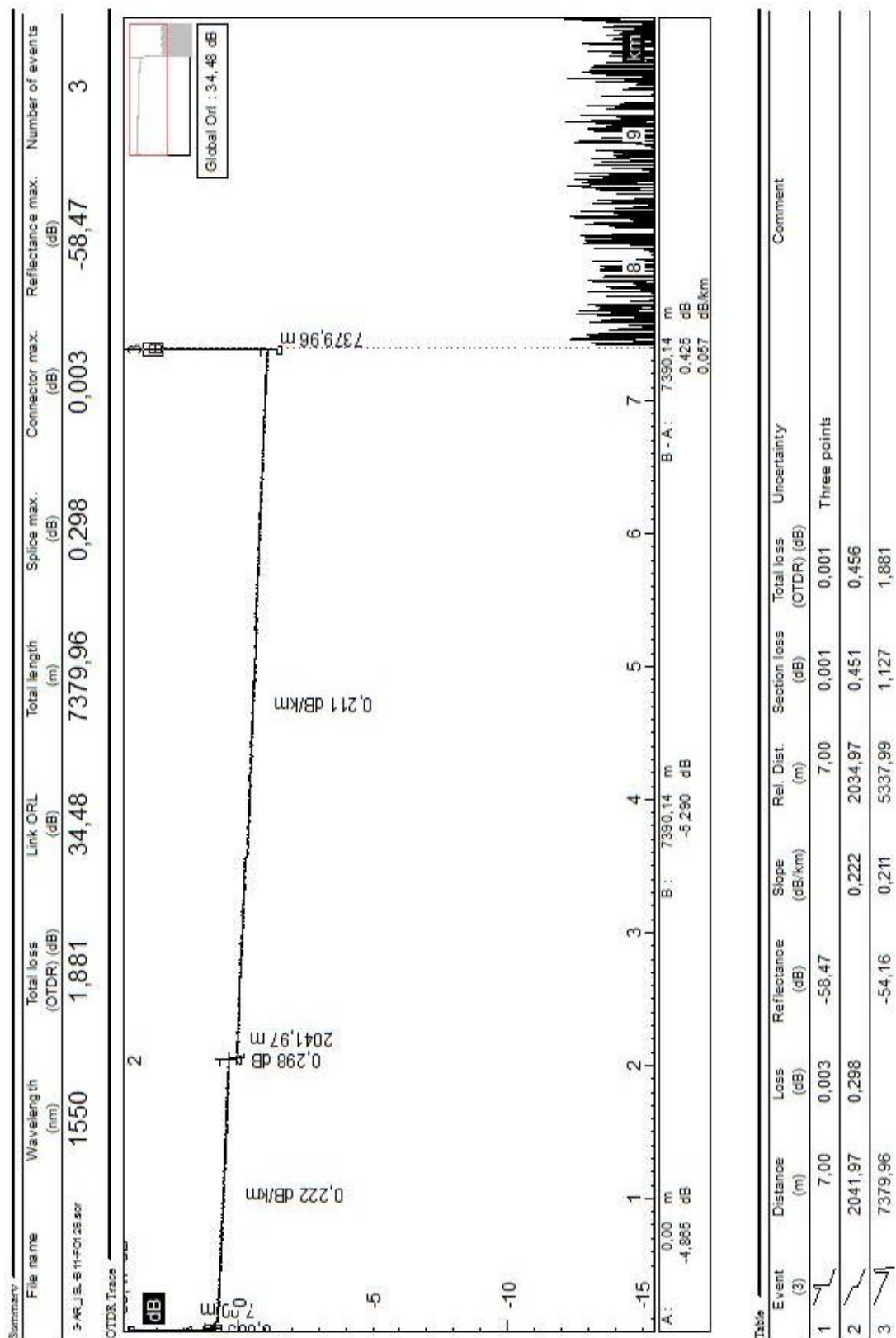
- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 3ª ventana



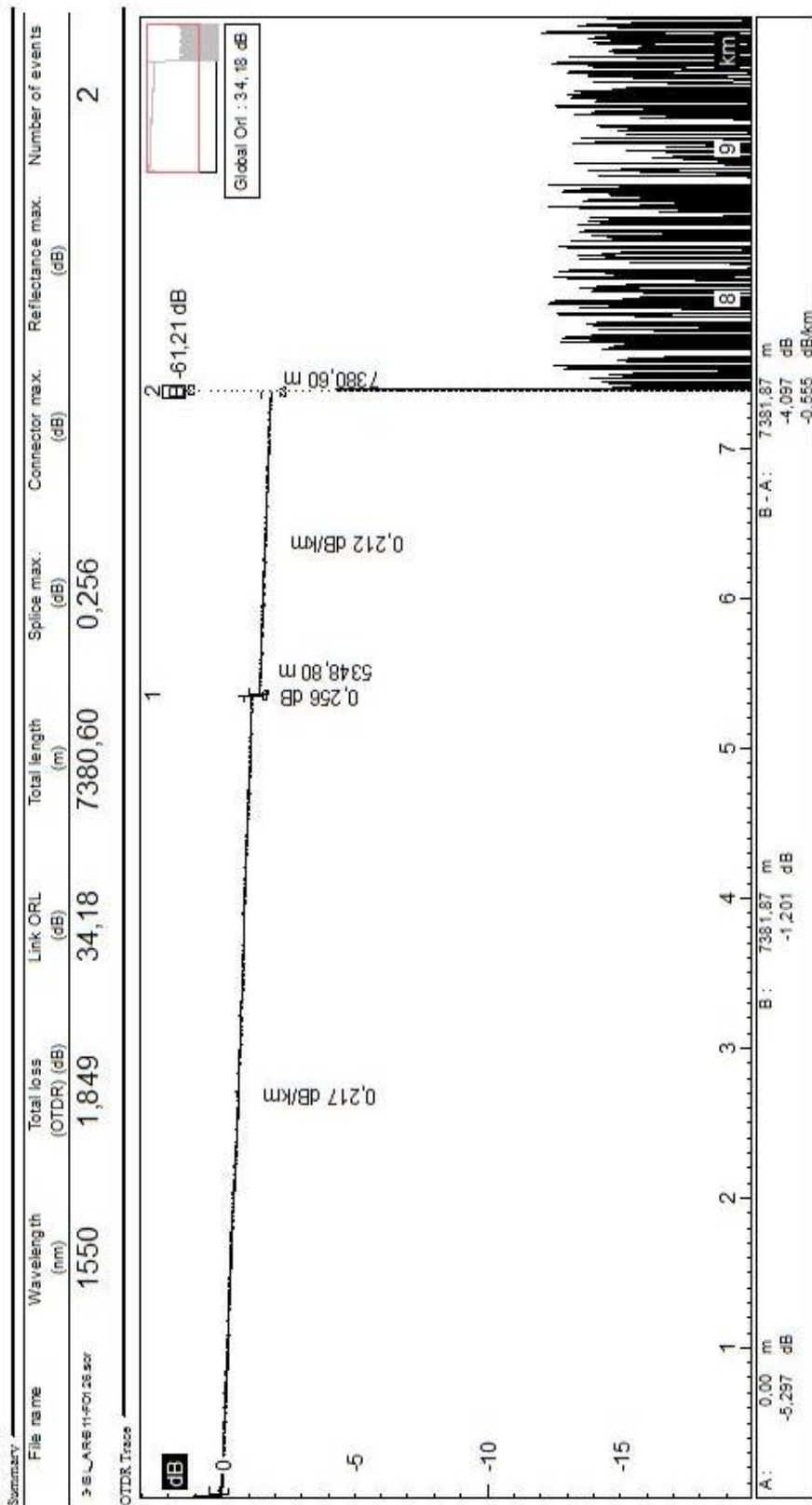
- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 3ª ventana



- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 3ª ventana



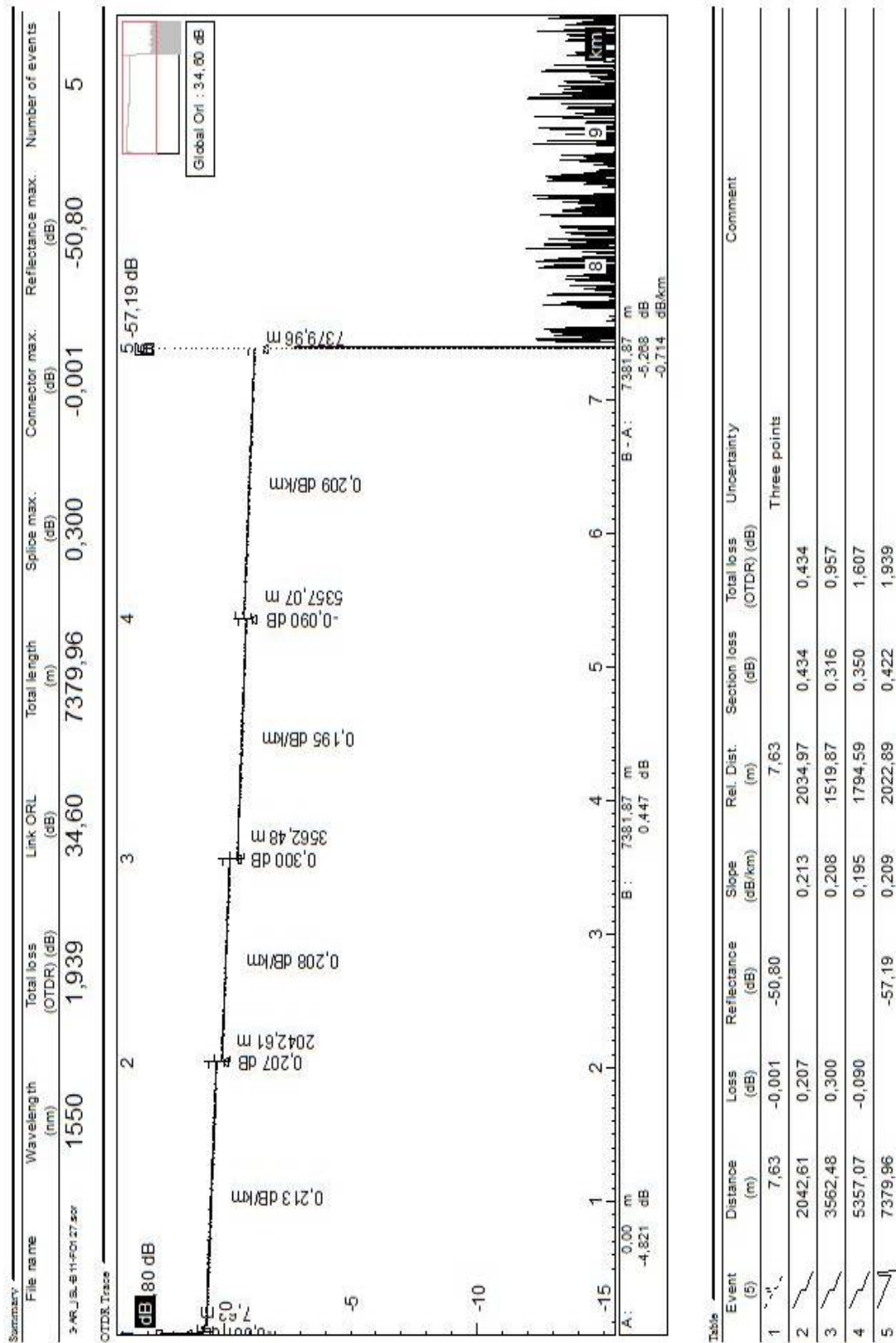
- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 3ª ventana



Table

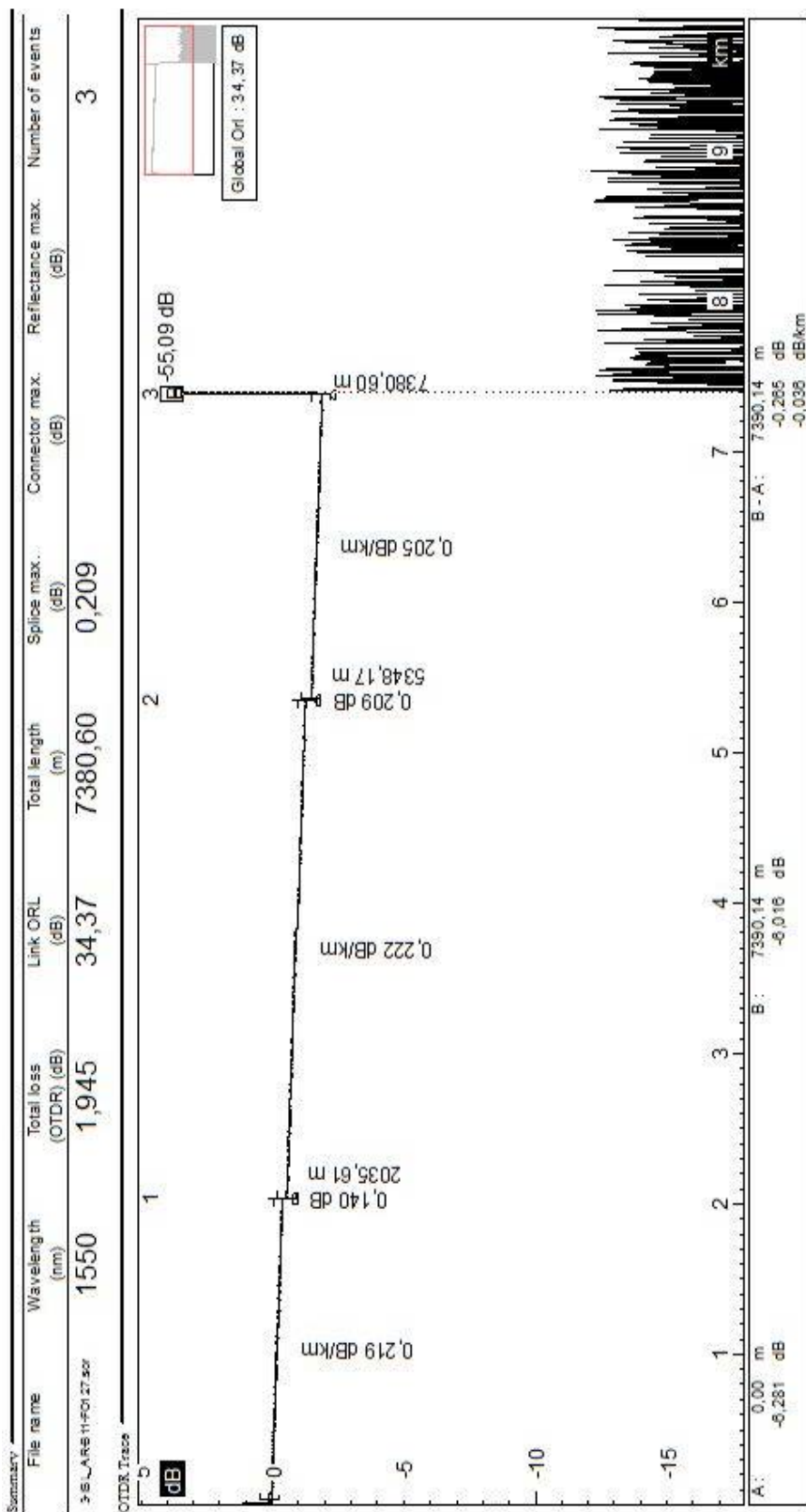
Event	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	5348,80	0,256		0,217	5348,80	1,163	1,163		
2	7380,60		-61,21	0,212	2031,79	0,431	1,849		

- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 3ª ventana

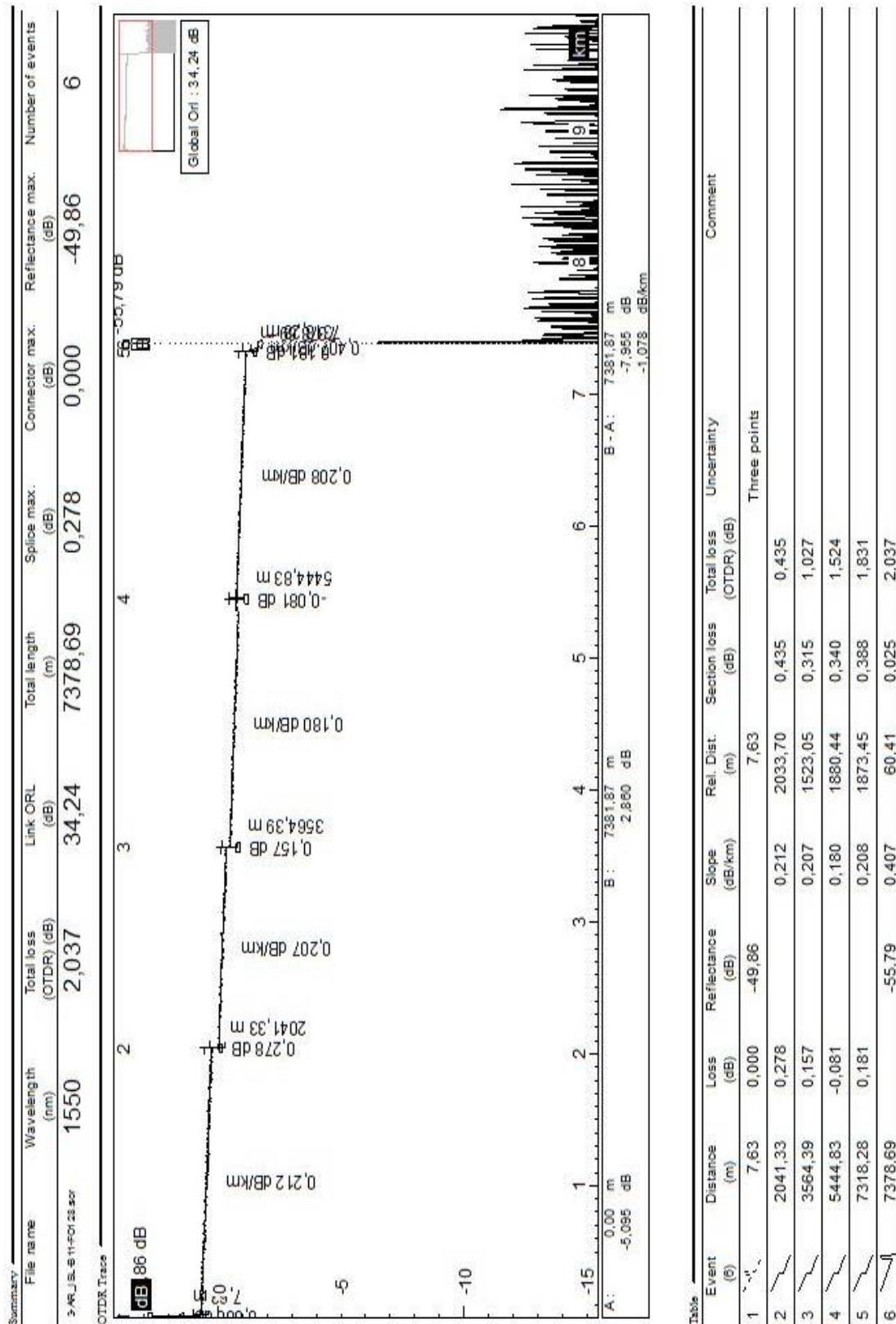




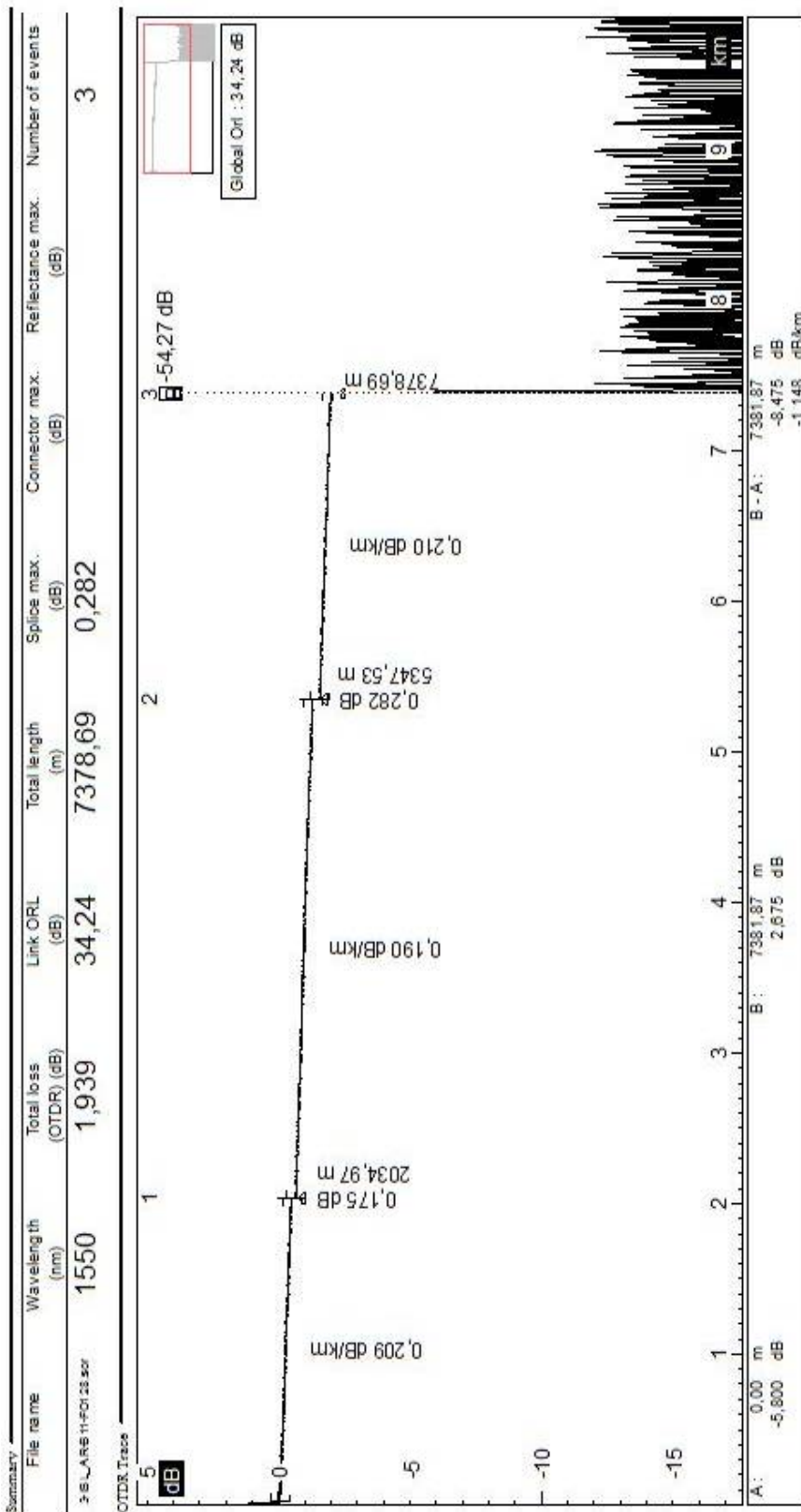
- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 3ª ventana



- Centro GC-AR // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 3ª ventana



- Centro GC-ISL // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 3ª ventana



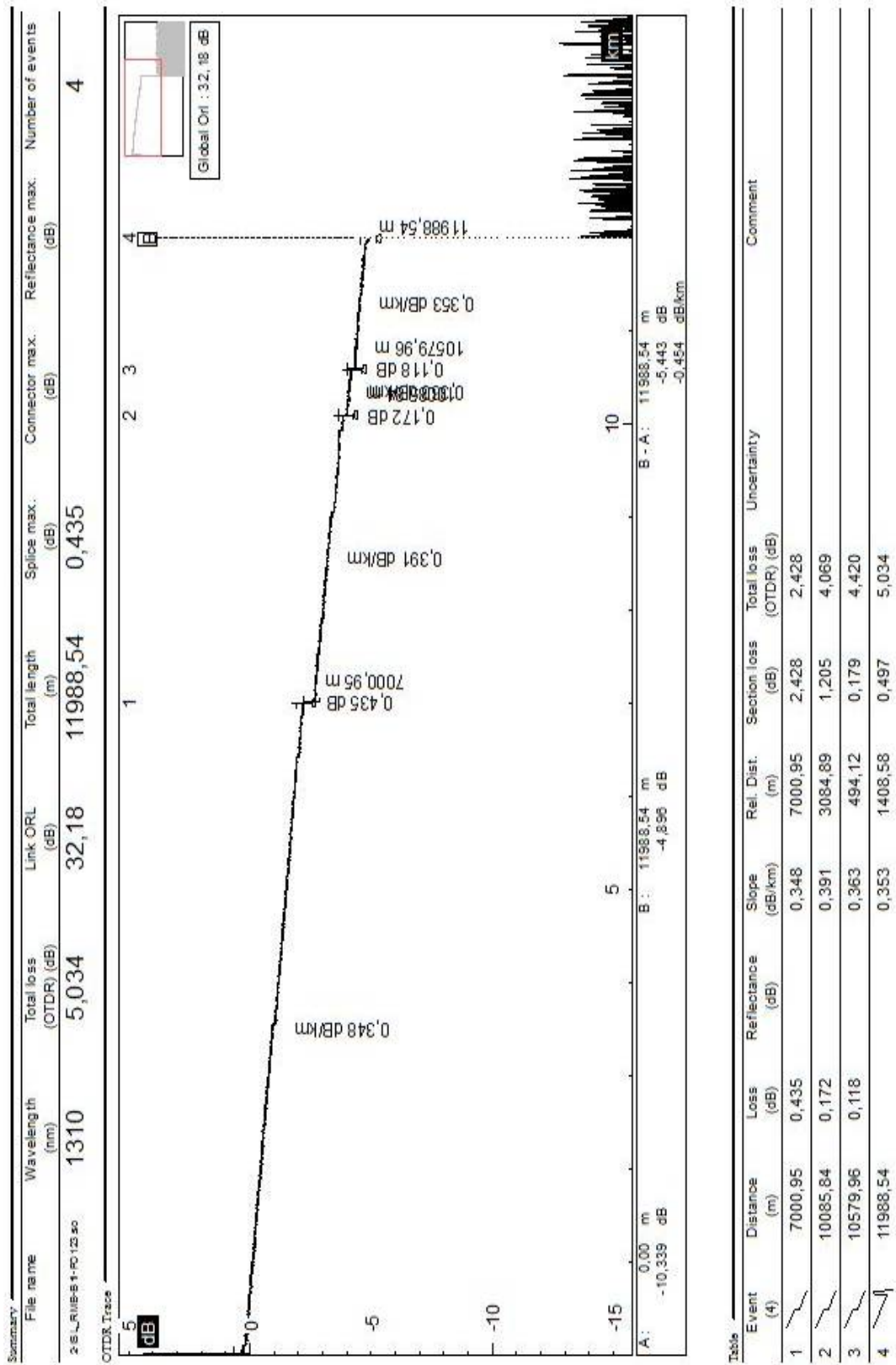
Event	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	2034,97	0,175	-54,27	0,209	2034,97	0,428	0,428		
2	5347,53	0,282	-8,475	0,190	3312,56	0,628	1,230		
3	7378,69		-1,148	0,210	2031,16	0,426	1,939		



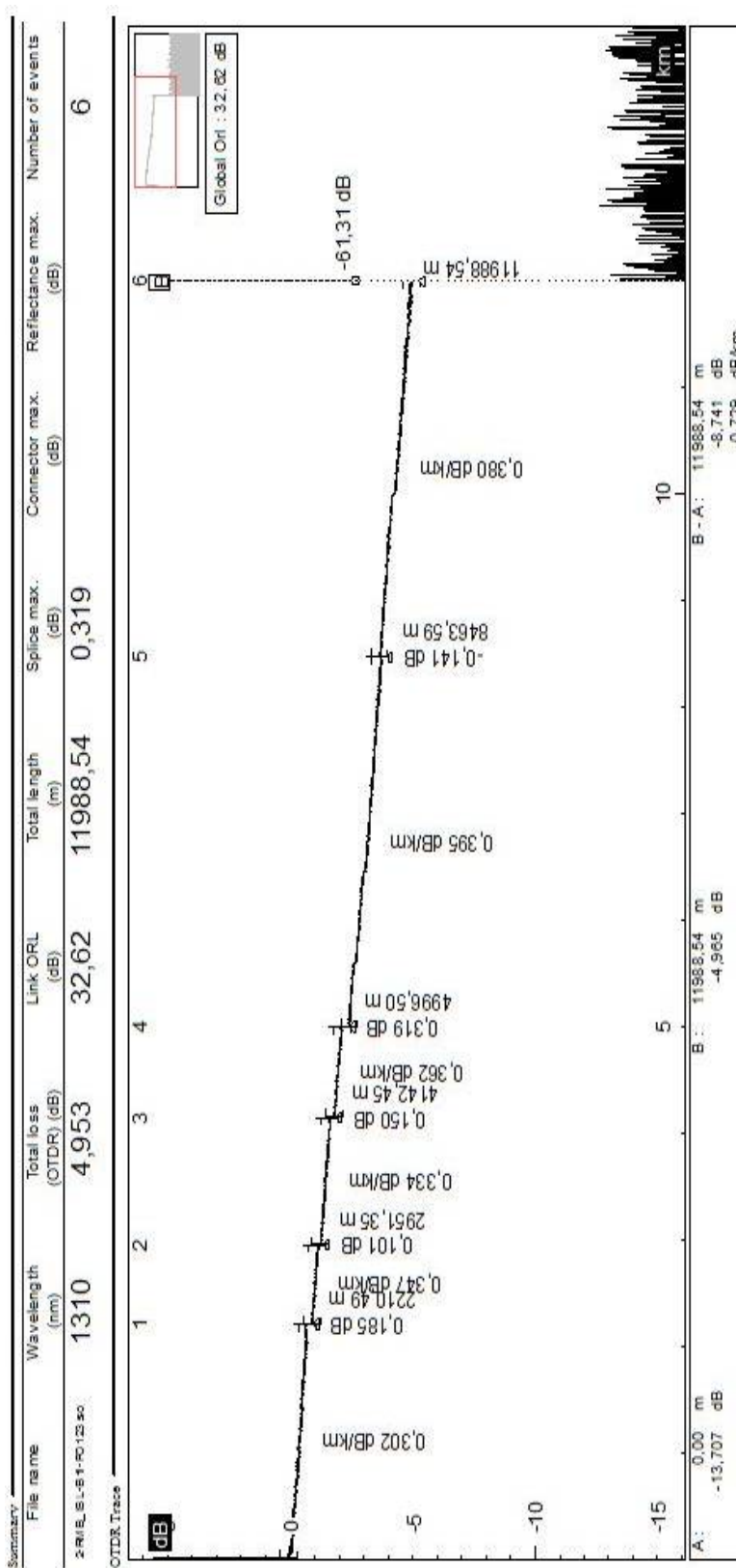
# **Anexo II**

## **Reflectometrías enlace GC-ISL ↔ GC-RMB**

- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 123 // Medida en 2ª ventana



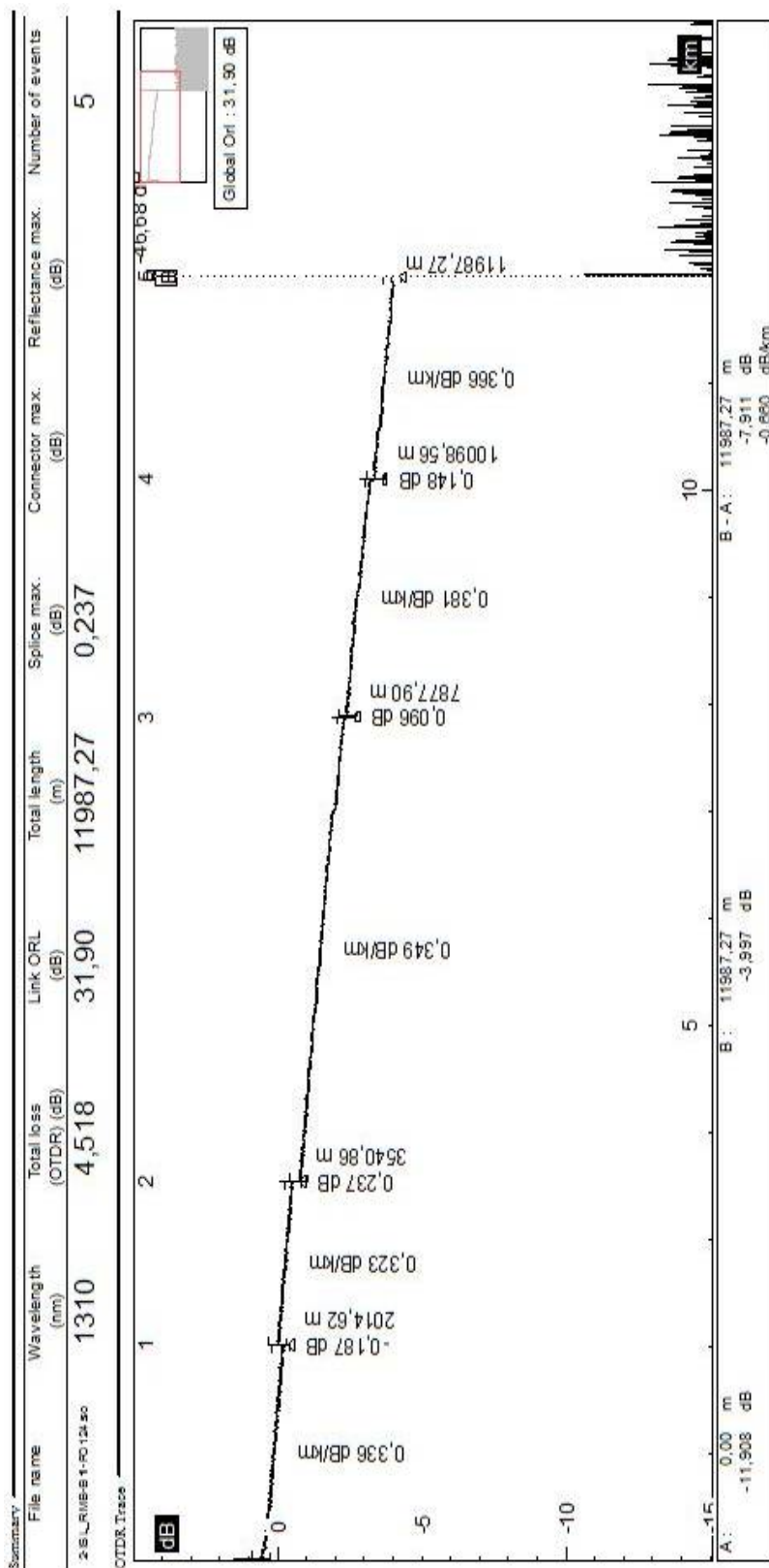
- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 123 // Medida en 2ª ventana



Table

Event (E)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	2210,49	0,185		0,302	2210,49	0,667	0,667		
2	2951,35	0,101		0,347	740,86	0,257	1,110		
3	4142,45	0,150		0,334	1191,10	0,398	1,610		
4	4996,50	0,319		0,362	854,05	0,310	2,070		
5	8463,59	-0,141		0,395	3467,09	1,368	3,757		
6	11988,54		-61,31	0,380	3524,96	1,338	4,953		

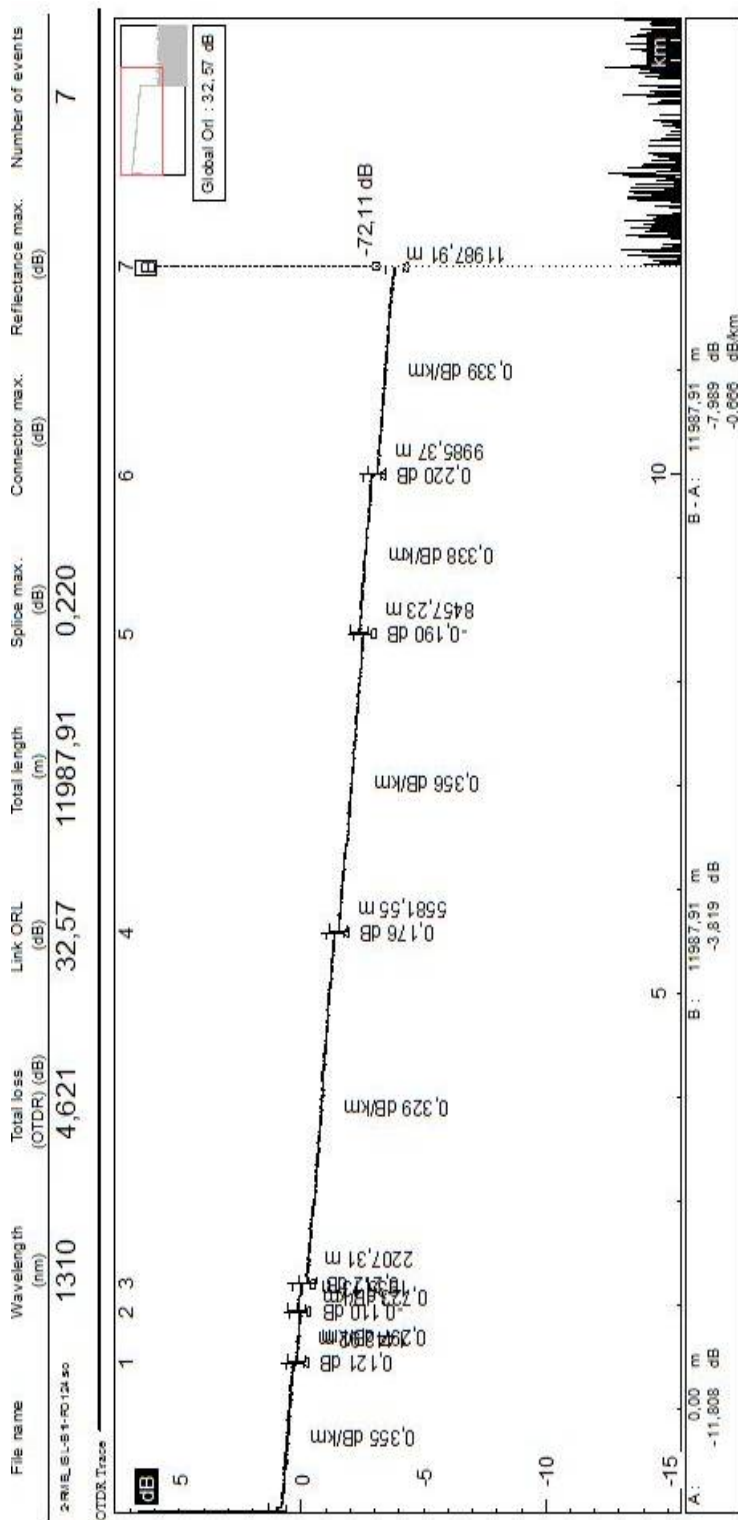
- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 124 // Medida en 2ª ventana



Event (5)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	2014,62	-0,187		0,336	2014,62	0,681	0,681		
2	3540,86	0,237		0,323	1526,23	0,492	0,986		
3	7877,90	0,096		0,349	4337,04	1,515	2,738		
4	10098,56	0,148		0,381	2220,67	0,845	3,679		
5	11987,27		-46,68	0,366	1888,71	0,691	4,518		

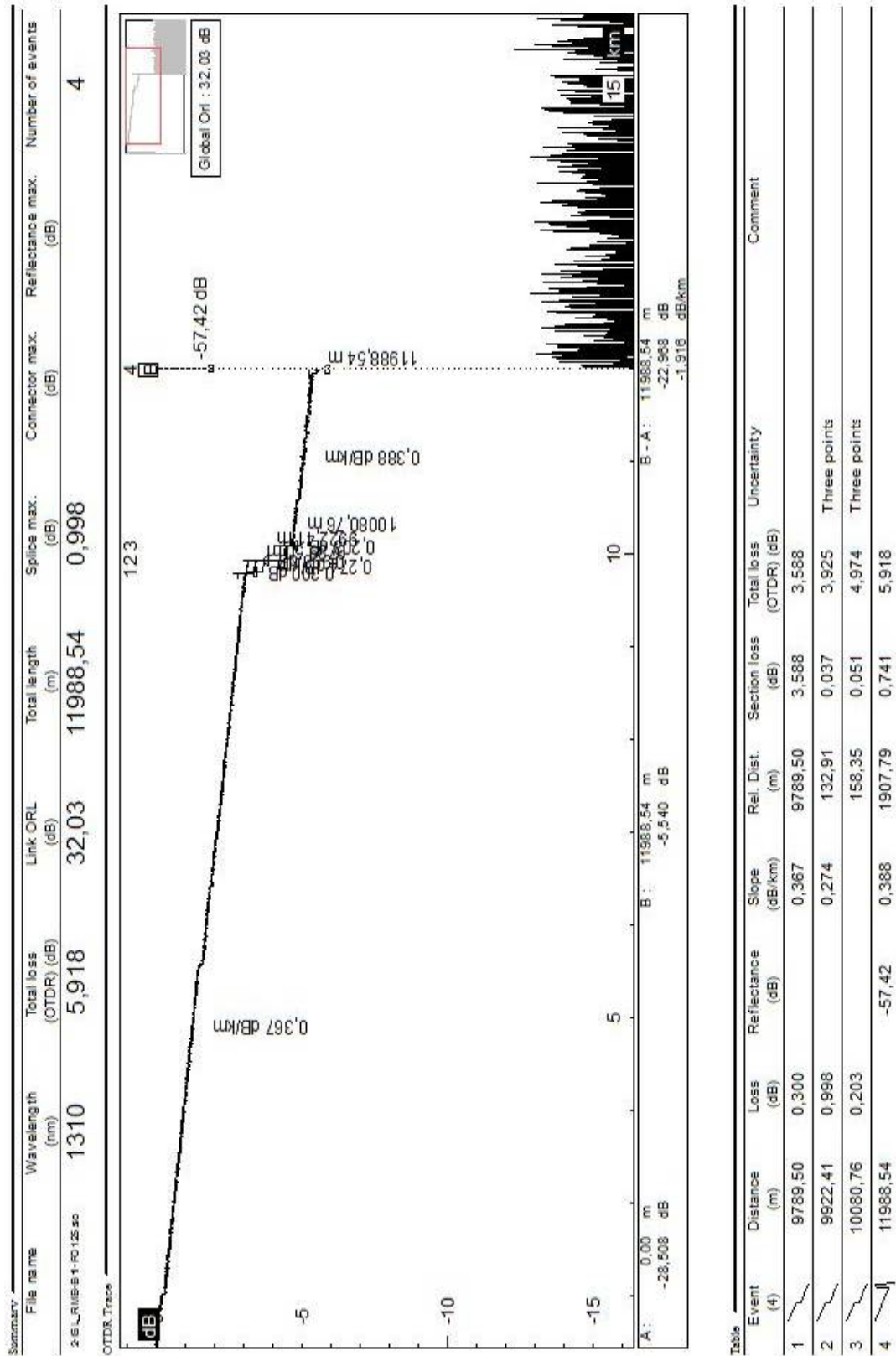


- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 124 // Medida en 2ª ventana

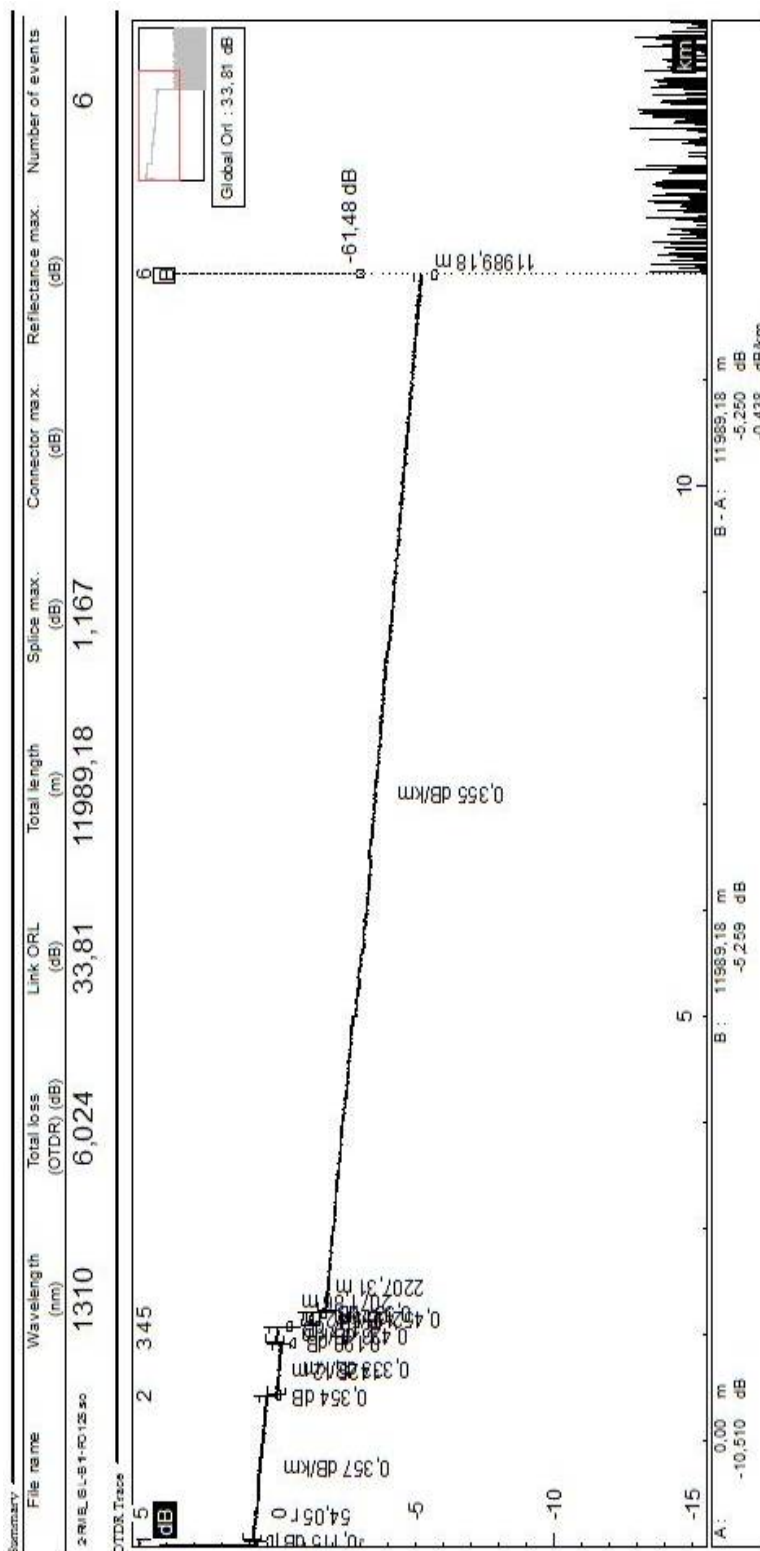


Event	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	1442,92	0,121		0,355	1442,92	0,516	0,516		
2	1935,13	-0,110		0,297	492,21	0,147	0,783		
3	2207,31	0,212		0,723	272,18	0,197	0,870		
4	5581,55	0,176		0,329	3374,24	1,111	2,193		
5	8457,23	-0,190		0,356	2875,67	1,025	3,394		
6	9985,37	0,220		0,338	1528,14	0,516	3,720		
7	11987,91		-72,11	0,339	2002,54	0,681	4,621		

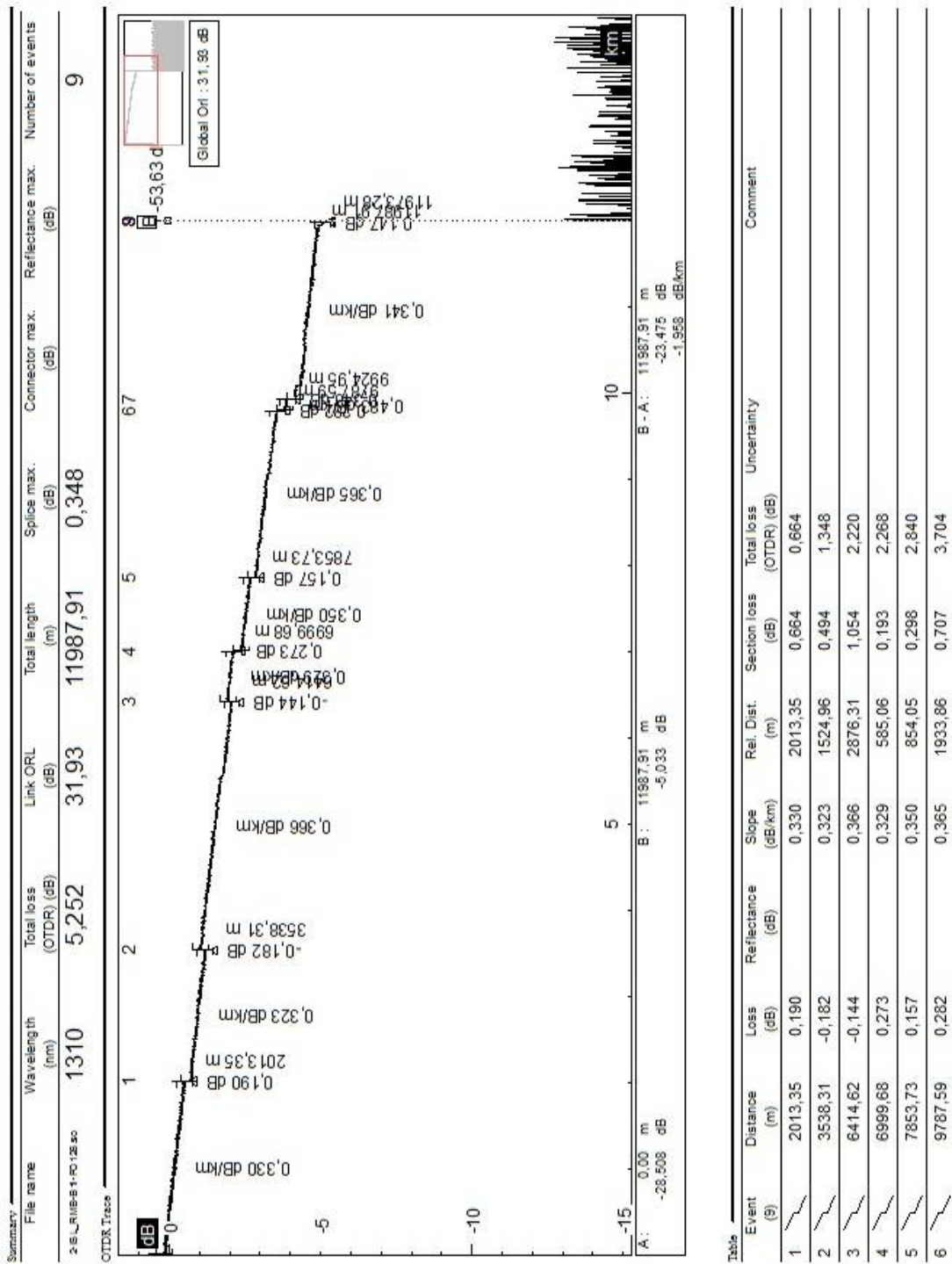
- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 2ª ventana



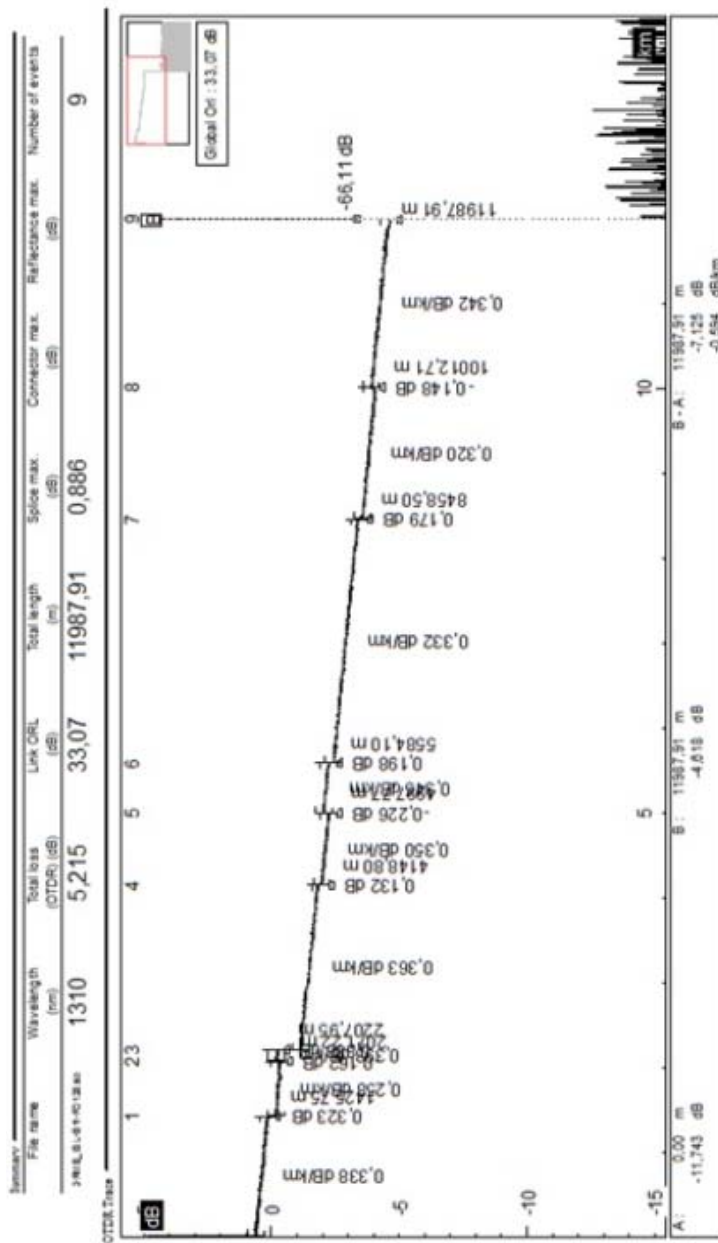
- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 2ª ventana



- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 2ª ventana

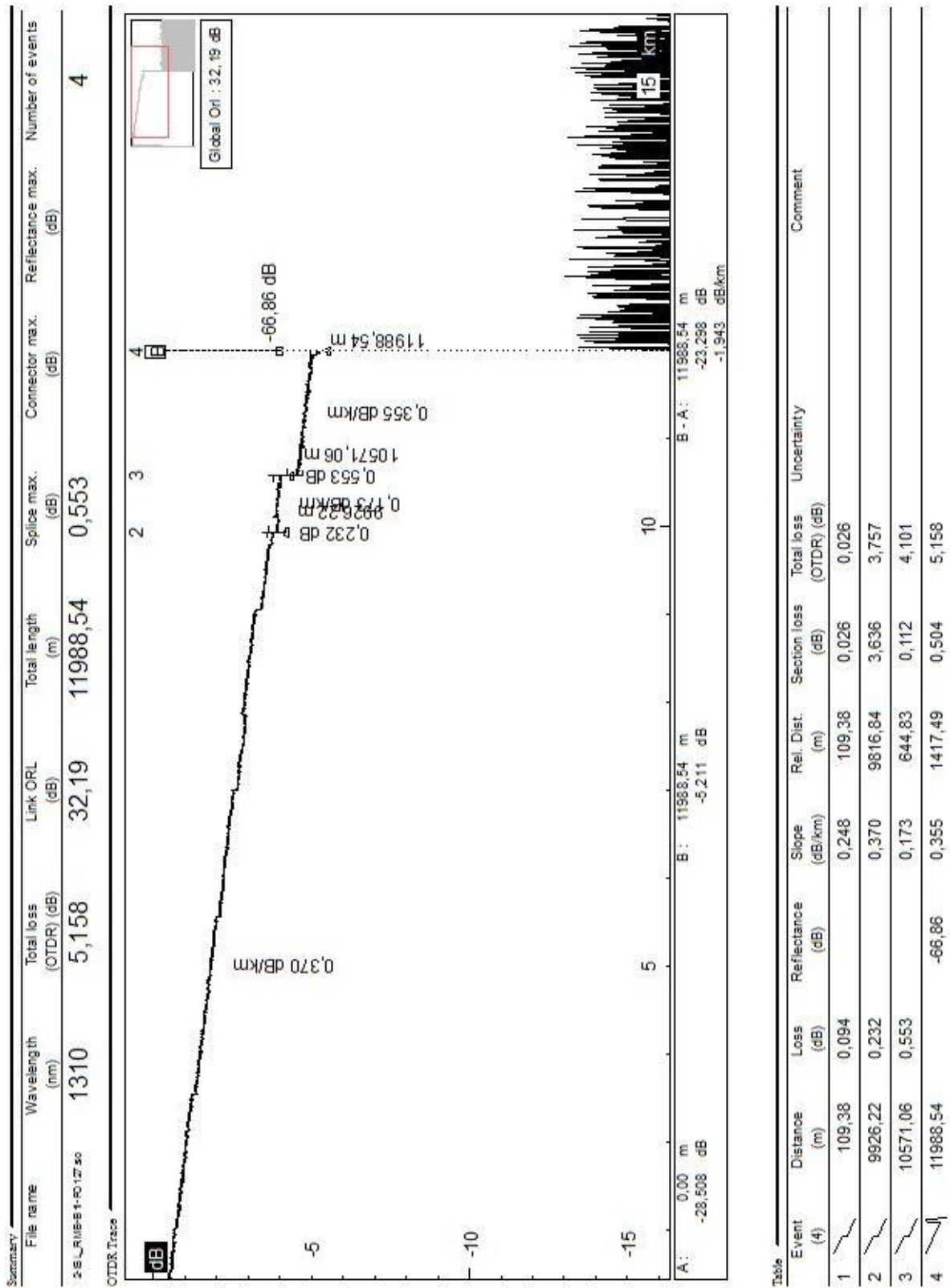


- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 2ª ventana

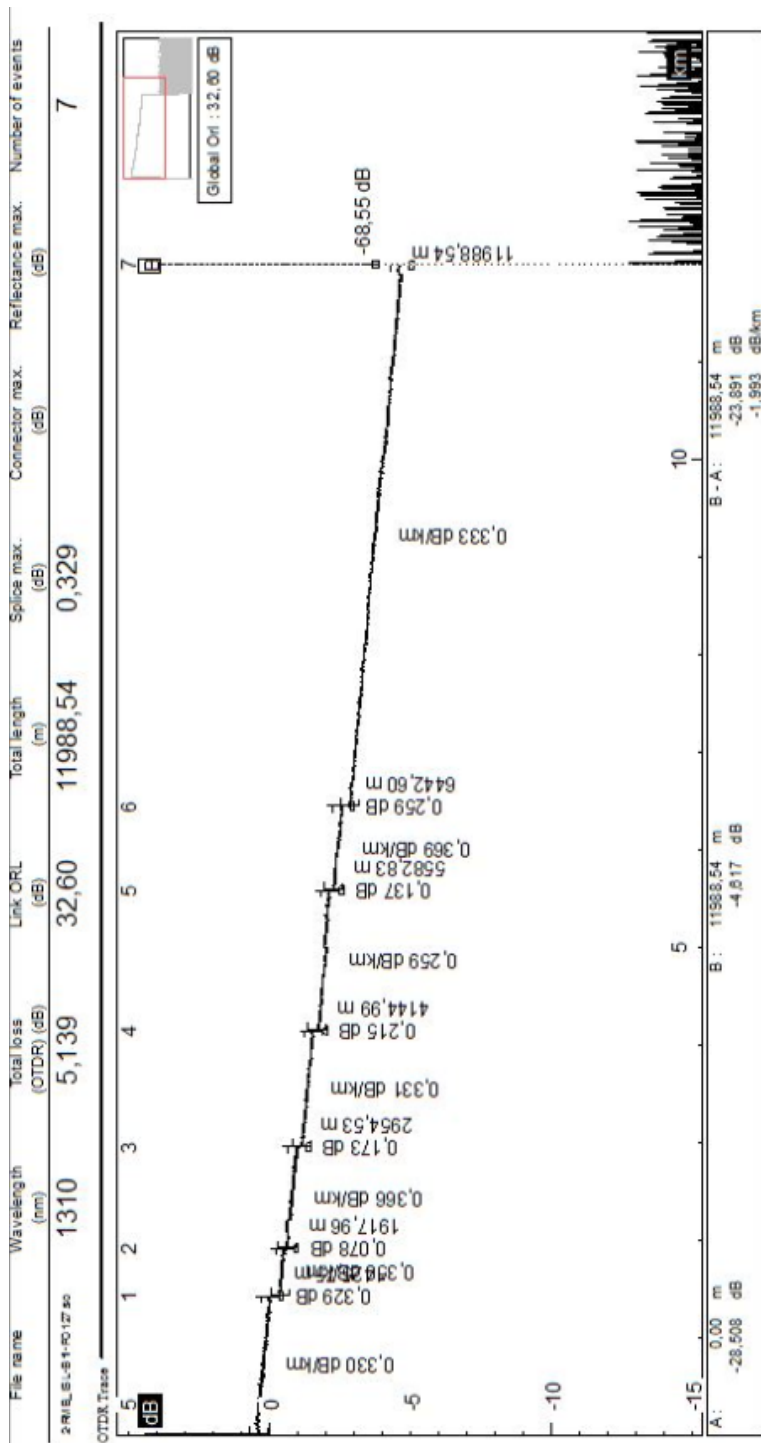


Event	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rail Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	1425,75	0,323		0,330	1425,75	0,481	0,481		
2	2071,22	-0,162		0,258	645,47	0,168	0,972		
3	2207,95	0,886		0,393	136,72	0,053	0,883		
4	4148,80	0,132		0,363	1940,86	0,703	2,452		
5	4997,77	-0,226		0,350	848,97	0,297	2,881		
6	5584,10	0,198		0,345	586,33	0,201	2,856		
7	8458,50	0,179		0,332	2874,40	0,955	4,010		
8	10012,71	-0,148		0,320	1554,21	0,498	4,687		
9	11987,91	-66,11		0,342	1975,20	0,676	5,215		

- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 2ª ventana

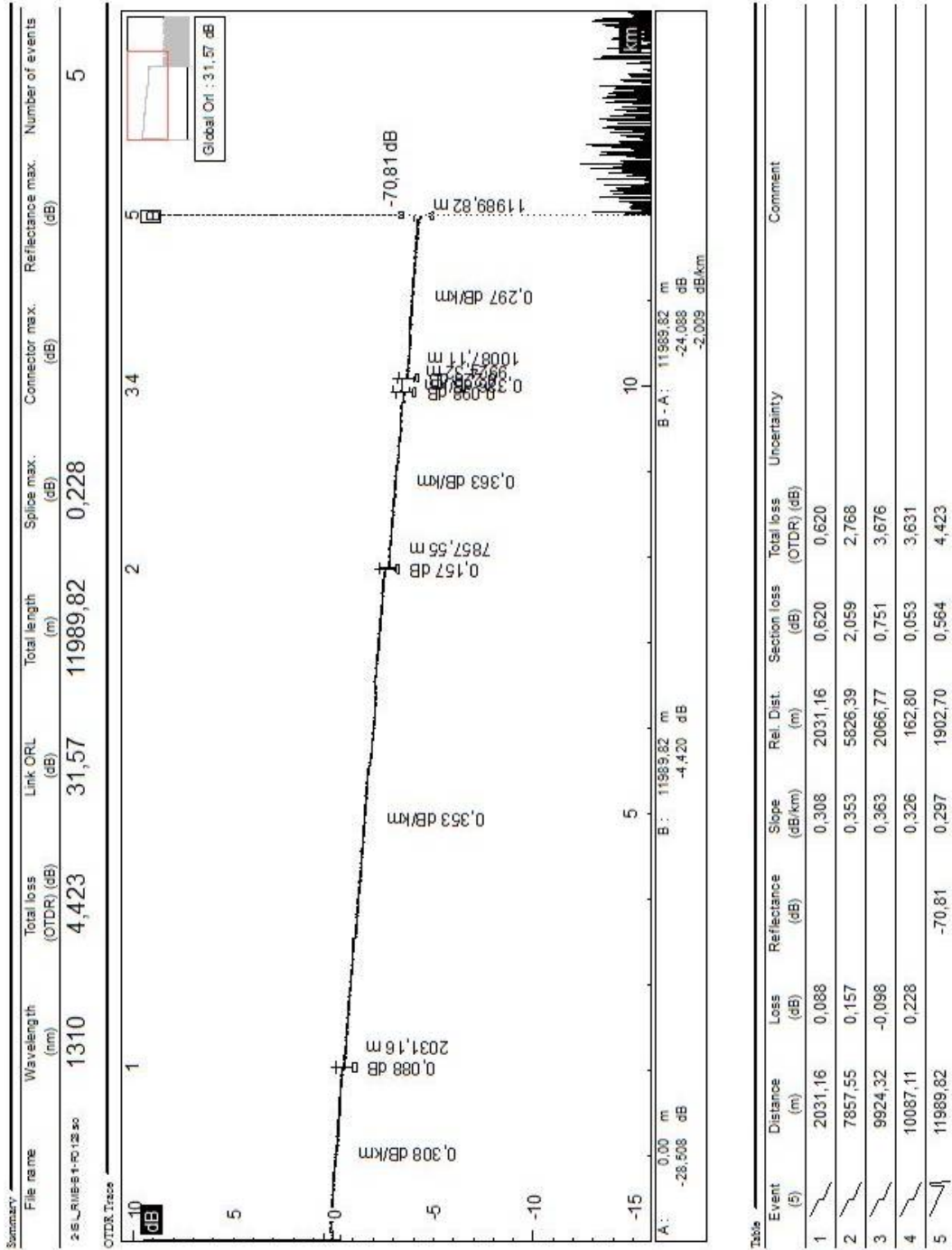


- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 2ª ventana



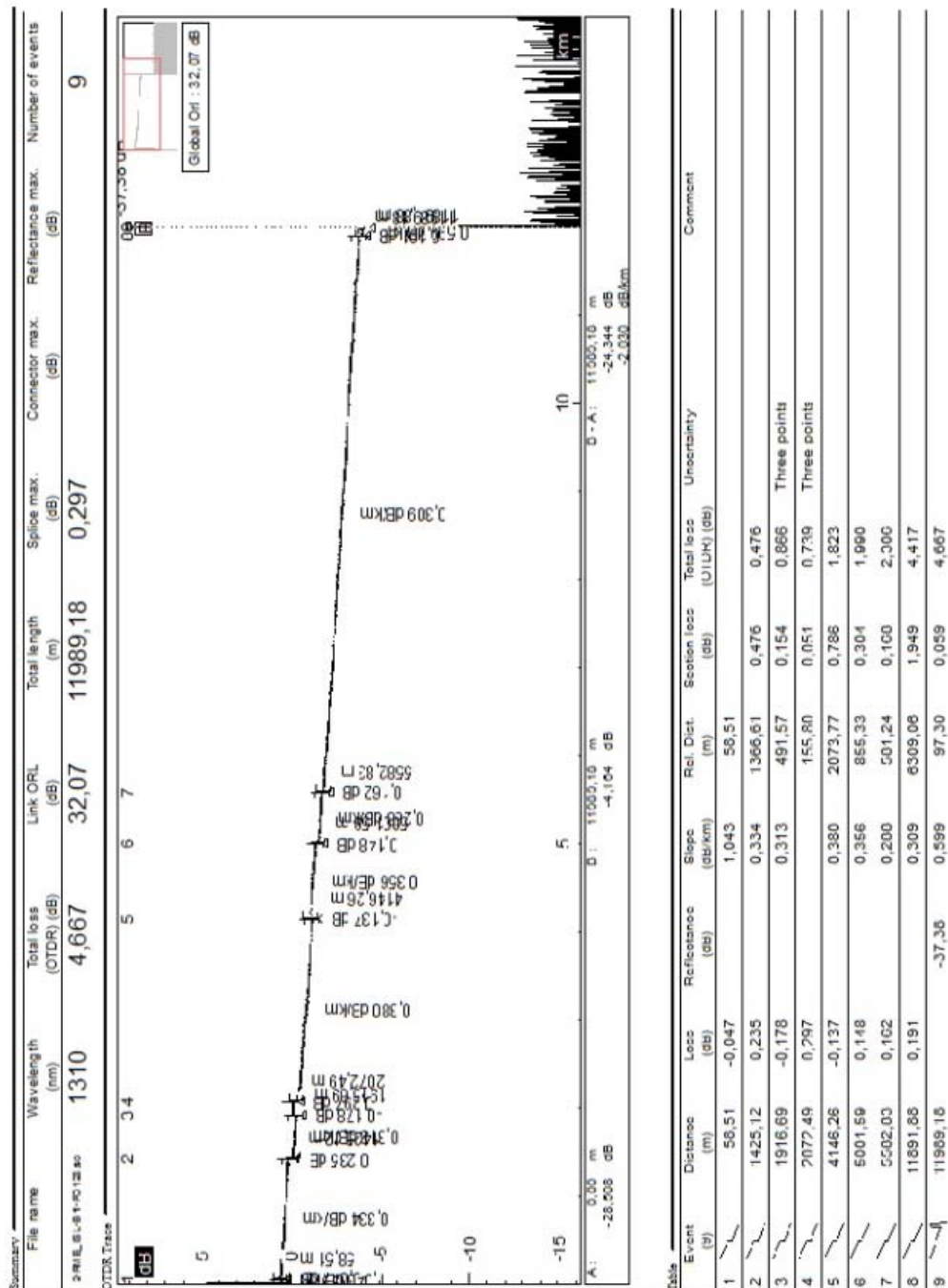
Event	Distance (m)	Loss (dB)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	1425,75	0,329	1425,75	0,467	0,467		
2	1917,96	0,078	492,21	0,172	0,969		
3	2954,53	0,173	1036,57	0,381	1,427		
4	4144,99	0,215	1190,46	0,394	1,995		
5	5582,83	0,137	1437,84	0,373	2,583		
6	6442,60	0,259	859,78	0,316	3,035		
7	11988,54	-68,55	5545,94	1,845	5,139		

- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 2ª ventana

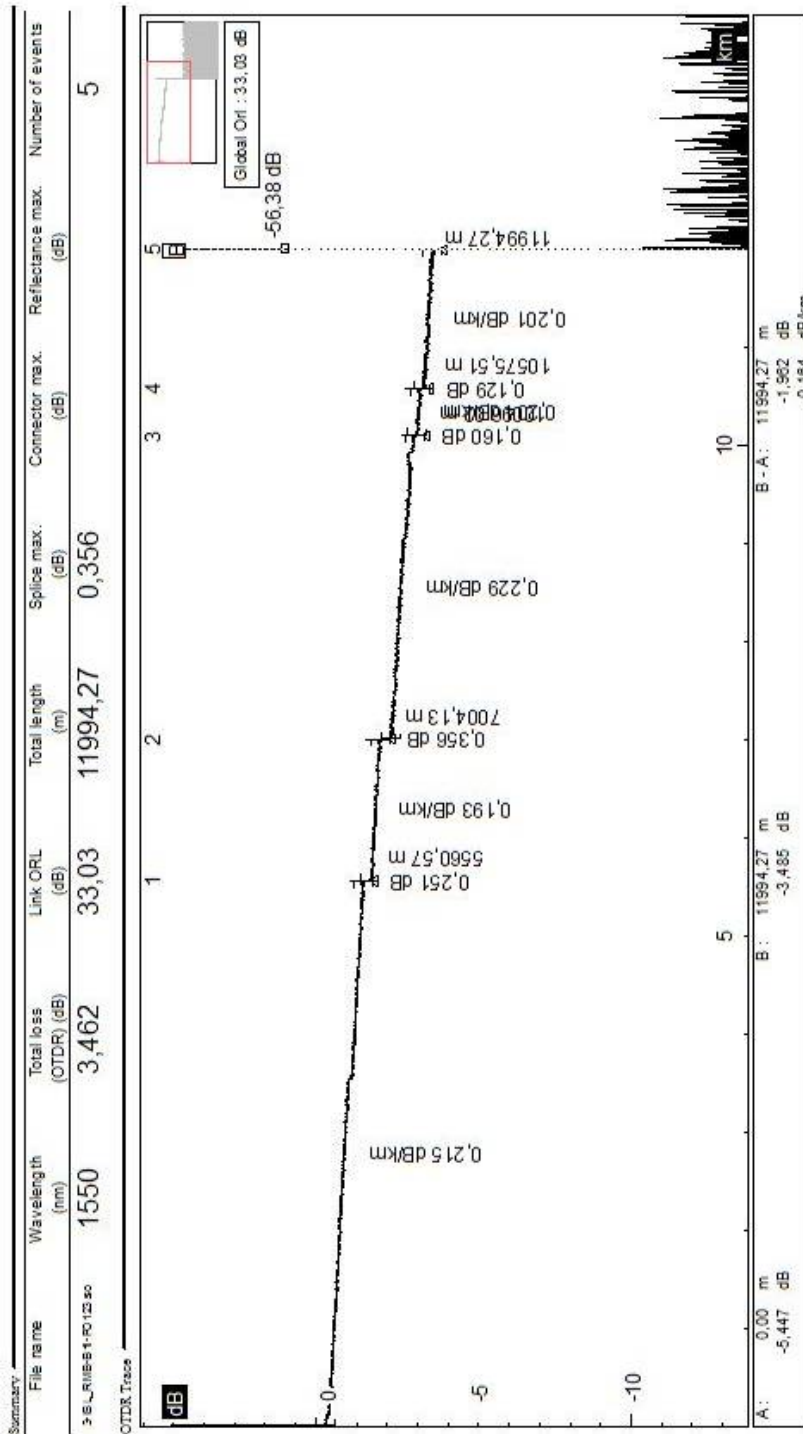




- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 2ª ventana



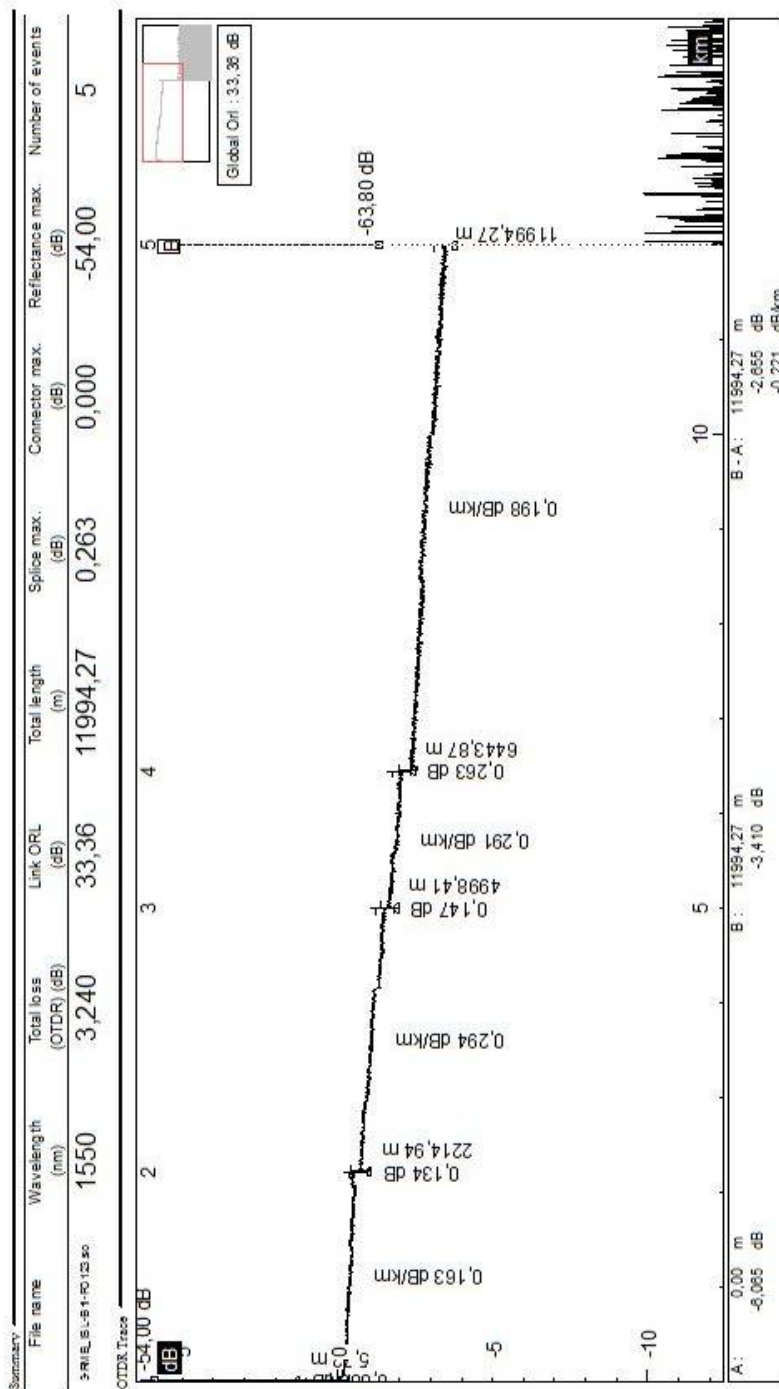
- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 123 // Medida en 3ª ventana



Table

Event (5)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	5560,57	0,251		0,215	5560,57	1,199	1,199		
2	7004,13	0,356		0,193	1443,56	0,278	1,729		
3	10096,02	0,160		0,229	3091,89	0,706	2,790		
4	10575,51	0,129		0,204	479,49	0,097	3,047		
5	11994,27		-56,38	0,201	1418,76	0,285	3,462		

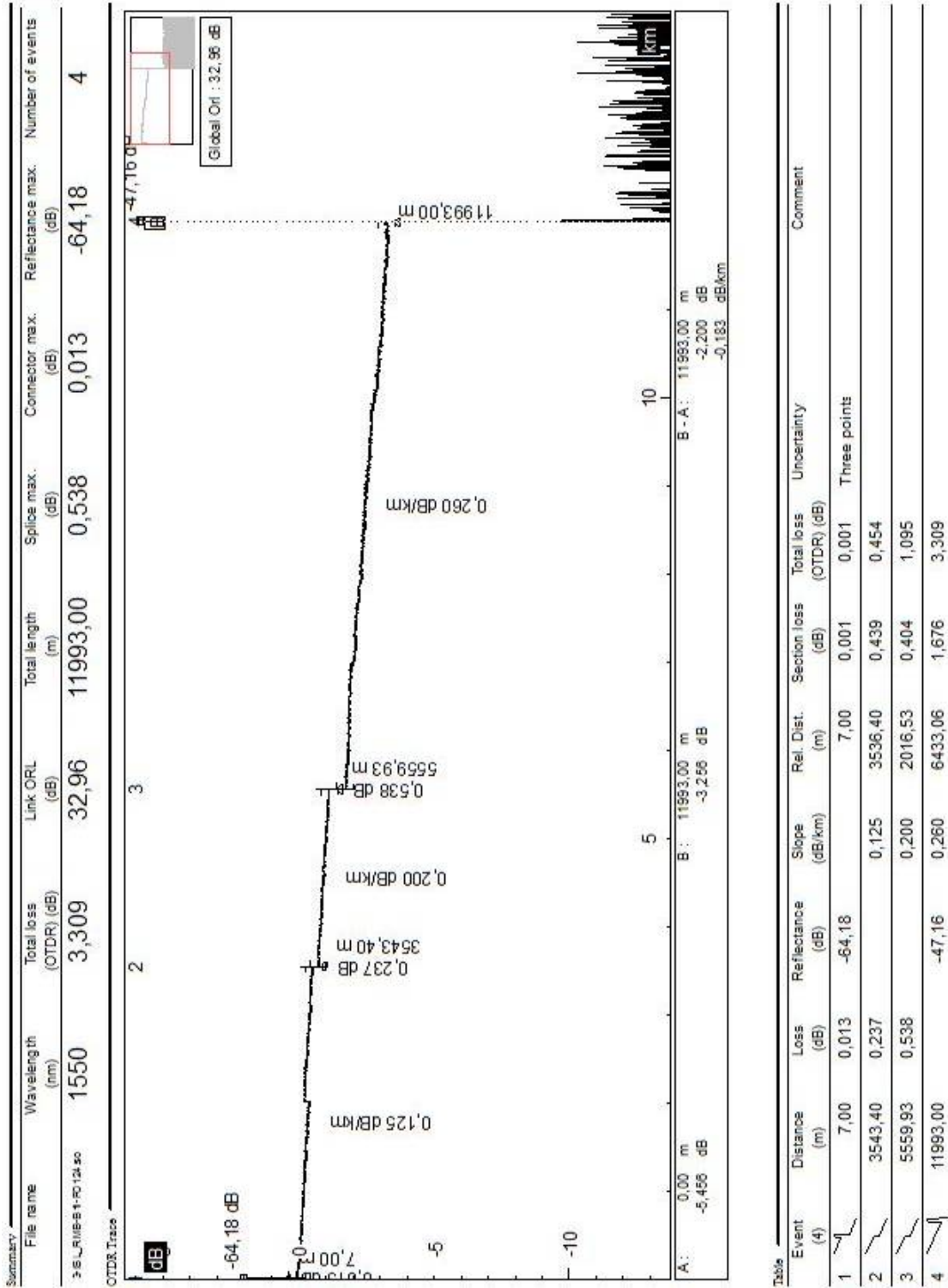
- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 123 // Medida en 3ª ventana



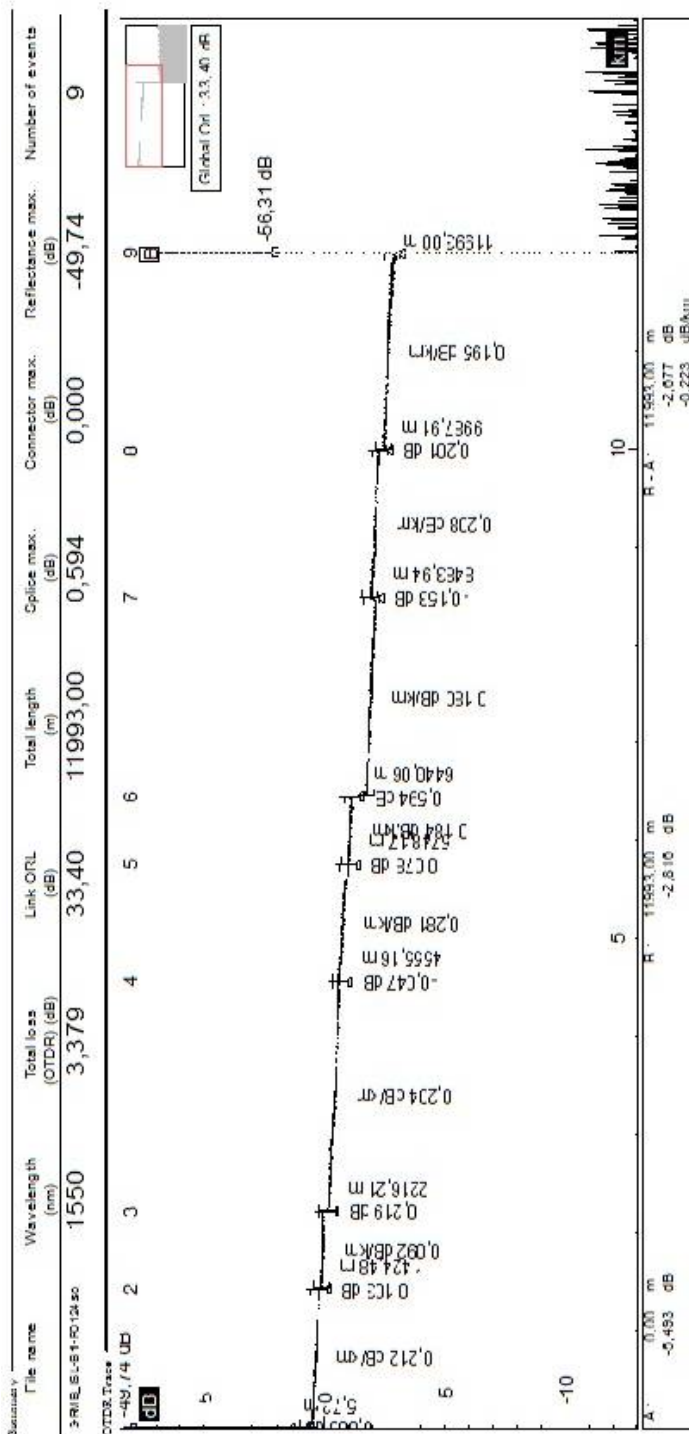
Table

Event (E)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	5,72	0,000	-54,00	0,163	5,72	0,001	0,001	Three points	
2	2214,94	0,134		0,294	2209,22	0,360	0,362		
3	4998,41	0,147		0,291	2783,46	0,819	1,314		
4	6443,87	0,263		0,291	1445,47	0,419	1,880		
5	11994,27		-63,80	0,198	5550,39	1,097	3,240		

- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 124 // Medida en 3ª ventana

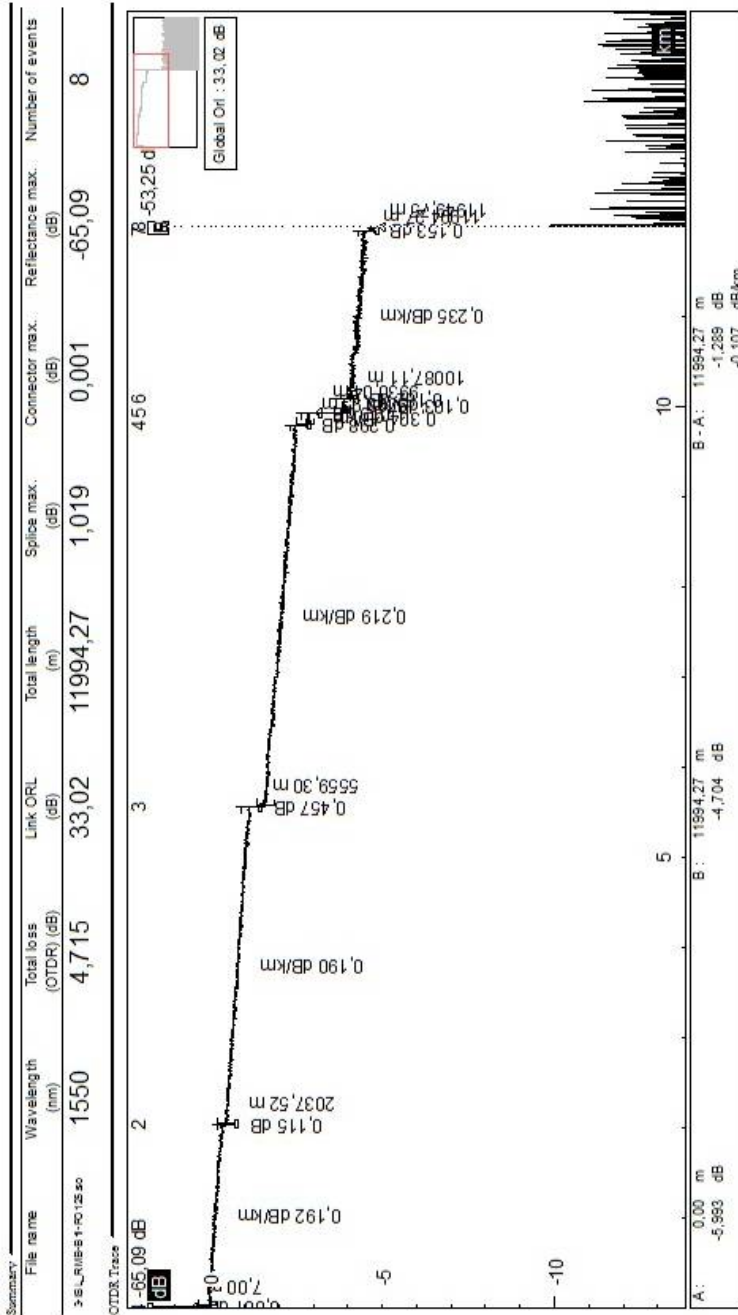


- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 124 // Medida en 3ª ventana



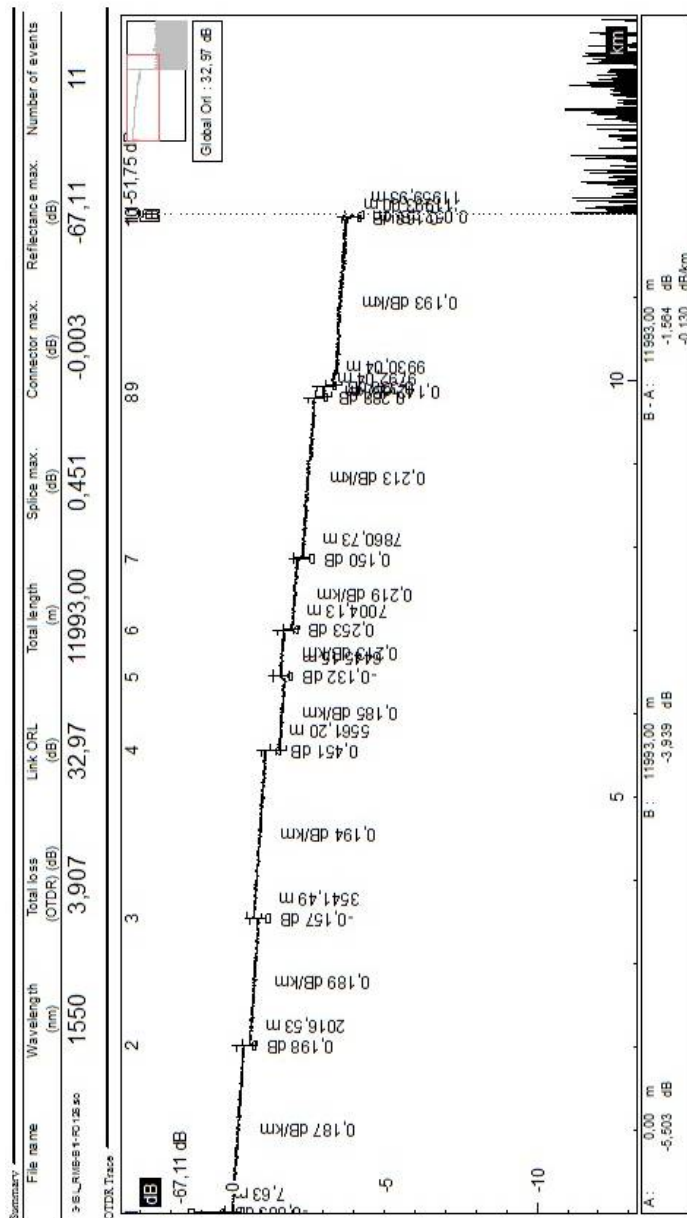
Event (S)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Ret. Loss (dB)	Section loss (dB)	Uncertainty	Comment
1	5,72	0,000	-49,74	0,212	5,72	0,001	0,001	Three points
2	1424,40	0,100		0,002	1410,70	0,300	0,301	
3	2216,21	0,210		0,204	791,73	0,073	0,478	
4	4555,16	-0,047		0,281	2338,05			
5	5748,17	0,078		0,184	1193,00	0,764	1,461	
6	6440,06	0,504		0,180	691,89	0,128	1,667	
7	8483,94	-0,153		0,208	2043,88	0,367	2,628	
8	9987,91	0,201		0,195	1503,97	0,313	2,788	
9	11993,00		-56,31	0,195	2005,09	0,390	3,379	

- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 3ª ventana



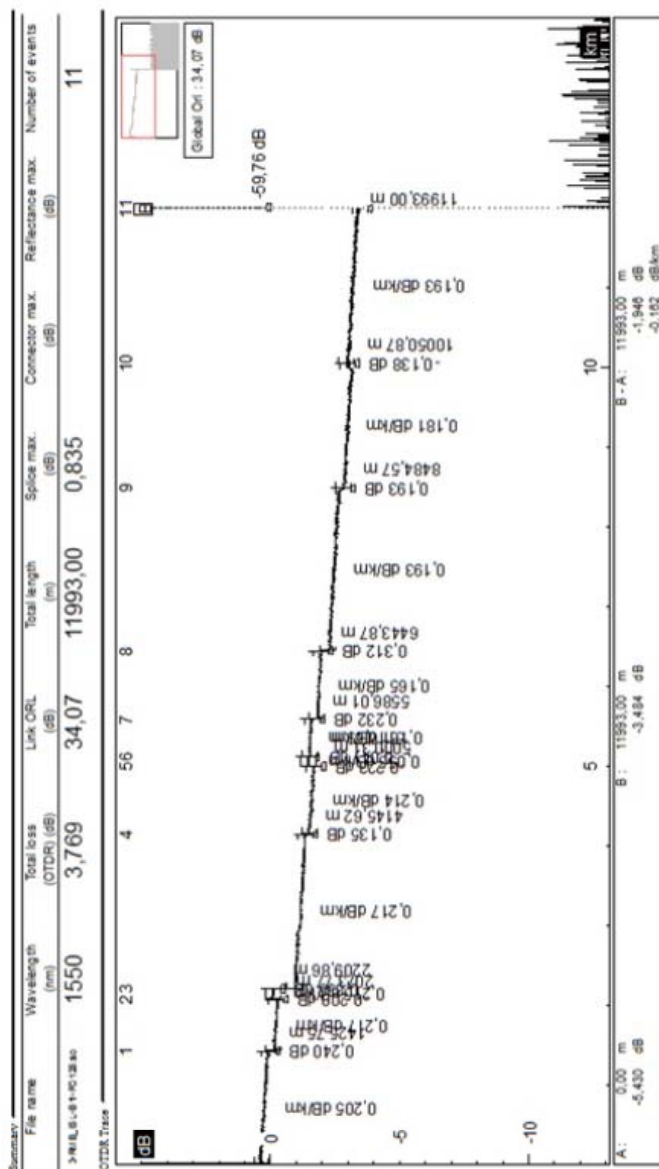


- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 3ª ventana



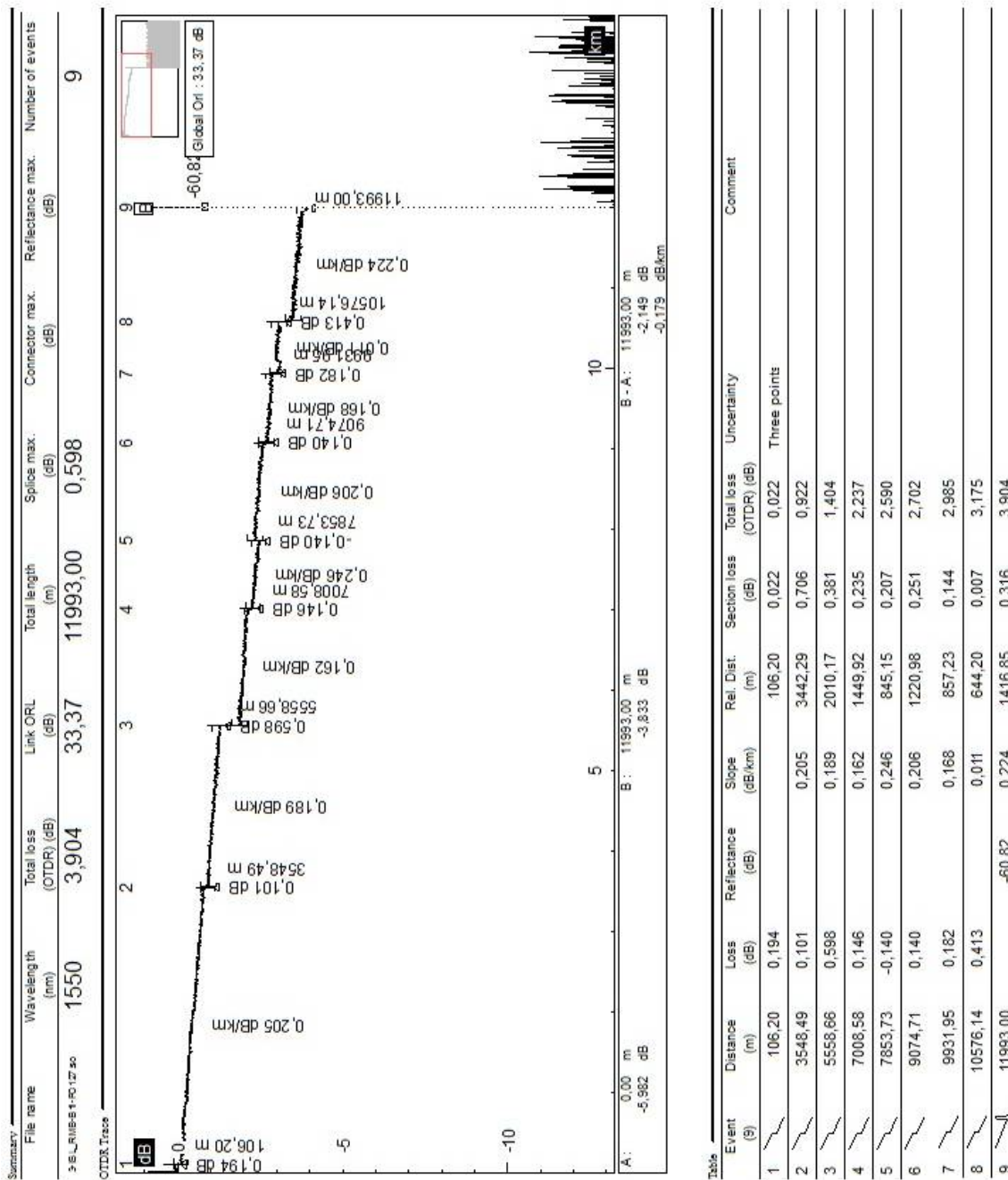


- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 3ª ventana

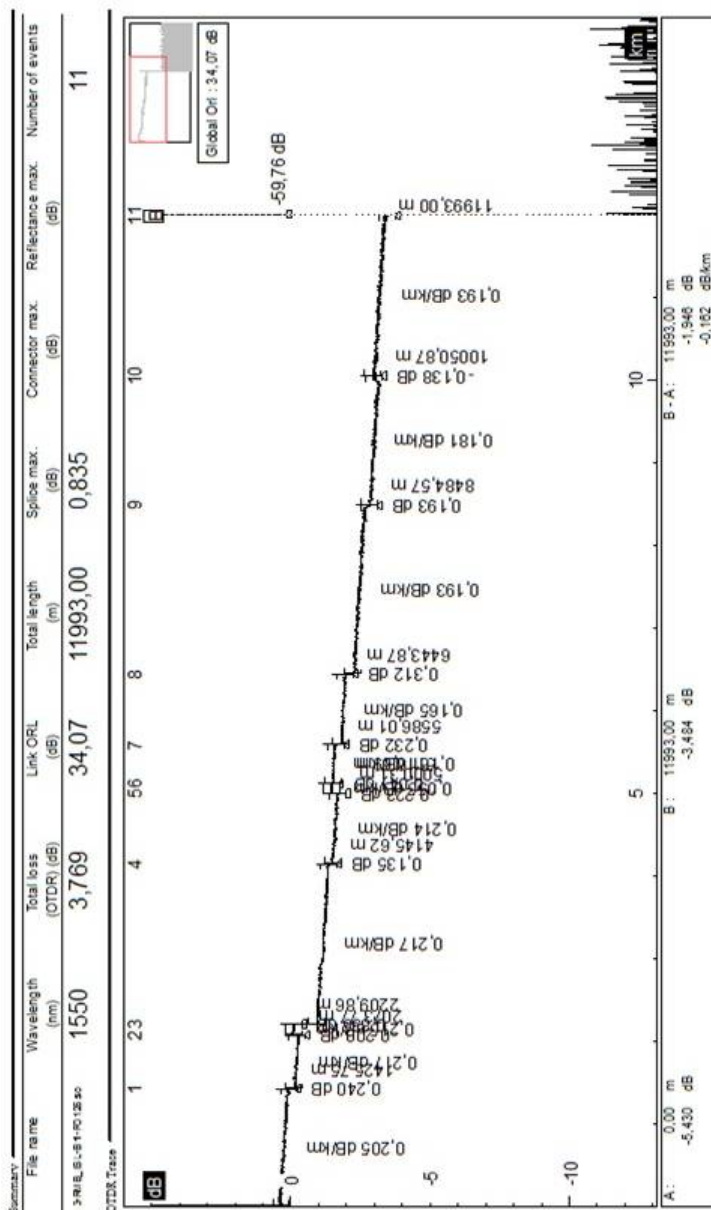


Event (m)	Loss (dB)	Rel. Dist. (m)	Slope (dB/km)	Section loss (OTDR) (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Comment
1	0,205	1425,75	0,205	0,205	0,205	
2	0,240	2073,77	0,217	0,141	0,675	
3	0,217	2209,86	0,215	0,029	0,504	
4	0,135	4145,62	0,217	0,420	1,759	
5	0,217	5000,31	0,214	0,162	2,077	
6	0,041	5116,69	0,055	116,36		
7	0,232	5586,01	0,161	0,122	1,976	
8	0,312	6443,87	0,165	0,143	2,350	
9	0,193	8484,57	0,193	0,394	3,056	
10	-0,138	10050,87	0,181	0,284	3,532	
11	-59,76	11993,00	0,193	0,375	3,769	

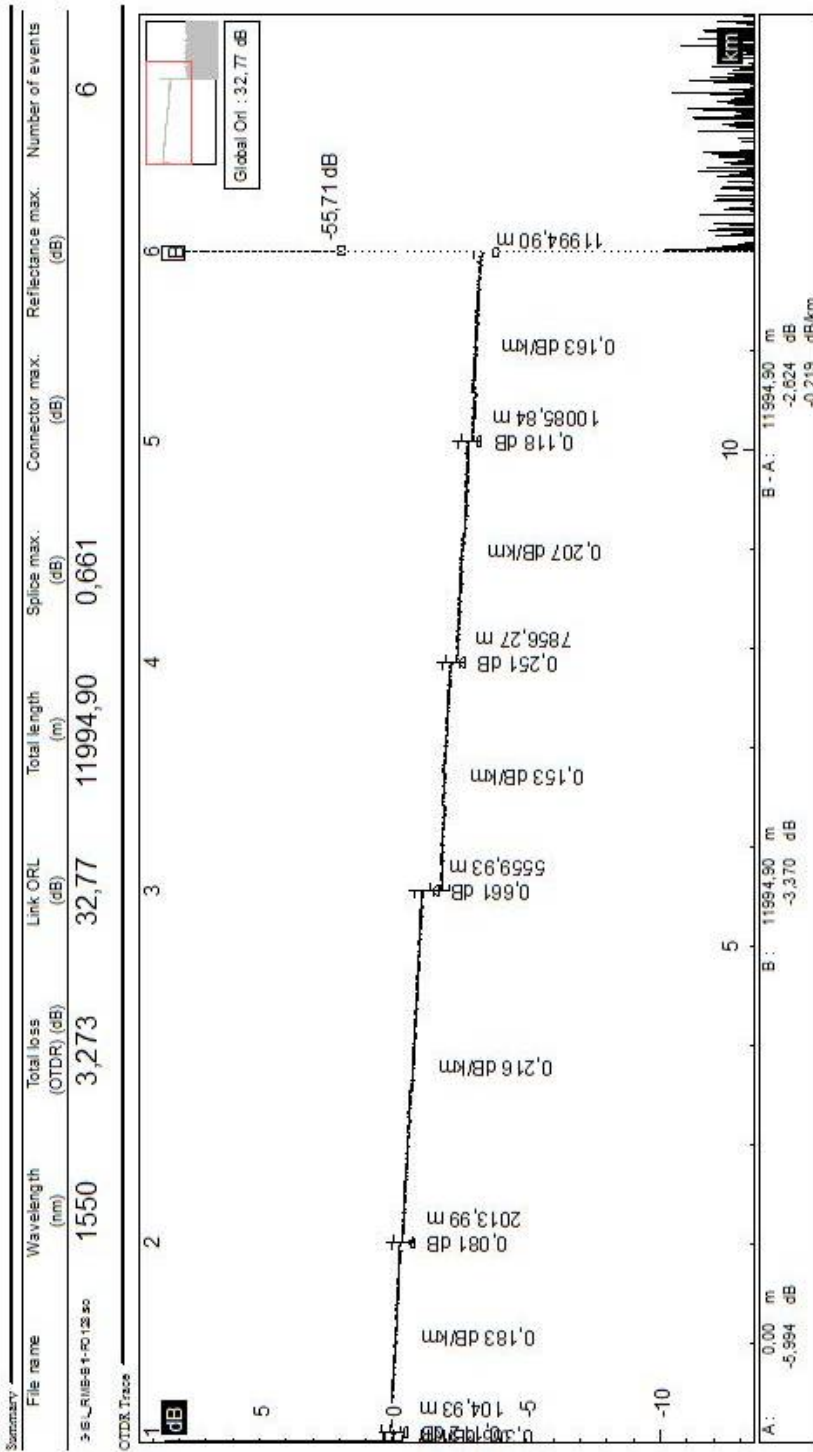
- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 3ª ventana



- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 3ª ventana



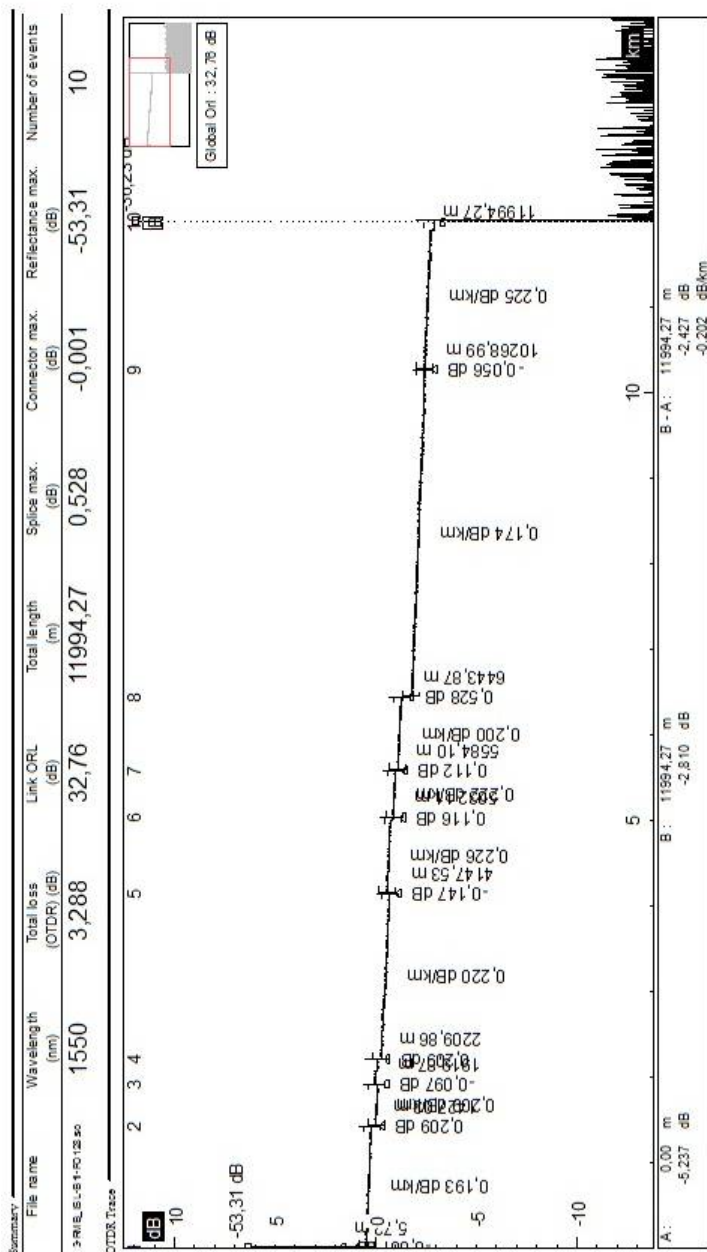
- Centro GC-ISL // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 3ª ventana



Table

Event (dB)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	104,93	-0,112		0,366	104,93	0,035	0,035		
2	2013,99	0,081		0,183	1909,06	0,348	0,272		
3	5559,93	0,661		0,216	3545,94	0,764	1,117		
4	7856,27	0,251		0,153	2296,34	0,353	2,131		
5	10085,84	0,118		0,207	2229,57	0,463	2,846		
6	11994,90		-55,71	0,163	1909,06	0,310	3,273		

- Centro GC-RMB // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 3ª ventana



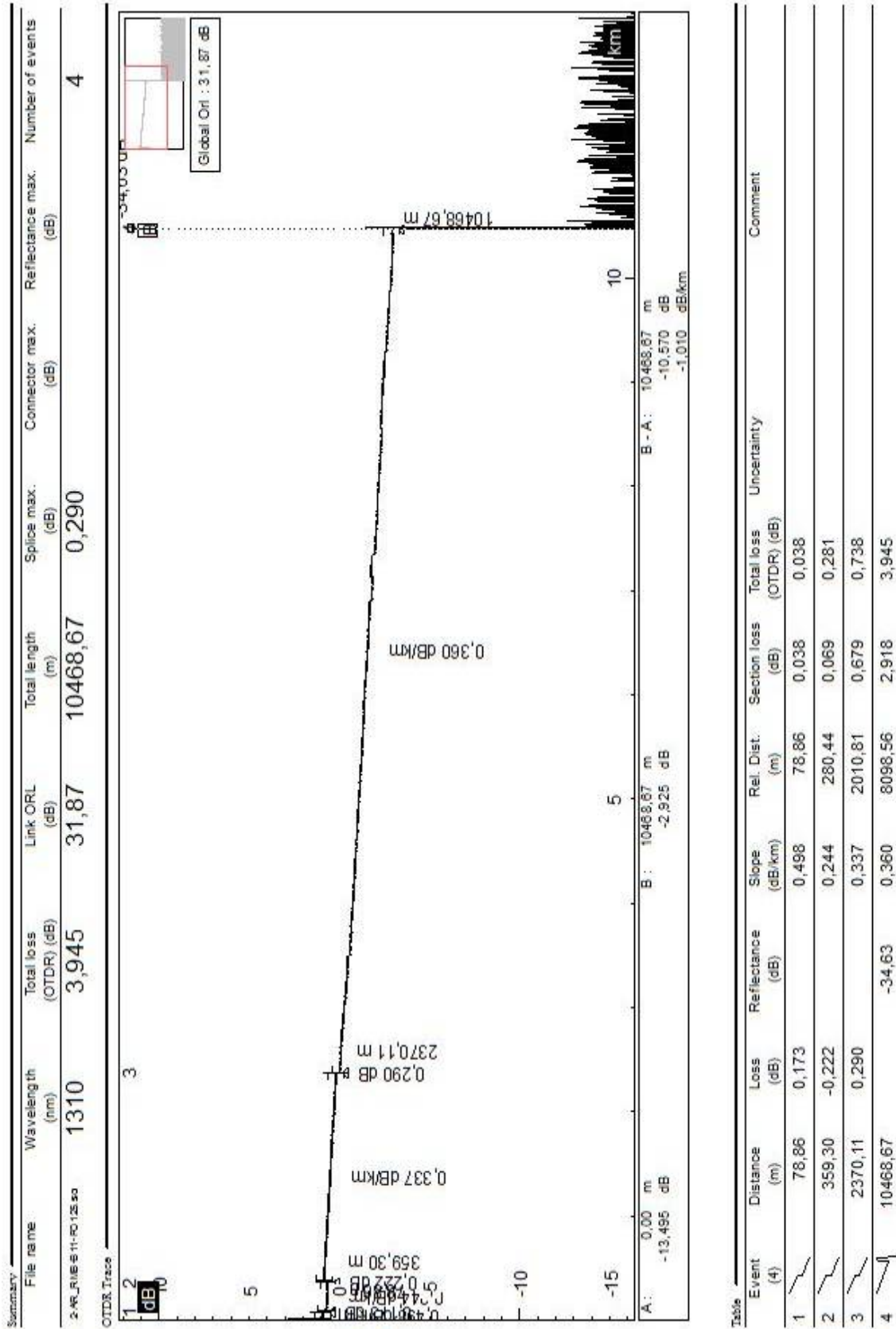
Event (10)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	5,72	-0,001	-53,31		5,72	0,001	0,001	Three points	
2	1427,03	0,209		0,193	1421,30	0,275	0,275		
3	1919,87	-0,097		0,209	492,85	0,103	0,586	Three points	
4	2209,86	0,209			289,98	0,059	0,548	Three points	
5	4147,53	-0,147		0,220	1937,68	0,428	1,185		
6	5032,11	0,116		0,226	884,58	0,200	1,238		
7	5584,10	0,112		0,222	551,99	0,123	1,477		
8	6443,87	0,528		0,200	859,78	0,172	1,761		
9	10268,99	-0,056		0,174	3825,12	0,667	2,956		
10	11994,27		-36,23	0,225	1725,28	0,388	3,288		



# **Anexo III**

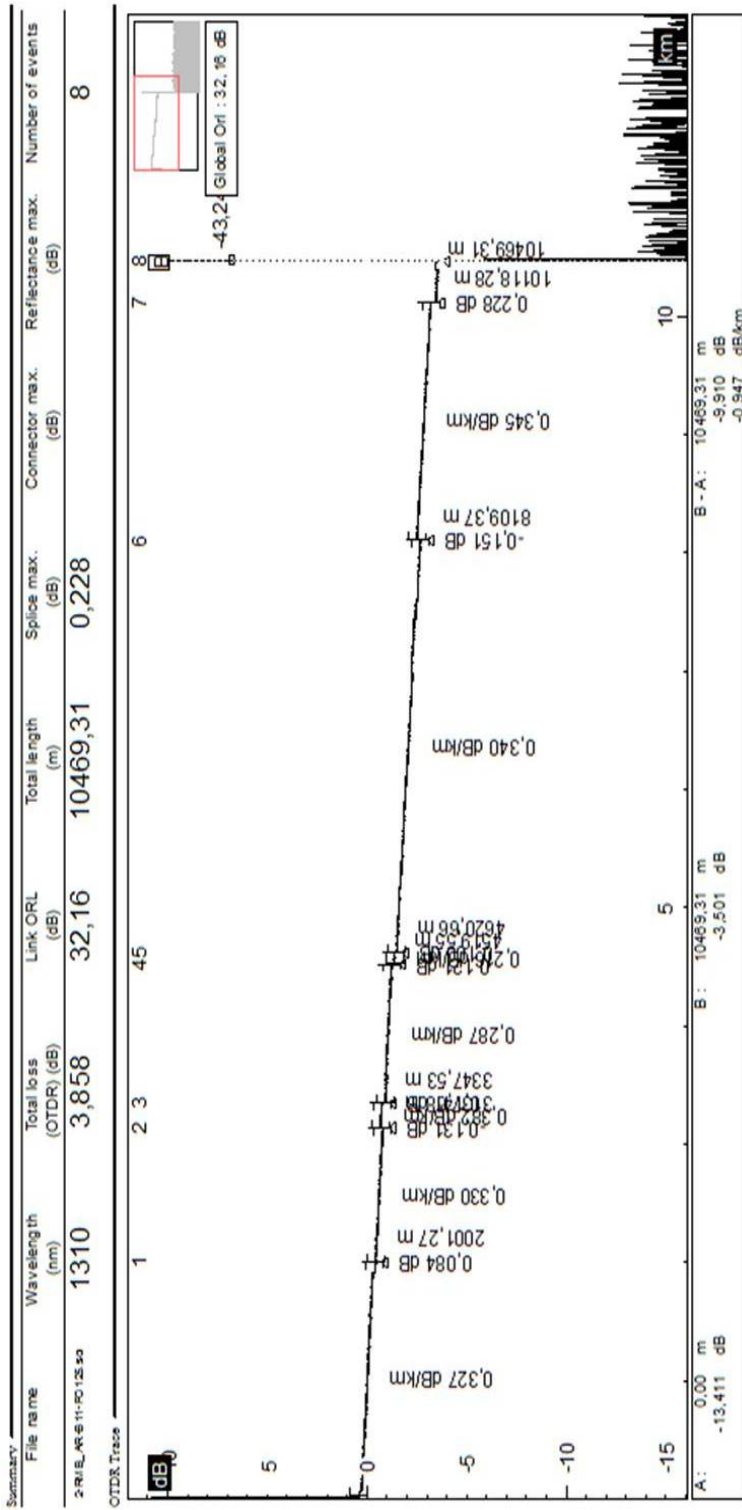
## **Reflectometrías enlace GC-AR ⇔ GC-RMB**

- Centro GC-AR // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 2ª ventana





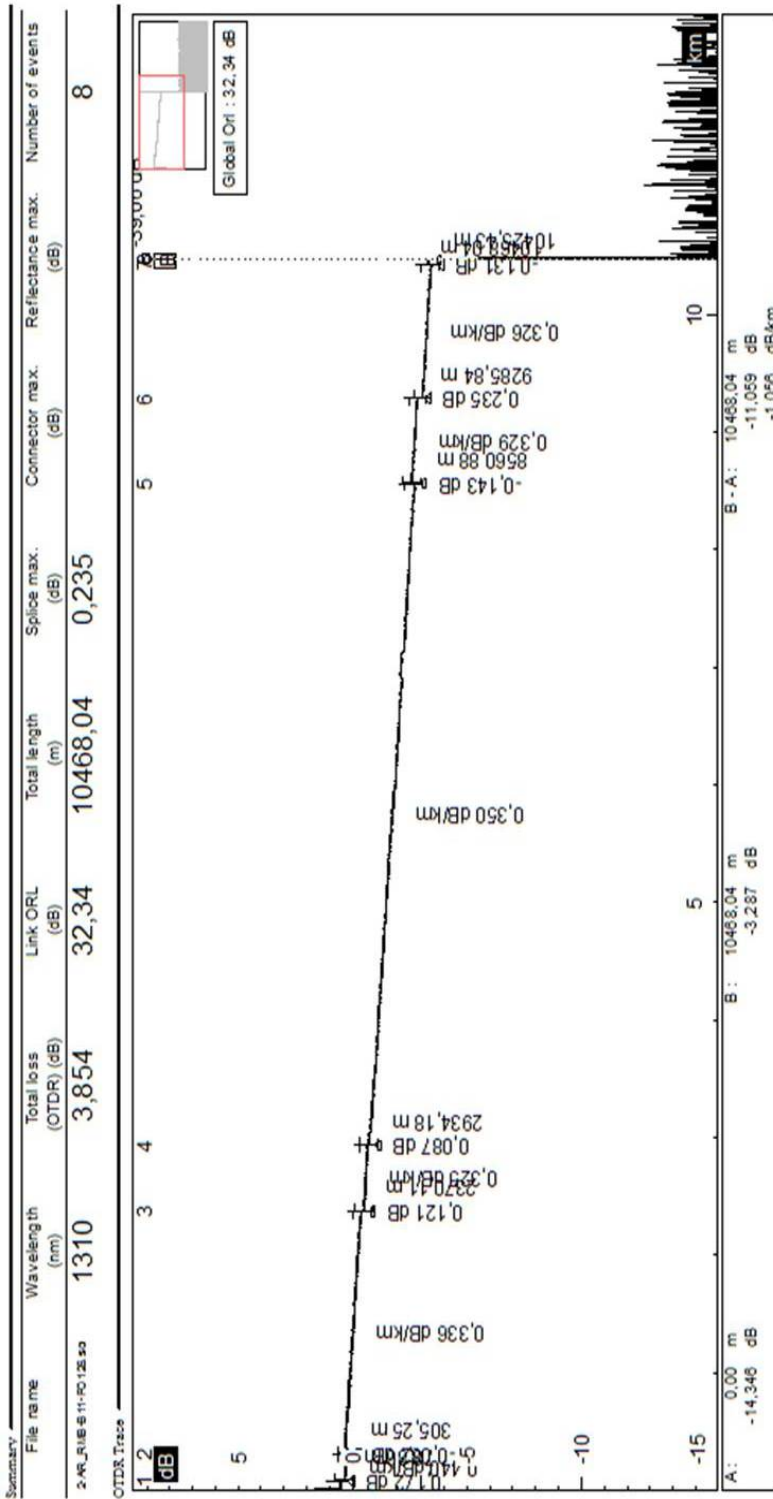
- Centro GC-RMB // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 2ª ventana



Table

Event (B)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	2001,27	0,084		0,327	2001,27	0,657	0,657		
2	3137,68	-0,131		0,330	1136,41	0,375	1,116		
3	3347,53	0,141		0,382	209,86	0,081	1,066		
4	4519,55	0,121		0,287	1172,02	0,337	1,543		
5	4620,66	0,100		0,216	101,11	0,022	1,686		
6	8109,37	-0,151		0,340	3488,71	1,186	2,972		
7	10118,28	0,228		0,345	2008,90	0,694	3,514	Three points	
8	10469,31		-43,24		351,03	0,116	3,858		

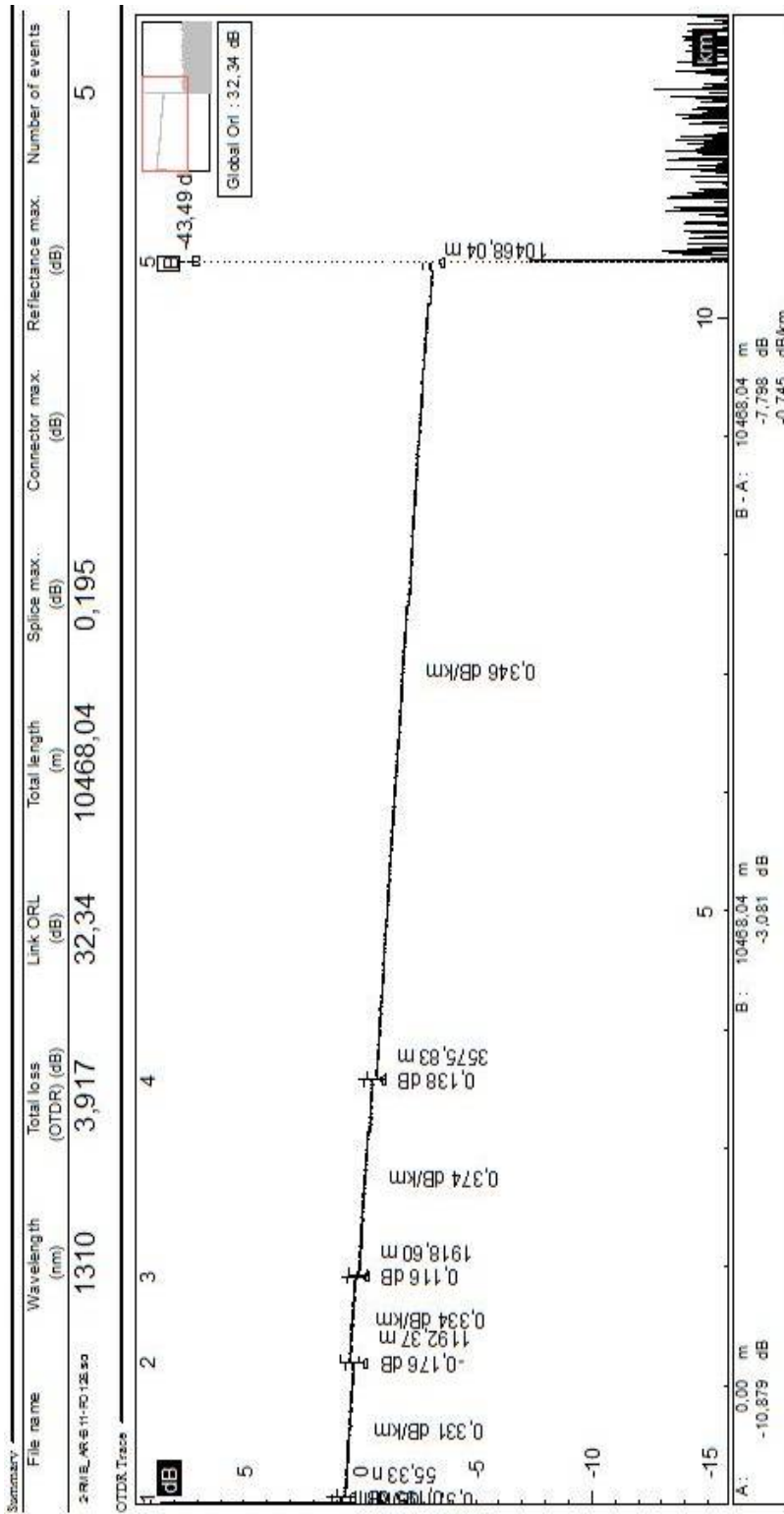
- Centro GC-AR // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 2ª ventana



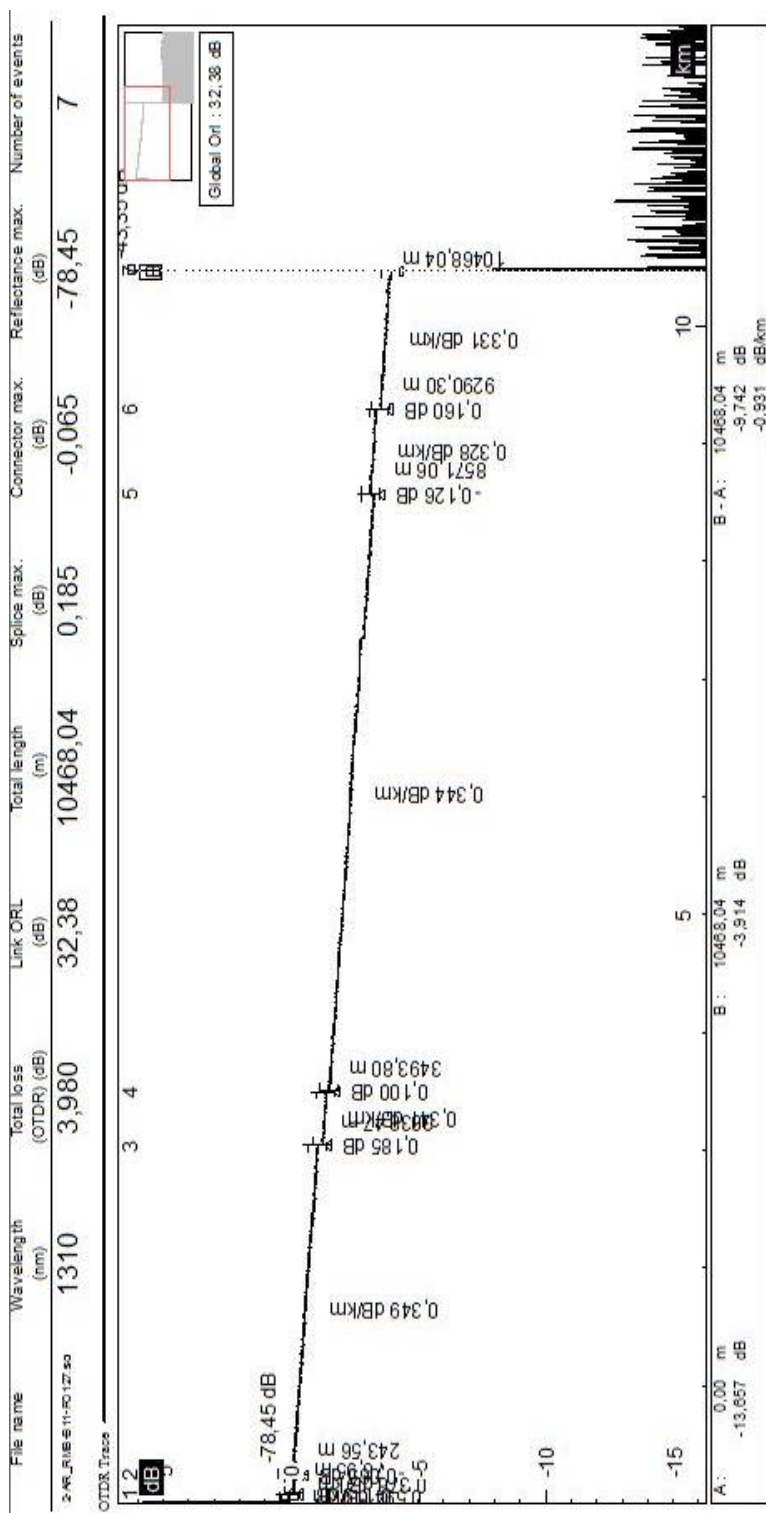
Table

Event (8)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	78,86	0,172		0,440	78,86	0,025	0,025	Three points	
2	305,25	-0,082		0,336	226,39	0,100	0,297		
3	2370,11	0,121		0,325	2064,86	0,695	0,910		
4	2934,18	0,087		0,350	564,07	0,182	1,213		
5	8560,88	-0,143		0,329	5626,70	1,968	3,268		
6	9285,84	0,235		0,326	724,96	0,240	3,365		
7	10425,43	-0,131		0,326	1139,59	0,372	3,972	Three points	
8	10468,04		-39,06		42,61	0,013	3,854		

- Centro GC-RMB // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 2ª ventana



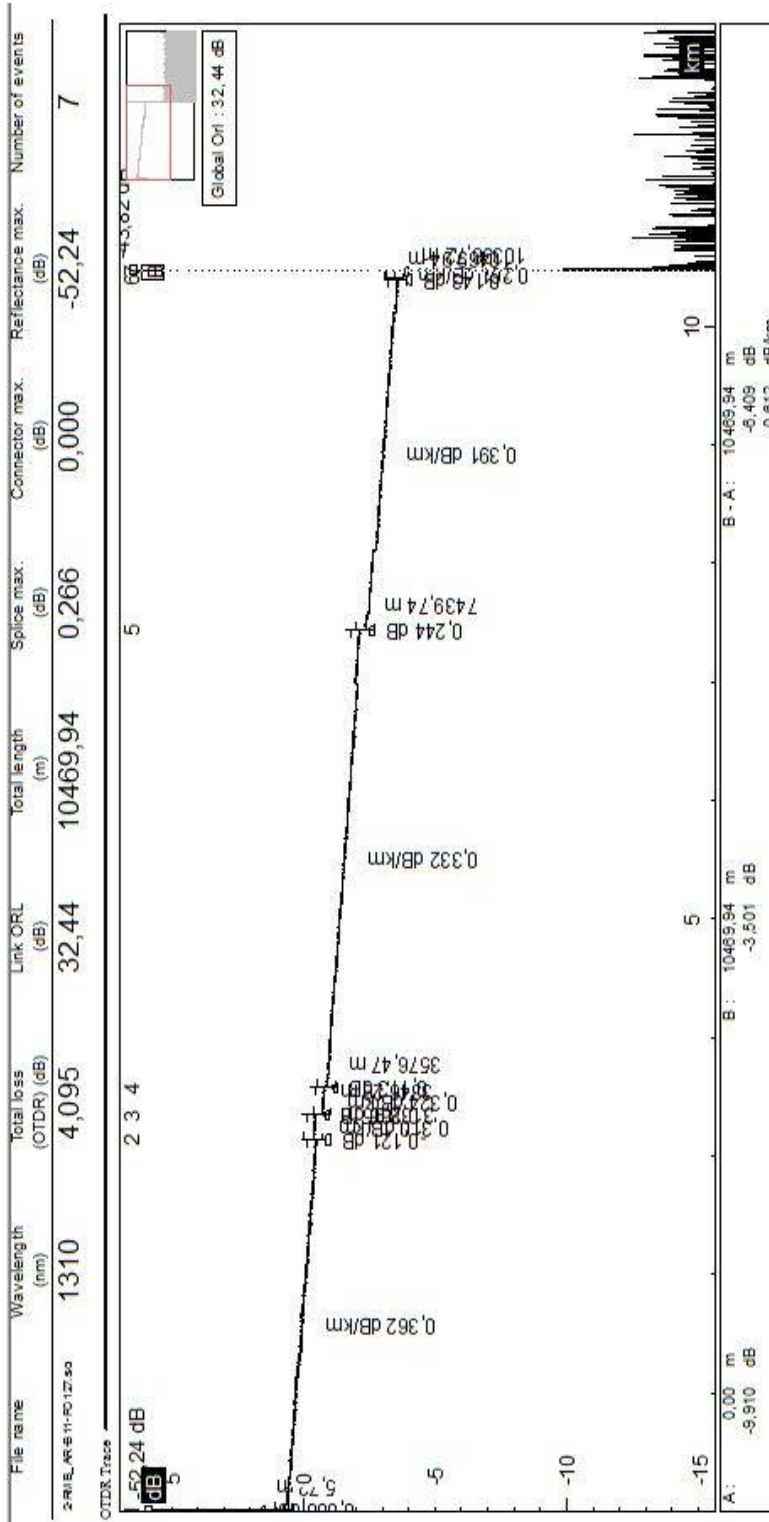
- Centro GC-AR // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 2ª ventana



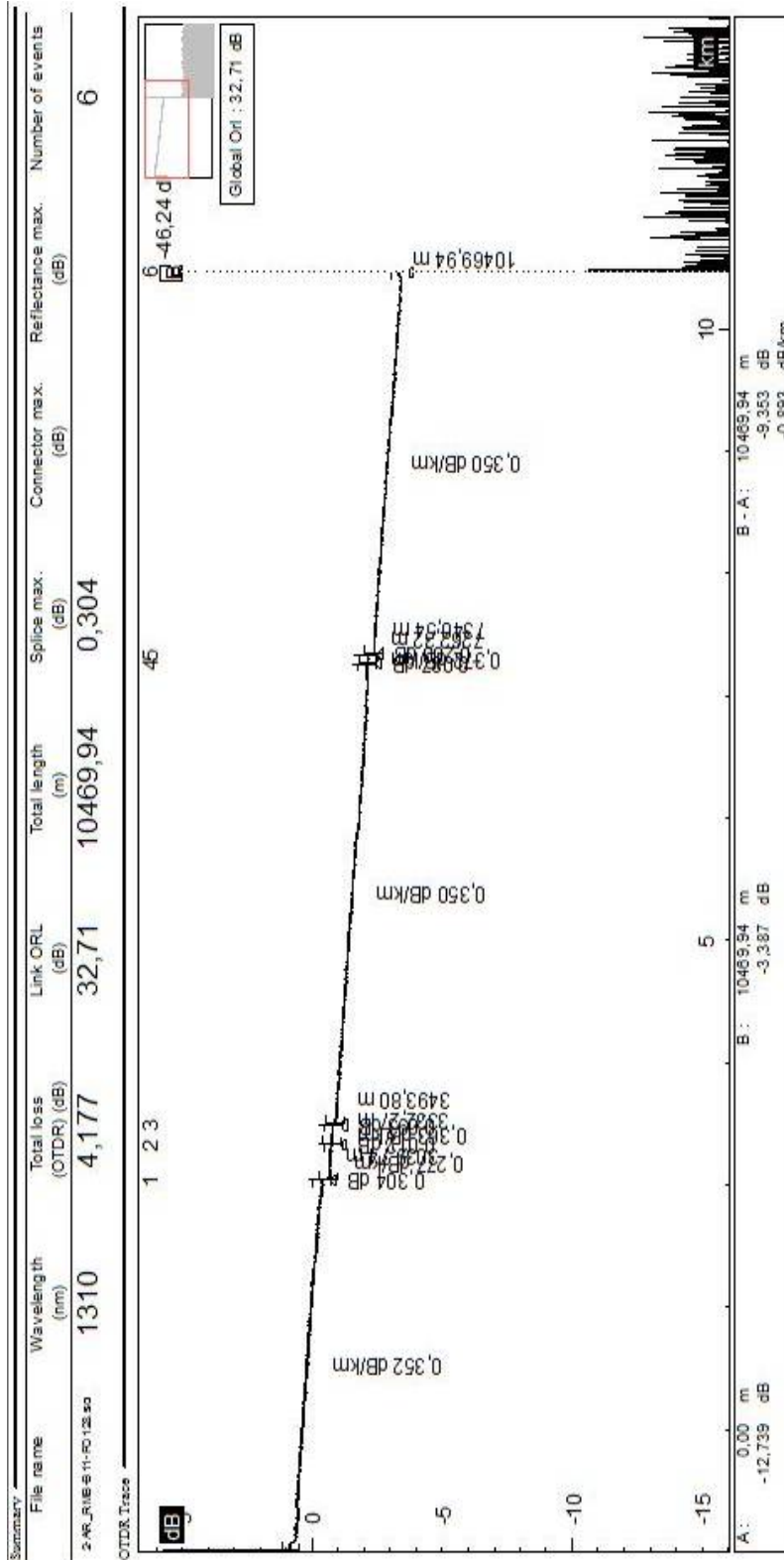
Table

Event	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	76,95	0,119		0,594	76,95	0,041	0,041		
2	243,56	-0,065	-78,45	0,376	166,61	0,063	0,223		
3	3038,47	0,185		0,349	2794,91	0,976	1,135		
4	3493,80	0,100		0,341	455,33	0,156	1,476		
5	8571,06	-0,126		0,344	5077,26	1,746	3,322		
6	9290,30	0,160		0,328	719,24	0,235	3,431		
7	10468,04		-43,35	0,331	1177,74	0,390	3,980		

- Centro GC-RMB // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 127 / Medida en 2ª ventana

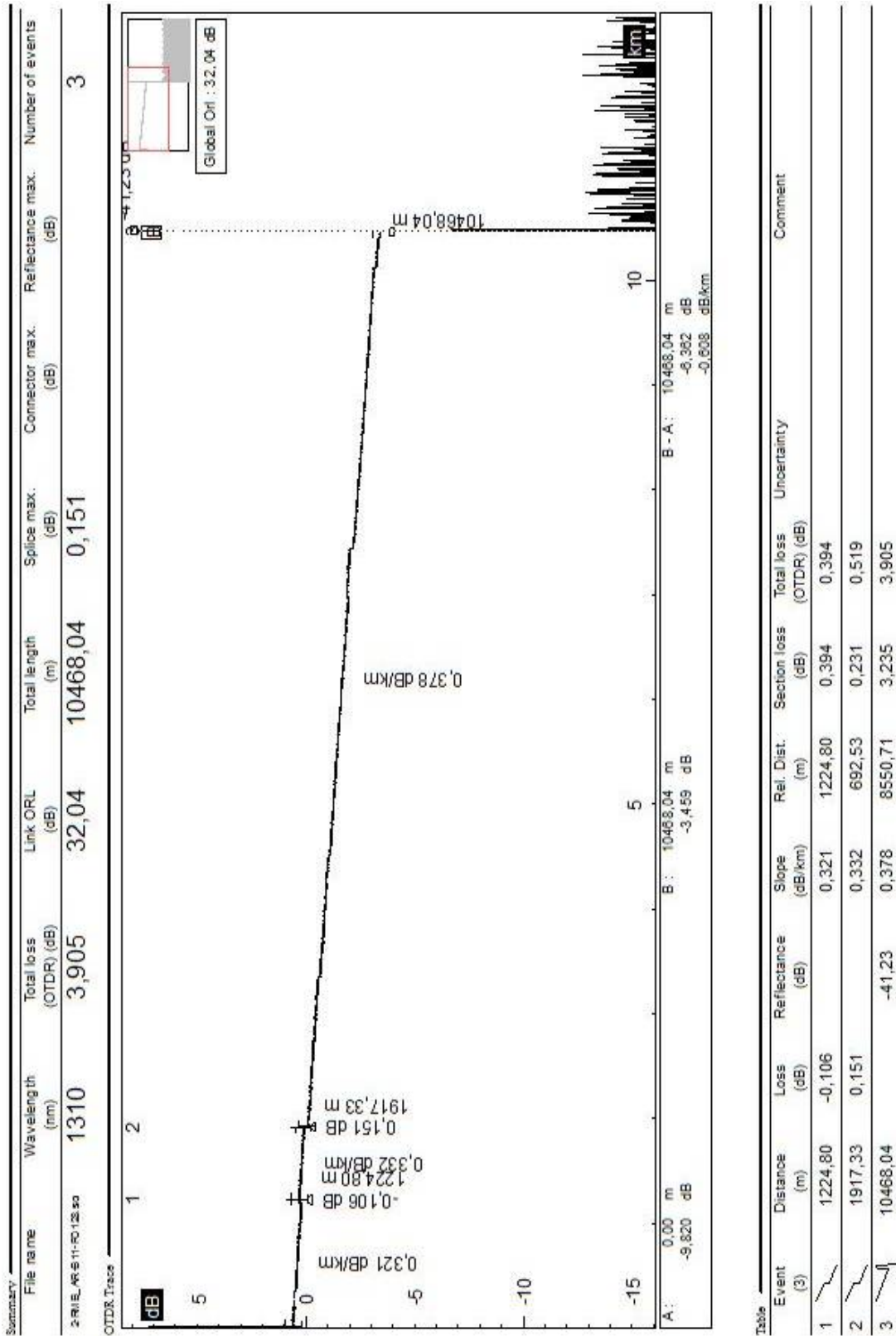


- Centro GC-AR // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 2ª ventana

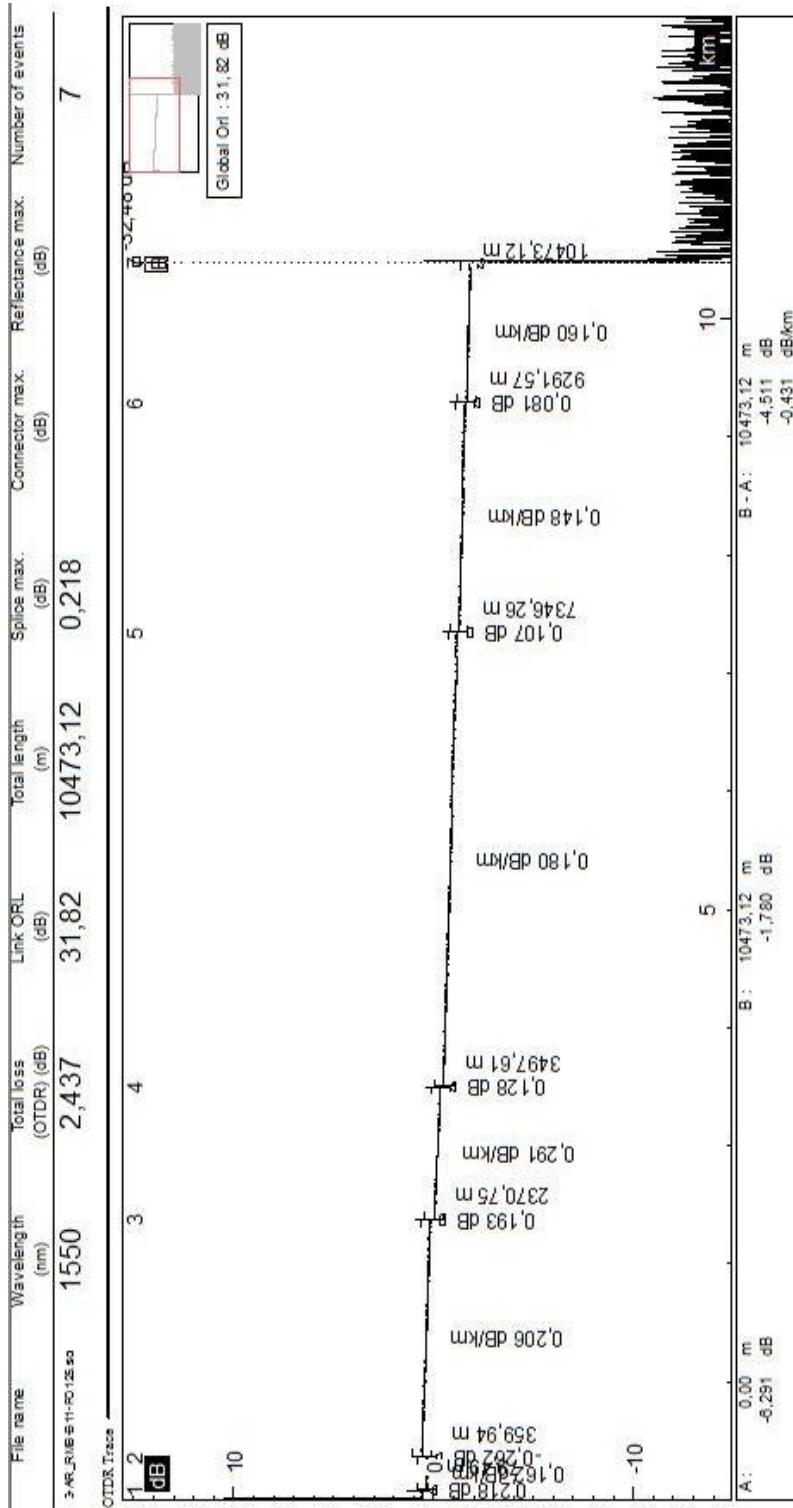


Event (dB)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	3039,74	0,304		0,352	3039,74	1,072	1,072		
2	3332,27	0,012		0,277	292,53				
3	3493,80	0,093		0,363	161,53	0,151	1,527		
4	7262,32	-0,087		0,350	3768,52	1,320	2,940		
5	7340,54	0,200		0,372	78,22	0,029	2,882		
6	10469,94		-46,24	0,350	3129,41	1,095	4,177		

- Centro GC-RMB // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 2ª ventana



- Centro GC-AR // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 3ª ventana

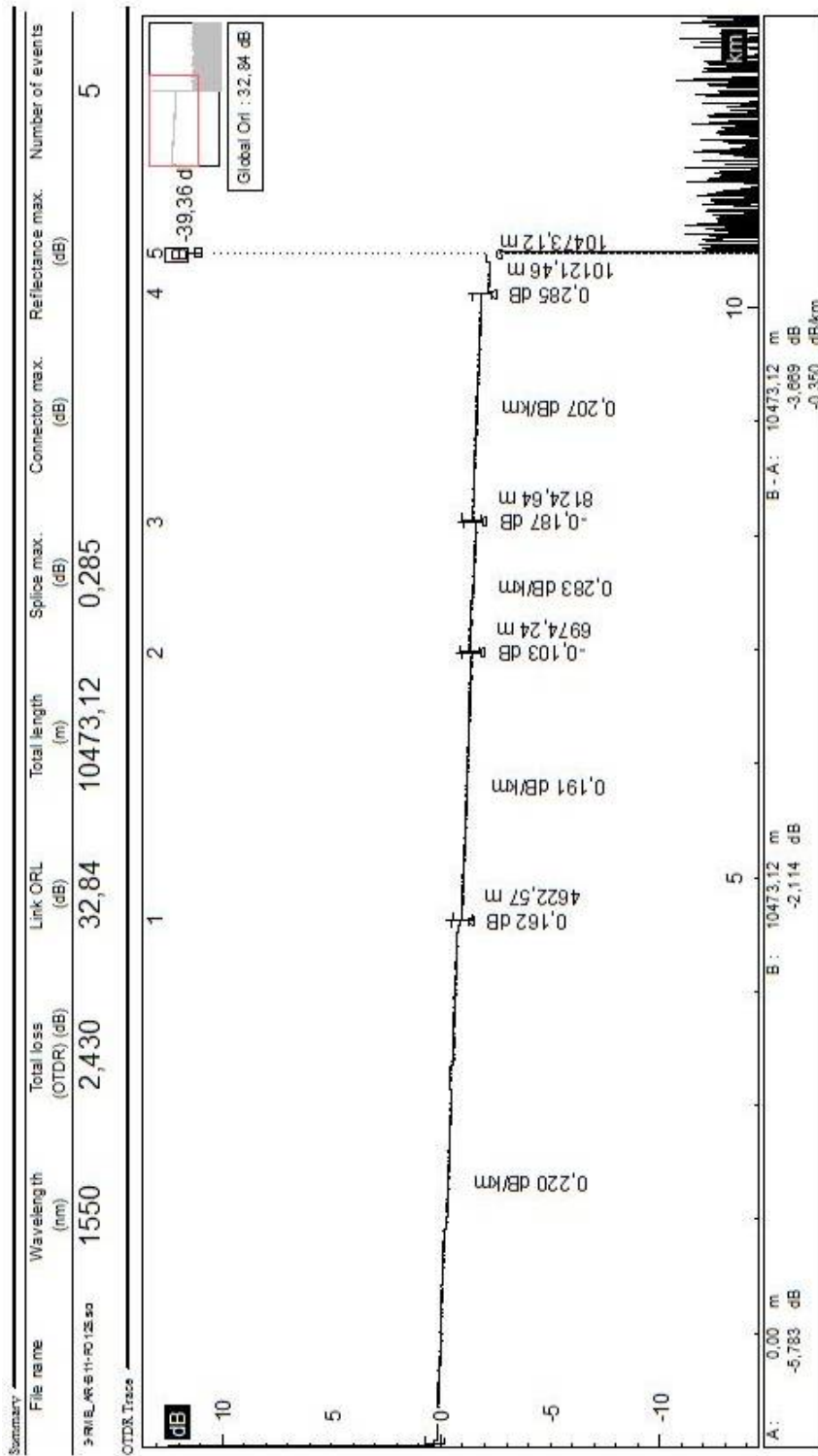


Tabla

Event (i)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	79,49	0,218			79,49	0,016	0,016	Three points	
2	359,94	-0,262		0,162	280,44	0,044	0,278		
3	2370,75	0,193		0,206	2010,81	0,413	0,429		
4	3497,61	0,128		0,291	1126,87	0,329	0,951		
5	7346,26	0,107		0,180	3848,65	0,692	1,771		
6	9291,57	0,081		0,148	1945,31	0,288	2,167		
7	10473,12		-32,48	0,160	1181,56	0,190	2,437		



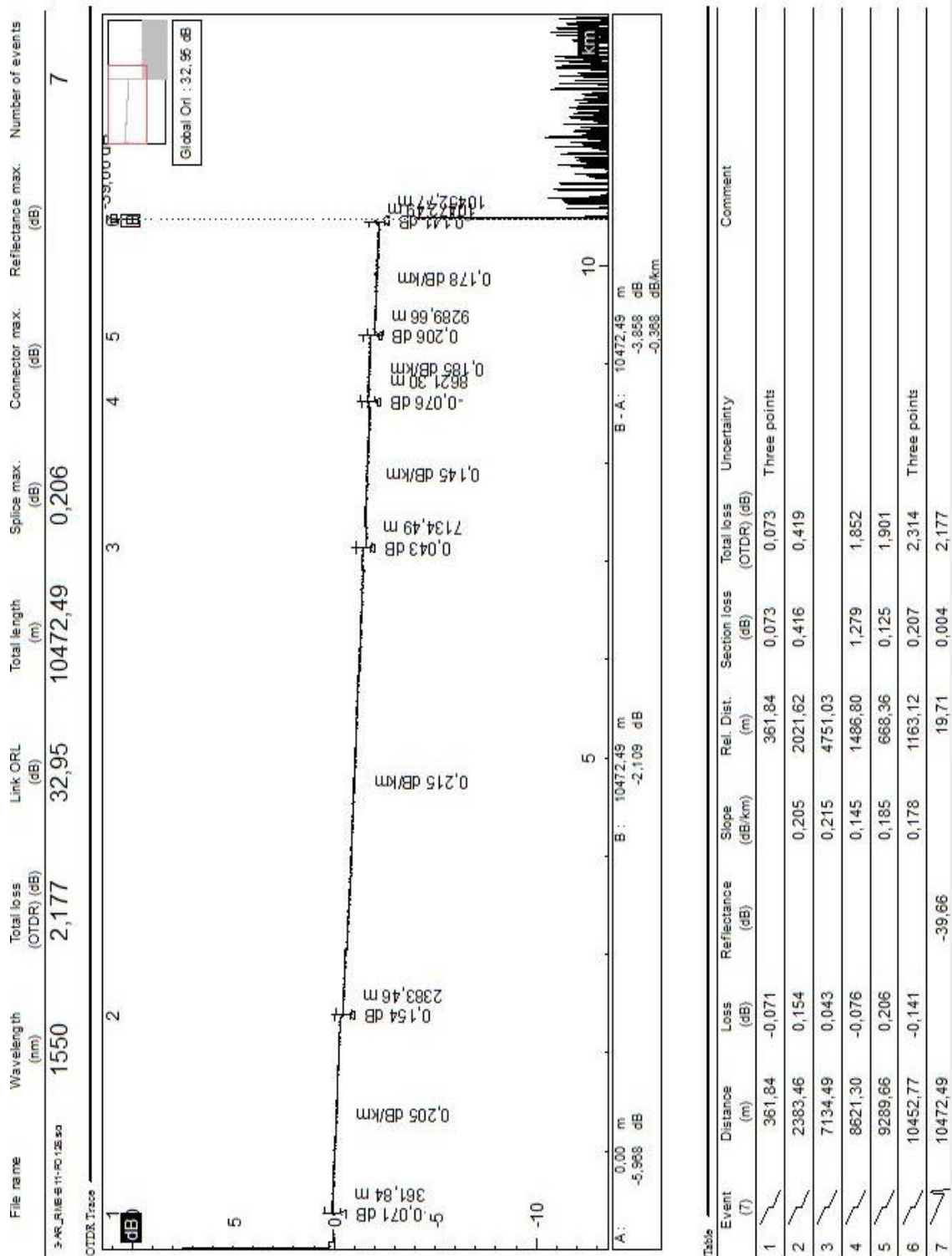
- Centro GC-RMB // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 125 // Medida en 3ª ventana



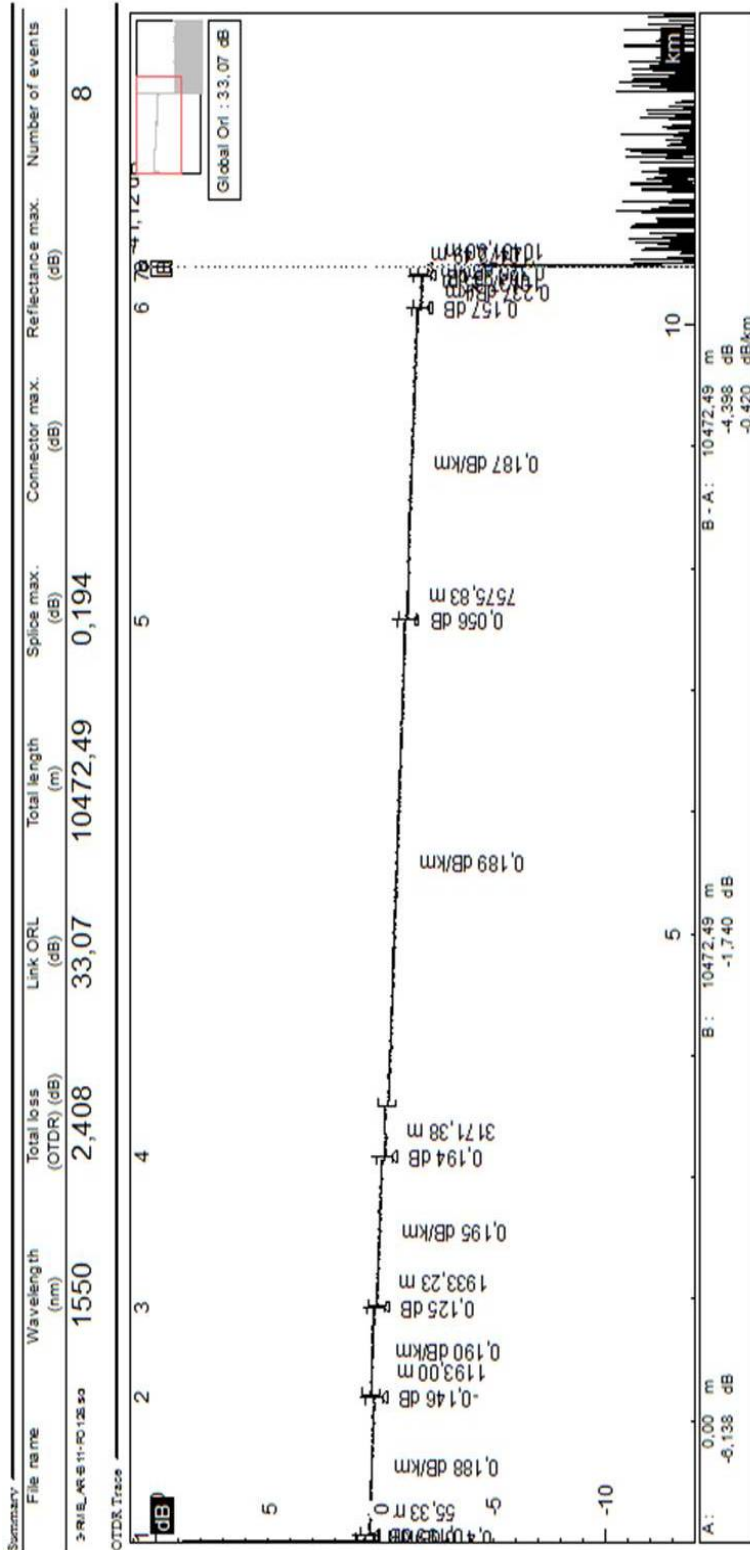
Table

Event (5)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	4622,57	0,162		0,220	4622,57	1,014	1,014		
2	6974,24	-0,103		0,191	2351,67	0,450	1,626		
3	8124,64	-0,187		0,283	1150,40	0,325	1,848		
4	10121,46	0,285		0,207	1996,82	0,413	2,074	Three points	
5	10473,12		-39,36		351,67	0,071	2,430		

- Centro GC-AR // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 3ª ventana

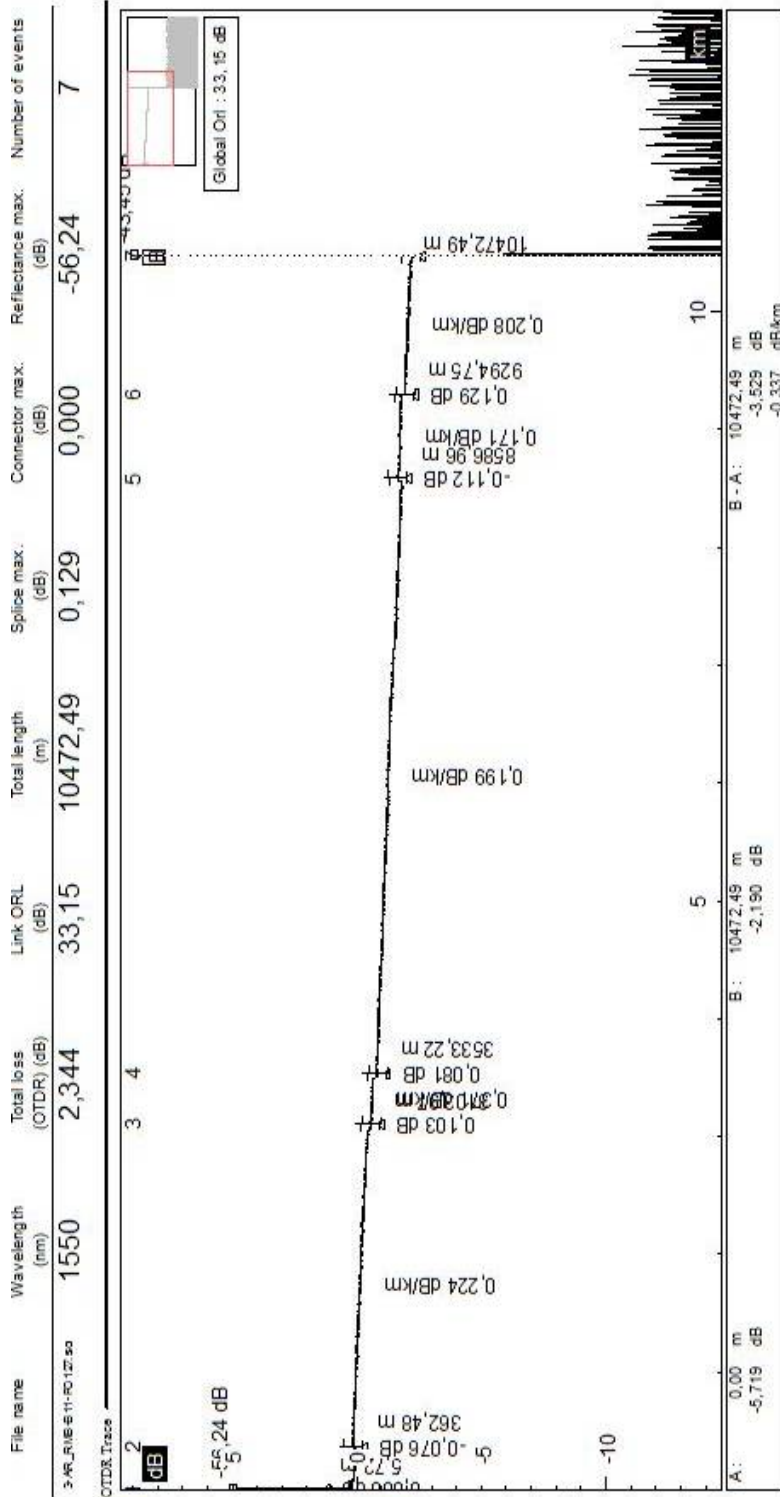


- Centro GC-RMB // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 126 // Medida en 3ª ventana



Event (δ)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	55,33	0,193	0,410	0,410	55,33	0,022	0,022		
2	1193,00	-0,146	0,188	0,188	1137,68	0,215	0,429		
3	1933,23	0,125	0,190	0,190	740,22	0,141	0,425		
4	3171,38	0,194	0,195	0,195	1238,15	0,241	0,791		
5	7575,83	0,056	0,189	0,189	4404,45	0,833	1,818		
6	10137,35	0,157	0,187	0,187	2561,52	0,479	2,353		
7	10401,90	-0,193	0,237	0,237	264,55	0,063	2,574		
8	10472,49		-41,12	0,375	70,59	0,026	2,408		

- Centro GC-AR // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 3ª ventana



OTDR Trace

File name: 3-AR\_ROM\_11-FO\_127\_30  
 Wavelength (nm): 1550  
 Total loss (OTDR) (dB): 2,344  
 Link ORL (dB): 33,15  
 Total length (m): 10472,49  
 Splice max. (dB): 0,129  
 Connector max. (dB): 0,000  
 Reflectance max. (dB): -56,24  
 Number of events: 7

Global Ori.: 33,15 dB

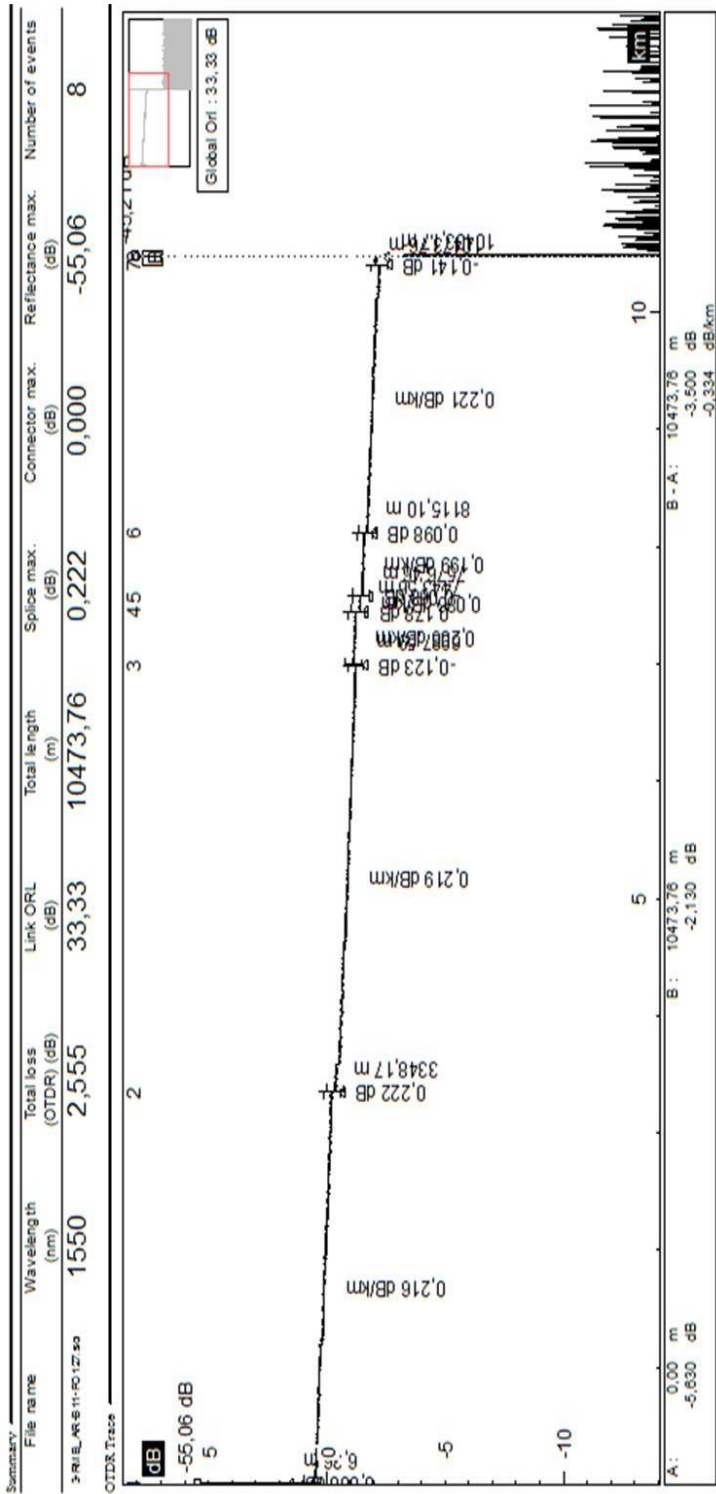
OTDR Trace

A: 0,00 m -5,719 dB  
 B: 10472,49 m -2,190 dB  
 B - A: 10472,49 m -3,529 dB  
 -0,337 dB/km

Table

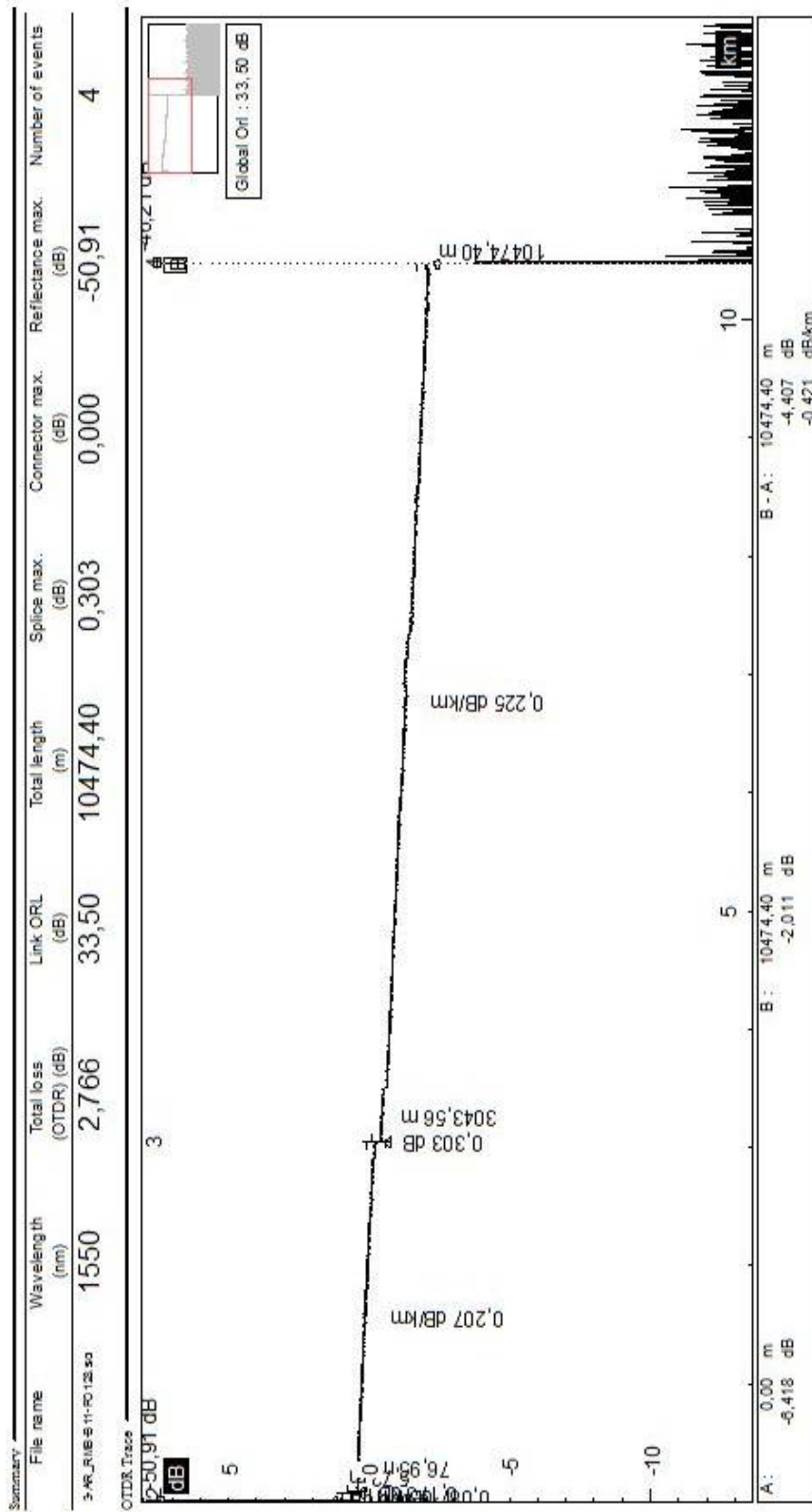
Event (7)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	5,72	0,000	-56,24		5,72	0,001	0,001	Two points	
2	362,48	-0,076			356,76	0,072	0,073	Three points	
3	3103,97	0,103		0,224	2741,49	0,613	0,610		
4	3533,22	0,081		0,371	429,25	0,159	0,872		
5	8586,96	-0,112		0,199	5053,73	1,008	1,961		
6	9294,75	0,129		0,171	707,79	0,121	1,970		
7	10472,49		-43,45	0,208	1177,74	0,245	2,344		

- Centro GC-RMB // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 127 // Medida en 3ª ventana



Event (S)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	6,36	0,000	-55,06		6,36	0,001	0,001	Three points	
2	3348,17	0,222		0,216	3341,81	0,723	0,725		
3	6987,59	-0,123		0,219	3639,42	0,797	1,743		
4	7443,56	0,178		0,206	455,96	0,094	1,714		
5	7576,46	0,068		0,086	132,91	0,012	1,903		
6	8115,10	0,098		0,199	538,63	0,107	2,078		
7	10403,17	-0,141		0,221	2288,07	0,506	2,683	Three points	
8	10473,76		-45,21		70,59	0,013	2,555		

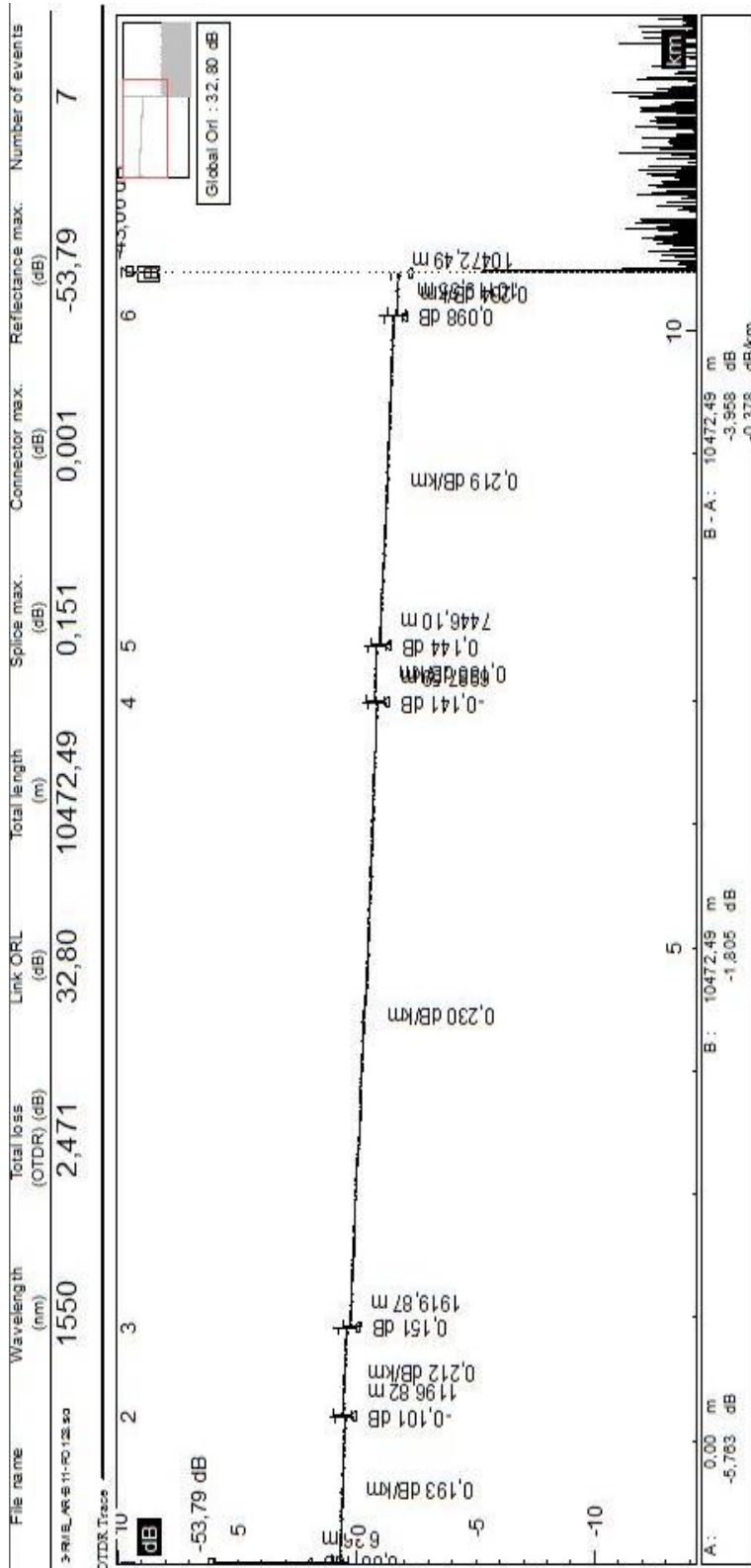
- Centro GC-AR // ROM 1 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 3ª ventana



Table

Event	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	5,72	0,000	-50,91	0,087	5,72	0,001	0,001	Three points	
2	76,95	0,173		0,207	71,22	0,006	0,007		
3	3043,56	0,303		0,225	2966,61	0,614	0,795		
4	10474,40		-46,21	0,225	7430,84	1,668	2,766		

- Centro GC-RMB // ROM 2 – Bandeja 11 – FO 128 // Medida en 3ª ventana



Event (7)	Distance (m)	Loss (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Section loss (dB)	Total loss (OTDR) (dB)	Uncertainty	Comment
1	6,36	0,001	-53,79	0,193	6,36	0,001	0,001	Three points	
2	1196,82	-0,101		0,193	1190,46	0,229	0,232		
3	1919,87	0,151		0,212	723,05	0,154	0,285		
4	6987,59	-0,141		0,230	5067,72	1,167	1,604		
5	7446,10	0,144		0,186	458,51	0,085	1,548		
6	10119,55	0,098		0,219	2673,45	0,586	2,278		
7	10472,49		-43,06	0,264	352,94	0,094	2,471		

