

INGENIERITZA GOI ESKOLA TEKNIKOA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
BILBAO

Trabajo Fin de Máster

Diseño de una red FTTH para un operador global de telecomunicaciones en el área de la CAPV

Autora

Iratxe Calvillo Mendoza

Codirectores

Eva Ibarrola

Juan José Unzilla

Curso Académico: 2016 – 2017

Resumen trilingüe

Este trabajo fin de máster presenta el diseño de una infraestructura de fibra óptica residencial para la Comunidad Autónoma del País Vasco. El diseño cubrirá tanto la red de transporte como la red de acceso. Para ello, se desarrollará un análisis de las tecnologías empleadas hoy en día por las operadoras en el diseño de sus redes. Una vez acabado el análisis, se seleccionará la tecnología a implementar y se procederá al diseño de una infraestructura de red que ofrezca servicios de banda ancha a los usuarios.

This project presents the design of a residential fiber optic infrastructure in the Autonomous Community of the Basque Country. The design will cover both the transport network and the access network. For this aim, an analysis of the technologies used by the operators in the design of their networks will be developed. Once the analysis is finished, the technology to be implemented will be selected and the design of a network infrastructure that offers broadband services to the users will be done.

Master amaierako lan honek, euskal autonomia erkidegoko etxebizitza zuntz optikoen azpiegitura diseinu bat aurkezten du. Disenuak garraio eta sarbide sarea estaltzen ditu. Horretarako, operadoreak beren sareen diseinuan erabilitako teknologien analisisa garatuko da, eta hau amaitzean, erabiltzaileei banda zabaleko zerbitzuak eskaintzeko, ezarri beharreko teknologia aukeratuko eta sareen azpiegitura diseinatuko da.

Tabla de contenido

Resumen trilingüe	2
Tabla de contenido.....	3
Lista de ilustraciones.....	7
Lista de tablas.....	9
1. Introducción	10
2. Contexto.....	11
3. Objetivos y alcance del proyecto	13
4. Beneficios	14
4.1. Beneficios económicos.....	14
4.2. Beneficios sociales.....	14
4.3. Beneficios técnicos.....	14
5. Estado del arte	16
5.1. Red de acceso.....	16
5.1.1. Sistemas de transmisión óptica FTTx	17
5.1.2. Redes PON.....	18
5.1.2.1. Arquitectura	18
5.1.2.2. Equipos de la red PON.....	20
5.1.2.2.1. OLT	20
5.1.2.2.2. ONT	20
5.1.2.2.3. Divisor óptico	21
5.1.2.3. Estándar PON	21
5.1.2.3.1. GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network)	22
5.1.2.3.2. XGPON (10 Gigabit Passive Optical Network).....	22
5.1.2.3.3. WDM-PON (Wavelegth Division Multiplexing Passive Optical Network)	23
5.2. Red de transporte	24
5.2.1. Multiplexación por división de longitud de onda (WDM).....	27
5.2.1.1. Definición	27
5.2.1.2. Clasificación.....	27
5.2.2. Multiplexación por división de onda densa (DWDM)	28
5.2.2.1. Definición	28
5.2.2.2. Equipamiento	28
5.2.2.2.1. Transpondedor.....	28
5.2.2.2.2. Multiplexor.....	29
5.2.2.2.3. Amplificador	29
5.2.2.3. Funcionamiento	30

5.2.3.	Red óptica de Transporte (OTN)	30
5.2.3.1.	Definición	30
5.2.3.2.	Secciones de red.....	31
5.2.3.3.	Unidades de datos.....	32
5.2.4.	MPLS Transport Profile.....	32
5.2.4.1.	Definición	33
5.2.4.2.	Características de funcionamiento.....	34
5.2.4.3.	Arquitectura	35
6.	Análisis de alternativas.....	38
6.1.	Definición de los criterios.....	38
6.1.1.	Coste.....	38
6.1.2.	Capacidad	38
6.1.3.	Calidad de servicio.....	39
6.1.4.	Facilidad de operación	39
6.1.5.	Ponderación de cada criterio	40
6.2.	Red de acceso.....	41
6.2.1.	Coste.....	41
6.2.2.	Capacidad	42
6.2.3.	Calidad de servicio.....	43
6.2.4.	Facilidad de operación	45
6.2.5.	Conclusiones.....	46
6.3.	Red de transporte	47
6.3.1.	Coste.....	47
6.3.2.	Capacidad	48
6.3.3.	Calidad de servicio.....	48
6.3.4.	Facilidad de operación	49
6.3.5.	Conclusiones.....	51
7.	Metodología	53
7.2.	Cobertura geográfica.....	53
7.3.	Criterios de diseño	56
7.3.1.	Red de acceso.....	56
7.3.1.1.	Uso de infraestructuras	56
7.3.1.2.	Ubicación de las centrales GPON	57
7.3.1.3.	Índice de penetración.....	58
7.3.1.4.	Requisitos calidad de señal	58
7.3.1.5.	Nivel de división	59

7.3.2.	Red de transporte	61
7.3.2.1.	Número de usuarios por central FTTH	61
7.3.2.2.	Tráfico transmitido en cada central	61
7.3.2.3.	Capacidad OTN	62
7.4.	Proceso de diseño	63
7.4.1.	Red de acceso	63
7.4.1.1.	Descripción de las fases de diseño	63
7.4.1.2.	Descripción del proceso de diseño.....	65
7.4.1.2.1.	Definición del área de cobertura	65
7.4.1.2.2.	Diseño de la red de dispersión	67
7.4.1.2.2.1.	Instalaciones de interior.....	67
7.4.1.2.2.2.	Instalaciones de exterior	68
7.4.1.2.3.	Diseño de la red de distribución	69
7.4.1.2.4.	Diseño de la red de alimentación.....	72
7.4.1.2.5.	Diseño de la central FTTH.....	74
7.4.1.2.5.1.	Optical Line Termination (OLT)	74
7.4.1.2.5.2.	Optical distribution Frame (ODF)	75
7.4.1.2.6.	Dimensionamiento de la fibra óptica.....	76
7.4.2.	Red de transporte	80
7.4.2.1.	Descripción de las fases de diseño	80
7.4.2.1.1.	Diseño de la red de transporte de Bilbao	81
7.4.2.1.2.	Diseño de la red de transporte de Vitoria.....	83
7.4.2.1.3.	Diseño de la red de transporte de Donostia	84
7.4.2.1.4.	Diseño de la red de transporte central	85
8.	Metodología y planificación del proyecto.....	87
8.2.	Equipo de trabajo	87
8.3.	Definición de los paquetes y tareas	87
8.4.	Hitos del trabajo	91
9.	Presupuesto	92
9.1.	Horas internas	92
9.2.	Gastos.....	94
9.3.	Amortizaciones.....	94
9.4.	Coste total	95
10.	Conclusiones.....	96
	Referencias.....	97
	ANEXO I: Pliego de condiciones	100

1.	Introducción	100
2.	Especificación de materiales y equipos.....	100
2.1.	Cables de fibra óptica	100
2.1.1.	Cables multifibra	100
2.1.2.	Cables monofibra	102
2.2.	Cajas de distribución	103
2.3.	Cajas de abonado	104
2.4.	Divisores ópticos	105
2.5.	Punto de terminación de la red óptica.....	106
2.6.	Repartidor óptico	107
3.	Condiciones legales y contractuales	108
3.1.	Actas de recepción	108
3.2.	Responsabilidades del Ingeniero Junior.....	109
3.3.	Extinción del contrato	109
3.4.	Resolución de conflictos.....	109
ANEXO II: Planos y esquemas.....		110
1.	Área geográfica	110
2.	Red de acceso.....	112
2.1.	Unidades inmobiliarias	112
2.2.	Centrales FTTH	115
2.3.	Central FTTH Gran Vía de Bilbao	117
2.4.	Canalizaciones de Telefónica	122
3.	Red de transporte	123
3.1.	Unión de las centrales FTTH de Bilbao	123
3.2.	Unión de las centrales FTTH de Donostia.....	124
3.3.	Unión de las centrales FTTH de Vitoria	125
3.4.	Unión de los tres municipios	126

Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Arquitecturas FTTX	18
Ilustración 2: Arquitectura red PON.....	19
Ilustración 3: Comparación arquitectura XGPON WDM-PON.....	24
Ilustración 4: Evolución tecnologías de transporte.....	26
Ilustración 5: Arquitectura de un anillo WDM	29
Ilustración 6: OTN sobre DWDM.....	30
Ilustración 7: Secciones de red OTN.....	31
Ilustración 8: Trama OTN	32
Ilustración 9: Funcionalidades I/PMPLS y MPLS-TP	34
Ilustración 10: MPLS-TP sobre DWDM.....	34
Ilustración 11: Planos MPLS-TP	35
Ilustración 12: Diseño del plano de datos en MPLS-TP.....	36
Ilustración 13: Conjunto de funciones OAM de MPLS-TP.....	37
Ilustración 14: Bloques funcionales de la ONT.....	44
Ilustración 15: Funciones de calidad de servicio implementadas por la OLT y ONT.....	44
Ilustración 16: Arquitectura IP/WDM	47
Ilustración 17: Arquitectura IP/OTN.....	47
Ilustración 18: Área de cobertura geográfica.....	54
Ilustración 19: División área de cobertura de una central GPON	55
Ilustración 20: Arquitectura FTTH	64
Ilustración 21: Centrales FTTH Bilbao	65
Ilustración 22: Cobertura central FTTH ‘Gran vía’ en Bilbao.....	66
Ilustración 23: Arquitectura FTTH	67
Ilustración 24: CTO de interior	67
Ilustración 25: CTO de exterior	68
Ilustración 26: Instalación de cliente	68
Ilustración 27:Arquitectura FTTH	69
Ilustración 28: Clústeres central Gran Vía.....	70
Ilustración 29: Densidad de unidades inmobiliarias en Licenciado Poza y Alameda de Urquijo	70
Ilustración 30: Densidad de unidades inmobiliarias en Santa Ana	71
Ilustración 31: Arquitectura FTTH	72
Ilustración 32: Caja de empalme.....	72
Ilustración 33: Sectores de la central de Gran Vía	73
Ilustración 34: Arquitectura FTTH	74
Ilustración 35: OLT Huawei [21].....	74
Ilustración 36: Características OLT a utilizar	75
Ilustración 37: Conexión OLT con ODF.....	75
Ilustración 38: Canalización nodo Gran Vía.....	76
Ilustración 39: Módulos de la central de Gran Vía.....	77
Ilustración 40: Cable PKP de 64 fibras.....	78
Ilustración 41: Anillo de unión de 40 Gbps de las centrales FTTH en Bilbao	82
Ilustración 42: Anillo de unión de 40 Gbps de las centrales FTTH en Vitoria	83
Ilustración 43: Anillo de unión de 40 Gbps de las centrales FTTH en Donostia	84
Ilustración 44: Anillo de 100 Gbps de unión de los tres municipios	86
Ilustración 45: Diagrama de Gantt	90

Ilustración 46: Caja de empalme SAM 2	104
Ilustración 47: Especificaciones de las cajas de abonado SAM 3	105
Ilustración 48: Distribución de la señal a varios ONTs	105
Ilustración 49: Características del divisor óptico en función del número de salidas	106
Ilustración 50: Municipio de Bilbao.....	110
Ilustración 51: Municipio de Vitoria	111
Ilustración 52: Municipio de Donostia	111
Ilustración 53: Unidades inmobiliarias de Bilbao	112
Ilustración 54: Zoom unidades inmobiliarias de Bilbao	113
Ilustración 55: Unidades inmobiliarias de Vitoria	113
Ilustración 56: Zoom unidades inmobiliarias de Vitoria	114
Ilustración 57: Unidades inmobiliarias de Donostia	114
Ilustración 58: Zoom unidades inmobiliarias de Donostia	115
Ilustración 59: Centrales FTTH de Telefónica Bilbao	115
Ilustración 60: Centrales FTTH de Telefónica en Vitoria	116
Ilustración 61: Centrales FTTH de Telefónica en Donostia	116
Ilustración 62: Cobertura del nodo de Gran Vía de Bilbao	117
Ilustración 63: Unidades inmobiliarias bajo la cobertura del nodo de Gran Vía de Bilbao	118
Ilustración 64: Clústeres del nodo de Gran Vía de Bilbao	119
Ilustración 65: Zoom de los clústeres del nodo de Gran Vía	120
Ilustración 66: Sectores del nodo de Gran Vía de Bilbao	120
Ilustración 67: Módulos del nodo de Gran Vía de Bilbao.....	121
Ilustración 68: Canalizaciones de Telefónica.	122
Ilustración 69: Anillo de 40 Gbps de Bilbao	123
Ilustración 70: Anillo de 40 Gbps Donostia	124
Ilustración 71: Anillo de 40 Gbps Vitoria.....	125
Ilustración 72: Anillo de 100 Gbps	126

Lista de tablas

Tabla 1: Características estándar APON y BPON.....	21
Tabla 2: Características CWDM y DWDM.....	28
Tabla 3: Relación N°usuario/N°puertos GPON y XGPON OLTs Huawei.....	41
Tabla 4: Relación N°usuario/N°puerto GPON y XGPON OLTs ZTE	41
Tabla 5: Capacidad de las tecnologías de acceso.....	42
Tabla 6: Valores teóricos reales de las tecnologías de acceso por usuario	43
Tabla 7: Selección tecnología Red de acceso	46
Tabla 8: Monitorización del rendimiento.....	49
Tabla 9: Gestión proactiva de fallos [29].....	50
Tabla 10: Gestión de errores bajo demanda [29]	51
Tabla 11: Administración de control [29].....	51
Tabla 12: Selección tecnología Red de Transporte	51
Tabla 13: Centrales Telefónica Bilbao [32].....	57
Tabla 14: Centrales Telefónica Donostia [32]	57
Tabla 15: Centrales Telefónica Vitoria [32]	57
Tabla 16: % de líneas por operadora en las capitales del País Vasco [33]	58
Tabla 17: Tipos de ONT	58
Tabla 18: Atenuación de los componentes de una red GPON	59
Tabla 19: Combinación de divisores y cobertura	59
Tabla 20: Unidades inmobiliarias activas en cada central FTTH	61
Tabla 21: Volumen medio de cada central FTTH	62
Tabla 22: Capacidad OTU	62
Tabla 23: N° unidades inmobiliarias por clúster según el tipo de nivel de división.....	69
Tabla 24: Número y tipo de divisores de segundo nivel	71
Tabla 25: Número de sectores en función del nivel de división	72
Tabla 26: Número de fibras ópticas por módulo	77
Tabla 27: Código de colores de los tubos.....	78
Tabla 28: Número de fibras ópticas por módulo	79
Tabla 29: Volumen medio de tráfico de las centrales FTTH de Bilbao.....	81
Tabla 30: Volumen medio de tráfico de las centrales FTTH de Vitoria	83
Tabla 31: Volumen medio de tráfico de las centrales FTTH de Donostia	84
Tabla 32: Capacidad de los anillos de la unión de las centrales FTTH de cada ciudad	85
Tabla 33: Centrales FTTH con mayor concurrencia por ciudad	85
Tabla 34: Hitos del proyecto	91
Tabla 35: Horas dedicadas por el equipo de trabajo en cada tarea	93
Tabla 36: Total de horas dedicadas por el equipo de trabajo.....	93
Tabla 37: Horas internas	94
Tabla 38: Gastos	94
Tabla 39: Amortizaciones	95
Tabla 40: Coste total	95
Tabla 41: Acta de recepción	108

1. Introducción

Hoy en día, la tecnología es un factor predominante en las telecomunicaciones y uno de los principales retos que presenta es la demanda de ancho de banda. El gran incremento de la demanda de ancho de banda por parte de los usuarios implica que los operadores necesiten nuevos medios para satisfacerla. Para dar respuesta este reto, han ido surgiendo nuevas redes de transporte y de acceso, así como técnicas de conmutación basadas en el medio de transmisión que mayor velocidad soporta hasta ahora: la fibra óptica.

En este contexto se enmarca este trabajo de fin de máster en el que se presenta el diseño de una red FTTH para un operador global en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Este documento abordará tanto el diseño de la red de acceso como el diseño de la red de transporte.

A continuación, se presentan las distintas secciones de las que está compuesto este documento.

En el primer apartado, se presenta el contexto donde se explica la evolución y situación actual de las redes de transporte y de acceso. En el segundo, se desarrollan los objetivos del documento y el alcance de este. En el tercer apartado, se presentan los distintos tipos de beneficios que aporta el despliegue de la red, tanto social como técnico y económico.

En el estado del arte, se desarrolla una breve descripción de las diferentes tecnologías de la red de acceso y de transporte que se tendrán en cuenta en este documento. Se analizarán y compararán las diferentes alternativas para poder determinar que tecnología es la óptima para implantar en el diseño de red.

En el apartado de metodología, se procede a explicar y desarrollar, por un lado, el diseño de la red de acceso y, por otro, el diseño de la red de transporte.

Además de esto, se estudiará a grandes rasgos su presupuesto y se analizarán los posibles riesgos que se pudieran dar en su ejecución proponiendo soluciones de modo que se neutralicen y minimicen su influencia.

Por último, en el apartado conclusiones, se sintetiza el trabajo realizado tomando las ideas principales y resumiendo los resultados obtenidos.

2. Contexto

Las necesidades de comunicación de las personas en el mundo actual han ido evolucionando a lo largo de los últimos años. Esta evolución ha venido dada de la mano de la tecnología cuyo desarrollo ha permitido a los usuarios disponer de ella a unos precios asequibles. Actualmente, la mayoría de los usuarios de Internet poseen al menos dos dispositivos con los que compartir o visualizar contenido multimedia.

Así mismo, en los últimos tiempos, el intercambio de datos ha crecido de una forma considerable debido a la evolución de las formas de comunicaciones: aplicaciones de video, video en streaming, contenido en alta definición, videollamadas...

Las aplicaciones tradicionales eran tolerantes a retardos, pero no a pérdidas. Conforme ha ido creciendo el nivel de tráfico y se han ido introduciendo nuevas aplicaciones en tiempo real o multimedia, han surgido otras necesidades. La mayoría de las aplicaciones actuales son más tolerantes a pérdidas que a retardos.

En la actualidad, debido a la naturaleza de estas aplicaciones y servicios multimedia emergentes, es necesario proporcionar garantías de calidad de servicio (QoS) y ancho de banda disponible.

Existen tecnologías que dan respuesta a las demandas de capacidad y calidad de servicio, entre ellas HFC y FTTH/xPON, que se analizarán más adelante. Sin embargo, las operadoras y fabricantes de tecnología en materia de telecomunicación se están centrando en el desarrollo e implantación de la fibra óptica hasta el hogar.

Uno de los factores clave para la implantación de FTTH es la disminución casi total de los ruidos e interferencias. La información viaja a través de señales ópticas dejando a un lado las señales eléctricas. Esto permite eliminar las interferencias debidas a campos magnéticos y eléctricos. Esta reducción de ruidos e interferencias deriva en un aumento de la calidad y fiabilidad ofrecida a los usuarios.

Otro de los factores clave es la capacidad evolutiva de la fibra óptica. Esta es muy elevada puesto que la tecnología de láser sigue siendo un campo que presenta una evolución a la cual no se le vislumbra todavía un límite.

Las administraciones públicas han visto claro la necesidad de la implantación de esta tecnología y han iniciado la regulación para facilitar su despliegue.

Toda la normativa relativa al ámbito de las telecomunicaciones, está regulada por la CNMC [1] que es la Comisión Nacional del Mercado de la Competencia. Este organismo nace en 2013 agrupando lo que era la Comisión nacional de energía (CNE), la Comisión nacional de telecomunicación (CMT), la Comisión Nacional de la Competencia (CNC) y la Comisión Nacional del Sector Postal (CNSP). Es por ello, que toda la normativa publicada antes del 2013, relativa a las regulaciones del ámbito de las telecomunicaciones, aparece vinculada a la CMT. A partir del 2013, sin embargo, es la CNMC, es la encargada garantizar, preservar y promover el correcto funcionamiento, la transparencia y la existencia de una competencia efectiva en todos los mercados y sectores productivos, en beneficio de los consumidores y usuarios, incluido el ámbito de las telecomunicaciones.

En términos de la evolución de las diferentes partes e infraestructuras requeridas para la provisión de los servicios, en la red de acceso la evolución viene marcada por un aumento de los requerimientos de ancho de banda por parte de los clientes o usuarios, mientras que en el caso

de la red de transporte son las nuevas características del tráfico transportado (tráfico IP) así como las necesidades de gran capacidad en el transporte en la interconexión entre los diferentes nodos de la red los que marcan la evolución.

El punto final de la red de acceso se comporta como un nodo agregador que recibe todo el tráfico de los distintos usuarios y los transmite a los equipos de cabecera que forman la red de transporte. Por tanto, las capacidades de las que hacen uso los usuarios tienen que verse reflejadas en las capacidades de los sistemas de la red de transporte.

En estos momentos, las tecnologías que pueden proporcionar estas capacidades en las redes de transporte actuales son WDM, OTN y MPLS-TP.

En este contexto se enmarca este proyecto en el que se presenta el diseño de una red de acceso basada en la tecnología FTTH, y de una red de transporte, basada en la tecnología WDM/OTN. Las tecnologías implementadas en ambas redes son las que, hoy en día, proporcionan mayor ancho de banda y son capaces de cumplir con los requerimientos actuales de las aplicaciones y servicios más extendidos con un grado de madurez suficientemente probado para garantizar la QoS necesaria en los servicios proporcionados.

3. Objetivos y alcance del proyecto

El objetivo de este proyecto es el diseño de una infraestructura de fibra óptica residencial en la Comunidad Autónoma del País Vasco, adoptando la posición de un operador. Para ello, será necesario diseñar tanto la red de transporte como la red de acceso. De esta forma, se proporcionará a los clientes potenciales servicios de telefonía, datos y televisión.

El objetivo global del proyecto se abordará en base a unos objetivos parciales que se enumeran a continuación:

1. Los objetivos parciales para el diseño de la red de acceso son:
 - Estudio de las tecnologías y designación de las tecnologías óptimas a utilizar.
 - Diseño de la red de distribución, encargada de llevar la fibra hasta la casa del usuario.
 - Diseño de la red de alimentación, encargada de transmitir los datos desde la cabecera central hasta la red de distribución.
 - Dimensionamiento de los equipos de cabecera en función del número final de usuarios.

2. Los objetivos parciales para el diseño de la red de transporte:
 - Estudio de las tecnologías y designación de las tecnologías óptimas a utilizar.
 - Dimensionamiento de los equipos de red en base a los requerimientos marcados por la red de acceso y los servicios.
 - Diseño de la topología de la red.

La principal barrera de entrada para la construcción de una red de acceso y transporte es su elevado coste económico siendo necesaria la utilización de canalizaciones y conductos ya existentes. Por esta razón, con el objetivo de abaratar costes de operación, instalación y mantenimiento, se va a hacer uso de la infraestructura ya existente de Telefónica. Esta infraestructura está regulada por la Comisión Nacional del Mercado de la Competencia [1] lo que permite un uso por parte de terceros de forma sencilla, asequible y fiable.

4. Beneficios

Este trabajo de fin de máster, como se ha descrito en los apartados anteriores, aborda el diseño de una infraestructura de fibra óptica residencial en la Comunidad Autónoma del País Vasco. A continuación, se van a describir los beneficios económicos, técnicos y sociales que se obtienen a raíz de ese diseño.

4.1. Beneficios económicos

Los principales beneficios económicos se ven reflejados en el aumento de ingresos por parte de las operadoras.

Por un lado, el beneficio directo de la propia infraestructura y tecnología frente a otras. A pesar de que el despliegue de una red de fibra óptica tiene una gran inversión inicial debido a la obra civil necesaria, esta se ve rápidamente amortizada debido a la reducción de los gastos de mantenimiento y operación frente a la infraestructura de cobre.

Por otro lado, debido a las altas capacidades y características que la propia fibra óptica ofrece, los operadores tienen la posibilidad de aumentar los servicios ofertados a los usuarios como, por ejemplo, servicios multimedia, VoIP, etc...

Además, con la mejora de los productos ofertados por parte de las operadoras, se podría conseguir una mayor productividad de las empresas que utilicen esos servicios redundando también en un aumento de las riquezas de dichas empresas. Esto se traduce en un aumento del PIB a nivel general.

4.2. Beneficios sociales

El principal beneficio social es el aumento de la competencia y de la oferta de conexión. Esto deriva en una reducción de los precios y una mejora de los servicios ofrecidos.

Además, con el despliegue de banda ancha a grandes velocidades, se pueden ofrecer una mayor variedad de servicios que con tecnologías anteriores a esta, como el cobre. Algunos de estos servicios son: VoIP, video conferencias, video llamadas, servicios multimedia, etc.

Esto da lugar al desarrollo de muchas otras aplicaciones, en diferentes ámbitos, beneficiosas para la sociedad que mejoran la calidad de vida de las personas como la sanidad, educación, consultas del tráfico en tiempo real, etc.

4.3. Beneficios técnicos

Una de las razones por las que se está imponiendo la fibra óptica y las tecnologías que utilizan a esta como medio de transporte son los beneficios técnicos que aporta.

Por un lado, la gestión de operación y mantenimiento de los equipos. La fibra óptica está libre de interferencias y transitorios por tratarse de señales lumínicas y no eléctricas, lo que significa un menor número de incidencias dando lugar a un servicio mucho más estable.

Por otro lado, ofrece una mayor capacidad de transmisión de datos. Esto permite ofrecer un mayor número de servicios por parte de los operadores y da lugar al desarrollo de nueva aplicaciones y servicios exigentes.

Por último, los equipos de las tecnologías basadas en fibra óptica tienen una eficiencia energética mayor ya que la energía consumida por bit transmitido es visiblemente menor.

Todos estos beneficios hacen de las redes basadas en la fibra óptica la apuesta del futuro de las telecomunicaciones ya que su correcto diseño y despliegue supone mayores prestaciones para los usuarios y mayor beneficio para las operadoras, entre otras.

5. Estado del arte

5.1. Red de acceso

La red de acceso es la red de telecomunicaciones que conecta a los usuarios finales de Internet con el proveedor de servicios. Representan el segmento de red que se extiende entre el primer nodo de red del operador y la vivienda del usuario. Este último tramo se conoce como bucle de abonado o última milla.

Las redes de acceso están formadas por los siguientes elementos:

- Medio físico de transmisión: Par trenzado, cable coaxial, fibra óptica o aire.
- Equipos de telecomunicaciones: DSL router, equipos de acceso vía radio (Wifi, Wimax...), equipos de acceso PON (ONT, splitter,...)
- Empalmes y dispositivos de interconexión.

En los últimos años, las tecnologías de acceso de banda ancha han experimentado un gran aumento de sus prestaciones permitiendo el consumo masivo de datos por parte de los clientes de todo tipo de servicios (distribución de televisión, descarga de contenidos o juegos on-line). De esta forma, las operadoras han podido ofrecer a sus clientes servicios triple play aumentando de forma significativa la competencia entre ellas y la captación de clientes.

Sin embargo, la red de acceso es la parte de la red de un operador que mayor coste tiene siendo necesaria una fuerte inversión. Por ello, la selección de la tecnología a implementar debe realizarse de forma exhaustiva y teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Los servicios ofrecidos pueden verse condicionados por la tecnología seleccionada. Las tecnologías condicionan el ancho de banda disponible para cada cliente y, como consecuencia, los servicios que las operadoras pueden ofrecer.
- La inversión inicial necesaria puede verse aumentada excesivamente en función de la tecnología a desplegar. Los costes de instalación, operación y mantenimiento no son los mismos para todas las tecnologías por lo que será necesario encontrar un equilibrio entre el ancho de banda disponible y la inversión inicial necesaria.
- La tecnología debe ser actual y con vistas a futuro

En los últimos años, la fibra óptica se ha convertido en el principal medio de transporte en redes para la distribución de los servicios. Las redes de fibra óptica resuelven la problemática del cuello de botella del acceso aumentando el ancho de banda y la calidad de servicio. Además, se reducen los costes del equipo y de mantenimiento.

Por estas razones, la fibra óptica se está implantando no sólo en la red de transporte, sino que también en la red de acceso. Hasta hace unos años, esta parte de la red se basaba en el cobre coexistiendo las tecnologías xDSL y HFC. Sin embargo, debido al aumento de la demanda de ancho de banda por parte de los clientes y la aparición de servicios de alta velocidad ha sido necesaria una evolución del medio de transmisión y tecnología del bucle de abonado.

Desde mediados de la década de los 90, los diferentes operadores de telecomunicaciones han estado trabajando en una red de acceso que permitiera al usuario un acceso en banda ancha a través de fibra óptica con costos similares a una red tradicional (xDSL) dando lugar a la siguiente arquitectura de red de acceso:

- Por la cercanía del tramo de fibra al domicilio del cliente: FTTX
- Por el uso de elementos pasivos/activos: Redes PON

5.1.1. Sistemas de transmisión óptica FTTx

Las redes FTTx [2] utilizan como medio de transporte la fibra óptica y sistemas de distribución ópticos para proporcionar servicios de banda ancha como el triple play, telefonía, televisión e internet a gran velocidad.

El término FTTx (Fiber to the X, donde la X puede representar diferentes puntos en el tramo de red del bucle de abonado) se utiliza para representar la arquitectura utilizada en las redes de acceso construidas, en su totalidad, mediante fibra óptica. Dependiendo de la cercanía del tramo de fibra al cliente final se realiza la siguiente clasificación:

- FTTN (Fiber to the Node/Neighborhood/Fibra hasta el nodo): La fibra llega hasta el vecindario dando servicio a entre 500 y 1000 clientes. Desde la central al edificio hay una distancia de entre 1.5 a 3 km. El último tramo hasta el usuario es de cable coaxial o par trenzado.
- FTTC (Fiber to the curb/Fibra hasta la acera): La fibra llega hasta un bloque de edificios o una manzana. La fibra termina en una plataforma a la que estarán conectados los usuarios mediante cable coaxial o par trenzado. La diferencia con respecto a FTTN es que la distancia entre el nodo y el usuario es menor. En cambio, la cobertura es menor que en FTTN dando servicio a entre 200 y 500 clientes.
- FTTB (Fiber to the building/Fibra hasta el edificio): La fibra llega hasta el interior del edificio donde hay una terminación óptica para todos los usuarios del edificio. Desde esta terminación hasta la casa de cada cliente se hace uso de cobre. Con esta arquitectura se da servicio entre 35 y 50 clientes.
- FTTH (Fiber to the home/Fibra hasta el hogar): La fibra hasta la casa del usuario final. La presencia del cable de cobre es prácticamente nula lo que permite ofrecer velocidades mayores que en las arquitecturas descritas anteriormente.

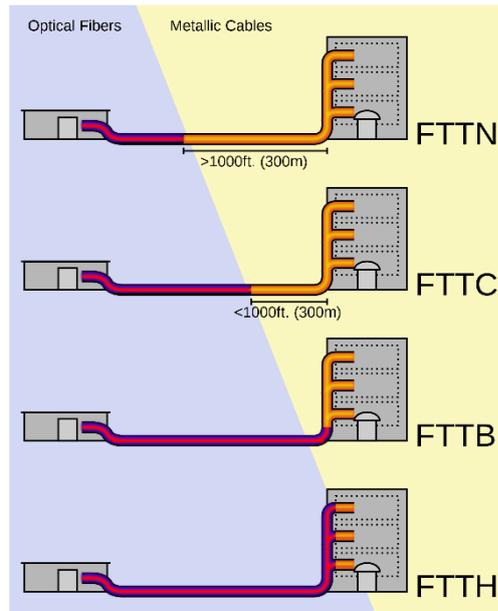


Ilustración 1: Arquitecturas FTTX

5.1.2. Redes PON

La red PON (Passive Optical Network) [3] es una red óptica que lleva una conexión de fibra óptica hasta el destino final, ya sea la casa del cliente (FTTH), un bloque de edificios (FTTC) o un edificio (FTTB). La característica principal de este tipo de redes es que son redes pasivas, es decir, todos sus componentes son pasivos y no necesitan alimentación por lo que su coste se reduce considerablemente.

Esta red es una red óptica punto multipunto (P2MP) de tal forma que permiten el despliegue de una sola fibra óptica desde la cabecera de red hasta un punto a partir del cual se pueden derivar un cierto número de ramificaciones para dar servicio a otros tantos abonados. Esta ramificación se realiza mediante divisores ópticos en una o dos etapas.

5.1.2.1. Arquitectura

Las redes PON están principalmente compuestas por tres elementos:

- OLT (Optical Line Termination): Elemento pasivo ubicado en la central óptica.
- ONT (Optical Network Termination): Elemento ubicado en las ubicaciones de los clientes.
- Splitter: elemento encargado de direccionar las señales provenientes del OLT al ONT y viceversa.

La característica principal de la arquitectura PON consiste en compartir una misma fibra para dar servicio a varios clientes. De esta forma, se reduce el número de fibras necesarias, el coste de despliegue y el coste de mantenimiento.

Para conectar varios usuarios al mismo segmento físico se utilizan los divisores ópticos. Estos dispositivos dividen la señal proveniente del OLT en varias señales distribuyéndolas hacia múltiples fibras que acabaran en el ONT del cliente. También combinan dentro de una misma

fibra las señales provenientes de las distintas ONTs para transportarla hasta la OLT. Todos los equipos que forman parte de la arquitectura PON se definirán más adelante en el documento.

A continuación, se muestra la arquitectura general de una red PON.

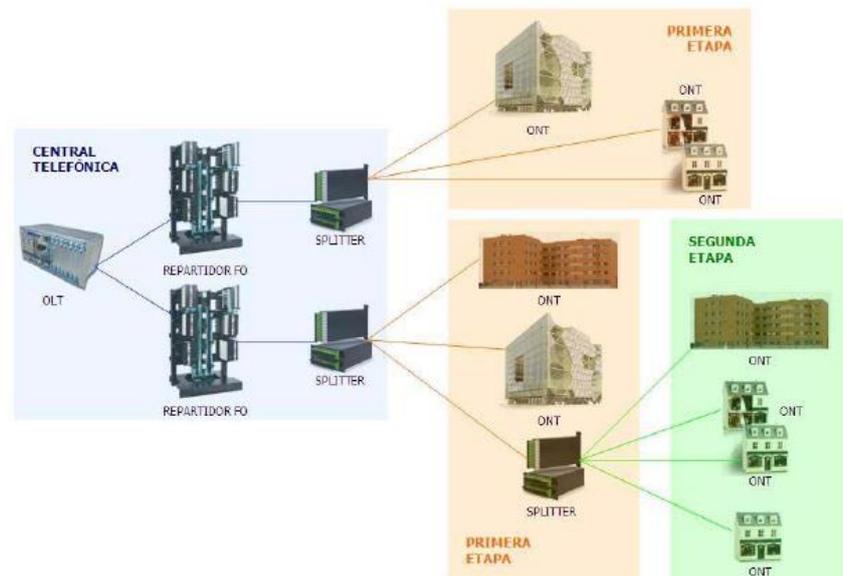


Ilustración 2: Arquitectura red PON

Esta arquitectura se puede dividir en cuatro partes: La central telefónica, la red de alimentación, la red de distribución y la red de dispersión.

En la central telefónica se encuentra el OLT encargado de interconectar la red de telefonía y los servicios de Internet con la red de distribución óptica. El cable de salida del OLT transporta la señal desde la cabecera hasta los ONT pasando por los divisores ópticos. Las señales transmitidas son multiplexadas o demultiplexadas por los divisores ópticos en una o dos etapas conectando los divisores en serie.

La red de alimentación se encarga de distribuir la señal desde la central hasta las cajas de distribución donde se encuentra la primera etapa de división (en caso de que exista). Si la red únicamente estuviese formada por una etapa de división, no habría red de alimentación.

Al número de etapas se le denomina nivel de división. En función del nivel de multiplexación empleada se ofrecerá el servicio a un número determinado de usuarios con la misma fibra óptica.

Además, el nivel de multiplexación afecta tanto al ancho de banda disponible para los clientes como a la atenuación de la señal óptica desde el origen hasta el destino. No es lo mismo compartir una misma fibra para 128 usuarios que para 64 usuarios. Cuanto mayor sea el número de usuarios, mayor tendrá que ser la compartición de recursos lo que se resume en menor ancho de banda disponible para cada usuario. Además, cada divisor óptico de 1:2 introduce unas pérdidas de 3dB. Estos factores se tendrán que tener en cuenta a la hora de realizar el diseño.

La red de distribución se encarga de distribuir la señal desde las cajas de distribución hasta las cajas terminales, donde se encuentra la segunda etapa de división. Si solo existiese una etapa de división, esta etapa se encontraría en las cajas terminales.

Por último, la red de dispersión es la parte situada entre las cajas terminales y los ONTs. Estos equipos se encuentran en las casas de los clientes y se encargan de convertir la señal óptica en una señal de banda ancha Ethernet.

5.1.2.2. Equipos de la red PON

Como ya se ha comentado anteriormente, en una red PON se distinguen tres elementos claramente diferenciados: OLT, ONT y divisores ópticos. Cada uno de estos elementos tiene una función necesaria dentro de la red. A continuación, se explica en detalle estas funciones junto con sus características principales.

5.1.2.2.1. OLT

La OLT (Optical Line Terminator) es el único elemento activo de la red PON y se encuentra en la cabecera central. Este equipo se encarga de gestionar los tráficos que se transmiten por la red tanto en sentido ascendente (recoge el tráfico de datos, voz y video de los ONTs de los usuarios a la red) como descendente (recoge el tráfico de voz, datos y video desde la red a los ONTs de los usuarios).

Cada OLT adquiere los datos de tres fuentes diferentes concentrando todas ellas para enviarlas a través de una misma fibra óptica: Internet, voz y televisión.

Además, el OLT también tiene la tarea de evitar interferencias entre los distintos servicios y los dos canales, ascendente y descendente. Para ello, utiliza la multiplexación por división de longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing). Con esta tecnología se multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda. Las longitudes de onda utilizadas para los servicios y canales varían dependiendo del estándar PON utilizado.

5.1.2.2.2. ONT

El ONT (Optical Network Terminal) es el punto de terminación de red entre el bucle local y el cableado de la instalación del cliente. Este equipo se encuentra en cada casa de cliente y se encarga de convertir la señal óptica que llega de la OLT en una señal de banda ancha Ethernet demultiplexando la señal en sus componentes: Telefonía, Televisión e Internet.

La transmisión de datos del canal descendente se realiza mediante difusión. Cada puerto de la OLT da servicio a varias ONTs por lo que todas las ONT recibirán la misma señal. Todas las ONTs de un mismo PON reciben todas las tramas. Las ONTs reciben la señal óptica y únicamente deja pasar al abonado la información que va destinada a este.

Cada ONT tiene la tarea de filtrar todos los mensajes recibidos y de seleccionar únicamente la información que va dirigido al mismo. Los datos de usuario van encriptados de tal forma que una ONT no puede ver los datos que no le correspondan.

Además, también se encarga de enviar los datos del cliente a la OLT a través del canal ascendente utilizando la técnica DBA (Dynamic Bandwidth allocation). Esa técnica permite compartir el ancho de banda según las necesidades de los flujos de datos y de forma equitativa entre las diferentes ONTs.

Las ONTs envían mensajes DBRu informando a la OLT de sus necesidades de ancho de banda. La OLT recibe los mensajes de todas las ONTs teniendo una visión general de las necesidades y estado de la red. Mediante mensaje BWmap la OLT envía a todas las ONT tickets que indican el turno en el que cada ONT puede enviar sus datos.

5.1.2.2.3. Divisor óptico

Los divisores ópticos son los elementos pasivos de la red que permiten la conexión punto a multipunto entre la OLT y las ONTs de los clientes. Gracias a estos elementos se puede compartir una misma fibra óptica entre varios usuarios finales.

La señal que proviene de la OLT accede por el puerto de entrada y se divide entre los puertos de salida hacia las ONTs u otros divisores. En cambio, las señales que proceden de las ONTs u otros divisores se combinan en la entrada.

Los divisores ópticos se implementan en cascada utilizando divisores con relación 1:2. Por tanto, si se quisiese implementar un nivel de división óptico 1:64 se utilizarían 6 divisores en cascada.

Sin embargo, los divisores ópticos introducen pérdidas de potencia sobre las señales. Los divisores con relación 1:2, donde la señal de entrada se distribuye en dos señales diferentes, resultan unas pérdidas de 3 dB. La relación matemática entre las pérdidas introducidas por el divisor, y el número de salidas del mismo es:

$$\text{Atenuación} = 10 \text{Log} \frac{1}{N}$$

5.1.2.3. Estándar PON

Los estándares PON han sido desarrollados por la ITU-T y, todos ellos, se recogen en las recomendaciones G.983.x, G.984.x o G.987.x. Estos son los siguientes:

- APON (ATM Passive Optical Network): Recomendación G.983.1 [4]
- BPON (Broadband Passive Optical Network): Recomendación G.983.2 [5]
- GPON (Gigabit Passive Optical Network): Recomendación G.984 [6]
- NGPON (Next Generation Passive Optical Network): Recomendación G.987 [7]

APON es el primer estándar desarrollado para las redes PON. Se caracteriza por utilizar el protocolo ATM como portador y se adecua a las distintas arquitecturas de acceso: FTTH, FTTC, FTTB... Los sistemas BPON se basan en el estándar anterior, pero permiten dar soporte a otros estándares de banda ancha.

En la siguiente tabla, se muestra una relación de las velocidades de los canales ascendentes y descendentes y la distancia máxima entre la central y el ONT del usuario de ambos estándares.

Tecnología	Estándar	Velocidad (Mbps)		Distancia
		Bajada	Subida	
APON	UIT-T G.983.1	155, 622	155, 622, 1244	20 km
BPON	UIT-T G.983.3	155, 622	155, 622, 1244	20 km

Tabla 1: Características estándar APON y BPON

Ambos estándares se encuentran ya obsoletos por lo que se centrará este análisis en los estándares GPON y NGPON que son los que actualmente se están implementando gracias a la mejora de prestaciones respecto a otros estándares y las altas velocidades ofrecidas.

5.1.2.3.1. GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network)

GPON es el estándar más avanzado de todo el conjunto de estándares de la familia xPON. Este estándar se encuentra estandarizado bajo la norma ITU-T G.984.x [6].

Las mejoras que ofrece GPON respecto de todos los estándares anteriores a él son el aumento del ancho de banda de transmisión y la aportación de una seguridad a la propia red a nivel de protocolo.

Este estándar permite velocidades de transmisión que se encuentran entre los 622 Mbit/s hasta los 1,2 Gbit/s en sentido ascendente y entre los 1,2 Gbit/s hasta los 2,4 Gbit/s en sentido descendente.

La distancia máxima lógica entre la ONT y la OLT, salvo el límite de la capa física, es de 60 km. Sin embargo, para la distancia máxima teniendo en cuenta el límite de capa física se definen dos distancias: 10 km para altas velocidades como 1,25 Gbit/s o superior, o 20 km.

Las longitudes de onda definidas en el estándar GPON para los datos (Internet, VoIP, IPTV,...) para el canal ascendente descendente son las siguientes:

- Tráfico de datos para canal descendente: 1490 nm
- Tráfico de datos para canal ascendente: 1310 nm

Además, se asigna una tercera longitud de onda únicamente dedicada para el broadcast de video desde la OLT hasta las ONTs.

- Video: 1550 nm

De esta forma, el servicio de video/TV puede ser ofrecido mediante dos métodos distintos por parte de las operadoras: RF (radio frecuencia) e IPTV. Así, se puede realizar una migración gradual de RF hacia IPTV.

En cuanto al nivel de división, se establece una relación 1:64.

Además, la red de acceso es la parte de la red más cercana al usuario final y está caracterizada por la abundancia de protocolos y servicios. GPON emplea un método de encapsulación denominado GEM (GPON Encapsulation Method) que permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, ATM, etc...) en un protocolo de transporte.

GPON también implementa capacidades de OAM (Operation Administration and Maintenance) ofreciendo una gestión del servicio extremo a extremo. Algunas de estas funcionalidades son: gestión de configuración, gestión de la calidad de funcionamiento, gestión de averías o gestión de seguridad.

5.1.2.3.2. XGPON (10 Gigabit Passive Optical Network)

El estándar XG-PON trabaja sobre la red óptica pasiva de GPON y se encuentra recogido en la recomendación ITU-T G.987 [7]. Los principales objetivos son incrementar el ancho de banda y el alcance de GPON reutilizando en lo máximo posible la red óptica instalada.

Las velocidades soportadas por ese nuevo estándar son las siguientes:

- Canal ascendente: 2,5 Gbit/s o 10Gbit/s
- Canal descendente: 10 Gbit/s

Algunas de las arquitecturas de las redes ópticas existentes permiten conseguir la coexistencia entre GPON y XG-PON. Por esta razón, la banda de longitudes de onda empleadas por XG-PON es distinta a las de GPON. A continuación, se muestran las longitudes de onda definidas en G.987.1 [7].

- Canal ascendente: 1260-1280 nm
- Canal descendente: 1575 a 1580 nm

La ITU-T ha definido un proceso de migración gradual de las redes GPON a las XG-PON. Tanto los costes como el consumo energético son superiores en las redes XG-PON y, en estos momentos, la comercialización de esta tecnología comienza a implantarse en España. Las necesidades de ancho de banda a medio plazo pueden ser cubiertos por GPON. Por esta razón, GPON y XG-PON coexistirán durante varios años.

5.1.2.3.3. WDM-PON (Wavelegth Division Multiplexing Passive Optical Network)

El estándar WDM-PON, también conocido como NG-PON2, se encuentra definido en la recomendación ITU-T G.989 [8]. WDM-PON es más sencillo que el resto de tecnologías PON ya que, aunque se conserve a nivel físico la misma arquitectura punto a multipunto, a nivel virtual a cada ONU se le asigna una longitud de onda dedicada. Sin embargo, la longitud de onda también puede ser compartida por varios abonados a través de una MDU (Multi-Drawing Unit).

Las velocidades soportadas por este estándar son las siguientes:

- Canal ascendente: Hasta 10 Gbit/s.
- Canal descendente: Hasta 40 Gbit/s.

La distancia máxima entre la central y el usuario depende de la velocidad que se quiera obtener. Para una velocidad ascendente de 40 Gbit/s y descendente de 10 Gbit/s la distancia máxima es de 20 km. Sin embargo, para una velocidad ascendente de 10 Gbit/s la distancia máxima aumenta hasta los 40 km.

El nivel de división depende de la velocidad que se quiera conseguir y de la distancia a la que se encuentre el usuario de la central. Para una velocidad descendente de 40 Gbit/s o ascendente de 10 Gbit/s con 20 km, el nivel de splitteo desde 1:64. En cambio, para una velocidad de 10Gbit/s con 40 km, el nivel de división desde 1:32.

Mientras que el estándar XG-PON trabaja sobre la red óptica pasiva de GPON y permite la coexistencia entre ambos estándares sin hacer cambios en la arquitectura de red, WDM-PON requiere ciertos cambios. El splitter utilizado en GPON y XG-PON se sustituye por un multiplexor/demultiplexor de longitudes de onda o AWG (Arrayed Wavelength Grating).

El AWG es un componente pasivo que dirige cada longitud de onda a la ONU correspondiente con unas pérdidas muy bajas (8 dB frente a los 20 dB del divisor 1:64). Mientras que el splitter divide la señal entrante en un número determinado de señales salientes, el AWG dirige cada longitud de onda entrante a una salida determinada.

Por tanto, no es necesario transmitir los datos en el canal descendente mediante difusión. Los usuarios tienen una longitud de onda dedicada, es decir, un canal dedicado por lo que los clientes no recibirán la misma señal.

Como ya se ha comentado, la arquitectura y el funcionamiento del estándar GPON y XGPON es similar. Sin embargo, no lo es en el caso del estándar WDM-PON. En la siguiente imagen se comparan dos escenarios: El primero corresponde a una red XGPON o GPON mientras que el segundo corresponde a una red WDM-PON.

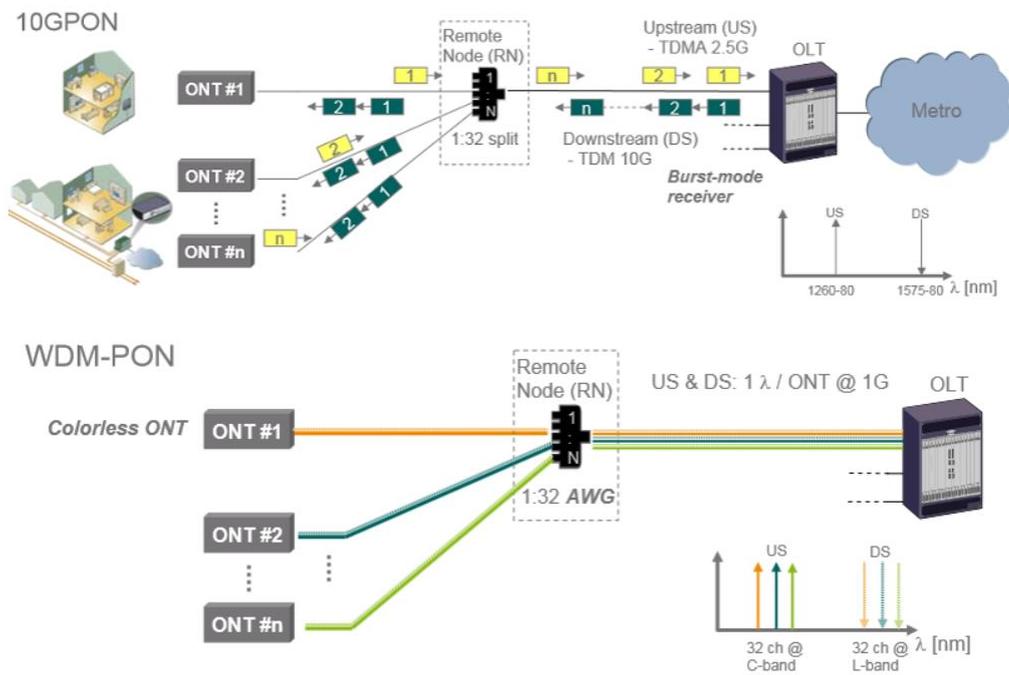


Ilustración 3: Comparación arquitectura XGPON WDM-PON

5.2. Red de transporte

La red de transporte es la parte de la red encargada de la transferencia de información de usuario de una ubicación a otra de forma unidireccional o bidireccional (ITU G.805 [9]). Además, también transfiere diversas clases de información de control de red, tales como la señalización e información de operaciones y mantenimiento.

En resumen, la red de transporte es la parte de la red encargada de la transmisión de cualquier tipo de tráfico entre los distintos nodos y puntos de las múltiples redes de acceso enlazando diferentes servicios, como telefonía, redes LAN, redes privadas...

Esta red está constituida por un medio de transmisión de gran capacidad que permite la transferencia de grandes volúmenes de información y un sistema de transmisión que permite la multiplexación de todo el tráfico proveniente de todos los servicios y nodos de un determinado punto de la red a otro. El tipo de tráfico que viaja a través de las redes de transporte es transparente para la red, es decir, son las capas superiores las que se encargan de la adaptación del tráfico en el destino.

Las redes de transporte han ido evolucionando aportando las soluciones necesarias para soportar el aumento del tráfico.

A finales de los años 90, las capacidades de las redes de transporte se vieron sensiblemente mejoradas con la introducción del modo de transferencia asíncrona (asynchronous transfer mode, ATM [10]) basada en la conmutación de paquetes. Esta tecnología alcanza desde los

25 Mbps hasta los 622 Mbps y, lo que empezaba ya a ser también importante, soportaba la clasificación de tráfico en nivel del grado calidad de servicio (QoS) requerido.

La evolución de esta tecnología fue la introducción de las señales del reloj, que llegó con la tecnología PDH [11]. Esta evolución no solo supuso un aumento de la capacidad, sino que también de la fiabilidad en la transmisión de datos.

Sin embargo, esta tecnología tiene las siguientes limitaciones:

- No permite fácilmente extraer tributarios de baja capacidad de jerarquías superiores.
- Difícil operación, administración y mantenimiento.
- Problemas con la sincronización de todos los relojes de los distintos equipos que forman la red (ya que los equipos no utilizan un único reloj y por tanto no están sincronizados con la misma señal).

El siguiente paso fue la tecnología SDH [12] que introdujo el concepto de reloj único en toda la red. Mientras que en PDH es necesario sincronizar los afluentes debido a la plesiocronidad, en SDH existe un único reloj que sincroniza toda la red. Con esta tecnología se aumenta la capacidad de transmisión y se mejora la fiabilidad de la transmisión del dato simplificando los métodos de detección de errores y pérdidas de paquetes.

Tanto PDH como SDH utilizan únicamente la fibra óptica como medio de transmisión. En ambas tecnologías, se combinan las señales digitales, denominadas señales tributarias, en una señal digital de velocidad superior mediante multiplexores. Todas las funciones de amplificación, inserción de señales o extracción de señales se realizan en el dominio eléctrico.

Con el objetivo de aumentar las capacidades de transmisión y aprovechar todas las características de la fibra óptica, hubo una evolución de las señales basadas en el espectro eléctrico a las señales basadas en el espectro lumínico. Esta evolución vino de la mano de la tecnología WDM (Wavelength Division Multiplexing).

Esta tecnología utiliza la multiplexación en longitud de onda para la transmisión simultánea de señales ópticas de múltiples fuentes sobre una sola señal óptica, mediante portadoras de diferente longitud de onda.

Sin embargo, WDM presenta inconvenientes de gestión y detección de errores por lo que, en ocasiones, se utilizan en conjunto con OTN (Optical Transport Network), solución implementada para solventar dicha limitación.

Ambas tecnologías son las predominantes en las redes de transportes actuales y, por tanto, son las que se van a detallar y analizar a continuación.

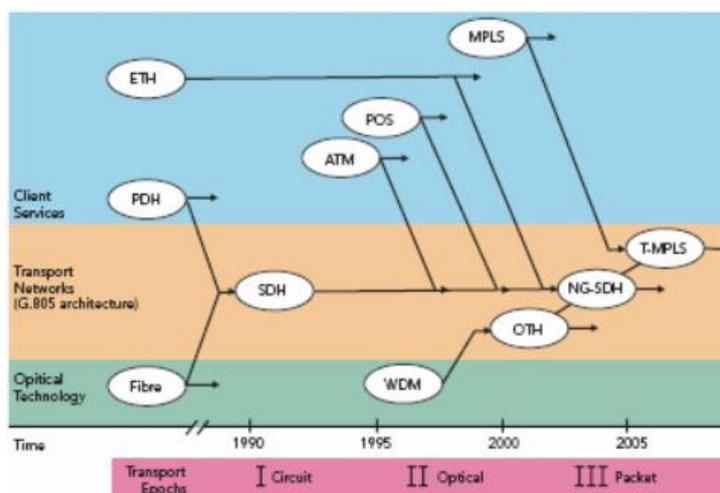


Ilustración 4: Evolución tecnologías de transporte

5.2.1. Multiplexación por división de longitud de onda (WDM)

5.2.1.1. Definición

WDM [13] es una tecnología de multiplexación que permite la transmisión de varias señales ópticas de diferentes longitudes de onda sobre una sola fibra óptica, mediante portadoras ópticas de diferentes longitudes de onda dentro del espectro óptico.

Esta tecnología transporta cada una de las señales de forma independiente sin interferir unas con otras. Cada portadora óptica forma un canal óptico que puede ser tratado de forma independiente del resto de canales. Los canales tienen su propio ancho de banda dedicado y pueden contener diferente tipo de tráfico.

A cada canal a transmitir se le asigna una longitud de onda que responderá a un color de luz específico. Si se desea transmitir varios canales, cada uno de ellos dispondrá de un color que se transmitirán por una única fibra óptica. En la parte final del medio, las señales serán demultiplexadas.

5.2.1.2. Clasificación

Existen dos subtipos de WDM:

- Multiplexación por longitud de onda simple (CWDM, Coarse WDM)

En la multiplexación CWDM el espacio entre los distintos canales es de 20 nm. Teniendo en cuenta que los canales se encuentran en el intervalo 1270-1610 nm, el número de canales máximo es de 18.

Esta tecnología es utilizada en redes de corto alcance, LAN y MAN. La señal utilizada para la transmisión de los diferentes canales no está amplificada, lo cual permite mantener los costes bajos, pero también limita las distancias máximas de propagación.

- Multiplexación por longitud de onda densa (DWDM, Dense)

En la multiplexación DWDM la separación entre canales no es fija como en el caso de CWDM, sino que varía en función del número de canales que se desee obtener. El número mínimo de canales es de 40 (100 GHz) mientras que el número máximo de canales es de 320 (12,5 GHz).

Esta tecnología es utilizada en redes de largo alcance, ya que la distancia máxima es ilimitada. Para ello, es necesario el uso de amplificadores de alta ganancia, filtros de alta precisión para separar las longitudes de onda y láseres de precisión para mantener los canales en el objetivo exacto.

La necesidad de un equipamiento tan potente y específico hace que el coste de esta tecnología sea elevado y superior al de CWDM.

Característica	CWDM	DWDM
Número de canales	18	40 - 320
Longitudes de onda	1270 - 1610 nm	1530 - 1625 nm
Estándar ITU-T	G.694.2	G.694.1
Separación entre canales	20 nm	0,8 nm (100 GHz): 40 canales
		0,4 nm (50 GHz): 80 canales
		0,2 nm (25 GHz): 160 canales
		0,1 nm (12,5 GHz): 320 canales
alcance máx.	60 km	ilimitado (con amplificadores y repetidores)
Aplicación	LAN, MAN	MAN, WAN
Coste	Bajo	Medio - alto

Tabla 2: Características CWDM y DWDM

5.2.2. Multiplexación por división de onda densa (DWDM)

5.2.2.1. Definición

Como ya se ha mencionado, esta tecnología permite la transmisión simultánea de señales ópticas de diferentes longitudes de onda sobre una sola señal óptica, mediante portadores de diferente longitud de onda.

Las señales transmitidas a través de los canales ópticos resultantes son independientes unas de otras pudiendo ubicar diferentes tasas de bit. Además, estas señales también son independientes de la tasa de bit y protocolo de las capas superiores pudiendo transmitir señales SDH, Ethernet e IP.

Los sistemas DWDM pueden generar un gran número de canales cada uno de una longitud de onda diferente. La ITU-T define en la recomendación G.694.1 [6] una variedad de canales ópticos con un espaciamiento que va desde los 12,5 GHz hasta los 100 GHz, todos ellos en la tercera ventana (1550 nm).

5.2.2.2. Equipamiento

5.2.2.2.1. Transpondedor

El transpondedor tiene la función de convertir las señales eléctricas de los sistemas clientes (SDH, Ethernet...) en señales ópticas sobre las longitudes de onda disponibles en el sistema WDM, para luego ser multiplexadas ópticamente y enviarlas al receptor.

Si la señal entrante ya es una señal óptica, este equipo se encarga de adaptar la longitud de onda recibida a una longitud de onda estandarizada y susceptible de ser multiplexada/demultiplexada.

Además, también hacen de regeneradores de la señal en tres niveles:

- 1R Reamplificación: Amplificación de la señal realizada por los amplificadores ópticos
- 2R Retemporización: Filtración de la señal con el objetivo de separarla del ruido.
- 3R Regeneración: Amplificación y retemporización de la nueva señal.

5.2.2.2.2. Multiplexor

Los sistemas DWDM envían varias señales con diferentes longitudes de onda sobre una misma fibra óptica. Los multiplexores reciben las múltiples señales entrantes y las hacen converger en un haz, mediante prismas y en base a las propiedades de la luz, para transmitirlo sobre una única fibra óptica. En cambio, los demultiplexores realizan la función contraria separando el haz en señales ópticas para transmitir las por las fibras individuales.

Sin embargo, estos equipos no solo se utilizan como multiplexores/demultiplexores sino que también realizan las siguientes funciones:

- Extracción e inserción de canales ópticos (OADM)
- Conmutador óptico cruzado (OXC)
- Multiplexores ópticos terminales (OTM)

5.2.2.2.3. Amplificador

Los amplificadores ópticos tienen como función aumentar la potencia de la señal multiplexada para después transmitirla a través de la fibra óptica. Los tipos de amplificadores utilizados en DWDM son:

- EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier): Amplificador óptico para aplicaciones monocanal o multicanal DWDM para bandas C o L. Es un equipo de baja ruido entre (3 – 6 dB) cuya potencia máxima de salida es de 25dBm.
- RAMAN: Amplificadores ópticos de ultrabajo ruido que se utilizan en combinación con EDFAs en aplicaciones monocanal o DWDM para enlaces de ultra larga distancia sin posibilidad de regeneración o amplificación intermedias.

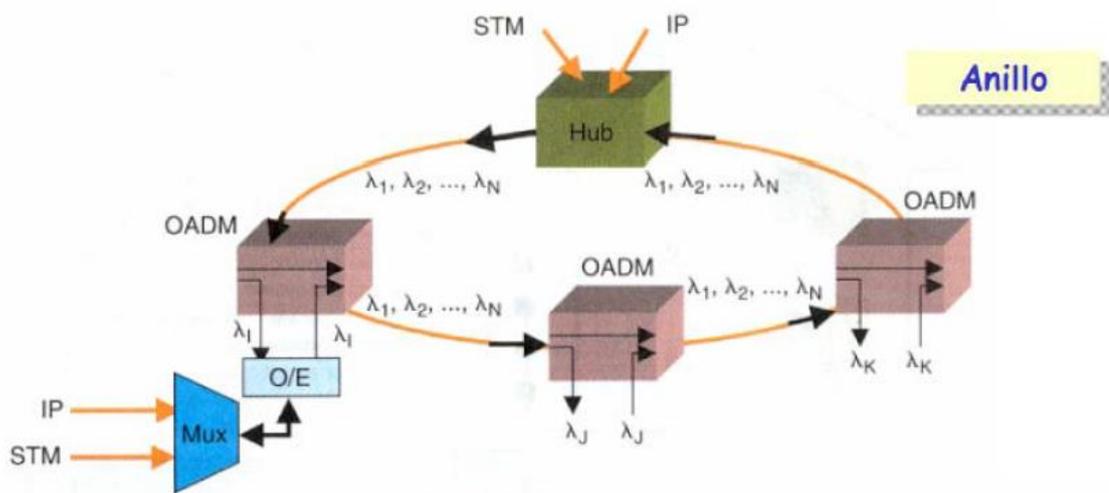


Ilustración 5: Arquitectura de un anillo WDM

5.2.2.3. Funcionamiento

Las señales entrantes eléctricas de los diferentes servicios, como por ejemplo SDH o IP, son convertidas por el transpondedor en señales ópticas cada una con una longitud de onda DWDM diferente.

Una vez convertidas, las señales ópticas son recibidas por el multiplexor que combina todas las señales en una única señal óptica que se transmitirá a través de la fibra óptica.

Tras transmitir la señal multiplexada por la fibra óptica, se realiza el proceso inverso para obtener la señal original. En primer lugar, se recibe en el demultiplexor que separa la longitud de onda única en varias longitudes de onda. Estas señales llegarán al transpondedor que hará la conversión en función del tipo de salida requerido.

Debido a las pérdidas que se producen en el proceso de multiplexación y demultiplexación se añaden amplificadores ópticos a la línea de transmisión con el objetivo de reducir las pérdidas aumentando la potencia de la señal.

5.2.3. Red óptica de Transporte (OTN)

5.2.3.1. Definición

El mayor inconveniente de la tecnología WDM es que no proporciona mecanismos de gestión y protección. La solución a esta problemática son las redes ópticas de transporte que combinan las ventajas de SDH con la capacidad de ancho de banda de la tecnología DWDM. De esta forma, las redes OTN aplican las funcionalidades de operación, administración, mantenimiento y provisión de la tecnología SDH en las redes ópticas DWDM [14].

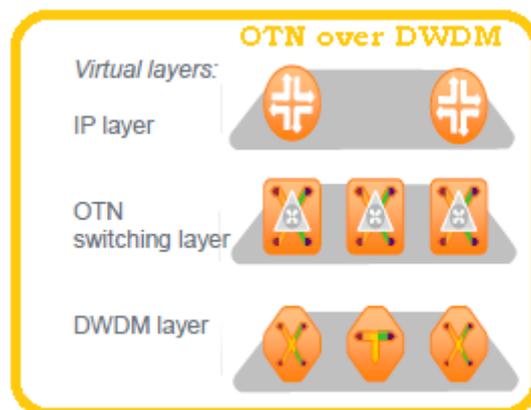


Ilustración 6: OTN sobre DWDM

Las redes OTN están compuestas por un conjunto de elementos ópticos conectados a través de enlaces de fibra óptica que proporcionan la funcionalidad de transporte, multiplexación, encaminamiento, gestión y supervisión de los canales ópticos que transportan la señal de los clientes.

Esta tecnología ofrece la posibilidad de actuar como contenedor digital ("digital wrapper"). Permite envolver cualquier servicio en un contenedor digital óptico proporcionando la transparencia de servicio necesaria que ofrece la flexibilidad para dar soporte a todo tipo de tráfico. El elemento clave de un contenedor digital es que permite implementar mecanismo de

control de errores (FEC) que mejoran la detección y/o corrección de los errores en enlaces ruidosos.

Además, esta tecnología permite adaptar el ancho de banda necesario en los canales DWDM de acuerdo a la necesidad de tráfico, sin desaprovechar capacidad dentro de la red.

Un sistema DWDM no permite una velocidad flexible por lo que se desaprovecha capacidad cuando la transmisión de los servicios es menor que la capacidad disponible en el canal. Si el tráfico es inferior a la capacidad del canal, sería necesario actualizar la longitud de onda correspondiente.

5.2.3.2. Secciones de red

Las redes OTN se componen de tres secciones:

- Sección de transporte óptico (OTS)
La sección de transporte óptico proporciona el transporte de la OMS (Sección de multiplexación óptica) a través de un camino óptico definiendo una interfaz física con parámetros como frecuencia, nivel de potencia y relación señal/ruido.
- Sección de multiplexación óptica (OMS)
La sección de multiplexación óptica (OMS) es el tramo que se encuentra entre multiplexor y demultiplexor proporcionando la conectividad de las señales ópticas de múltiples longitudes de onda.
- Canal óptico (Och)
El canal óptico es el tramo que comprende todo el camino óptico y que interconecta redes de extremo a extremo. Los canales son multiplexados y combinados en una única fibra óptica para su transmisión independientemente del tipo de tráfico a transmitir.

En esta sección se incluyen las siguientes funciones:

- Regeneración de la señal óptica con el objetivo de asegurar la integridad de la información transmitida
- Funciones de operación, administración y mantenimiento del canal óptico permitiendo la gestión, tareas de mantenimiento e intercambio de parámetros de calidad de servicio

En la siguiente imagen se comprueban las tres secciones mencionadas anteriormente.

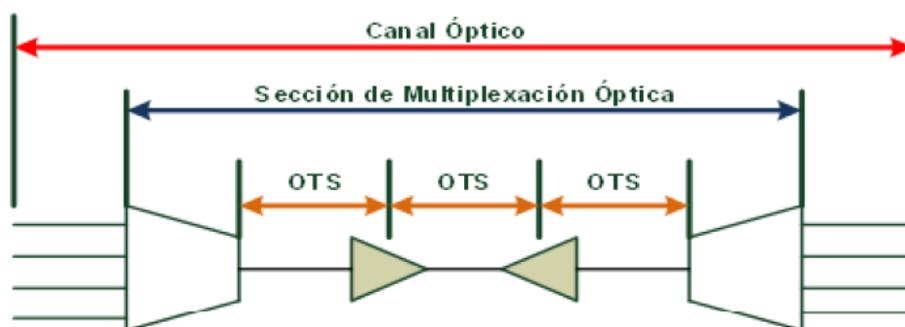


Ilustración 7: Secciones de red OTN

5.2.3.3. Unidades de datos

Las redes OTN consisten en una jerarquía multiplexada de unidades ópticas de datos que se organizan en el interior de unidades de transporte óptico que constituyen la base de los servicios de datos.

Las tres unidades de datos definidas en las redes OTN son:

- Unidad de carga óptica (OPU)
La unidad de carga óptica es la trama básica de la red OTN. Esta trama contiene la carga útil de la señal cliente y la cabecera OPU. Está basado en bloques y consta de cuatro filas de 3810 bytes cada uno incluyendo 2 bytes de cabecera en el extremo inicial de cada fila.
- Unidad de datos ópticos (ODU)
La unidad de datos ópticos soporta el trayecto extremo a extremo de las señales digitales de cliente y está formada a partir de la unidad de carga óptica. Se añaden 14 columnas de un byte en los extremos iniciales de la OPU, como una estructura de bloque basada en octetos de 4 filas de 3824 columnas.
- Unidad de transporte óptico (OTU)
La unidad de transporte óptico organiza la unidad de datos ópticos para el transporte de las señales a través del canal óptico. La trama OTU está basada en la estructura de trama ODU y consta de cuatro filas de 4080 bytes de las cuales, del byte 1-7, corresponden a la alineación de la trama, del byte 8-15 con la cabecera OTU y las últimas 256 columnas corresponden al FEC.

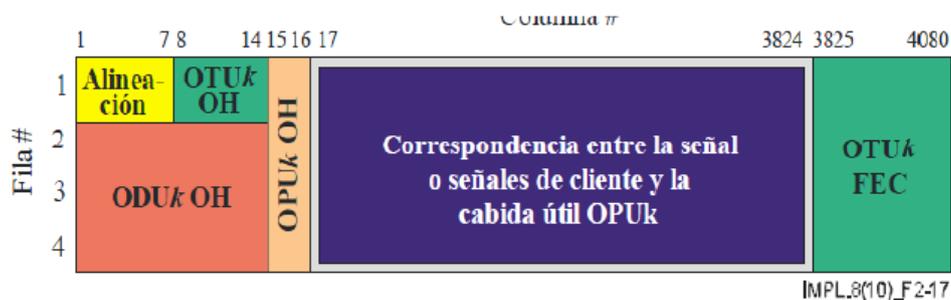


Ilustración 8: Trama OTN

5.2.4. MPLS Transport Profile

Las primeras redes de transporte digitales (PDH y SDH) se definieron en base a las características del servicio mayoritario en el momento de su definición: el servicio telefónico tradicional basado en la conmutación de circuitos. Estas tecnologías ofrecían las siguientes características a los operadores:

- Comunicaciones orientadas a la conexión
- Alto nivel de disponibilidad
- Calidad de servicio

- Capacidad de operación, administración y mantenimiento (OAM)

En el caso de SDH ya se contemplan otros tipos de servicios de banda ancha pero las capacidades de esta red se volvieron rápidamente ineficientes e insuficientes con la aparición de Internet y otros servicios basados en la conmutación de paquetes.

Las nuevas redes basadas en la tecnología WDM solucionaron el problema de las capacidades insuficientes y nuevas redes ópticas digitales, como OTN, surgieron para dar capacidades de gestión, similares a SDH, a las redes basadas en la WDM.

Aun así, los cambios importantes en las características del servicio que deben soportar actualmente las redes de transporte, en las que la mayor parte del servicio son datos IP, ha traído consigo la necesidad de evolucionar a unas redes de transporte más adaptadas a esta topología de servicio.

En este contexto emerge una nueva tecnología de transporte: Multiprotocol Label Switching – Transport Profile. El estándar MPLS-TP [15], desarrollado para hacer frente a esta transición, se basa en el etiquetado de los paquetes en base a criterios de calidad de servicio (QoS).

5.2.4.1. Definición

En 2009, la ITU-T [15] en conjunto con IETF [16] comenzaron a desarrollar la tecnología MPLS-TP. Esta tecnología utiliza un solo subconjunto de las funcionalidades de MPLS, desarrollado por IETF en 1998 [17].

MPLS-TP posibilita la implantación de MPLS en las redes de transporte con un grado de gestión, fiabilidad y O+M similar al que podemos encontrar en las redes de transporte basadas en TDM de hoy en día (SDH/SONET).

El objetivo de MPLS-TP es proporcionar servicios de transporte orientado a la conexión tanto para las tecnologías de conmutación de paquetes (IP) como para las de conmutación de circuitos (TDM) a través de redes ópticas en las redes de transporte.

Para ello, utiliza únicamente un subconjunto de las funcionalidades MPLS eliminando aquellas funcionalidades MPLS no requeridas y añadiendo nuevos requisitos establecidos en las redes de transporte.

En la siguiente imagen se realiza una comparación de las funcionalidades de ambas tecnologías.

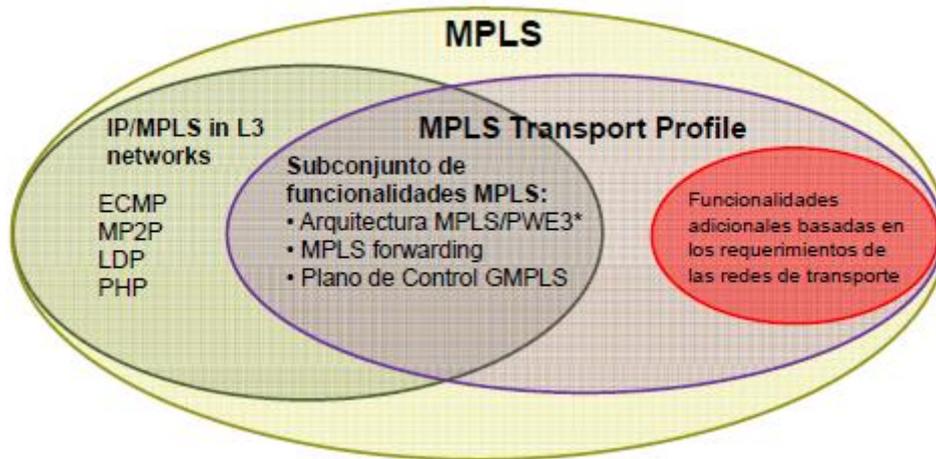


Ilustración 9: Funcionalidades I/PMPLS y MPLS-TP

Los nuevos requisitos introducidos en MPLS-TP son las características de protección y un amplio conjunto de funciones de operación y mantenimiento (OAM). Estas funciones permiten la rápida detección y localización de averías, resolución de problemas, verificación del cumplimiento de SLA y supervisión del rendimiento.

Al igual que OTN, MPLS-TP se puede implementar sobre DWDM.

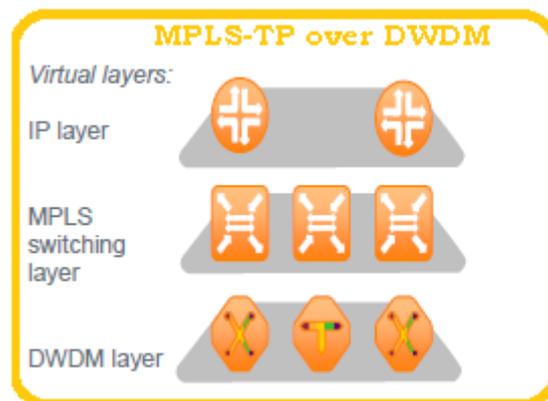


Ilustración 10: MPLS-TP sobre DWDM

5.2.4.2. Características de funcionamiento

Como ya se ha comentado, MPLS-TP es una adaptación de MPLS para las redes de transporte. Aunque en MPLS-TP se eliminen algunas características de MPLS y se añadan otras nuevas, el funcionamiento de ambas es similar.

Estas tecnologías ofrecen un servicio orientado a conexión con mecanismo de reenvío de paquetes basado en etiquetas. Los routers de los extremos realizan búsquedas de rutado mientras que los intermedios conmutan utilizando etiquetas.

Cuando un paquete llega al router frontera (LER – Label Edge Router) de la MPLS, se inserta una etiqueta en la cabecera MPLS en función de la dirección IP destino y otros parámetros.

Después de este procedimiento reenvía el paquete al siguiente router (LSR – Label Switch Router) que se encargará de conmutar el paquete en función de su etiqueta. El último router

(LER) se encarga de eliminar las etiquetas del paquete y de transmitirlo al siguiente salto en función de la tabla de rutado IP.

5.2.4.3. Arquitectura

Uno de los subconjuntos que comparten tanto MPLS como MPLS-TP es la arquitectura, que está formada por tres planos: Plano de datos, plano de control y plano de gestión.

Sin embargo, las tareas de cada plano en ambas tecnologías no son similares. Además, mientras que para IP/MPLS, el plano de datos y el plano de control son los más importantes para operar en la red, para MPLS-TP los son el plano de datos y el de gestión.

A continuación, se muestra una imagen de la arquitectura y distribución de los planos en ambas tecnologías. Tanto en MPLS-TP como en MPLS el plano de datos se encuentra en los elementos de red. La diferencia reside en el plano de gestión y de control. En MPLS-TP, los elementos de red no tienen plano de control y el plano de gestión se encarga de controlar la red.

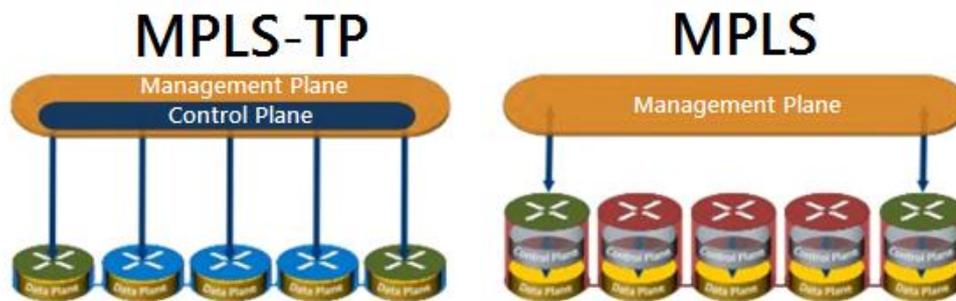


Ilustración 11: Planos MPLS-TP

Plano de datos

El plano de datos [18] es el responsable de reenviar los paquetes transmitiendo los ya etiquetados a su destino.

La principal diferencia entre el plano de datos de MPLS y MPLS-TP son las características de los caminos que siguen los paquetes desde que entran en la red MPLS hasta que salen. Estos caminos se denominan Label Switch Path (LSP).

En MPLS estos caminos son unidireccionales y normalmente tienen diferentes rutas en un sentido que en otro. En cambio, en MPLS-TP son bidireccionales.

En las redes de transporte es importante que el tráfico fluya por el mismo camino en ambas direcciones lo que asegura mismos retardos y jitter. Simplifican el funcionamiento de la red y facilitan el control de los SLAs (Service Level Agreement).

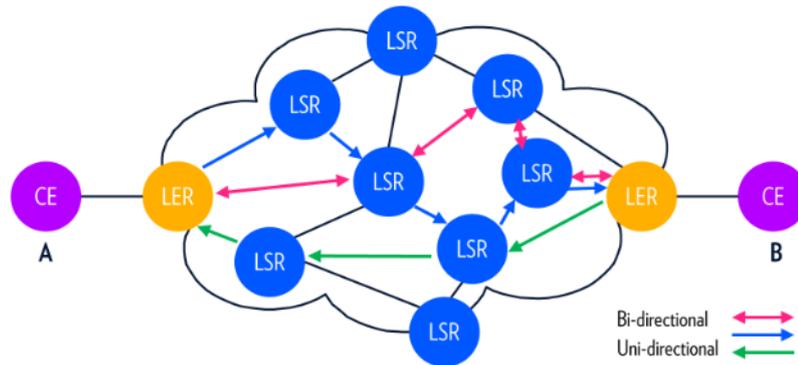


Ilustración 12: Diseño del plano de datos en MPLS-TP

Para que los paquetes vayan en ambos sentidos a través del mismo camino en MPLS, habría que configurarlo manualmente.

Plano de control

El plano de control [19] es el encargado de propagar la información que será utilizada para el envío de los paquetes entrantes y la asignación de etiquetas.

En MPLS, los paquetes entrantes son analizados y asignados a un LSP añadiéndoles una etiqueta. El establecimiento del LSP es un proceso dinámico en el cual los paquetes con características similares son reenviados sobre el mismo camino a través de la red, incluso si sus destinos finales son diferentes.

Para el establecimiento del LSP se utilizan los protocolos de distribución de etiquetas como, por ejemplo, RSVP-TE, MPLS-BGP o LDP. Estos junto con los protocolos de rutado forman parte del plano de control.

En MPLS-TP, las funciones que se conocen como parte del plano de control en MPLS se realizan en el plano de gestión. Los elementos de red no tienen que inspeccionar los paquetes entrantes, establecer el LSPs o implementar los protocolos de distribución de etiquetas.

El plano de control de MPLS-TP está basado en la generalización de MPLS definida por la IETF que desarrolla un plano de control dinámico que puede ser aplicado a redes ópticas y redes de paquetes. Las funciones básicas que proporciona este plano son: señalización y rutado.

Por otro lado, está la ingeniería de tráfico que se encarga de redirigir el tráfico en función de la disponibilidad del ancho de banda. Este método de optimización mediante el análisis, predicción y regulación del comportamiento de los datos transmitidos, permite el uso del ancho de banda de forma eficiente. En MPLS, se utilizan mecanismos como IntServ junto con RSVP como mecanismo para establecer los LSP, DiffServ junto con PHB (Per Hop Behavior) o ECN (Explicit Congestion Notification).

En cambio, MPLS-TP está diseñada para que no sea necesario utilizar mecanismos adicionales para implementar la ingeniería de tráfico. Está definida de forma explícita en el plano de gestión.

Plano gestión

La importancia del plano de gestión [19] en MPLS y MPLS-TP es muy diferente. En MPLS, este plano se define como un suplemento que ayuda a manejar la red de una forma amigable.

En cambio, en MPLS-TP, el plano de gestión se encarga de gestionar la red e incluye, entre otras, gestión de las faltas, de las configuraciones y de la administración. El plano de gestión tiene una vista completa de toda la topología de la red, todos los caminos existentes, todas las capacidades disponibles y utilizadas...

Este plano está formado por funciones de operación, administración y mantenimiento (OAM) y sistemas de gestión externa para presentar esta información al administrador de la red.

Los paquetes OAM se mezclan con los datos de los clientes y fluyen a lo largo de la red. Los nodos de mantenimiento supervisan estos paquetes OAM para medir el rendimiento, la tasa de pérdida de paquetes, el retardo, fallos o cortes en la red...

La monitorización proactiva con las funciones OAM permite una acción rápida ante los problemas. Cuando se produce un problema y se detecta, los administradores pueden utilizar las funciones OAM para detectar la ubicación del fallo, la causa del defecto o bloquear la ruta afectada por el fallo.

Para crear nuevos servicios, el operador únicamente tiene que definir el origen y destino, tipo de servicio y parámetros. El plano de gestión determinará cuál es el camino eliminando así la necesidad de protocolos de distribución de etiquetas como en MPLS.

El conjunto de funciones OAM están definidas por la IETF en conjunto con la ITU y son las que se listan en la siguiente imagen:

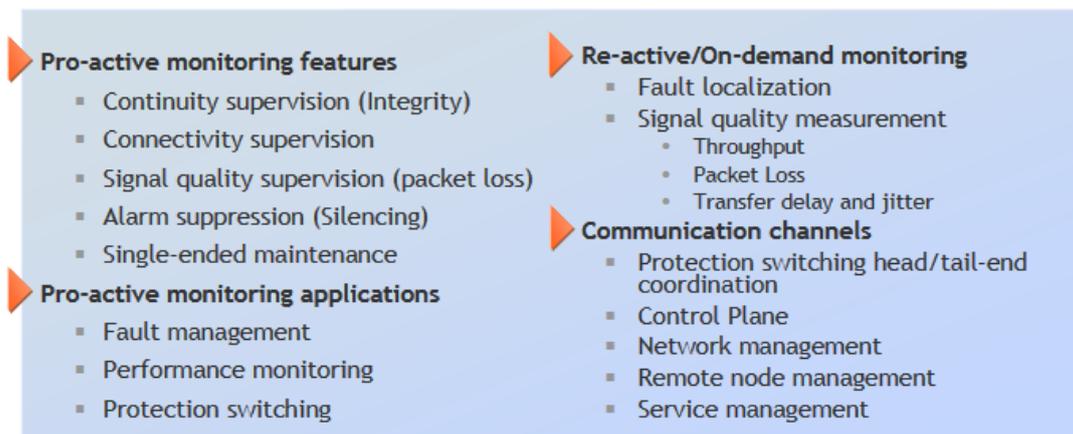


Ilustración 13: Conjunto de funciones OAM de MPLS-TP

6. Análisis de alternativas

Tras haber presentado las diferentes tecnologías existentes para la red de acceso y red de transporte, es necesario determinar cuál de estas tecnologías es la más adecuada para el diseño de ambas secciones de la red.

Para el estudio y análisis de alternativas se tendrán en cuenta aquellas analizadas en el estado del arte que siguen teniendo validez en el contexto actual de requerimientos de los usuarios y servicios soportados por las redes. De este modo, para la red de acceso, se compararán GPON, XGPON, WDM-PON. En el caso de la red de transporte, se tendrán en cuenta y se compararán DWDM, OTN y MPLS-TP.

A continuación, se recoge el análisis de alternativas desarrollado para las tecnologías expuestas, comparándolas en base a unos criterios, que se exponen en el siguiente punto, y que determinarán cuál es la mejor opción para implementar en este diseño.

6.1. Definición de los criterios

Antes de comenzar con el análisis, es necesario presentar y detallar en qué consisten los criterios que se van a utilizar para determinar cuál es la tecnología más adecuada.

Los criterios que se van a tener en cuenta son: coste, capacidad, calidad de servicio (QoS) y facilidad de operación.

6.1.1. Coste

A la hora de diseñar e implementar una red de telecomunicaciones, la inversión inicial que hay que hacer es cuantiosa lo que hace que las amortizaciones sean a largo plazo.

Este coste está estrechamente ligado con el número de usuarios a los que se les ofrece el servicio. No es lo mismo tener que llegar a la casa de 1 un usuario que tener que dar cobertura a 10000.

Por esta razón, se analizará el coste por usuario para cada tecnología.

6.1.2. Capacidad

En los últimos años se ha producido una explosión en la demanda de nuevos servicios por parte de los usuarios. Además, desde hace unos años, la tendencia mundial es hacia el desarrollo de los servicios multimedia que requieren un gran ancho de banda para su correcto funcionamiento.

Todo esto se resume en una mayor necesidad de ancho de banda disponible para los usuarios. Por esta razón, es imprescindible con una tecnología que proporcione el suficiente ancho de banda para la demanda actual y futura según los modelos de previsión de demanda.

6.1.3. Calidad de servicio

Las exigencias en el sector de las telecomunicaciones y los cambios a los que se ven sometidas las empresas han provocado que la calidad se convierta en un factor determinante e importante para el éxito de las compañías.

La calidad de servicio se define como *'la totalidad de las características de un servicio de telecomunicaciones que determinan la capacidad para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas del usuario de servicios'* (ITU-T Rec. E.800 '08') [20].

La calidad de servicio ha llevado a las empresas a tener en cuenta aspectos, más allá de los tecnológicos, siendo uno de los elementos más destacable, la relevancia del cliente y/o usuario, en cuanto a su satisfacción con el producto/servicio contratado.

La ITU-T recoge en su recomendación Y.1541 [21] los objetivos de rendimiento de la red para servicios basados en paquetes. Por ejemplo, para el video en tiempo real el jitter máximo es de 30 ms. De esta manera, quedan recogidos los valores objetivos a conseguir por los operadores para cada servicio ofrecido.

6.1.4. Facilidad de operación

Las funciones de operación, administración y mantenimiento (OAM) juegan un papel importante en las redes de las operadoras ya que proveen funciones para facilitar las operaciones de red y la resolución de problemas, tanto en las redes de transporte como en las de acceso.

También proporcionan métodos para la gestión de fallos y monitorización del rendimiento de la red. Estos métodos permiten a los operadores garantizar servicios con contratos de nivel de servicio además de reducir sus costes operativos.

Gracias a la gestión de fallos, los operadores pueden detectar si se ha producido un fallo, la ubicación y razón de este, de manera más o menos trivial.

A diferencia de las redes de acceso, en las de transporte, la caída de un enlace o un equipo tiene mayor impacto en la red del operador ya que esto podría suponer un corte de servicio para todos sus servicios. Por esta razón, las funciones OAM toman mayor importancia en este tipo de redes.

6.1.5. Ponderación de cada criterio

Para tomar la decisión sobre que tecnología se adapta mejor a las necesidades de este trabajo fin de máster, se va a realizar una puntuación de los criterios definidos. La tecnología con mayor puntuación será la seleccionada.

Sin embargo, no todos los criterios tienen la misma importancia a la hora de seleccionar la tecnología a implementar. Por esta razón, se va a definir una ponderación para cada criterio.

Tanto para la red de acceso como para la red de transporte, la ponderación de los criterios de coste y capacidad va a ser la misma. La ponderación del coste es de 40 % mientras que la de la capacidad de 30 %.

Una de las razones por las que se opta por la fibra óptica como medio de transporte es la capacidad que esta ofrece y que permite cubrir las necesidades de capacidad demandadas por los usuarios en la actualidad. Por esta razón, la ponderación de la capacidad es del 30% sobre el total.

Partiendo de la base de que todas las tecnologías en cuestión, tanto en la red de transporte como en la de acceso, ofrecen una capacidad suficiente para las necesidades del cliente, se apuesta por la solución de menor coste. Así, la ponderación del coste es superior a la de la capacidad siendo del 40% sobre el total.

Los criterios de calidad de servicio y facilidad de operación, no van a tener la misma ponderación en las redes de acceso y en las redes de transporte.

En las redes de transporte, la calidad de servicio supone un 10 % mientras que la facilidad de operación un 20%. La caída de un enlace o un equipo tiene un gran impacto en la red del operador ya que puede suponer un corte para todos sus servicios y, por ello, tiene mayor ponderación que la calidad de servicio.

En las redes de acceso, la calidad de servicio supone un 20% mientras que la facilidad de operación un 10%. El hecho de dar mayor importancia a la calidad de servicio es debido al alto nivel de compartición de los recursos disponibles. Esto implica tener la necesidad de priorizar aquellos tráficos que no sean tolerantes a pérdidas como, por ejemplo, la voz.

6.2. Red de acceso

A continuación, se realiza la comparativa de las tecnologías de las redes de acceso presentadas en el análisis de alternativas: GPON[6], XGPON[7] y WDM-PON[8]. Para ello, se detallarán las características de cada tecnología para cada criterio definido en el apartado anterior. Finalmente, se realizará una pequeña ponderación para determinar cuál es la tecnología más favorable para el diseño de la red.

6.2.1. Coste

A continuación, se va a realizar una pequeña comparativa del coste/usuario que supondría el despliegue de una red de acceso PON. Para el análisis del coste se va a tener en cuenta los siguientes puertos:

- El nivel de división puede ser de hasta 1:128. Sin embargo, en este caso se va a utilizar un factor 1:64. El motivo de esta elección se justificará más adelante en este documento.
- No se va a tener en cuenta el coste de los elementos pasivos (splitters, cable de fibra óptica) ya que estos son los mismos para todos los estándares PON.
- Tampoco se va a tener en cuenta el coste que supondría la realización de obra civil ya que también sería la misma para cualquier estándar PON.

Por tanto, este análisis únicamente se va a centrar en el coste de los elementos principales y únicos de cada estándar: OLT y ONT.

En las siguientes tablas se recogen las OLTs de los fabricantes de equipamiento de redes de accesos, ZTE [22] y Huawei [23], y el número de puertos GPON que soportan. En la primera tabla se recogen los equipos de Huawei, mientras que en la segunda los equipos de ZTE.

Además, conociendo que el nivel de división es de 1:64 y el número de puertos de la OLT, se conoce el número total de usuarios que soporta la OLT.

HUAWEI	MA5600T(ETSI)	MA5600T(IEC)	MA5603T	MA5608T
Nº puertos GPON	256	224	48	48
Nº total usuarios GPON	16.384	14.336	3.072	3.072
Nº puertos XG-PON	128	112	96	16
Nº total usuarios XG-PON	8.192	7.168	6.144	1.024

Tabla 3: Relación Nºusuario/Nºpuertos GPON y XGPON OLTs Huawei

ZTE	ZXA10 C300	ZXA10 C350
Nº puertos GPON	256	112
Nº total usuarios GPON	16384	7168
Nº puertos XG-PON	128	56
Nº total usuarios XG-PON	8.192	3.584

Tabla 4: Relación Nºusuario/Nºpuerto GPON y XGPON OLTs ZTE

Aunque el chasis de la OLT sea el mismo para el estándar GPON y XG-PON, las tarjetas de puertos son diferentes. En las tablas anteriores se comprueba como todos los chasis disponibles en el

mercado soportan un mayor número de usuarios GPON que XG-PON. Por tanto, el coste del equipamiento por usuario es más caro para el estándar XG-PON.

En el caso de WDM-PON, aún no existe equipamiento disponible para implementar esta tecnología en la red de acceso.

6.2.2. Capacidad

A continuación, se presenta una tabla con las capacidades de transmisión de las tres tecnologías PON que se están analizando.

	GPON	XG-PON	WDM-PON
Canal ascendente	622 Mbit/s – 1,2 Gbit/s	2,5 Gbit/s – 10 Gbit/s	10 Gbit/s
Canal descendente	1,2 Gbit/s – 2,4 Gbit/s	10 Gbit/s	40 Gbit/s

Tabla 5: Capacidad de las tecnologías de acceso

Conociendo la velocidad de transmisión y el nivel de división a utilizar, en este caso 1:64, se puede conocer la velocidad por usuario. Este valor se obtiene dividiendo la capacidad de un puerto PON entre el nivel de división.

El valor obtenido es un valor real teórico. Sin embargo, la capacidad de transmisión real de cada usuario dependerá del consumo de ancho de banda total de todos los usuarios en el mismo segmento de acceso en el que están transmitiendo y recibiendo simultáneamente. Los operadores ofrecen una mayor capacidad a los usuarios que la real ya que presuponen que no todos los usuarios van a hacer uso de toda la capacidad disponible en un momento determinado. Por tanto, se puede ofrecer más de lo que en realidad se dispone.

A continuación, se presenta una tabla con los valores teóricos reales por usuario de cada estándar.

Canal	GPON	XG-PON	WDM-PON
Ascendente	9,71 Mbps/usu – 19,2 Mbps/usu	40 Mbps/usu – 160 Mbps/usu	160 Mbps/usu
Descendente	19,2 Mbps/usu – 38,4 Mbps/usu	160 Mbps/usu	640 Mbps/usu

Tabla 6: Valores teóricos reales de las tecnologías de acceso por usuario

6.2.3. Calidad de servicio

Aunque la alta capacidad de los estándares GPON, XG-PON y WDM-PON es la característica más conocida, la calidad de servicio de estos es otra de las facetas que permiten ofrecer una capacidad de transporte para aplicaciones de voz, IPTV y datos de alta calidad.

GPON (Gigabit Passive Optical Network)

El estándar GPON dispone de un modelo de QoS, definido en ITU.T G.984.3 [24], que garantiza el ancho de banda necesario para cada servicio y usuario. La ONT se encarga de priorizar el tráfico mientras que la OLT se encarga de gestionar el ancho de banda disponible para las múltiples ONTs.

En sentido descendente, es responsabilidad de la OLT de proveer la gestión del tráfico para proporcionar características QoS en función del ancho de banda disponible, de las condiciones del tráfico y de los niveles de servicio a garantizar.

En sentido ascendente, el tráfico entrante en la ONT es procesado según la política establecida desde la OLT a través de la gestión OMCI. El protocolo OMCI es el protocolo estándar de GPON para el control por parte de la OLT de las ONT. Este protocolo permite:

- Establecer y liberar conexiones en la ONT
- Gestionar los puertos físicos de la ONT.
- Solicitar información de configuración y estadísticas de rendimiento
- Informar de eventos como cortes de fibra.

A través de la gestión OMCI, se configuran uno o más T-CONT (colas). Estos representan grupos de conexiones lógicas que son tratados como una única entidad para la asignación de ancho de banda ascendente. Cada T-CONT corresponda a un tráfico de servicio asociado a un tipo de ancho de banda ascendente con su propia característica QoS.

El tráfico de voz se codifica en IP, se procesa junto con el tráfico de datos y ambos se encapsulan en tramas GEM. Las tramas GEM se acomodan en T-CONT. De acuerdo a la política de desencolado establecida desde la OLT, el tráfico de cada T-CONT se envía por el canal ascendente en forma de ráfagas o burst.

A través de mensajes Dynamic Bandwidth Report Upstream (DBRu) cada ONT informa a la OLT de sus necesidades de ancho de banda. De esta forma, la OLT tiene una visión completa del estado de todos los T-CONT existentes en la red FTTH.

La OLT evalúa las métricas QoS y SLA (Service Level Agreement) y, en función de estos, establece tickets indicando el turno en el que cada ONT puede enviar datos de un T-CONT mediante mensajes Bandwidth Map (BWmap).

A esta asignación dinámica del ancho de banda se le denomina Dynamic Bandwidth assignment (DBA). Este mecanismo mejora la utilización del ancho de banda al reaccionar de forma dinámica a los patrones de tráfico de ráfagas de las ONTs.

De esta forma, debido a un uso más eficiente del ancho de banda, los operadores pueden agregar más clientes a la red de acceso. Además, los clientes pueden obtener servicios mejorados como los que requieren picos de ancho de banda variable mayores que los niveles que se pueden asignar de forma estática.

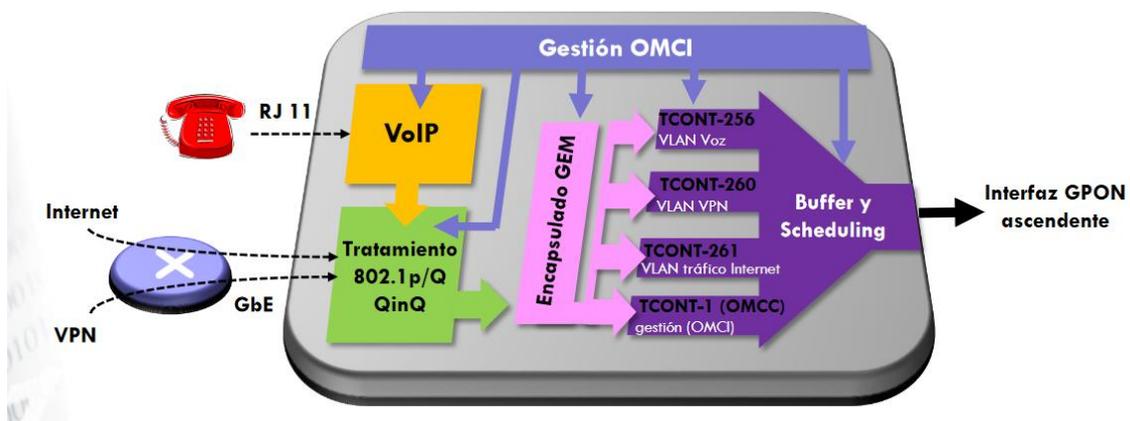


Ilustración 14: Bloques funcionales de la ONT

En la siguiente imagen se muestran las funciones de calidad de servicio que implementan la OLT y la ONT.

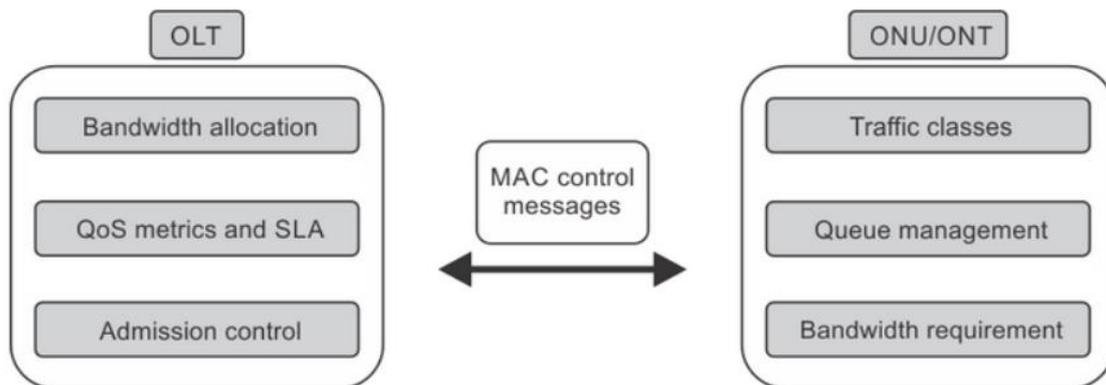


Ilustración 15: Funciones de calidad de servicio implementadas por la OLT y ONT

XGPON (10 Gigabit Optical Passive Network)

El estándar XG-PON es la evolución del estándar GPON por lo que hereda algunas de las características de GPON y añade otras nuevas. Una de las características heredadas es el modelo de calidad de servicio y gestión de tráfico.

Por tanto, la calidad de servicio se implementa de la misma forma en ambos estándares. Además, en la recomendación ITU-T G.987.1[7] donde se define el estándar XG-PON, se recogen los valores máximos de retardo medio para los diferentes servicios en esta tecnología.

WDM-PON (Wavelegth Division Multiplexing Passive Optical Network)

Al igual que en los estándares PON comentados anteriormente, el estándar WDM-PON tiene el mismo modelo de calidad de servicio el cual, en este caso, está definido en la recomendación ITU-T G.989.3 [25].

En una red de acceso óptico basada en WDM-PON, la OLT y ONT se encargan de gestionar la asignación de los recursos disponibles teniendo en cuenta: capacidad de procesamiento, espacio en buffer, canales de longitud de onda ascendente y descendente disponibles y capacidad de ancho de banda digital de cada canal de longitud de onda a flujos individuales de tráfico y a agregado de flujo de tráfico.

6.2.4. Facilidad de operación

Una de las nuevas características que implementa GPON es el desarrollo de mecanismos OAM (operación, administración y mantenimiento) que faciliten al operador la gestión centralizada de los equipos de usuario (ONT).

Todas estas funciones se realizan mediante el protocolo OMCI (ONT Management and Control Interface) y están definidas en la recomendación ITU-T G.988 [35]. OMCI es el protocolo de gestión que utiliza la OLT para gestionar la ONT y permite lo siguiente:

- Establecimiento y liberación de conexiones con las ONTs
- Configuración y administración de servicios
- Peticiones de información de configuración y estadísticas de rendimiento
- Gestión de averías, alarmas...

El protocolo OMCI se ejecuta sobre una conexión GEM entre la controladora del OLT y la controladora de la ONT. Este es un protocolo asimétrico: la OLT es el maestro y la ONT, en cambio, es el esclavo. Una única OLT puede controlar múltiples ONTs.

Los requerimientos de la OMCI dado en la recomendación G.988 de la ITUT son necesarios para manejar la ONT en las siguientes áreas

- Gestión de la configuración: Proporciona funciones para ejercer control sobre, identificar, recopilar datos y proporcionar datos al ONT.
- Gestión de fallos: La ONT solo admite la gestión limitada de fallos. Todas las alarmas y fallos que permiten gestionar el protocolo OMCI quedan recogidas en la recomendación de la ITU-T G.988.
- Gestión del rendimiento: La ONT solo tiene un control de rendimiento limitado definido también en la ITU-T G.988. Todas las entidades gestionadas relacionadas con la supervisión de rendimiento se crean a petición de la OLT.
- Gestión de la seguridad: Proporciona mecanismos de seguridad como es la encriptación de los datos en sentido descendente.

La recomendación de la ITU-T G.988 especifica la gestión de la ONT y la interfaz de control (OMCI) para redes de acceso ópticas definidas en las recomendaciones: ITU-T G.984.x [6] e ITU-T G.987.x [7]. La primera recomendación recoge el estándar GPON mientras que la segunda recoge el estándar XGPON.

Por tanto, la facilidad de operación es la misma para GPON que para XGPON. En cambio, el estándar WDM-PON aún no está definido completamente por lo que no hay nada recogido sobre la operación en este estándar.

6.2.5. Conclusiones

En la siguiente tabla se recoge la puntuación obtenida por parte de cada una de las tecnologías de acceso en los criterios explicados en el punto anterior. No todos los criterios tienen la misma importancia a la hora de la selección por lo que se ha asociado una ponderación a cada criterio.

	Ponderación	GPON	XGPON	WDM-PON
Coste	40 %	9	6	-
Capacidad	30 %	8	9	10
QoS	20%	8	8	8
Facilidad de operación	10%	8	8	8
Total	100	8.4	7.5	5.4

Tabla 7: Selección tecnología Red de acceso

Teniendo en cuenta los criterios para la selección y las alternativas, con los resultados mostrados en la tabla 7 se obtiene que la mejor alternativa es GPON.

Por un lado, la tecnología WDM-PON queda descartada ya que no existe aún en el mercado una OLT que soporte esta tecnología.

Por otro lado, a pesar de que la capacidad de la tecnología XGPON es mucho mayor que GPON, el coste también lo es. Toda la tecnología tiene un proceso de madurez asociada a la industrialización para hacerla asequible y en el caso de XGPON esta madurez todavía no se ha producido.

En estos momentos, la tecnología GPON es la más adecuada para la implementación en una red de acceso. No solo es válida por el bajo coste frente a XGPON si no que la demanda actual y futura está cubierta con las capacidades que esta tecnología ofrece.

En la actualidad, XGPON se está implementando en aquellos sitios donde la demanda de capacidad es muy alta y no importa el precio. En un futuro, esta tecnología evolucionará a unos precios más competitivos y, en ese momento, la sustitución de una tecnología por otra se realizará de forma sencilla, únicamente teniendo que sustituir las tarjetas de la OLT.

6.3. Red de transporte

A continuación, se realiza la comparativa de las tecnologías de las redes de transporte presentadas en el análisis de alternativas: WDM, OTN y MPLS-TP. Para ello, se detallarán las características de cada tecnología para cada criterio definido en el apartado anterior. Finalmente, se realizará una pequeña ponderación para determinar cuál es la tecnología más favorable para el diseño de la red.

6.3.1. Coste

La tecnología DWDM tiene como principal beneficio una gran capacidad de transmisión ya sea aumentando las capacidades del equipamiento o aumentando el número de lambdas transmitidas a través de la fibra óptica.

Como se puede observar en la siguiente imagen, en una arquitectura DWDM, los routers centrales se conectan directamente mediante enlaces WDM punto a punto.

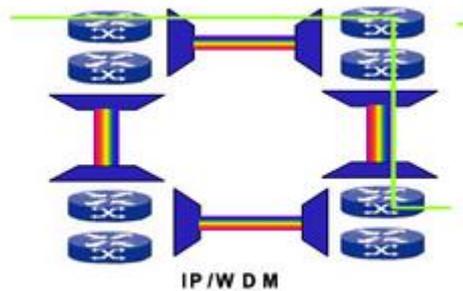


Ilustración 16: Arquitectura IP/WDM

Sin embargo, en una arquitectura OTN están conectados a través de una red óptica de transporte (OTN) formada por interconexiones electro-ópticas (OXC) sobre una red WDM.

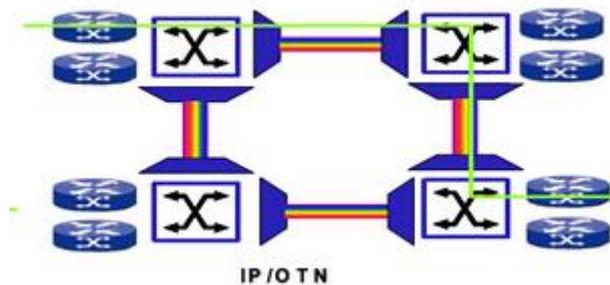


Ilustración 17: Arquitectura IP/OTN

A pesar de que en las redes OTN es necesario añadir equipos adicionales como el Cross-Connect (OXC), la solución DWDM para las redes de transporte es más costosa que la solución OTN. La tecnología OTN conduce a una disminución significativa en el coste de la red mediante la reducción de los puertos de los routers IP de tránsito y la explotación en paralelo de puertos OXC más escalables y baratos.

MPLS-TP tiene como objetivo proporcionar servicios de transporte orientado a la conexión tanto para las tecnologías de conmutación de paquetes (IP) como para las de conmutación de circuitos (TDM) a través de redes ópticas en las redes de transporte.

Uno de los principales beneficios de esta tecnología es su rentabilidad. Esto puede lograrse utilizando protocolos de Capa 1 y Capa 2 para operaciones simplificadas, administración unificada y control a través de paquetes.

6.3.2. Capacidad

Los sistemas DWDM son capaces de transportar señales ópticas con grandes anchos de banda. Hoy en día, la mayoría de redes DWDM implementan una transmisión por longitud de onda de 10 Gb/s o 40 Gb/s con 50GHz de espacio entre longitudes. Como se recoge en la tabla 2, este espacio entre longitudes de onda implica que hay 80 canales disponibles. Por lo tanto, esto llevaría a enlaces de 800Gb/s o 3200Gb/s.

Sin embargo, estas capacidades comienzan a ser insuficientes para la demanda actual del mercado. Es por esto por lo que algunos operadores están comenzando a implementar sistemas DWDM con una transmisión por longitud de onda de 100Gb/s en la frecuencia de 50 GHz. Esto haría un enlace de 5000Gb/s, es decir, 4,88Tb/s.

Por otro lado, como ya se ha comentado en el apartado 5.2.3, las redes OTN aplican las funcionalidades de operación, administración, mantenimiento y provisión de la tecnología SDH en las redes ópticas DWDM. Como OTN trabaja sobre DWDM, la capacidad de transmisión de esta tecnología es la misma que para DWDM.

Por último, MPLS-TP proporciona servicios de transporte orientado a la conexión a través de redes ópticas. Este es un protocolo que se encuentra entre la capa de enlace y la capa de red. Por tanto, la capacidad de esta tecnología reside en la capacidad de la capa física (fibra óptica). MPLS-TP se puede implementar sobre DWDM por lo que la capacidad de transmisión puede llegar a ser la misma que para OTN y DWDM.

6.3.3. Calidad de servicio

En el caso de DWDM, únicamente se define el transporte de las señales a través de la fibra óptica mediante portadoras de longitud de onda. De hecho, el mayor inconveniente de esta tecnología es que no proporciona mecanismo de gestión ni protección.

Esta deficiencia está cubierta por la tecnología OTN surgida para proporcionar gestión a la capa óptica. Estructuralmente, OTN actúa de envoltorio digital para dotar a la capa óptica de cabeceras digitales que permitan la gestión de la calidad de servicio. Esta tecnología permite el transporte de cualquier señal cliente como DWDM o SDH.

Por tanto, una solución muy utilizada en el mercado actual es la combinación de DWDM y OTN. De esta manera, se obtiene las capacidades de DWDM junto con la gestión de OTN.

OTN dedica ancho de banda específico y configurable a cada servicio o grupo de servicios. Esto significa que la capacidad de la red y la gestión del rendimiento de la red (capacidad, retardo, jitter y disponibilidad) están garantizada para cada cliente.

En el caso de MPLS-TP, las funciones de monitorización del rendimiento de la red para obtener los valores de jitter, delay o pérdidas se engloban dentro de las funciones de operación, administración y mantenimiento (OAM).

Las funciones OAM se clasifican en tres grupos: Gestión proactiva de fallos, gestión de errores bajo demanda y monitorización del rendimiento. Las funciones que se encuentran dentro de la monitorización del rendimiento permiten medir el retardo, las pérdidas, el ancho de banda y el jitter de las conexiones entre dos entidades.

En la siguiente tabla, se muestran las funciones que forman este grupo y los RFCs donde se encuentran definidas las funciones OAM para la tecnología MPLS-TP.

Funciones OAM	RFCs
Pérdida de paquetes	RFC 6374 [26]
Retardo	RFC 6374 [26]
Throughput	RFC 6374 [26]
Jitter	RFC 6374 [26]

Tabla 8: Monitorización del rendimiento

6.3.4. Facilidad de operación

Como ya se ha comentado, DWDM es una tecnología que únicamente define el transporte de la información a través de la fibra óptica. No define funciones de calidad de servicio y tampoco funciones OAM. Para poder dotar a DWDM de estas características, es necesario implementarlo junto con OTN, la cual utiliza unidades de transporte óptico para transportar las señales clientes a través de DWDM.

Así, OTN añade cabeceras a la capa óptica que dotan a las señales clientes de funciones que proporcionan la de calidad de servicio y funciones OAM necesarias en las redes de transporte.

En el caso de MPLS-TP, una de las características principales es la posibilidad de implantar MPLS en las redes de transporte con un grado de gestión similar al de las redes de transportes SDH/SONET. El conjunto de herramientas MPLS-TP OAM se basa en las siguientes herramientas existentes:

- LSP ping [27]: Mecanismo para verificar la correcta conectividad entre los equipos a través de los LSP (Label Switch Path). Permite detectar fallos en la capa de datos.
- Bidirectional forwarding Detection [28]: Mecanismo para detectar fallos de manera rápida y bidireccional entre dos equipos, incluidas las interfaces, enlaces de datos y los propios equipos.

La definición de la arquitectura y funciones OAM de MPLS-TP la ha llevado a cabo IETF y está recogida en varios documentos. En la RFC 5860 se define el conjunto de requisitos sobre la arquitectura OAM, los principios generales de funcionamiento y se indica donde se definen las diferentes funciones que forman el conjunto.

Las funciones OAM en MPLS-TP están divididas en tres grupos diferentes: Gestión proactiva de fallos, Gestión de errores bajo demanda y control de administración. En las siguientes tablas se recogen las funciones que forman cada conjunto, las herramientas que utilizan descritas anteriormente y los RFCs donde quedan definidas.

Funciones OAM	Herramientas OAM	RFCs	Descripción
Verificación de la conectividad y continuidad	Bidirectional forwarding Detection (BFD)	RFC 6428	Verificación de conectividad de camino LSP
Indicación de detección remota (RDI)	Bidirectional forwarding Detection (BFD)	RFC 6428	Permite que un punto final de ruta informe de la detección de un fallo en la conexión bidireccional entre él y otro punto final de ruta.
Alarm Indication Signal (AIS)	Mensajes de gestión AIS (Alarm Indication Signal)	RFC 6427	El reporte de alarmas es una función utilizada para informar por parte de un punto intermedio de un camino LSP que detecta un fallo en el a los otros puntos intermedios o finales del mismo path.
Link caído	Flag en el mensaje AIS	RFC 6427	El mensaje AIS (Alarm Indication Signal) con el flag Link Down active indica que se ha detectado una caída en el enlace.
Reporte de condición de bloqueo (LKR)	Mensaje LKR	RFC 6427	El mensaje LKR notifica a los puntos finales de una ruta de transporte que existe una condición de bloqueo administrativo para dicha ruta.

Tabla 9: Gestión proactiva de fallos [29]

Funciones OAM	Herramientas OAM	RFCs	Descripción
Verificación de conectividad	LSP ping	RFC 6426	Función para verificar la conectividad entre dos puntos finales de un mismo camino.
Función loopback	LSP Ping	RFC 6435	Función para testear la integridad de un camino de transporte LSP.
Instrucción de bloqueo (LI)	Flag en el mensaje AIS	RFC 6427	Función para solicita el bloqueo de un camino de transporte debido a razones administrativas.

Tabla 10: Gestión de errores bajo demanda [29]

Funciones OAM	Herramientas OAM	RFCs	Descripción
Instrucción de bloqueo	Mensaje LKR	RFC 5860	Función que permite bloquear y desbloquear administrativamente una ruta de transporte MPLS-TP

Tabla 11: Administración de control [29]

6.3.5. Conclusiones

En la siguiente tabla se recoge la puntuación obtenida por parte de cada una de las tecnologías de transporte en los criterios explicados en el punto anterior. No todos los criterios tienen la misma importancia a la hora de la selección por lo que se ha asociado una ponderación a cada criterio como se ha explicado en el apartado 6.1.5.

	Ponderación	WDM	OTN	MPLS-TP
Coste	40 %	7	8	9
Capacidad	30 %	9	9	9
QoS	10%	5	9	8
Facilidad de operación	20%	5	8	9
Total	100	7	8,4	8,9

Tabla 12: Selección tecnología Red de Transporte

Teniendo en cuenta los criterios para la selección y las alternativas, con los resultados mostrados en la tabla 12 se obtiene que la mejor alternativa es OTN o MPLS-TP.

Por un lado, la tecnología WDM no implementa ningún mecanismo de calidad de servicio o gestión de operación y mantenimiento por lo que no se considera una opción adecuada si no se implementa como OTN o MPLS-TP.

Por otro lado, la tecnología MPLS-TP, a pesar de que las características que presenta son muy favorables, no es lo suficiente madura para ser la tecnología a utilizar en la red de transporte.

Por tanto, la tecnología OTN es la más adecuada para la implementación en la red de transporte. Para dotar a esta tecnología de la capacidad necesaria, se implementará junto con DWM. Así, se combinarán lo mejor de ambas: capacidad y QoS/Gestión de operación y mantenimiento.

7. Metodología

En este apartado se presenta la metodología para la realización del diseño de una red de acceso y una red de transporte basadas en las tecnologías que se han analizado y seleccionado en los apartados anteriores.

En primer lugar, se determinará el área geográfica sobre la que se va a realizar el diseño y se definirán los criterios a tener en cuenta en dicho diseño, tanto de la red de acceso como de transporte.

En segundo lugar, se definirán las fases a implementar para facilitar el diseño, por un lado, de la red de acceso y, por otro lado, de la red de transporte. Finalmente, se llevará a cabo la implementación de dicha metodología.

Tanto en el diseño de la red de acceso como de la red de transporte, se ha utilizado la herramienta gratuita QGIS [30] para el tratamiento de los datos y la representación gráfica en el mapa. QGIS es un Sistema de Información Geográfica que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos y diseñar mapas.

7.2. Cobertura geográfica

Este proyecto abarca el diseño de una infraestructura de fibra óptica residencial para la Comunidad Autónoma del País Vasco. Si bien el diseño debería contemplar la red global de un operador en esta área, debido al alcance del Trabajo de Fin de Máster (24 créditos / 600 horas), ha sido necesaria abordar sólo algunas áreas de esta red tan extensa. Es por eso que el diseño de la red de acceso se ha acotado al área correspondiente a las tres capitales de las provincias. Desde el punto de vista de la red de transporte, se analizarán las necesidades de transmisión en base a la tecnología OTN/DWM, para dar cobertura de transmisión al área mencionado.



Ilustración 18: Área de cobertura geográfica

En cuanto a la red de acceso, como ya se ha comentado en el apartado 5.1.2, el punto central de una red GPON es la cabecera central, donde se encuentra la OLT, y que proporciona el servicio a los usuarios que se encuentran repartidos en el área de cobertura de la propia central. Esta área de cobertura es muy extensa ya que la distancia máxima entre la central y un usuario es de 20 km.

El área de cobertura de una central puede englobar diferentes barrios o distritos de una misma ciudad o incluso a una ciudad entera dependiendo del número de hogares a los que se quiera llegar. A pesar de que con una central se pueda cubrir una ciudad entera, normalmente hay más de una central dependiendo de la densidad de población de dicha ciudad. En el caso de las tres capitales que en el que se engloba este proyecto, todas tienen más de una central como se verá más adelante.

Para facilitar el diseño de la red de acceso, se dividirá el área de cobertura de la central en entidades jerárquicas más pequeñas, como se observa en la siguiente figura:

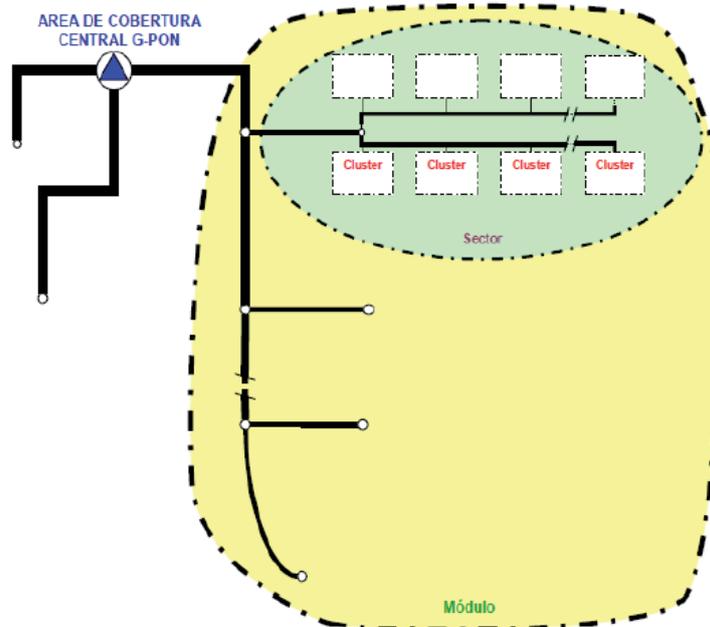


Ilustración 19: División área de cobertura de una central GPON

- **Módulo:** El área de cobertura de una misma central se dividirá en módulos formando zonas más pequeñas que son cubiertas por el mismo torpedo, es decir, por el mismo cable de fibra óptica troncal. El módulo engloba la red de alimentación, distribución y dispersión de la arquitectura GPON. El número de módulos dependerá de la disposición de los hogares a cubrir y del número de torpedos de fibra óptica que salgan de la central.
- **Sector:** Los módulos están divididos en zonas más pequeñas denominadas sectores. Los hogares cubiertos por un sector serán los servidos desde una segregación o empalme de la troncal que sale de la central G-PON. Los sectores engloban la red de distribución y dispersión de la arquitectura GPON. El número de sectores dependerá de la distribución de los hogares a cubrir y de la capacidad del torpedo que salga de la central.
- **Clúster:** Los sectores, a su vez, están divididos en zonas más pequeñas denominadas clúster. Un clúster contiene a todos los hogares a los que se da servicio desde un mismo divisor de segundo nivel. Están formados por la red de dispersión de la arquitectura GPON. El número de clústeres dependerá del número de hogares, es decir, del índice de penetración que se definirá más adelante.

Por otro lado, la red de transporte cubrirá la interconexión entre las tres capitales mediante anillos DWDM. Estos anillos se deberán dimensionar de tal manera que permitan soportar todo el tráfico de transmisión proveniente de todas las centrales GPON de las capitales, tanto para el escenario actual como para las previsiones de demanda futura

La red de transporte se va a dividir en dos partes:

- **Conexión entre centrales GPON:** La OLT de cada central GPON es la encargada de interconectar la red de telefonía y los servicios de Internet con la red de acceso. Todas las OLT de cada capital irán conectadas por un anillo dimensionado al tráfico de transmisión de cada ciudad. Normalmente, estos anillos de unión de centrales FTTH se consideran parte de la red de acceso por ser de pequeña capacidad. Sin embargo, estos anillos tendrán una capacidad mínima de 10 Gb por lo que en este proyecto se consideran parte de la red de transporte.

- **Conexión entre ciudades:** Los anillos resultantes de cada ciudad se conectarán a un anillo de mayor capacidad conectado así las tres capitales.

7.3. Criterios de diseño

En este apartado se van a definir los criterios que se han de tener en cuenta a la hora de realizar el diseño. Primero, se presentarán los criterios a utilizar en la red de acceso y, después, los de la red de transporte.

7.3.1. Red de acceso

A continuación, se presentan los criterios de la red de acceso: Uso de infraestructuras, ubicación de las centrales FTTH, índice de penetración y nivel de división a implementar.

7.3.1.1. Uso de infraestructuras

Uno de los aspectos más costosos a nivel económico del despliegue de una red de acceso o transporte es la obra civil. La realización de una obra civil es un proceso largo y muy costoso no solo por la obra si no por los permisos y trámites administrativos que hay que solicitar.

En este caso, para la red de acceso, habría que hacer obra civil en la mayoría de las calles de Bilbao, Donostia y Vitoria y la construcción de centrales donde ubicar las OLTs. Para la red de transporte, habría que realizar obra en el País Vasco para la interconexión entre las tres capitales.

Para evitar este coste adicional de obra civil, se van a utilizar las infraestructuras de Telefónica, siempre y cuando sea posible. El uso de las redes de Telefónica conlleva el pago de una cantidad de dinero por el alquiler de la canalización al mes. Sin embargo, el coste asociado a este alquiler es menor que el asociado a una obra civil.

La CNMC, Comisión Nacional de los Mercados y Competencia, definió la oferta MARCo [31]. El objetivo de esta es *‘Establecer los criterios técnicos para la utilización y acceso a la infraestructura civil de la planta telefónica (conductos, registros y postes) y a las centrales telefónicas (salas OBA, galerías de cables y cámaras O), para la instalación de Cables por parte de otros Operadores de Telecomunicaciones (para facilitar el despliegue de las Redes de Acceso de Nueva Generación (fibra óptica o coaxial), así como la definición de limitaciones y la utilización de elementos complementarios’.*

En esta oferta se recogen todos los precios de los alquileres, así como, la normativa de estos. En este caso, se van a alquilar todas las canalizaciones a Telefónica, así como hacer uso de sus centrales para la instalación de OLTs propias.

7.3.1.2. Ubicación de las centrales GPON

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, se va a hacer uso de las centrales de telefónica para la instalación de las OLTs.

En las siguientes tablas se recoge el nombre y ubicación de las centrales de TESA que proporcionan servicios FTTH de las distintas ciudades.

Nombre	Código MIGA
Begoña	4810015
Artxanda	4810011
Gran vía	4810009
Barakaldo	4810007

Tabla 13: Centrales Telefónica Bilbao [32]

Nombre	Código MIGA
Gros	2010010
Ondarreta	2010003
Amara	2010002

Tabla 14: Centrales Telefónica Donostia [32]

Nombre	Código MIGA
Zaramaga	0110003
Lakua	0110096

Tabla 15: Centrales Telefónica Vitoria [32]

7.3.1.3. Índice de penetración

El índice de penetración es el porcentaje de abonados que soporta cada Caja de Terminal Óptica (CTO) desplegada en su área de cobertura, sin necesidad de ampliación por parte de la operadora.

La propia CNMC [33] tiene una página web donde publica todos los estadísticos del mercado de las telecomunicaciones. Unos de los datos que se publica es la cuota de mercado de banda ancha por comunidad y operador. En la siguiente tabla se recoge la cuota de mercado de las operadoras de las tres provincias sobre las que se están realizando el diseño. Los datos representan el % de líneas por operadora (% líneas/total). Estos datos han sido actualizados por última vez 24/11/2016.

	Movistar	Vodafone	Orange	Jazztel	Euskaltel
Álava	38,2%	9,9%	14,0%	7,6%	29,6%
Guipúzcoa	35,6%	9,4%	9,6%	7,4%	37,1%
Vizcaya	29,5%	9,1%	10,2%	7,3%	42,9%

Tabla 16: % de líneas por operadora en las capitales del País Vasco [33]

Los principales operadores en el País Vasco son Movistar y Euskaltel. Ambos rondan entre el 30 y 40 % del total del mercado. El resto de operadores tienen una cuota de mercado no superior al 10% cada una.

Por tanto, el índice de penetración mínimo deberá ser 10%. En caso de que en un futuro el índice de penetración supere el 10% será necesario volver a replantear el diseño de la red. Por esta razón, se va a aumentar el índice de penetración al 20%.

Este 20% se va a ver reflejado en el número de elementos pasivos de la red y en el número de puertos de la OLT.

7.3.1.4. Requisitos calidad de señal

Según la especificación del estándar GPON, los niveles de recepción de la señal óptica en el punto de terminación de red deben ser superiores a -27 dBm. Este estándar define tres tipos de OLT/ONT en función de la potencia mínima del receptor para cumplir con una tasa determinada de error que garantice la calidad de la señal. La más utilizada y la de menor valor es la clase de tipo B+.

ONT	
TIPO	Sensibilidad (dBm)
A	-25
B+	-27
C	-26

Tabla 17: Tipos de ONT

La atenuación máxima soportada vendrá dada por la diferencia de la potencia máxima garantizada por la OLT y de la potencia mínima que recibe la ONT.

Gracias a los splitter ópticos se puede distribuir una fibra conectada a un puerto de la OLT hasta varias ONTs en función del nivel de splitter utilizado. Sin embargo, estos componentes de red añaden una determinada atenuación por lo que el nivel de splitter se ve condicionado por la

sensibilidad de la ONT. Además, la fibra óptica también añade atenuación en función de la distancia. El estándar GPON define una distancia máxima entre la OLT y la ONT de 20kms.

Descripción		Atenuación
Fibra de 8 a 128	1310 nm	0,36 dB/km
	1550 nm	0,22 dB/km
Splitter 1:4		7 dB
Splitter 1:8		10 dB
Splitter 1:16		12dB
Empalme fusión		0,1 dB
Empalme mecánico		0,5 dB
Conectores		0,5 dB

Tabla 18: Atenuación de los componentes de una red GPON

En este caso se va a utilizar un grado de splitter de 1:64 dividido en dos etapas de división cumpliendo con los valores de sensibilidad.

Atenuación 1:64: $12 + 7 = 19$ dB

Atenuación fibra: $0,36 * 20 = 7$ dB (suponiendo los 20 km de distancia)

Total= 26 dB → Se cumple la sensibilidad en la ONT

7.3.1.5. Nivel de división

Como se ha indicado en el apartado 7.2.1.4, el nivel de división para cumplir los requisitos de calidad es de 1:64. La división se realiza en dos etapas: el primer nivel de división que se encuentra en las cajas de distribución y el segundo nivel de división que se encuentra en las CTO.

El índice de penetración está directamente relacionado con el nivel de división. En la siguiente tabla se indica la cobertura de los hogares por CTO, en función del índice de penetración y de las diferentes combinaciones de divisores en ambas etapas, manteniendo siempre el nivel 1:64 en conjunto.

1º Etapa de división	2º etapa de división	Nº clientes posibles por divisor	Nº UUIIS conectables por divisor (20%)	Nº clientes posibles totales	Nº UUIIs conectables totales (20%)
1 divisor 1:2	2 divisores 1:32	32	160	64	320
1 divisor 1:4	4 divisores 1:16	16	80	64	320
1 divisor 1:8	8 divisores 1:8	8	40	64	320

Tabla 19: Combinación de divisores y cobertura

A continuación, se detalla lo que indica cada columna de la tabla anterior:

- 1º etapa de división: Se muestra la división del primer divisor que se encuentra en la caja de distribución.
- 2º etapa de división: Se muestra la división del segundo divisor que se encuentran en la CTO.
- Nº clientes posibles por divisor: Número de clientes posibles activos en función de la división del segundo divisor.

- Nº UUIIs conectables por divisor: Número total de UUIIs conectables al segundo divisor. La penetración es del 20%, por tanto, los divisores de segundo nivel de 1:32 darán cobertura a 160 UUIIs, de los cuales únicamente 32 podrán estar activos de forma simultánea.
- Nº clientes posibles totales: Número de cliente activos resultante de la combinación de ambas etapas.
- Nº UUIIs totales: Número total de UUIIs conectables en combinación de ambas etapas. Esta cantidad corresponde con el índice de penetración del 20%.

Por tanto, de la tabla anterior se obtiene que cada combinación de etapas va a dar una cobertura de 320 clientes de los cuales únicamente el 20% (64 clientes) podrán estar activos simultáneamente.

En el momento que haya más de 64 clientes conectados por combinación de ambas etapas, será necesario realizar una ampliación de la CTO modificando en nivel de división para así poder dar servicio a más clientes.

Como se ha podido comprobar, la cobertura es la misma independientemente del tipo de división utilizada en las etapas. Sin embargo, algunas combinaciones son mejores que otras en función de la densidad de población.

Debido a las distancias entre la central y el usuario final, es conveniente que en zonas de baja densidad se coloquen un mayor número de CTOs. Así, se acortarán lo máximo posible las distancias. Por esto, se utilizará la combinación 1:4 1:16 en zonas de media o baja densidad.

En cambio, en zonas de alta densidad, la distancia no es un problema y para ahorrar costes es más conveniente instalar el menor número de CTOs posibles. Por esto, se utilizará la combinación 1:2 1:32 en zonas de alta densidad.

7.3.2. Red de transporte

A continuación, se presentan los criterios de la red de transporte: Número de usuarios por central FTTH, tráfico transmitido en cada central y capacidad de OTN.

7.3.2.1. Número de usuarios por central FTTH

El primer criterio a tener en cuenta a la hora de diseñar la red de transporte es el número de usuarios activos que hay por central FTTH. Este dato es necesario para determinar el tráfico total transmitido tanto en sentido ascendente como descendente y, así, dimensionar las capacidades mínimas de los anillos ópticos que forman la red de transporte.

En el diseño de la red de acceso se ha supuesto un índice de penetración del 20%. Sin embargo, en este caso, el índice de penetración va a ser mayor ya que la escalabilidad en la red de transporte es más compleja. Así, si en un futuro aumenta el número de usuarios únicamente será necesario realizar cambios en la red de acceso. El índice de penetración de la red de transporte va a ser del 30%.

Ciudad	Nombre Central FTTH	Código MIGA	UUII Totales	UUIIs activas (30%)
Bilbao	Begoña	4810015	49752	14926
Bilbao	Artxanda	4810011	48277	14484
Bilbao	Gran vía	4810009	61614	18485
Bilbao	Barakaldo	4810007	11794	3539
Donostia	Rentería	2010010	32259	9678
Donostia	Ondarreta	2010003	31961	9589
Donostia	Amara	2010002	34158	10248
Vitoria	Zaramaga	0110003	77940	23382
Vitoria	Lakua	0110096	39830	11949

Tabla 20: Unidades inmobiliarias activas en cada central FTTH

7.3.2.2. Tráfico transmitido en cada central

La red de transporte proporciona conectividad entre los diferentes nodos de la red, generalmente nodos de conmutación, de todos los diferentes servicios (voz, datos, móviles...). Para poder dimensionar los anillos ópticos que unirán todas las centrales FTTH de las tres ciudades, es necesario conocer la concurrencia de tráfico existente en las centrales.

En la página web oficial de la CNMC también se encuentra este estadístico. En el año 2016, el volumen de tráfico medio por usuario fue de 1 Mb/s.

Conociendo el volumen medio transmitido por usuario y el número de usuarios, se calcula la capacidad mínima de los anillos ópticos.

Ciudad	Central FTTH	Código MIGA	Volumen medio (Mb/s)
Bilbao	Begoña	4810015	14926
Bilbao	Artxanda	4810011	14484
Bilbao	Gran vía	4810009	18485
Bilbao	Barakaldo	4810007	3539
Donostia	Rentería	2010010	9678
Donostia	Ondarreta	2010003	9589

Donostia	Amara	2010002	10248
Vitoria	Zaramaga	0110003	23382
Vitoria	Lakua	0110096	11949

Tabla 21: Volumen medio de cada central FTTH

7.3.2.3. Capacidad OTN

La tecnología OTN permite envolver cualquier servicio en un contenedor digital óptico proporcionando la transparencia de servicio necesaria que ofrece la flexibilidad para dar soporte a todo tipo de tráfico.

La señal cliente es transportada en unidades de transporte ópticos (OTU) que son las que determinan la capacidad de transmisión de esta tecnología. En la recomendación ITU – T G.709, están definidos el número de unidades de transporte ópticos existentes y las capacidades de cada uno de ellos.

Tipo de OTU	Bit rate nominal
OTU1	2,5 Gbps
OTU2	10 Gbps
OTU3	40 Gbps
OTU4	100 Gbps

Tabla 22: Capacidad OTU

7.4. Proceso de diseño

En este apartado se va proceder a la realización del diseño de la red de acceso y de la red de transporte según los criterios de diseño definidos en el apartado anterior. Primero, se definirá las fases de diseño que se van a seguir para, después, ir detallando una a una.

En cuanto a la red de acceso, únicamente se va a realizar el diseño de una central FTTH de la ciudad de Bilbao que será la que se explique durante el proceso de diseño. El resto de centrales FTTH se harían de la misma manera y, puesto que es un proceso repetitivo, se va a centrar el diseño en una única central.

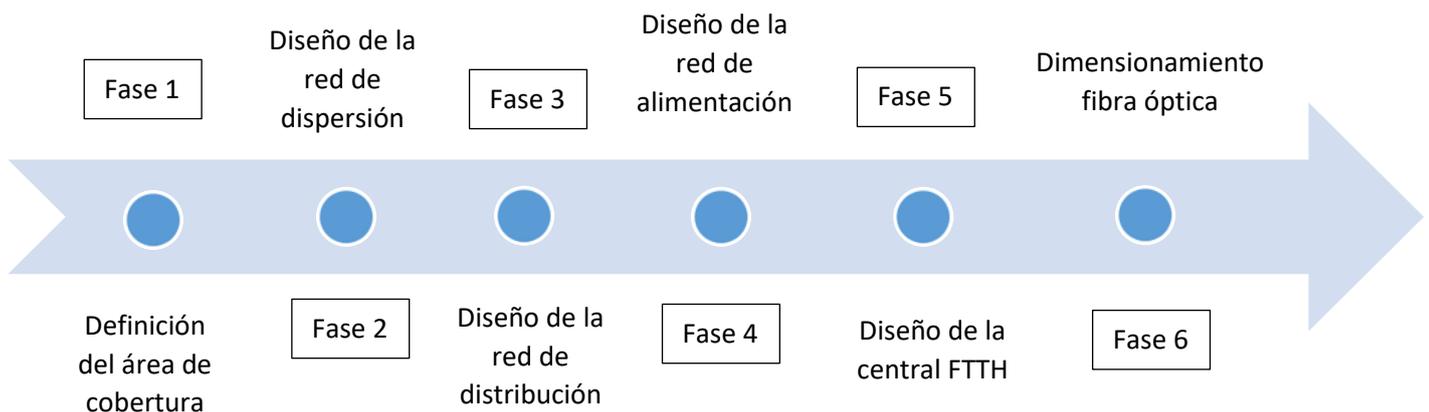
Desde un punto de vista de costes, se va a considerar el coste por unidad inmobiliaria. De esta forma, teniendo en cuenta que la densidad de unidades inmobiliarias por metro cuadrado es similar, para obtener el presupuesto total de las tres capitales se extrapolará los costes multiplicando el coste de la central de Bilbao por el número de unidades inmobiliarias.

7.4.1. Red de acceso

En primer lugar, se van a definir las fases de diseño a seguir en la red de acceso. Después, se detallará el diseño de dicha red.

7.4.1.1. Descripción de las fases de diseño

A continuación, se describen las fases a seguir para realizar el diseño de la red FTTH. Una red FTTH consta de cuatro partes: Central, Red de alimentación, red de distribución y red de dispersión. Las fases coincidirán con el diseño de cada una de estas partes.



Fase 1: Definición del área de cobertura

En esta primera fase se realizará la definición del área de cobertura de cada central FTTH.

Fase 2: Diseño de la red de dispersión

En esta segunda fase se diseñará la red de dispersión. Esta es el tramo de red entre las cajas terminales y la entrada a domicilio del cliente.

El diseño de la red de dispersión depende de la ubicación de las CTO y pueden ser de interior o exterior. En esta fase se abordarán ambos tipos.

Fase 3: Diseño de la red de distribución

En esta tercera fase se diseñará la red de distribución. Este es el tramo de red entre las cajas de distribución y las cajas terminales, donde se realiza el segundo nivel de división.

En primer lugar, se establecerán los clústeres. En segundo lugar, se definirá el número de CTOs, su ubicación y el nivel de división de estas.

Fase 4: Diseño de la red de alimentación

En esta cuarta fase se diseñará la red de alimentación. Este es el tramo de red entre la salida de la central FTTH y las cajas de distribución, donde se realiza el primer nivel de división.

En primer lugar, se agruparán los clústeres definidos en la fase anterior formando los módulos. En segundo lugar, se definirán el número de cajas de distribución, su ubicación y el nivel de división de estas.

Fase 5: Diseño de la central FTTH

En esta quinta fase se diseñará la cabecera central FTTH. En esta se sitúa el equipo OLT que se encarga de unir la red de transporte con la red de acceso y de proporcionar los servicios a los clientes.

El equipo a utilizar se elegirá en función del número de clientes. El nivel de división utilizado es de 1:64 por lo que por cada puerto de la OLT se ofrecerá servicio a 64 clientes.

Fase 6: Dimensionamiento de la fibra óptica

En esta última fase se dimensionará la capacidad de la fibra óptica. A pesar de que el índice de penetración es del 20 %, el despliegue de fibra óptica cubrirá el 100% de los hogares.

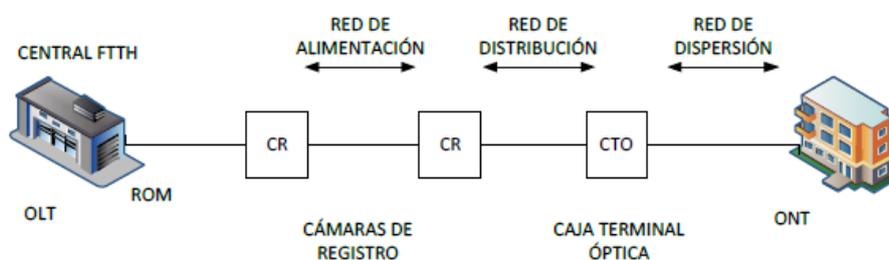


Ilustración 20: Arquitectura FTTH

7.4.1.2. Descripción del proceso de diseño

A continuación, se realiza la descripción del proceso de diseño siguiendo las fases definidas en el apartado anterior.

7.4.1.2.1. Definición del área de cobertura

En primer lugar, es necesario definir el área de cobertura de las centrales FTTH, conocer las unidades inmobiliarias y su ubicación que se encuentran bajo su cobertura.

En la siguiente imagen, se muestran todas las centrales FTTH que proporcionan servicio FTTH a la ciudad de Bilbao. La central que se denomina Gran vía es sobre la que se va a realizar el diseño de la red.

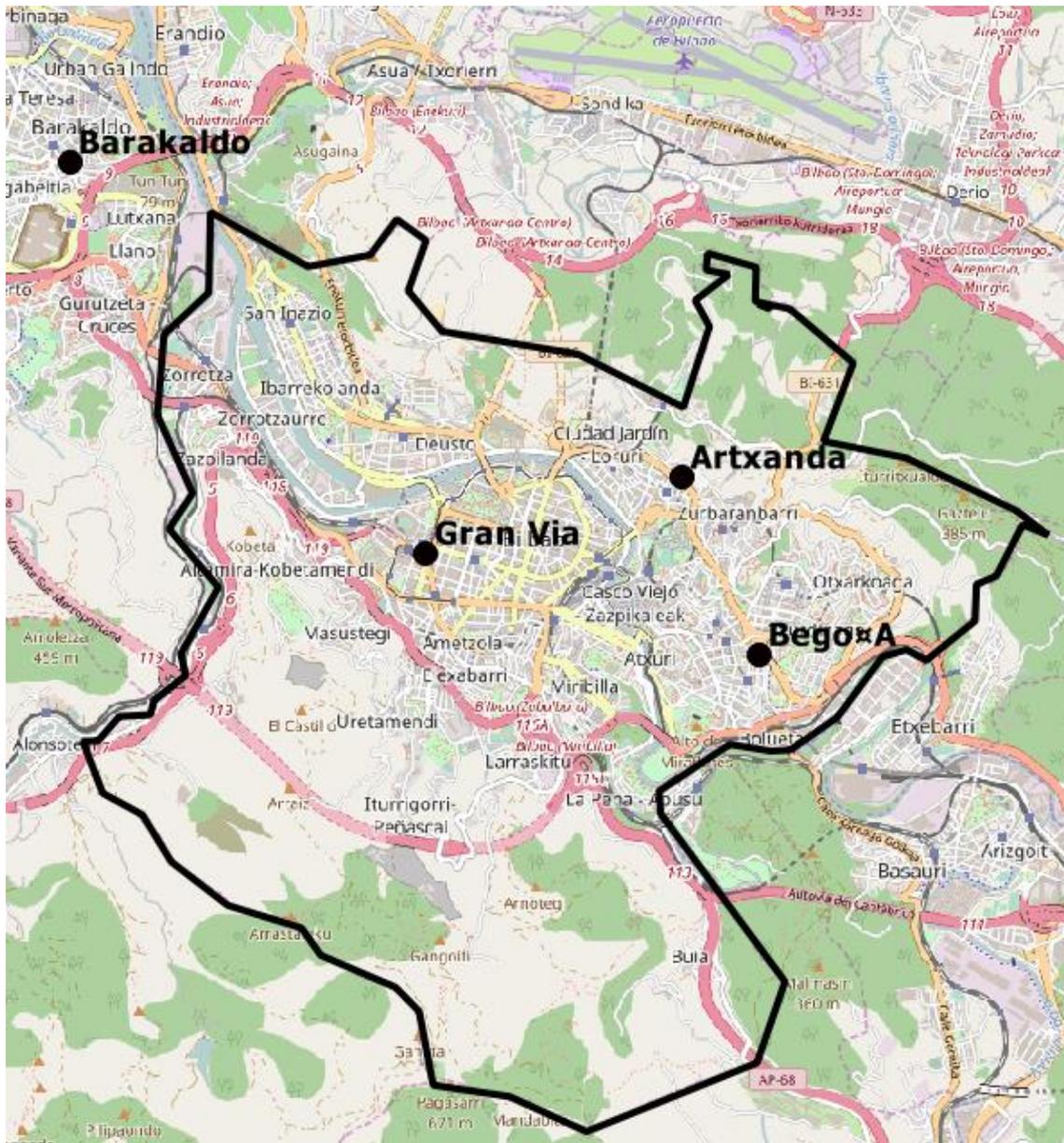


Ilustración 21: Centrales FTTH Bilbao

La central FTTH de Gran vía tiene bajo su área de cobertura a 61614 unidades inmobiliarias. Sin embargo, como el índice de penetración es del 20% la infraestructura se va a diseñar para que,

aproximadamente, 12.322 unidades inmobiliarias estén activas. En la siguiente imagen, se observa sobre el mapa del municipio de Bilbao, la cobertura de la central FTTH de Gran vía y la localización de las unidades inmobiliarias.

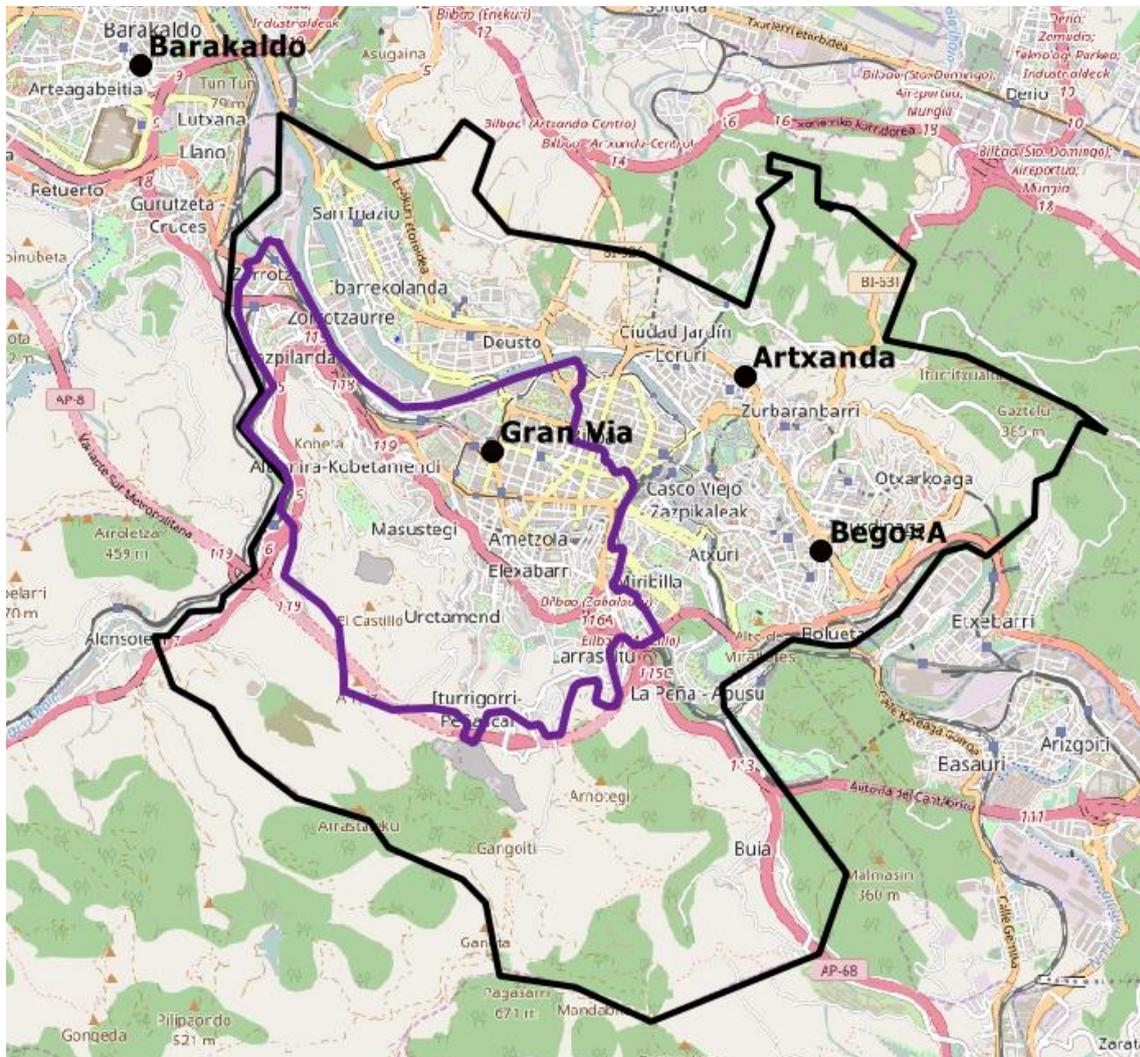


Ilustración 22: Cobertura central FTTH 'Gran vía' en Bilbao

Una vez definido el área de cobertura de la central FTTH y conocidas las unidades inmobiliarias que están bajo su área, se procede a comenzar el diseño de la red de acceso.

7.4.1.2.2. Diseño de la red de dispersión

La red de dispersión es el tramo que se encuentra entre las cajas terminales (CTO) y la entrada al domicilio del cliente.

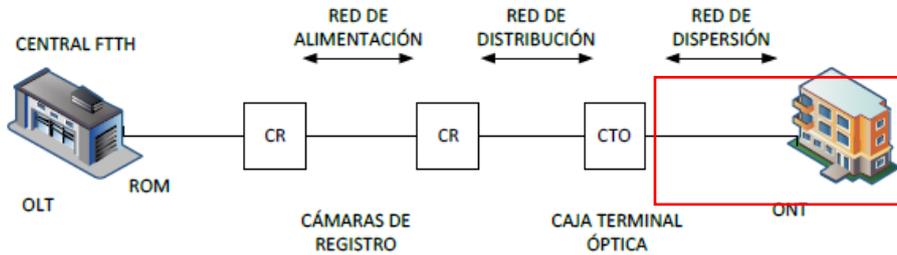


Ilustración 23: Arquitectura FTTH

La instalación de la red de dispersión depende de la ubicación de las CTO y puede realizarse por exterior (fachada, azoteas...) o por interior (cuarto de contadores, garajes...). En principio, la acometida desde la CTO, ya sea de interior o de exterior, hasta la vivienda del usuario no puede superar los 150 metros por las características propias del latiguillo que llega hasta la casa del usuario.

Sin embargo, existe la posibilidad de aumentar la distancia de la siguiente manera. Normalmente, a la salida del segundo divisor en las CTO, utilizando un conector optitap [34] se conecta las fibras de la red con la del interior del edificio que llega hasta los usuarios finales. Para aumentar la distancia de 150 metros, se podría realizar la conexión con el optitap en un registro secundario en una zona más próxima al usuario final, por ejemplo, en el cuarto de contadores del edificio.

En aquellas ocasiones en las que la distancia entre la CTO y el usuario supere los 150 metros, se utilizará esta solución dando lugar a una instalación de interior.

7.4.1.2.2.1. Instalaciones de interior

En las instalaciones de interior, la CTO que se encuentra en la fachada, se conecta con los registros secundarios mediante fibra óptica, donde se ubican las cajas de distribución de interior conectorizadas. A partir de este punto se instalarán cables monofibra hasta el PTR-O, únicamente bajo demanda.



Ilustración 24: CTO de interior

7.4.1.2.2. Instalaciones de exterior

En las instalaciones de exterior las CTO se suelen encontrar en la fachada de los edificios. A partir de este punto se instalan fibras monomodo hasta las rosetas ópticas (Punto de terminación de red óptica, PTR-O) situadas en las dependencias del cliente. Este último tramo se hará bajo demanda a petición del cliente.



Ilustración 25: CTO de exterior

Tanto en las instalaciones de interior como de exterior, la conexión a partir del PTR-O a los equipos de clientes es la misma. La fibra saliente de la roseta óptica se conecta a la ONT que se encargará de convertir las señales luminosas en eléctricas. La ONT tendrá dos salidas: una que irá a la roseta telefónica y otra que irá al router.

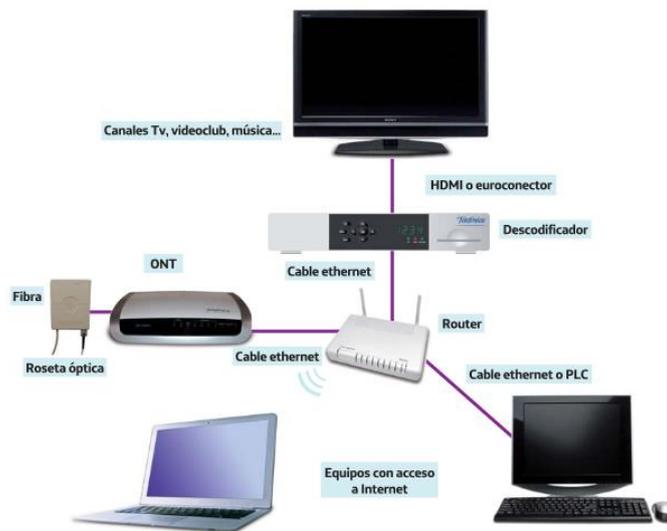


Ilustración 26: Instalación de cliente

7.4.1.2.3. Diseño de la red de distribución

La red de distribución es el tramo que se encuentra entre las cajas de distribución, donde se realiza la primera división, y las cajas terminales (CTO), donde se realiza la segunda división.

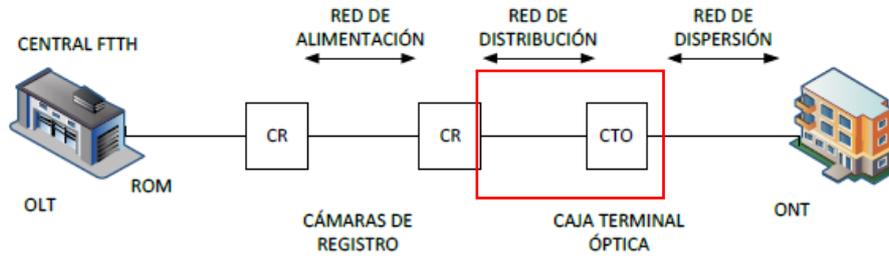


Ilustración 27:Arquitectura FTTH

Antes de definir el número de divisores de segundo nivel, sus características y su ubicación, es necesario fragmentar el área de cobertura de la central en entidades más pequeñas.

Como se ha comentado en el apartado 7.1, la entidad más pequeña es el clúster y contiene todos los hogares a los que se proporciona el servicio desde un mismo divisor de segundo nivel. Por tanto, en primer lugar, se van a definir los clústeres, que están directamente relacionados con el índice de penetración.

En la tabla 15 (Apartado 7.2.1.5) teniendo en cuenta el índice de penetración (20%), se determinó el número de unidades inmobiliarias a los que proporcionaba servicio una CTO, según el nivel de división utilizado en la segunda etapa. Cada clúster estará formado por dicho número de unidades inmobiliarias y por la CTO que les proporciona servicio.

En la siguiente tabla, se recoge el nivel de división a implementar en función de la densidad de la zona, el número de unidades inmobiliarias a las que se proporciona servicio por CTO en función del índice de penetración y el número de unidades inmobiliarias por clúster.

Densidad	1º etapa de división	2º etapa de división	Nº conectables por divisor (20%)	UUIIS por clúster
Alta	1:2	1:32	160	160
Media/Baja	1:4	1:16	80	80

Tabla 23: Nº unidades inmobiliarias por clúster según el tipo de nivel de división

Por la naturaleza de la localización de las unidades inmobiliarias, en muchas ocasiones no se podrán agrupar cumpliendo estrictamente el número de unidades inmobiliarias conectables por divisor. En ningún caso, se dará servicio a un número mayor de unidades inmobiliarias por CTO ya que el índice de penetración disminuiría.

En la siguiente imagen se observa los diferentes clústeres en los que se ha ido dividiendo el área de cobertura de la central de Gran Vía.

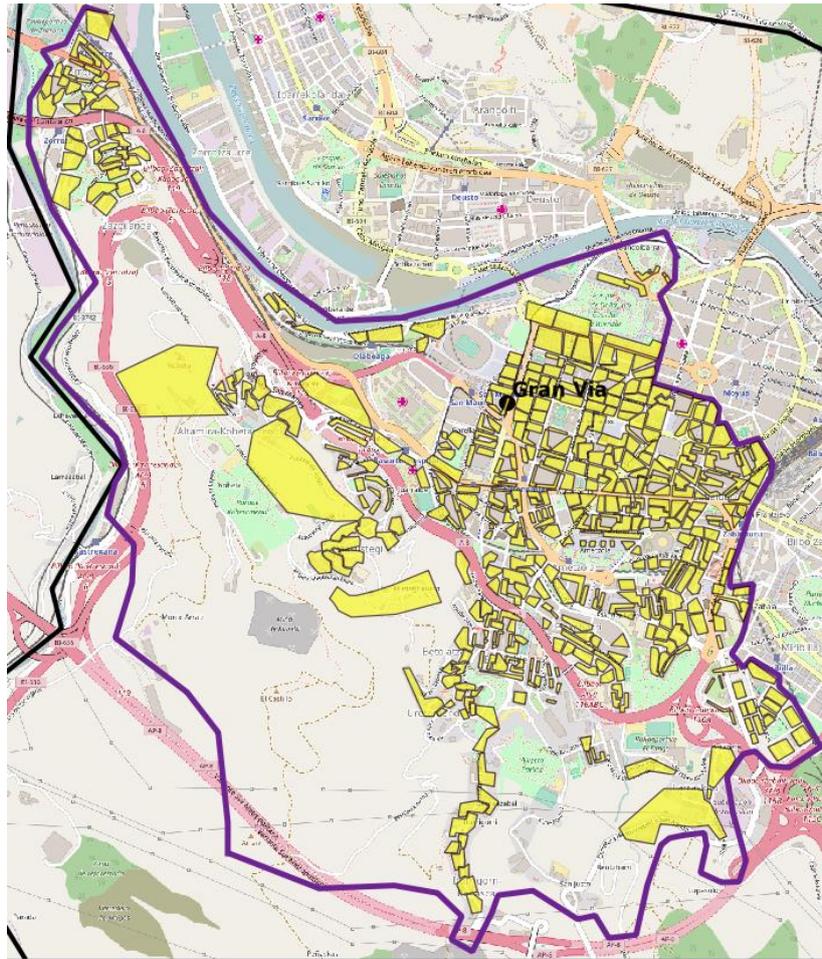


Ilustración 28: Clústeres central Gran Vía

En cada clúster se ubica una caja terminal que contiene el divisor de segundo nivel. En función de la densidad de población se opta por instalar un divisor de segundo nivel 1:16 o 1:32. Por ejemplo, en el centro de Bilbao la densidad de unidades inmobiliarias por metro cuadrado es muy alta. En cambio, en zonas como el barrio de Santa Ana o Altamira, es mucho más bajo.

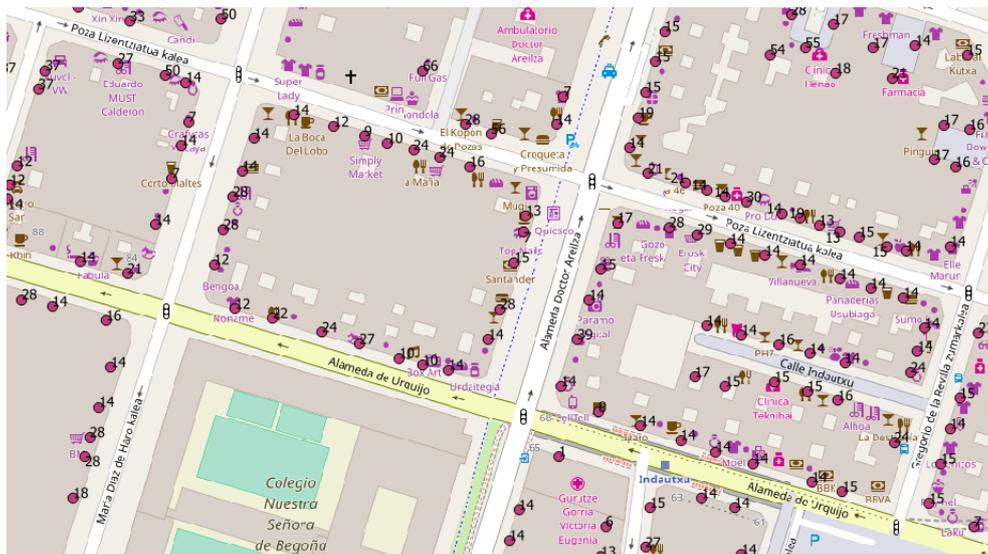


Ilustración 29: Densidad de unidades inmobiliarias en Licenciado Poza y Alameda de Urquijo

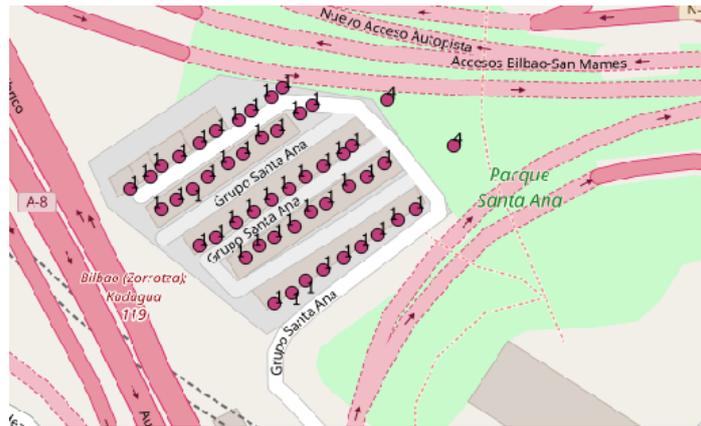


Ilustración 30: Densidad de unidades inmobiliarias en Santa Ana

En total, se ha dividido el área en 484 clústeres, 360 de ellos son en zonas de alta densidad mientras que 124 son en zonas de baja densidad.

Tipos de divisor	Números de divisores
1:32	360
1:16	124
Total	484

Tabla 24: Número y tipo de divisores de segundo nivel

Como se recoge en la tabla 17, hay 360 clústeres con un nivel de división de 1:32 y 124 clústeres con un nivel de división 1:16. Como se comentó en el apartado 7.2.1.5, cada divisor 1:32 proporciona servicio a 160 unidades inmobiliarias mientras que cada divisor 1:16 a 80 unidades inmobiliarias.

7.4.1.2.4. Diseño de la red de alimentación

La red de alimentación es el tramo que se encuentra entre la central FTTH y las cajas de distribución donde se realiza el primer nivel de división. En este caso, su diseño engloba el primer nivel de división y el dimensionamiento del cable de fibra óptica entre la central y las cajas.

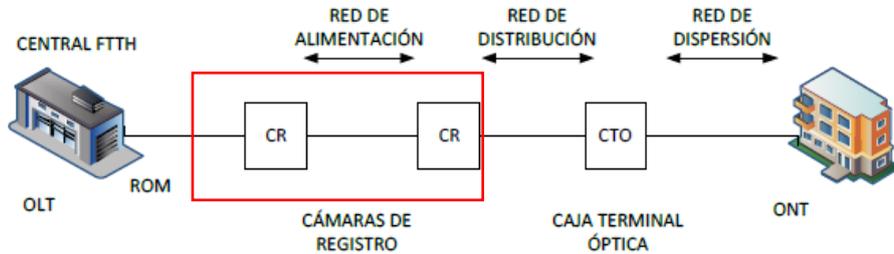


Ilustración 31: Arquitectura FTTH

Antes de definir el número de divisores de primer nivel, sus características y su ubicación, es necesario agrupar los clústeres, definidos en la fase anterior, formando sectores.

En cada sector habrá un único divisor de primer nivel y la elección del tipo de divisor se realizará en función del divisor de segundo nivel definido en la fase anterior, con el objetivo de mantener siempre el nivel de división entre la central y los usuarios de 1:64. Por tanto, la agrupación de los clústeres vendrá definida por el nivel de división de ambas etapas.

Los divisores de primer nivel se instalan en cajas de empalmes ubicadas en fachada o en el interior de arquetas o cámaras de registro.



Ilustración 32: Caja de empalme

En la siguiente tabla se puede comprobar la relación entre ambos niveles de división y el número de clústeres por sector en función de dicho nivel.

División de segundo nivel	Nº de divisores de segundo nivel	División de primer nivel	Nº de clústeres en un sector	Nº de divisores de primer nivel
1:32	360	1:2	2	180
1:16	124	1:4	4	31

Tabla 25: Número de sectores en función del nivel de división

A continuación, en la imagen, se presentan todos los sectores que cubren el área de cobertura de la central de Gran Vía.

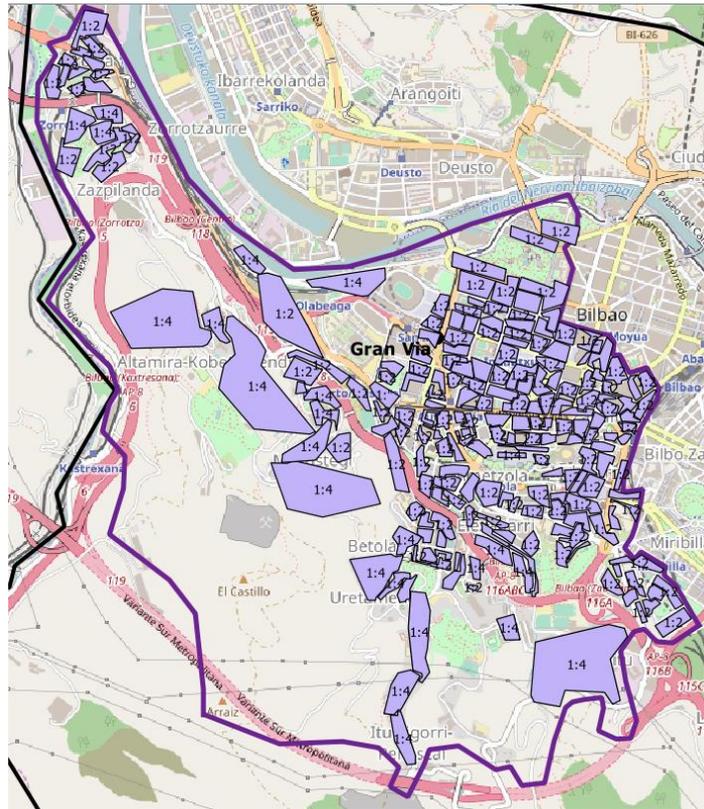


Ilustración 33: Sectores de la central de Gran Vía

Por tanto, se han formado un total de 221 sectores. De este total, en 180 sectores se instalará un divisor de primer nivel 1:2 mientras que en los 31 restantes de 1:4.

7.4.1.2.5. Diseño de la central FTTH

La central FTTH es la ubicación donde se instalan los equipos necesarios para dar servicio a los clientes definidos según el índice de penetración. Como ya se definido anteriormente, se va a hacer uso de las ubicaciones de telefónica para instalar los equipos.

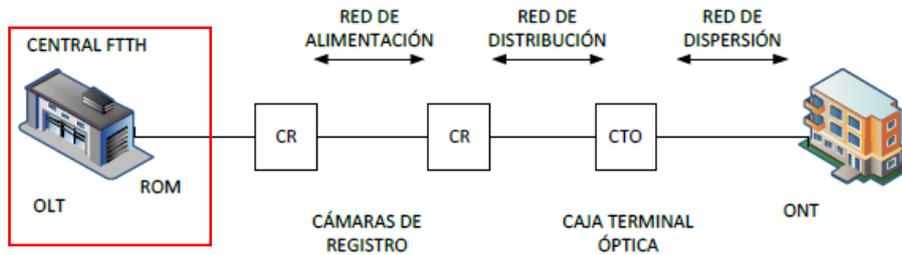


Ilustración 34: Arquitectura FTTH

En estas ubicaciones se van a instalar dos equipos diferentes: Optical Line Termination (OLT) y Optical Distribution Frame (ODF).

7.4.1.2.5.1. Optical Line Termination (OLT)

Las OLT están formadas por bastidores donde se alojan las tarjetas GPON. En función del tamaño de la OLT, estará formada por un número mayor o menor de bastidores por lo que soportará un mayor o menor número de tarjetas.

El número de tarjetas a instalar viene definido por el índice de penetración ya que cada puerto de la tarjeta GPON proporciona servicio a un divisor de primer nivel. Las tarjetas GPON disponibles en el mercado suelen ser de 8 o 16 puertos GPON. En este caso, se van a utilizar las tarjetas GPON de la máxima capacidad disponible, es decir, 16 puertos por tarjeta.

El número de puertos viene definido por el número de divisores de primer nivel que son necesarios ya que cada entrada de estos divisores se conecta a un puerto de la OLT. En la fase de diseño de la red de alimentación, se han obtenido 221 sectores. Como cada sector está formado por un divisor de primer nivel, serán necesarios al menos 221 puertos en la OLT, es decir, 14 bandejas de 16 puertos como mínimo.

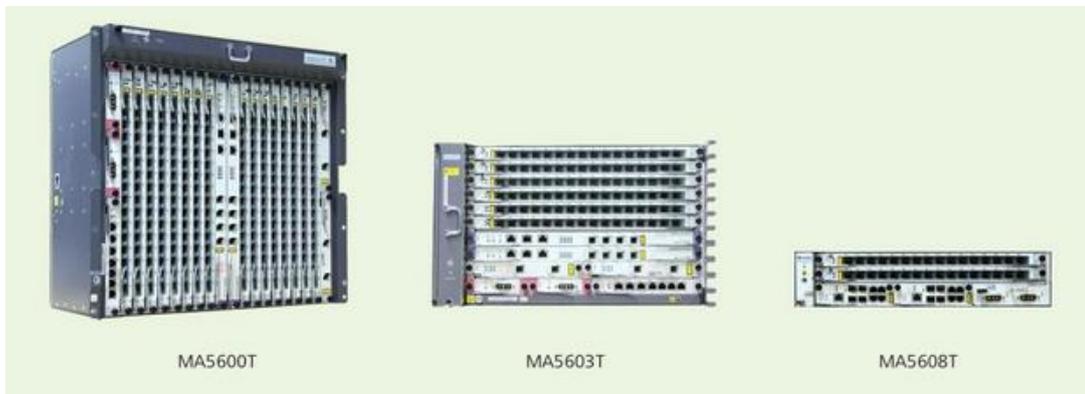


Ilustración 35: OLT Huawei [21]

Volviendo a las tablas 3 y 4 donde se recogen las OLT de los principales fabricantes y teniendo en cuenta el número mínimo de puertos necesarios, las opciones de las que se dispone son las siguientes:

Fabricante	Equipo	Nº Puertos	Nº clientes GPON
Huawei	MA5600T(ETSI)	256	16.384
Huawei	MA5600T(IEC)	224	14.336
ZTE	ZXA10 C300	256	16.384

Ilustración 36: Características OLT a utilizar

7.4.1.2.5.2. Optical distribution Frame (ODF)

Además de la OLT, se instalarán repartidores ópticos ODF como punto intermedio para las conexiones entre los puertos de las tarjetas GPON y los cables de salida de la central GPON, ya que permite flexibilizar las conexiones mediante el uso de latiguillos de fibra.

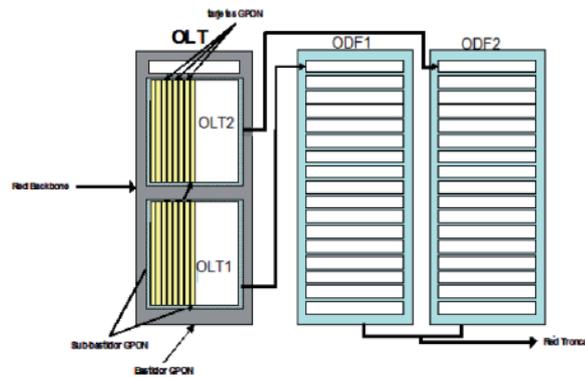


Ilustración 37: Conexión OLT con ODF

7.4.1.2.6. Dimensionamiento de la fibra óptica

Para finalizar con el diseño de la red de acceso únicamente quedaría definir la canalización que se va a utilizar y dimensionar la fibra óptica que saldrá desde la central FTTH para dar servicio a los clientes.

Como se ha comentado con anterioridad, con el objetivo de ahorrar costes se va a hacer uso de las canalizaciones de telefónica. Para el área de cobertura que se está teniendo en cuenta en este diseño, las canalizaciones son las que se han dibujado sobre el siguiente mapa.

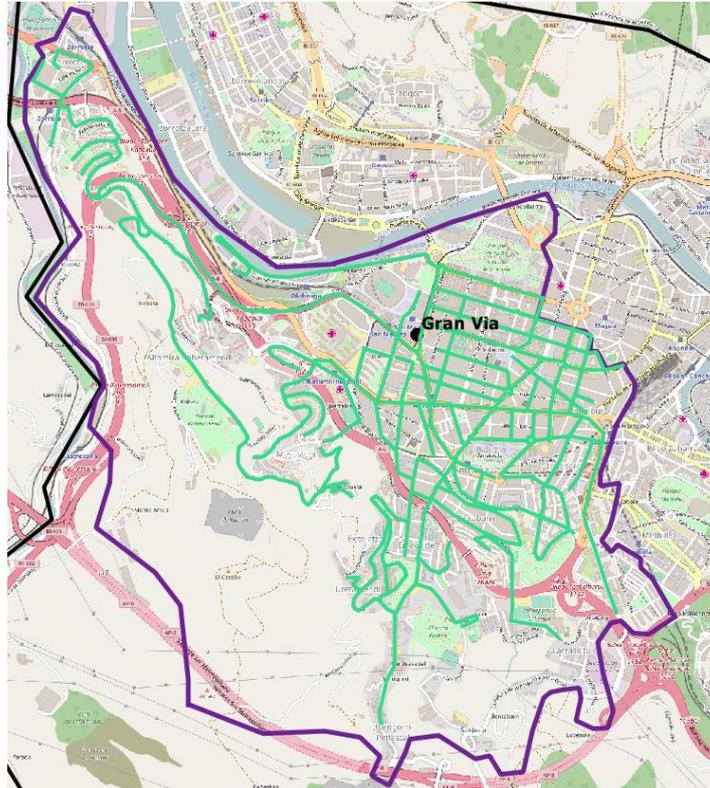


Ilustración 38: Canalización nodo Gran Vía

A diferencia del diseño de red que se ha realizado en sentido ascendente, desde los clientes hacia el usuario, el dimensionamiento del cableado se va a realizar en sentido descendente, desde la central hacia el usuario.

En primer lugar, se divide el área de cobertura de la central de Gran Vía en zonas más pequeñas denominadas módulos. Los módulos engloban a los sectores y cada uno de ellos está cubierto por el mismo torpeda, es decir, por el mismo cable de fibra óptica troncal.

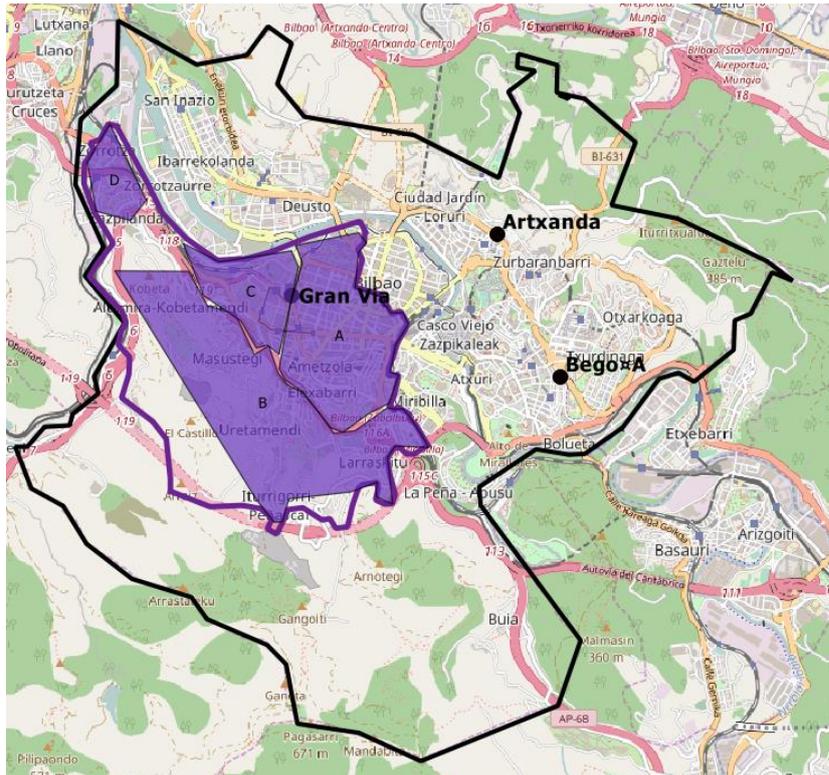


Ilustración 39: Módulos de la central de Gran Vía

En la siguiente tabla, se recogen los módulos y el número de sectores que forman cada uno de estos.

Módulo	Nº Sectores
A	125
B	52
C	19
D	18

Tabla 26: Número de fibras ópticas por módulo

Para poder cubrir a todos los sectores de un mismo módulo se hace necesario ramificar la red troncal hasta llegar a los sectores. Esta ramificación se consigue mediante empalmes y segregaciones de los que saldrán cables de menor capacidad. El número de empalmes a realizar debe ser el mínimo posible, para evitar el incremento innecesario de la atenuación óptica que limite las posibilidades reales de alcance del estándar G-PON.

El cable utilizado para la red de alimentación es de fibra óptica monomodo de tipo PKP. El cable está formado por 8 tubos más pequeños en los que se encuentran las fibras. En función del número de fibras ópticas finales habrá un mayor número de tubos dentro del cable troncal. Estos cables están fabricados de 4 a 356 fibras ópticas.



Ilustración 40: Cable PKP de 64 fibras

En la siguiente tabla se indica la distribución de cada uno de los cables en función del número de fibras que contienen y el código de colores para distinguirlos.

		Número de fibras en el cable				
Nº Tubo		16	32	64	96	128
1º Capa	1	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco
	2	Blanco	Rojo	Blanco	Blanco	Blanco
	3	Rojo	Azul	Rojo	Blanco	Rojo
	4	Rojo	Verde	Rojo	Rojo	Rojo
	5	Azul	Negro	Azul	Rojo	Azul
	6	Azul	Negro	Azul	Rojo	Azul
	7	Verde			Azul	
	8	Verde			Azul	
	9				Azul	
	10				Verde	
	11				Verde	
	12				Verde	
2º Capa	1					Blanco
	2					Blanco
	3					Rojo
	4					Rojo
	5					Azul
	6					Azul
	7					Verde
	8					Verde
	9					Gris
	10					Gris
	11					Negro
	12					Negro
Fibras por tubo		2	8	5 de 12 1 de 4	8	8

*Nota: los tubos negros son elementos pasivos (sin fibra óptica)

Tabla 27: Código de colores de los tubos

En este caso, el cable a utilizar en la red de alimentación vendrá dado por el número de sectores que forman cada módulo.

Módulo	Nº Sectores	Cable de F.O
A	125	128
B	52	64
C	19	32
D	18	32

Tabla 28: Número de fibras ópticas por módulo

Como se puede comprobar en la tabla anterior, no existen cables con el número de fibras ópticas exactas necesarias para cada módulo. Por esta razón, el número de fibras excedente se almacenan como reserva por si se produce alguna avería o para posibles ampliaciones futuras.

Debido a la localización geográfica de los divisores de primer nivel, será necesario seccionar el cable troncal para facilitar la distribución de las fibras ópticas. De esta forma, cuando se realiza la sección, por un lado, continúa el mismo cable y por otro sale un número determinado de fibras para continuar a las entradas de los divisores de primer nivel correspondientes.

En la red de distribución también se utilizarán fibras monomodo. En este caso, se conecta la salida del divisor de primer nivel con la entrada del divisor de segundo nivel. Por tanto, únicamente sería necesario un cable de una fibra. Sin embargo, el número mínimo de fibras por cable es de 4 por lo que las fibras restantes se dejarían como reserva.

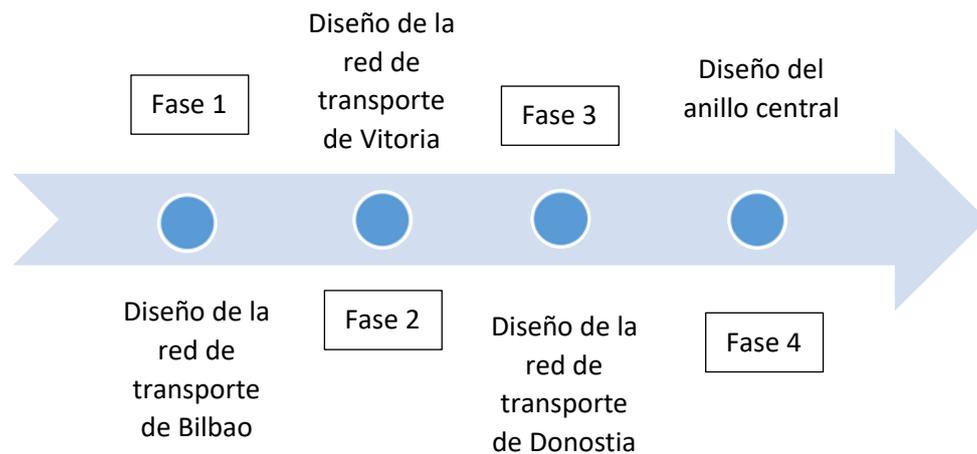
En la red de dispersión el cableado desde la salida de la CTO al hogar del usuario se hace bajo demanda. En el caso de que la CTO se encuentre a menos de 150 metros del hogar del usuario, se conectará directamente la salida del divisor de segundo nivel con la roseta del cliente mediante un cable monotubo de diámetro reducido. Este cable debe ser de fácil manipulación ya que es necesario para acceder a todo tipo de viviendas. En el caso de que la CTO se encuentre a más de 150 metros, se utilizarán dos tipos de cable. Un cable monomodo desde la CTO hasta los conectores optitap y un cable monotubo desde los conectores hasta la vivienda en cuestión.

7.4.2. Red de transporte

En primer lugar, se van a definir las fases de diseño a seguir en la red de transporte. Después, se detallará el diseño de dicha red.

7.4.2.1. Descripción de las fases de diseño

A continuación, se describen las fases a seguir para realizar el diseño de la red de transporte basada en OTN/DWDM.



Fase 1: Diseño de la red de transporte de Bilbao

En esta primera fase se realizará el diseño y dimensionamiento de los anillos que unirán las centrales FTTH de la ciudad de Bilbao.

Fase 2: Diseño de la red de transporte de Vitoria

En esta segunda fase se realizará el diseño y dimensionamiento de los anillos que unirán las centrales FTTH de la ciudad de Vitoria.

Fase 3: Diseño de la red de transporte de Donostia

En esta tercera fase se realizará el diseño y dimensionamiento de los anillos que unirán las centrales FTTH de la ciudad de Donostia.

Fase 4: Diseño de la red de transporte central

En esta cuarta fase se realizará el diseño y dimensionamiento de los anillos que unirán las tres ciudades.

7.4.2.1.1. Diseño de la red de transporte de Bilbao

En la definición de los criterios de diseño de la red de transporte, se han obtenido los datos necesarios para poder dimensionar los anillos ópticos que unen las cuatro centrales FTTH.

En la siguiente tabla el volumen medio en Gb/s de las centrales FTTH de Bilbao.

Nombre	Código MIGA	Gb/s
Begoña	4810015	14,5
Artxanda	4810011	14,1
Gran vía	4810009	18,05
Barakaldo	4810007	3,45

Tabla 29: Volumen medio de tráfico de las centrales FTTH de Bilbao

Sumando el volumen de tráfico de todas las centrales FTTH, se obtiene un volumen total de 50,1 Gb/s. Por tanto, el anillo óptico debería tener una capacidad mínima de 50 Gb/s.

Las capacidades disponibles en OTN son: 2,5 Gb/s, 10 Gb/s, 40 Gb/s o 100 Gb/s. Para poder cubrir el volumen obtenido sería necesario implementar anillos de 100Gb/s. Sin embargo, se estaría diseñando anillos ópticos con el doble de la capacidad necesaria, lo cual significaría una infrutilización de la infraestructura.

Estos valores se han obtenido suponiendo un índice de penetración del 30%. Este valor está sobredimensionado ya que se ha cuantificado pensando en un futuro aumento del número de usuarios activos. Por esta razón, se van a diseñar el anillo de unión de 40 Gb/s.

La interconexión entre el anillo óptico y el equipo OLT que se encuentra en las centrales FTTH se realizará mediante un multiplexor denominado ADM. El multiplexor de extracción-inserción (ADM) permite extraer en un punto intermedio de una ruta parte del tráfico cursado y a su vez inyectar nuevo tráfico desde ese punto.

En cada central FTTH, se instalará un ADM con capacidades de 40 Gb/s que será el que realice la interconexión entre las centrales de la ciudad de Bilbao.

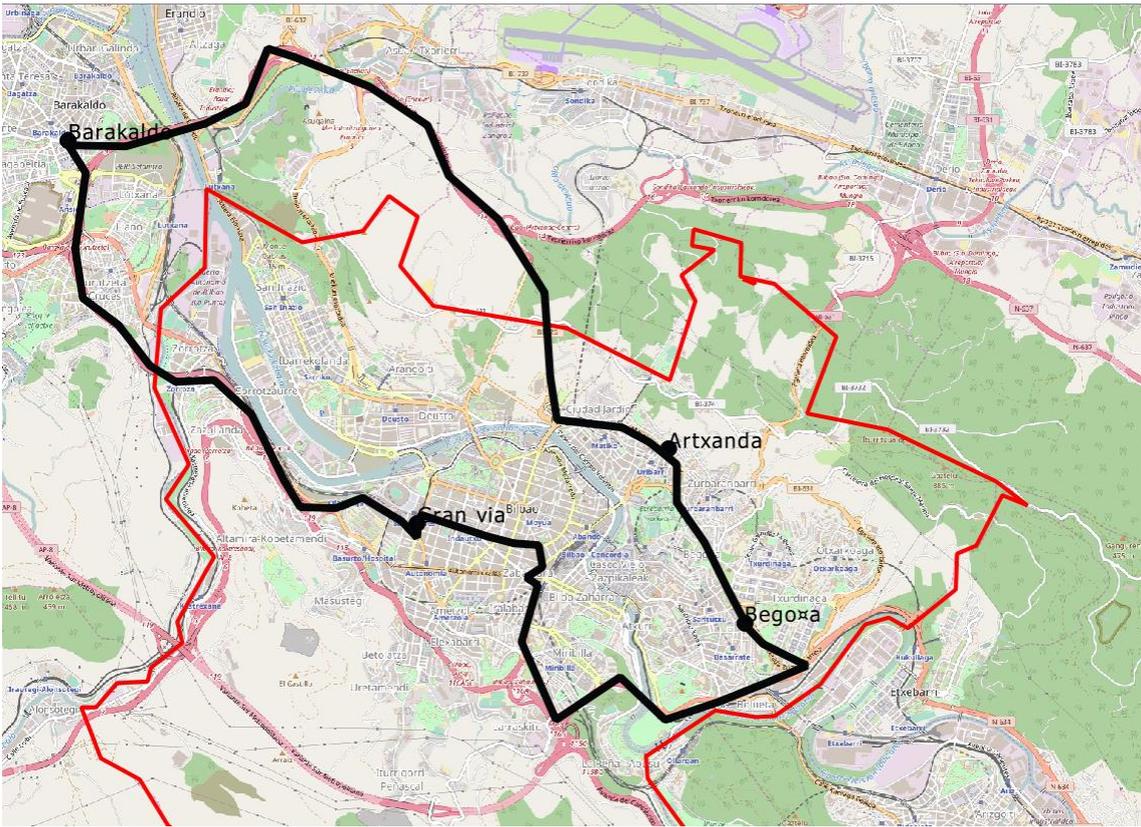


Ilustración 41: Anillo de unión de 40 Gbps de las centrales FTTH en Bilbao

7.4.2.1.3. Diseño de la red de transporte de Donostia

A continuación, se recoge el volumen medio en Gb/s de las centrales FTTH de Donostia.

Nombre	Código MIGA	Gb/s
Rentería	2010010	9,45
Ondarreta	2010003	9,36
Amara	2010002	10,007

Tabla 31: Volumen medio de tráfico de las centrales FTTH de Donostia

Sumando el volumen de tráfico de todas las centrales FTTH, se obtiene un volumen total de 28,81 Gb/s. Por tanto, el anillo óptico debería tener una capacidad mínima de 29 Gb/s.

Para poder cubrir esta necesidad sería necesario implementar un anillo de 40 Gb/s. En este caso, al igual que lo que ocurría en Bilbao y Vitoria, la capacidad también sobrepasa la necesidad existente. Sin embargo, la capacidad que se encuentra por debajo de los 40 Gb/s es de 10 Gb/s y esta es insuficiente. Por tanto, se deberá diseñar un anillo de 40Gb/s.

En cada central FTTH, se instalará un ADM con capacidades de 40 Gb/s que será el que realice la interconexión entre las centrales de la ciudad de Donostia.

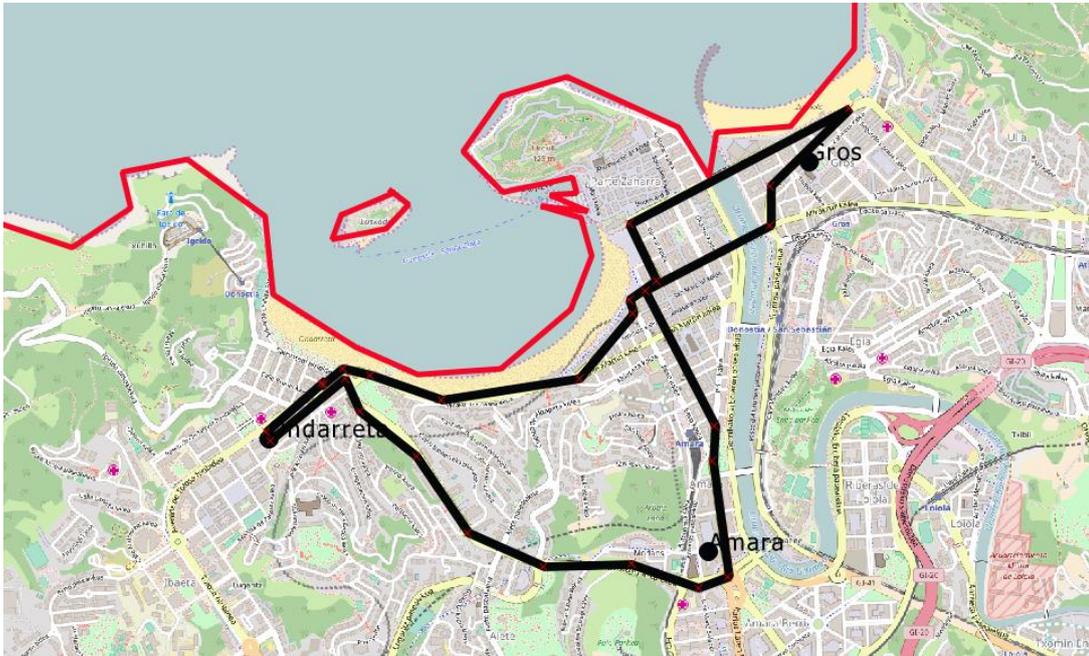


Ilustración 43: Anillo de unión de 40 Gbps de las centrales FTTH en Donostia

7.4.2.1.4. Diseño de la red de transporte central

Por último, se diseñará un anillo que una los tres anillos diseñados en las fases anteriores. En la siguiente tabla se recogen los valores de los anillos diseñados para la unión de las centrales de las tres ciudades.

Ciudad	Capacidad
Bilbao	40 Gb/s
Vitoria	40 Gb/s
Donostia	40 Gb/s

Tabla 32: Capacidad de los anillos de la unión de las centrales FTTH de cada ciudad

La suma de los tres anillos es de 120 Gb/s. Sin embargo, la máxima capacidad disponible en OTN es de 100 Gb/s. Como ya se ha comentado antes, estos valores se han obtenido con un índice de penetración sobredimensionado por lo que será suficiente un anillo de 100 Gb/s.

La unión entre el anillo central y los anillos de las ciudades se realizará mediante ADM. En cada ciudad se ubicará un ADM en la central FTTH que cuenta con un mayor volumen de tráfico. El objetivo de ubicar el equipamiento de interconexión en la central con mayor concurrencia es para que el volumen de datos que se transporta recorra la menor distancia posible.

Por tanto, las centrales seleccionadas en las tres ciudades para ubicar el ADM son: Gran vía, Zaramaga y Amara.

Ciudad	Central FTTH	Volumen
Bilbao	Gran Vía	18,05
Vitoria	Zaramaga	22,83
Donostia	Amara	10,007

Tabla 33: Centrales FTTH con mayor concurrencia por ciudad

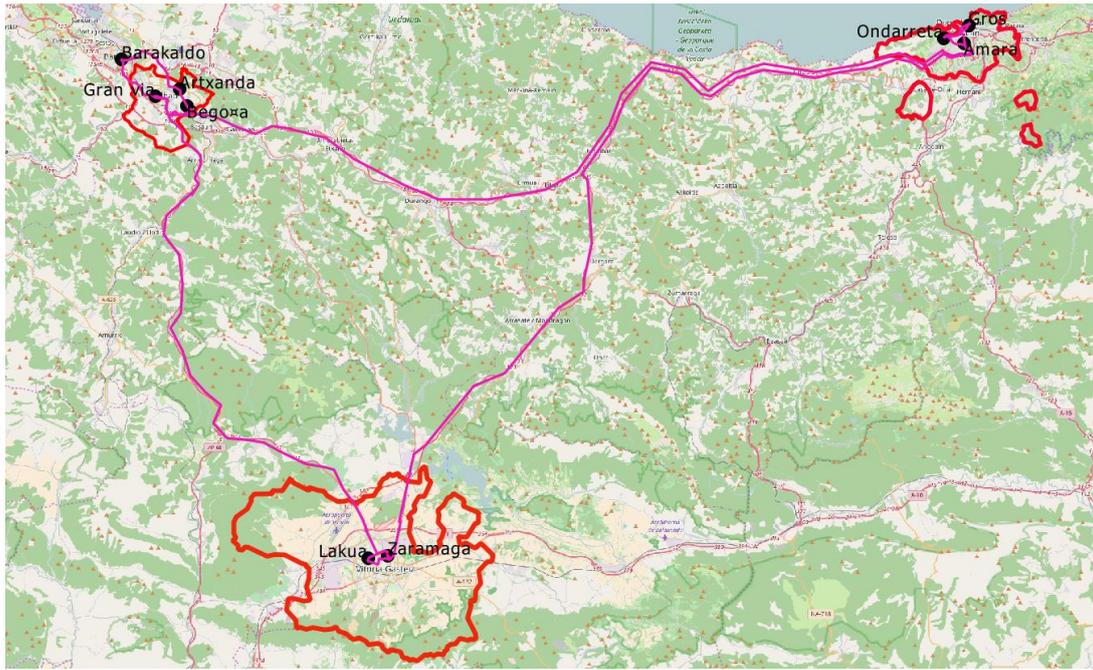


Ilustración 44: Anillo de 100 Gbps de unión de los tres municipios

8. Metodología y planificación del proyecto

En este apartado se exponen las distintas tareas que forman el plan de trabajo llevado a cabo para la realización de este proyecto, detallando su fecha de comienzo y finalización, y responsable de ejecución/supervisión.

8.2. Equipo de trabajo

En este proyecto el equipo de trabajo está formado por tres personas. Por un lado, los codirectores de proyecto encargados de marcar los objetivos al Ingeniero Junior, asesorar al Ingeniero Junior y realizar un seguimiento sobre la evolución del trabajo. Por otro lado, el encargado de la realización del trabajo de fin de grado, el Ingeniero Junior.

- Ingeniero Junior: Iratxe Calvillo Mendoza
- Ingeniero Senior: Juan José Unzilla
- Ingeniero Senior: Eva Ibarrola

8.3. Definición de los paquetes y tareas

A continuación, se presentan los paquetes de trabajo que se han llevado cabo para la realización del proyecto junto con las tareas que componen cada uno de ellos.

PT1: Lectura de información y contextualización del proyecto

T1.1. Adquisición de conocimientos del contexto de las redes de acceso y transporte

- Duración: 5 días (1/03/17 – 7/03/17)
- Descripción: El Ingeniero Junior adquirirá conocimiento sobre la evolución de las redes de acceso y transporte y su situación en la actualidad.
- Recursos humanos: Ingeniero Junior
- Recursos técnicos: Ordenador portátil, office, material de oficina e impresora.

T1.2. Adquisición de conocimientos de la herramienta QGIS para la implementación de mapas.

- Duración: 10 días: (8/03/17-21/03/17)
- Descripción: El Ingeniero Junior adquirirá conocimiento y práctica de la herramienta QGIS para la implementación de los planos del diseño sobre los mapas geográficos.
- Recursos humanos: Ingeniero Junior
- Recursos técnicos: Ordenador portátil, Office.

T1.3. Delimitación del área del proyecto

- Duración: 5 días (15/03/17 - 30/03/17)
- Descripción: Se delimitará el área sobre las tecnologías a analizar y el alcance del diseño de la red de transporte y acceso.
- Recursos humanos: Ingeniero Junior e Ingeniero Senior
- Recursos técnicos: Ordenador, office, material de oficina e impresora.

PT2: Análisis de las tecnologías disponibles para su implementación en el diseño

T2.1. Búsqueda de información sobre las distintas tecnologías

- Duración: 10 días (30/03/17 – 9/04/17)
- Descripción: El Ingeniero Junior adquirirá conocimiento sobre las distintas tecnologías utilizados hoy en día por las operadoras para ofrecer los servicios a los clientes.
- Recursos humanos: Ingeniero Junior
- Recursos técnicos: Ordenador portátil, office, material de impresora e impresora.

PT3: Búsqueda de información para la realización del despliegue

T3.1. Análisis del área de cobertura

- Duración: 10 días (10/04/17 – 19/04/17)
- Descripción: El Ingeniero Junior realizará un estudio del área de cobertura en la que se va a realizar el diseño de la red de acceso y de transporte. Recopilará toda la información necesaria para dicho diseño: datos geográficos, cartografía, edificios de la zona, número de unidades inmobiliarias.
- Recursos humanos: Ingeniero Junior
- Recursos técnicos: Ordenador portátil, material de oficina e impresora.

T3.2. Análisis de la red existente.

- Duración: 10 días (20/04/17 – 29/04/17)
- Descripción: El Ingeniero Junior recopilará información de la red existente que pueda emplearse de manera parcial o más amplia en el despliegue de la nueva red de FTTH:
 - o Obra civil e infraestructuras con capacidad libre,
 - o Cableados de fibra óptica troncales, despliegue FTTH, acometidas a empresas... que puedan ser reutilizados.
- Recursos humanos: Ingeniero Junior.
- Recursos técnicos: Ordenador portátil, office y material de oficina.

PT4: Diseño de la arquitectura a desplegar

T4.1. Diseño de la red de acceso

- Duración: 29 días (30/04/17 – 28/05/17)
- Descripción: El Ingeniero Junior realizará el diseño de la red de acceso: equipos en central, red de alimentación, red de distribución y red de dispersión.
- Recursos humanos: Ingeniero Junior.
- Recursos técnicos: Ordenador portátil y office.

T4.2. Diseño de la red de transporte

- Duración: 18 días (29/05/17 – 15/06/17)
- Descripción: El Ingeniero Junior realizará el diseño de la red de transporte: sistemas de transmisión y equipos de transmisión.
- Recursos humanos: Ingeniero Junior.
- Recursos técnicos: Ordenador portátil y office.

PT5: Gestión del proyecto

T5.1. Seguimiento del trabajo

- Duración: 150 días (1/03/17 – 28/07/17)
- Descripción: Se extiende a lo largo del proyecto y se encarga de que se cumplan los objetivos, es decir, que todas las áreas se realicen dentro de la fecha establecida
- Recursos humanos: Ingeniero senior
- Recursos técnicos: Ordenador portátil.

T5.2. Elaboración del documento con los análisis y conclusiones

- Duración: 13 días (15/06/17 – 28/07/17)
- Descripción: Se realizará el documento con los resultados obtenidos y la descripción de la metodología seguida.
- Recursos humanos: Ingeniero Junior e Ingeniero Senior
- Recursos técnicos: Ordenador portátil y office.

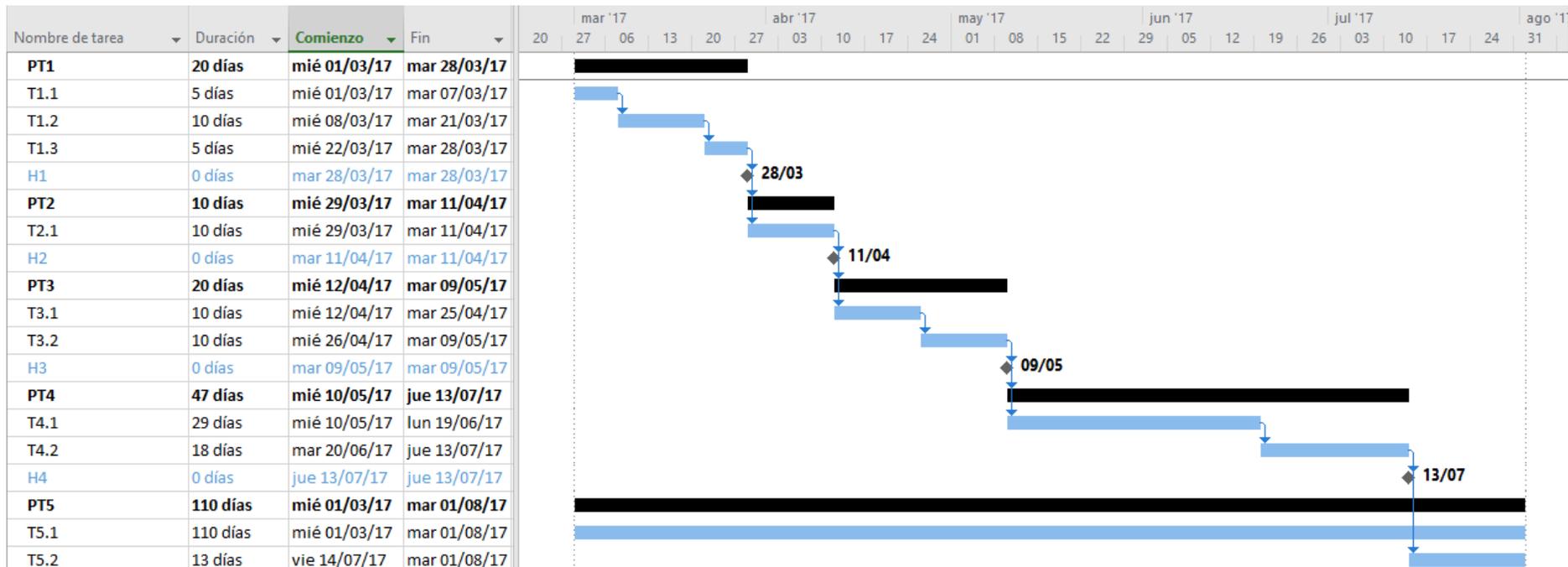


Ilustración 45: Diagrama de Gantt

8.4. Hitos del trabajo

A continuación, se especifican los hitos del trabajo junto con su fecha.

Hito	Descripción	Fecha
H1	Fin de la contextualización del proyecto	30/03/17
H2	Fin del análisis de las tecnologías disponibles	9/04/17
H3	Fin de búsqueda de información para la realización del despliegue	29/04/17
H4	Fin del diseño de la arquitectura a desplegar	15/06/17
H5	Fin del proyecto	28/07/17

Tabla 34: Hitos del proyecto

9. Presupuesto

El presupuesto de este trabajo está compuesto por la suma de los costes asociados tanto humanos como materiales representadas en distintas partidas. En este apartado se calculan, en primer lugar, los costes humanos y, en segundo lugar, el precio total de cada elemento material y su correspondiente periodo de amortización.

9.1. Horas internas

En esta partida se representan las horas dedicadas por parte de los trabajadores para realizar las tareas del proyecto y el coste que estos conllevan. Conociendo su coste horario y el número de horas invertidas en el proyecto, se obtiene el coste total de las horas internas de los trabajadores.

En la siguiente tabla se recogen las horas dedicadas por parte de los componentes del equipo de trabajo en las distintas tareas.

Tarea	Persona	Horas
PT1: Lectura de información y contextualización del proyecto		
T1.1: Adquisición de conocimientos del contexto de las redes de acceso y transporte	Ingeniero Junior	40
T1.2: Adquisición de conocimientos de la herramienta QGIS para la implementación de mapas.	Ingeniero Junior	60
T1.3. Delimitación del área del proyecto	Ingeniero Junior	5
	Ingeniero Senior	3
	Ingeniero Senior	3
PT2: Análisis de las tecnologías disponibles para su implementación en el diseño		
T2.1. Búsqueda de información sobre las distintas tecnologías	Ingeniero Junior	100
	Ingeniero Senior	10
	Ingeniero Senior	10
PT3: Búsqueda de información para la realización del despliegue		
T3.1. Análisis del área de cobertura	Ingeniero Junior	60
T3.2. Análisis de la red existente	Ingeniero Junior	70

PT4: Diseño de la arquitectura a desplegar

T4.1. Diseño de la red de acceso	Ingeniero Junior	100
	Ingeniero Senior	10
	Ingeniero Senior	10
T4.2. Diseño de la red de transporte	Ingeniero Junior	72
	Ingeniero Senior	10
	Ingeniero Senior	10

PT5: Gestión del proyecto

T5.1. Seguimiento del trabajo	Ingeniero Senior	40
	Ingeniero Senior	40
T5.2. Elaboración del documento con los análisis y conclusiones	Ingeniero Junior	102
	Ingeniero Senior	20
	Ingeniero Senior	20

Tabla 35: Horas dedicadas por el equipo de trabajo en cada tarea

En la siguiente tabla se recogen las horas totales dedicadas por el equipo de trabajo de forma individual en las distintas tareas:

Tarea	Ingeniero Junior	Ingeniero Senior
Lectura de información y contextualización del proyecto	105	6
Análisis de las tecnologías disponibles para su implementación en el diseño	100	20
Búsqueda de información para la realización del despliegue	130	-
Diseño de la arquitectura a desplegar	172	40
Gestión del proyecto	102	120
Total	609	186

Tabla 36: Total de horas dedicadas por el equipo de trabajo

Por último, se recoge el coste total asociado a las horas internas:

Trabajador	Coste horario (€/h)	Horas	Coste
Codirectores de proyecto	50	186	9.300
Ingeniero Junior	25	609	15.225
Total (€)	24.525		

Tabla 37: Horas internas

9.2. Gastos

En esta partida se recoge todo aquello utilizado para llevar a cabo este proyecto y que, posteriormente, no sirve para ser volver a ser empleado.

Los gastos de este proyecto se reducen a una conexión a internet con una tarifa mensual de 30 € y otra serie de gastos considerados material de oficina que ascienden a 200 euros.

Concepto	Coste (€/mes)	Tiempo de uso (meses)	Coste total (€)
Conexión a Internet	30	6	180
Material de oficina	-	-	200
Total (€)	380		

Tabla 38: Gastos

El coste total de los gastos asciende a 380 euros.

9.3. Amortizaciones

En esta partida se recoge el coste de aquellos materiales que ya se encuentran disponibles o se adquieren con vistas a usarse durante un periodo largo de tiempo, no únicamente en este proyecto. Por tanto, las amortizaciones son el coste de los activos fijos que se utilizan para el proyecto.

La parte material amortizable que se incluye en el presupuesto es la parte proporcional al tiempo que este se ha destinado al proyecto a lo largo de su vida útil.

- Se hará uso de un ordenador portátil de precio 990 €. La vida aproximada de un portátil se considera, aproximadamente, de 5 años, es decir, 60 meses.
- La vida útil de la impresora es de 4 años (48 meses) y su precio asciende a 180 €.
- Será necesario el programa software Microsoft Office cuyo periodo de amortización equivale al del portátil y su precio asciende a 79,99€.

Concepto	Coste de adquisición (€)	Vida útil (meses)	Precio unitario (€/mes)	Periodo de uso (meses)	Precio total (€)
Ordenador portátil	990	60	16,5	6	99
Impresora	180	48	3,75	6	22,5
Microsoft Office 2013	79,95	50	1,599	6	9,594
Total					131,024

Tabla 39: Amortizaciones

9.4. Coste total

A continuación, se recoge los gastos asociados a cada partida para obtener el presupuesto total del proyecto.

Concepto	Coste (€)
Horas internas	24.525
Gastos	380
Amortizaciones	131,024
Total	25.036,02 €

Tabla 40: Coste total

10. Conclusiones

En este trabajo de fin de máster se ha realizado el diseño de una red de acceso y de red de transporte en la Comunidad Autónoma del País Vasco.

En primer lugar, se han analizado y comparado las tecnologías utilizadas por los operadores hoy en día para ofrecer los servicios a sus clientes. El proyecto descrito representa la mejor solución en el estado actual del arte para dotar de los servicios de telecomunicaciones a toda una región.

En cuanto al medio de transporte seleccionado, la fibra óptica proporciona varias ventajas. La distancia desde la central hasta el usuario final puede superar los 10km reduciendo al mínimo el número de centrales necesarias y aumentando el área de cobertura de una central. Además, la luz como portadora se traduce en una señal libre de interferencias radioeléctricas. Esto ofrece una mayor calidad del servicio prestado.

En cuanto a las tecnologías seleccionadas, permiten con unos costes razonables de inversión, desplegar una red de telecomunicaciones de altas prestaciones garantizando productos de hasta 1 Gbps. Además, se asegura un fácil escalado y evolución de dichas tecnologías.

Por un lado, la evolución natural de la tecnología GPON es XGPON. Para realizar el escalado de una tecnología a otra, únicamente habría que realizar cambios en las centrales FTTH. La red de dispersión, distribución, alimentación, equipos pasivos y equipos en cliente son compatibles con ambas tecnologías. El único cambio a realizar sería la sustitución de las tarjetas GPON de la OLT por tarjetas XGPON.

Por otro lado, el escalado en capacidades de la red de transporte pasa por la incorporación de nuevas lambdas. Esto se puede realizar de forma sencilla añadiendo nuevas tarjetas y/o aumentando la capacidad de las procesadoras.

Referencias

- [1] CNMC, Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
<http://www.cnmc.es/>
- [2] Definición tecnología FTTX, Wikipedia
<https://es.wikipedia.org/wiki/FTTx>
- [3] Alexandre Kawamura, Redes Óptica Pasivas: La convergencia de datos, voz y video en redes corporativas
https://www.bicsi.org/uploadedFiles/BICSI_Website/Global_Community/Presentations/CALA/Kawamura_Redes_Colombia_2016.pdf
- [4] ITU - T, (2005), "G.983.1: Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1/es>
- [5] ITU-T, (2005), "G.983.2: Especificación de la interfaz de control y gestión de terminales de red óptica para redes ópticas pasivas de banda ancha"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.2-200507-I/es>
- [6] ITU-T, (2008), "G.984.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits Características generales"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>
- [7] ITU-T, (2012), "G.987.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de 10 Gigabit (XG-PON): Requisitos generales"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.1/es>
- [8] ITU-T, (2015), "G.989.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gigabits (NG-PON2): Requisitos generales "
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.1/es>
- [9] ITU-T, (2000), "G.805: Arquitectura funcional genérica de las redes de transporte"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.805/es>
- [10] ITU-T, (1999), "I.150: Características funcionales del modo de transferencia asíncrono de la RDSI-BA"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-I.150-199902-I/es>
- [11] ITU-T, (2000), "G.705: Características de los bloques funcionales de equipos de la jerarquía digital plesiócrona (PDH)"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.705-200010-I/es>
- [12] ITU-T, (2006), "G.783: Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.783-200603-I/es>

- [13] ITU-T, (2012), "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"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-I/es>
- [14] ITU-T, (2016), "G.709: Interfaces para la red óptica de transporte"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.709-201606-I/es>
- [15] ITU-T, (2016), "G.8101: Términos y definiciones para el perfil de transporte de la conmutación por etiquetas multiprotocolo"
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.8101-201611-I/es>
- [16] IETF, "RFC 5921: A framework for MPLS in Transport Networks"
<https://tools.ietf.org/html/rfc5921>
- [17] IETF, "RFC 3031: Multiprotocol Label Switching Architecture"
<https://tools.ietf.org/html/rfc3031>
- [18] IETF, (2010), "RFC 5960: MPLS Transport Profile Data Plane Architecture"
<https://tools.ietf.org/html/rfc5960>
- [19] IETF, (2011), "RFC 6373: MPLS-TP Control Plane Framework"
<https://tools.ietf.org/html/rfc6373>
- [20] ITU-T, (2011), "Y.1541: Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1541-201112-I/es>
- [21] ITU-T, (2008), "E.800: Definiciones de los términos relativos a la calidad de servicio"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I/es>
- [22] ZTE, Página Web Oficial del equipamiento OLT,
<http://www.zte.com.cn/global/products/access/xpon/PON-OLT/424194>
- [23] Huawei, Página Web Oficial del equipamiento OLT,
<http://e.huawei.com/es/products/fixed-network/access/olt/ma5600t>
- [24] ITU-T, (2014), "G.984.3: Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3-201401-I/es>
- [25] ITU-T, (2015), "G.989.3: Redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gigabites: especificación de la capa de convergencia de transmisión"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.3-201510-I/es>

- [26] IETF, (2011), RFC 6374, Packet Loss and Delay Measurement for MPLS Networks
<https://tools.ietf.org/html/rfc6374>

- [27] IETF, (2006), RFC 4379 Detecting Multi-Protocol Label Switched (MPLS) Data Plane Failures
<https://tools.ietf.org/html/rfc4379>

- [28] IETF, (2010), RFC 5880 Bidirectional Forwarding Detection (BFD)
<https://tools.ietf.org/html/rfc5880>

- [29] IETF, (2011), RFC 6371 Operations, Administration, and maintenances Framework for MPLS-TP
<https://tools.ietf.org/html/rfc6371#section-7>

- [30] Herramienta QGIS, Página web oficial,
<http://www.qgis.org/es/site/>

- [31] Oferta MARCo,
<https://www.cnmc.es/expedientes/ofedtsa124215>

- [32] Tablas con los códigos MIGA de las centrales de Telefónica,
<https://es.scribd.com/document/73954857/Centrales-Ethernet-FTTH-y-otros-servicios>

- [33] Página web oficial de CNMC Data,
<http://data.cnmc.es/datagraph/>

- [34] Conector optitap
<http://silexfiber.com/producto/conector-fibra-optica-corning-optitap/>

- [35] ITU-T, (2012), "G.988: Especificaciones de la interfaz de gestión y control de unidades de red óptica (OMCI)"
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.988-201210-I/es>

- [36] Wenjia Wang, Didi Ivancovsky, Walt Soto, Tony Anderson, Anh Ly and Ron Rundquist, (2001), DBA Overview
http://www.ieee802.org/3/efm/public/sep01/wang_1_0901.pdf

ANEXO I: Pliego de condiciones

1. Introducción

El objetivo de este Pliego de Condiciones es normalizar y estandarizar los elementos y materiales utilizados en el proyecto, así como las especificaciones técnicas a utilizar para la ejecución de las tareas asociadas al despliegue.

2. Especificación de materiales y equipos

2.1. Cables de fibra óptica

La fibra óptica que se deberá emplear en la instalación del diseño será fibra monomodo. La fibra monomodo está diseñada para aportar un alcance superior en comparación con la multimodo, no sufren tanto el fenómeno de la dispersión y sufre menor atenuación. Por todo esto, permite la transmisión de grandes tasas de información.

La ITU-T define en las recomendaciones ITU-T G.652, G.653, G.655, G.656 y G.657 las especificaciones referentes a la fibra óptica monomodo.

- G.652: fibra monomodo estándar de dispersión no desplazada
- G.653: fibra de dispersión desplazada
- G.654: fibra es estándar especial del monomodo
- G.655: fibra de dispersión desplazada no nula
- G.656: dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha
- G.657: Fibra diseñada para redes de acceso

En función de las necesidades del despliegue de la red, se hará uso de un tipo de fibra u otro.

2.1.1. Cables multifibra

Una fibra óptica no tiene propiedades mecánicas, térmicas, resistencia a la humedad... que la protejan frente al medio en el que se encuentra. Por esta razón, las fibras ópticas deben localizarse en el interior de cables para protegerlas, permitir manejarlas e identificarlas durante la instalación.

Los cables multifibra son empleados tanto en la red de alimentación como en la red de distribución. Las más utilizadas en este tipo de redes son los cables de estructura holgada que se emplean en la mayoría de instalaciones exteriores, en tubos, conductos o instalaciones enterradas.

En los cables de construcción holgada el elemento básico es el tubo. Las fibras van embebidas en el interior del tubo el cual tiene un diámetro sensiblemente mayor al que se necesitaría para las fibras de forma que están puedan moverse con holgura en su interior.

El cable está formado por varios tubos que a su vez están formados por varias fibras. Para hacer más sencilla la identificación, cada tubo y fibra individual en el tubo están coloreados o numerados. El número de fibras que lleva cada cable varía desde unas pocas hasta 256.

La fibra más utilizada en el despliegue de las redes de alimentación y distribución en la actualidad es la que se define en la recomendación ITU-T G.652. Dentro de esta especificación se definen cuatro variantes: UIT-T G.652 A, G.652 B, G.652 C y G.652 D. En concreto, la más empleada es la G.652 D debido a que tienen la capacidad de transmitir hasta 3000 Km a una velocidad de 10 Gbps y de 80 Km a una velocidad de 40 Gbps, sin regeneración.

Fibre attributes			
Attribute	Detail	Value	Unit
Mode field diameter	Wavelength	1310	nm
	Range of nominal values	8.6-9.2	µm
	Tolerance	± 0.4	µm
Cladding diameter	Nominal	125.0	µm
	Tolerance	± 0.7	µm
Core concentricity error	Maximum	0.6	µm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0	%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260	nm
Macrobending loss	Radius	30	mm
	Number of turns	100	
	Maximum at 1625 nm	0.1	dB
Proof stress	Minimum	0.69	GPa
Chromatic dispersion parameter	λ_{0min}	1300	nm
	λ_{0max}	1324	nm
3-term Sellmeier fitting (1260 nm to 1460 nm)	S_{0min}	0.073	ps/(nm ² × km)
	S_{0max}	0.092	ps/(nm ² × km)
Linear fitting (1460 nm to 1625 nm)	Minimum at 1550 nm	13.3	ps/(nm × km)
	Maximum at 1550 nm	18.6	ps/(nm × km)
	Minimum at 1625 nm	17.2	ps/(nm × km)
	Maximum at 1625 nm	23.7	ps/(nm × km)

Cable attributes			
Attribute	Detail	Value	Unit
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.40	dB/km
	Maximum at 1383 nm ±3 nm after hydrogen ageing (Note 3)	0.40	dB/km
	Maximum at 1530-1565 nm	0.30	dB/km
PMD coefficient (Note 4,5)	M	20	cables
	Q	0.01	%
	Maximum PMD ₀	0.20	ps/√km

2.1.2. Cables monofibra

Los cables monofibra, a diferencia de los multifibra, están compuestos por un único hilo. Su aplicación es más propia de zonas interiores y de interconexión próxima entre equipos.

Estos cables facilitan la distribución de la señal óptica en el interior de los edificios por lo que son utilizados en la red de dispersión para conectar la caja de distribución con la roseta en casa del abonado.

Las características de la fibra utilizada en el despliegue de este tipo de redes están recogidas en el estándar G.657. En esta recomendación se describen dos categorías de cable de fibra monomodo con un rendimiento de flexión mejorado en comparación con las fibras ITU-T G.652.

Las fibras de la categoría A se optimizan para reducir la pérdida de macrocurvación en comparación con las fibras ITU-T G.652.D y se pueden desplegar en toda la red de acceso. Estas fibras son adecuadas para su uso a lo largo del intervalo de 1260 nm a 1625nm. Dentro de esta categoría se definen dos subcategorías:

- ITU-T G.657.A1: Radio de diseño mínimo de 10 mm
- ITU-T G.657.A2: Radio de diseño mínimo de 7.5 mm

Fibre attributes							
Attribute	Detail	Value					Unit
Mode field diameter	Wavelength	1 310					nm
	Range of nominal values	8.6-9.2					µm
	Tolerance	±0.4					µm
Cladding diameter	Nominal	125.0					µm
	Tolerance	±0.7					µm
Core concentricity error	Maximum	0.5					µm
Cladding non-circularity	Maximum	1.0					%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1 260					nm
Uncabled fibre macrobending loss (Notes 1, 2)		ITU-T G.657.A1			ITU-T G.657.A2		
	Radius	15	10	15	10	7.5	mm
	Number of turns	10	1	10	1	1	
	Max. at 1 550 nm	0.25	0.75	0.03	0.1	0.5	dB
	Max. at 1 625 nm	1.0	1.5	0.1	0.2	1.0	dB
ITU-T G.657 category A							
Proof stress	Minimum	0.69					GPa
Chromatic dispersion parameter 3-term Sellmeier fitting (1 260nm to 1 460 nm)	λ_{0min}	1 300					nm
	λ_{0max}	1 324					nm
	S_{min}	0.073					ps/(nm ² × km)
	S_{max}	0.092					ps/(nm ² × km)
Linear fitting (1 460 nm to 1 625 nm)	Min. at 1 550 nm	13.3					ps/(nm × km)
	Max. at 1 550 nm	18.6					ps/(nm × km)
	Min. at 1 625 nm	17.2					ps/(nm × km)
	Max. at 1 625 nm	23.7					ps/(nm × km)
Cable attributes							
Attenuation coefficient (Note 3)	Maximum from 1 310 nm to 1 625 nm (Note 4)	0.40					dB/km
	Maximum at 1 383 nm ±3 nm after hydrogen ageing (Note 5)	0.40					dB/km
	Maximum at 1 530-1 565 nm	0.30					dB/km
PMD coefficient	M	20					ps/km
	Q	0.01					%
	Maximum PMD ₀	0.20					ps/km ^{0.5}

Las fibras de la categoría B se pueden utilizar a valores muy bajos de radio de curvatura. Estas fibras están destinadas a distancias cortas de alcance, inferiores a 1km, en particular dentro de edificios. La longitud de la aplicación de la fibra UIT-T G.657.B depende de la estrategia de

despliegue de cada operador de red. Estas fibras son adecuadas para su uso a lo largo del intervalo de 1 260 nm a 1 625 nm.

Fibre attributes								
Attribute	Detail	Value						Unit
Mode field diameter	Wavelength	1 310						nm
	Range of nominal values	8.6-9.2						µm
	Tolerance	±0.4						µm
Cladding diameter	Nominal	125.0						µm
	Tolerance	±0.7						µm
Core concentricity error	Maximum	0.5						µm
Cladding non-circularity	Maximum	1.0						%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1 260						nm
Uncabled fibre macrobending loss (Notes 1, 2)		ITU-T G.657.B2			ITU-T G.657.B3			
	Radius	15	10	7.5	10	7.5	5	mm
	Number of turns	10	1	1	1	1	1	
	Max. at 1 550 nm	0.03	0.1	0.5	0.03	0.08	0.15	dB
	Max. at 1 625 nm	0.1	0.2	1.0	0.1	0.25	0.45	dB
Proof stress	Minimum	0.69						GPa
Chromatic dispersion parameter	λ_{Dmin}	1 250						nm
	λ_{Dmax}	1 350						nm
	S_{Dmax}	0.11						ps/(nm ² · km)
Cable attributes								
Attenuation coefficient (Notes 3, 4)	Maximum from 1 310 nm to 1 625 nm (Note 5)		0.40				dB/km	
	Maximum at 1 383 nm ± 3 nm after hydrogen ageing (Note 6)		0.40				dB/km	
	Maximum at 1 530-1 565 nm		0.30				dB/km	
PMD coefficient	M		20				ps/km	
	Q		0.01				%	
	Maximum PMD _Q		0.50				ps/km ^h	

Ambas categorías garantizan la compatibilidad con los empalmes por fusión con tendidos de fibra óptica G.652, empalmes mecánicos y conectores de montaje de campo.

En España, el 95 % de las cables de acometida que se comercializan son con fibra G.652A ya que permite realizar ángulos de 90º sin que exista atenuación.

2.2. Cajas de distribución

Las cajas de distribución son el punto intermedio entre los cables de la red de alimentación y la red de distribución. Son elementos pasivos que se implementan utilizando cajas de empalmes y en los que se realiza el primer nivel de división de la red FTTH.

Las cajas de empalmes de cable de fibra óptica por fusión permiten proteger los empalmes de cables con los niveles máximos de calidad y fiabilidad tanto en instalaciones de redes troncales de fibra como en redes de distribución.

Estas cajas están situadas tanto en exterior como en interior por lo que tienen que adaptarse a cualquier tipo de ubicación y ser robustas para ser resistentes tanto al agua como a impactos. Por tanto, sus propiedades y accesorios tienen que permitir su instalación directamente enterradas en tierra, instalación de arquetas o pared. Además, sus características mecánicas deben aportar una alta resistencia a impactos y compresión, así como a la penetración de agua.

Las cajas de empalme que se implementan en la actualidad se denominan SAM. Existen diferentes modelos de cajas de empalme en función de la capacidad de fusiones y el número de

entradas/salidas. A continuación, se muestran las especificaciones de la más empleada en la actualidad, SAM-2:

Alto	522 mm
Ancho	208 mm
Fondo	174 mm
Peso (en vacío)	2.0 kg
Capacidad cables	6 entrada
Diámetro cables	Ø 8 mm ~ Ø 24 mm
Nº máximo de fusiones	4 o 6 bandejas de 12 fusiones. Total 48 o 72 empalmes
Estanqueidad	IP 67



Ilustración 46: Caja de empalme SAM 2

2.3. Cajas de abonado

Las cajas de abonado o caja de terminación óptica son el punto de interconexión entre el cable de la red de distribución y el cable de acceso al abonado.

Dependiendo de la topología del edificio, este tipo de caja podrá estar instalada en el exterior del edificio o en el interior. En el caso de las exteriores, éstas se podrán encontrar en las fachadas, postes, muros, armarios de exterior... En cambio, las de interior se podrán encontrar en lugares cerrados, salas comunes de edificios...

Las cajas de abonado están formadas por una entrada de cable y hasta 32 salidas para optitap o latiguillos de acceso FTTH, además de una salida para cable para ampliación de la red. En su interior, permite alojar los acopladores y empalmes correspondientes al igual que el divisor de segundo nivel, en este caso, de 1:16 o 1:32.

Las cajas de abonado que se implementan en la actualidad pertenecen a la misma familia que las utilizadas para las cajas terminales ópticas. La más utilizada en la actualidad es la SAM-3 cuyas especificaciones se muestran a continuación:

Modelo	SAM 3-TA	SAM 3-TAS	SAM 3-8
Nº Entradas	4 + 4	4 + 4	6 + 6
Nº máx. de Fusiones (24/bandeja)	144	96	192
Nº máx. de bandejas (fusion o splitter)	6	6	8
Dimensiones (mm)	435 x 205 x 167	435 x 205 x 167	435 x 205 x 22
Nº expansores	1	1	2
Peso(Kg)	3,8	3,8	4,8
Diámetro Cables Ent/Sal	6 a 20 mm	6 a 20 mm	6 a 20 mm



Ilustración 47: Especificaciones de las cajas de abonado SAM 3

2.4. Divisores ópticos

El divisor óptico es un elemento en la arquitectura de redes FTTH PON en la que una sola entrada óptica se divide en múltiples salidas con mínimas pérdidas. Esto permite el despliegue de la topología Punto a Multipunto con un solo puerto OLT.

Las salidas más comunes en las que se divide un divisor son: 1: 2, 1: 4, 1: 8, 1:16 y 1:32. La potencia de entrada óptica se distribuye uniformemente a través de todos los puertos de salida.

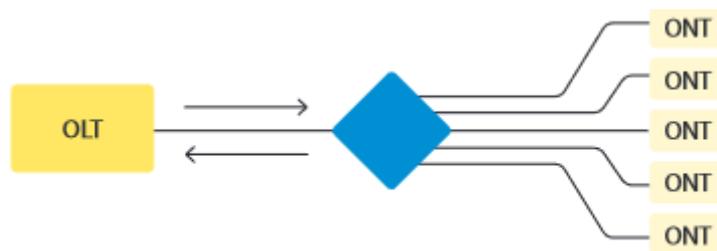


Ilustración 48: Distribución de la señal a varios ONTs

Las fibras de estos divisores deben cumplir con las especificaciones de las fibras ópticas comentadas anteriormente en este mismo documento. Estas pueden ser: G.652 o G.657.

A continuación, se muestran las especificaciones generales de los divisores en función de su nivel de división.

Características fundamentales (elemento individual)						
Configuración de los splitters	1 x 2	1 x 4	1 x 8	1 x 16	1 x 32	1 x 64
Longitud de onda	1260-1360 nm , 1450-1650 nm					
Tecnología	Fusión			PLC		
Pérdidas inserción (dB)	≤ 3,7	≤ 7,3	≤ 10,5	≤ 13,7	≤ 17,1	≤ 20,5
PDL (dB)	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,25	≤ 0,3	≤ 0,4	≤ 0,5
Uniformidad	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,3	≤ 1,5	≤ 2,5
Pérdidas de Retorno (dB)	> 50			≥ 55		
Directividad (dB)	> 50			≥ 55		
Temperatura de operación (°C)	- 20 / 70			- 40 / 85		
Puertos de entrada y salida por defecto	Fibra monomodo Ø 250 µm de bajo radio de curvatura					
Longitud mínima de fibras (m)	≈ 2,5					
Puertos de salida	2 fibras SM	Ribbon 4 fibras x 1 (2,5 m fibras individuales)	Ribbon 8 fibras x 1 (2,5 m fibras individuales)	Ribbon 8 fibras x 2 (2,5 m fibras individuales)	Ribbon 8 fibras x 4 (2,5 m fibras individuales)	Ribbon 8 fibras x 8 (2,5 m fibras individuales)
Dimensiones cuerpo (mm)	Ø 3,2 x 54	4 x 4 x 38	4 x 4 x 40	7 x 4 x 46,9	7 x 4 x 46,9	12 x 4 x 58

Ilustración 49: Características del divisor óptico en función del número de salidas

2.5. Punto de terminación de la red óptica

El punto de terminación de la red óptica o roseta óptica es el elemento de la red que permite que el cable de red de acometida llegue a casa del cliente.

El cable de la red de dispersión termina en un conector mediante un empalme o instalación de conector de montaje. La bandeja de empalme puede alojar hasta dos empalmes mecánicos o de fusión.

La roseta óptica para montaje en pared consta de tres elementos: base, bandeja y tapa. La bandeja, alojada en el interior, permite la fijación de los cables y el guiado de la fibra, así como la inserción de los adaptadores.

El adaptador con tapa automática evita la salida de radiación láser, la entrada de suciedad cuando no está conectado y elimina el problema de pérdida de tapas, y por lo tanto, desprotección de conectores o pérdida al manipular las cajas.

El diseño de la roseta debe permitir el fácil acceso para la manipulación de las fibras en las operaciones de instalación y mantenimiento, y permitirá su configuración para funciones de empalme y conectorización.

2.6. Repartidor óptico

El repartidor óptico, ubicado en la central FTTH, es el elemento donde se realiza la interconexión entre el equipo OLT y el cable de fibra óptica. Estos repartidores se ubican dentro de un rack formando una batería de armarios permitiendo los siguientes modos de operación:

- Conexión directa
- Conexión cruzada mediante parcheo
- Conexión entre repartidores

Normalmente, los repartidores disponen de varios accesorios para garantizar la organización, guiado y gestión de las fibras ópticas:

- Elementos de fijación para los cables de fibra en el repartidor
- Elementos de guiado para los cables de fibra en el repartidor
- Elementos de almacenamiento de los cables de fibra de salida/entrada a los equipos o usuarios

3. Condiciones legales y contractuales

3.1. Actas de recepción

Una vez concluido el proyecto, el responsable deberá cerrar el proyecto mediante la siguiente acta de recepción. Todas las partes involucradas en el proyecto deberán firmar dicha acta.

Título del Proyecto	
Objetivos Finales del Proyecto Con el paso del tiempo los objetivos iniciales del proyecto pudieron cambiar, por lo que se requiere presentarlos en forma actualizada.	
Fecha de entrega del Proyecto:	Fecha de inicio del Proyecto:
Costo Final del Proyecto en US\$ Costo del proyecto de acuerdo con los datos registrados por el responsable del proyecto.	Aporte final del Patrocinador: Valor total entregado por el patrocinador del proyecto, de acuerdo con los datos registrados por el responsable del proyecto.
Entregables generados por el proyecto: Enunciar los productos tangibles o intangibles que el responsable del proyecto presenta como resultado de la ejecución del proyecto.	Bienes a favor de la ESPE: Indicar los bienes adquiridos que quedan a favor de la Institución (SI EL CASO LO AMERITA – CASO CONTRARIO NO LLENAR)
Logros el proyecto: Enunciar los principales logros alcanzados con la ejecución del proyecto.	Posibles Aplicaciones de los Resultados: Indicar las posibles aplicaciones que se pueden dar a los resultados alcanzados obtenidos.
Beneficiarios del Proyecto: Indicar y describir las personas naturales o jurídicas que se beneficiaron con la ejecución del proyecto	
Comentarios Generales: En este campo se pueden dejar claro cualquier tipo de comentario importante para la ejecución del producto resultado del proyecto o para la réplica misma del proyecto o las buenas prácticas empleadas en su ejecución.	

Tabla 41: Acta de recepción

3.2. Responsabilidades del Ingeniero Junior

El ingeniero junior se compromete a cumplir los plazos de entrega establecidos en la ejecución del proyecto.

3.3. Extinción del contrato

El contrato se extinguirá bien por conclusión o cumplimiento del mismo, o por resolución de una de las partes involucradas en el mismo. Serán consideradas causas de resolución:

- La extinción de la responsabilidad jurídica de la sociedad mercantil de una de las partes, salvo que el patrimonio sea incorporado a otra entidad.
- Mutuo acuerdo entre las partes.
- La declaración de quiebra o suspensión de pagos de una de las partes.

3.4. Resolución de conflictos

Ambas partes se comprometen a cumplir las condiciones establecidas en el presente Pliego de Condiciones, resolviendo por medio de acuerdos y negociaciones las posibles diferencias que puedan surgir entre ellos, respecto a la aplicación, desarrollo, cumplimiento, ejecución o interpretación de los mismos.

En caso de que cualquier posible discrepancia o controversia entre ellos no se resolviera en la forma anteriormente indicada, las partes se comprometen a someter tales diferencias a arbitraje, formalizando de acuerdo a las normas reguladoras del mismo, contenidos en la vigente Ley de Arbitraje de Derecho Privado.

El arbitraje se realizará en Bilbao y en la escritura ha de figurar el compromiso del plazo de 30 días como término en que los árbitros han de pronunciar el Laudo correspondiente. El procedimiento de arbitraje estará de acuerdo con la Legislación Española y será resuelto en derecho por tres árbitros, uno elegido por cada parte y el otro ya designado.

Si las partes no llegaran a un acuerdo para designar el primer árbitro, éste será seleccionado por insaculación entre los tres árbitros de una lista que haya sido proporcionada por el Colegio de Abogados de Bilbao.

Los árbitros procederán a liquidar los gastos del procedimiento arbitral, incluyendo sus honorarios, y a establecer a cuál de las partes tendrán que cargarse los gastos de enjuiciamiento. Las partes declaran desde ahora aceptar las decisiones del Colegio Arbitral.

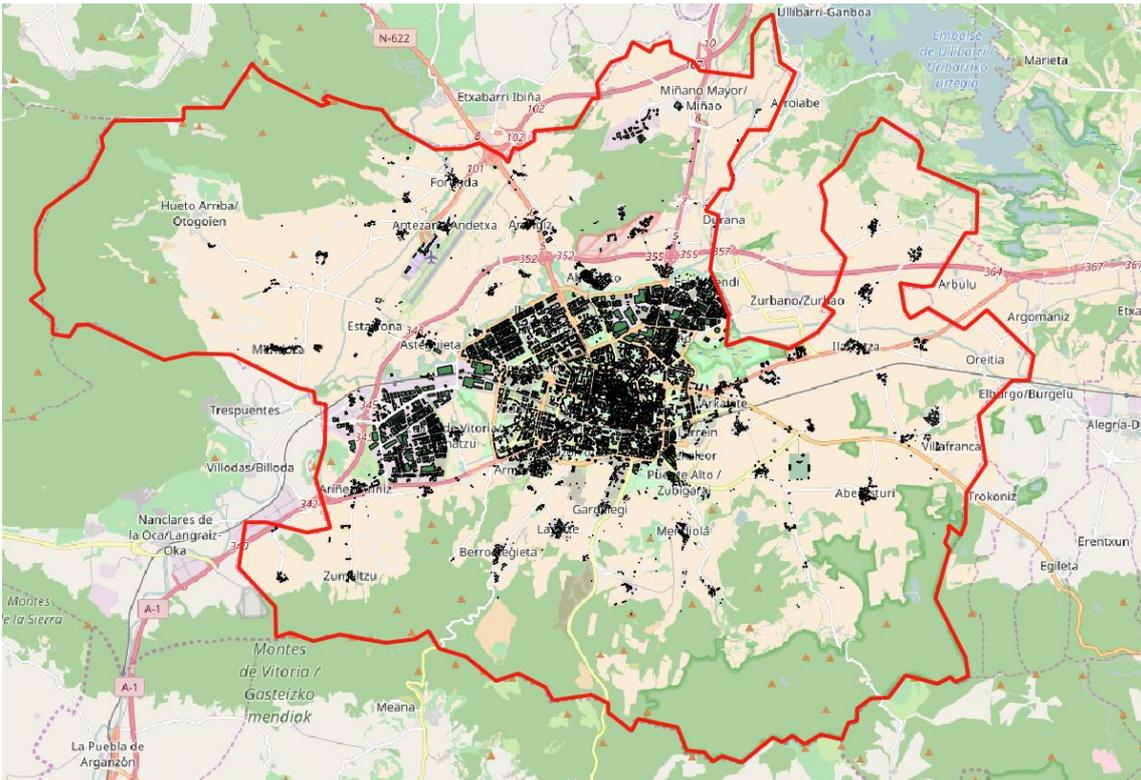


Ilustración 51: Municipio de Vitoria



Ilustración 52: Municipio de Donostia

2. Red de acceso

En este apartado se presentan los planos realizados con la herramienta QGIS de la red de acceso.

2.1. Unidades inmobiliarias

A continuación, se muestran las unidades inmobiliarias que hay en cada portal de las tres ciudades.

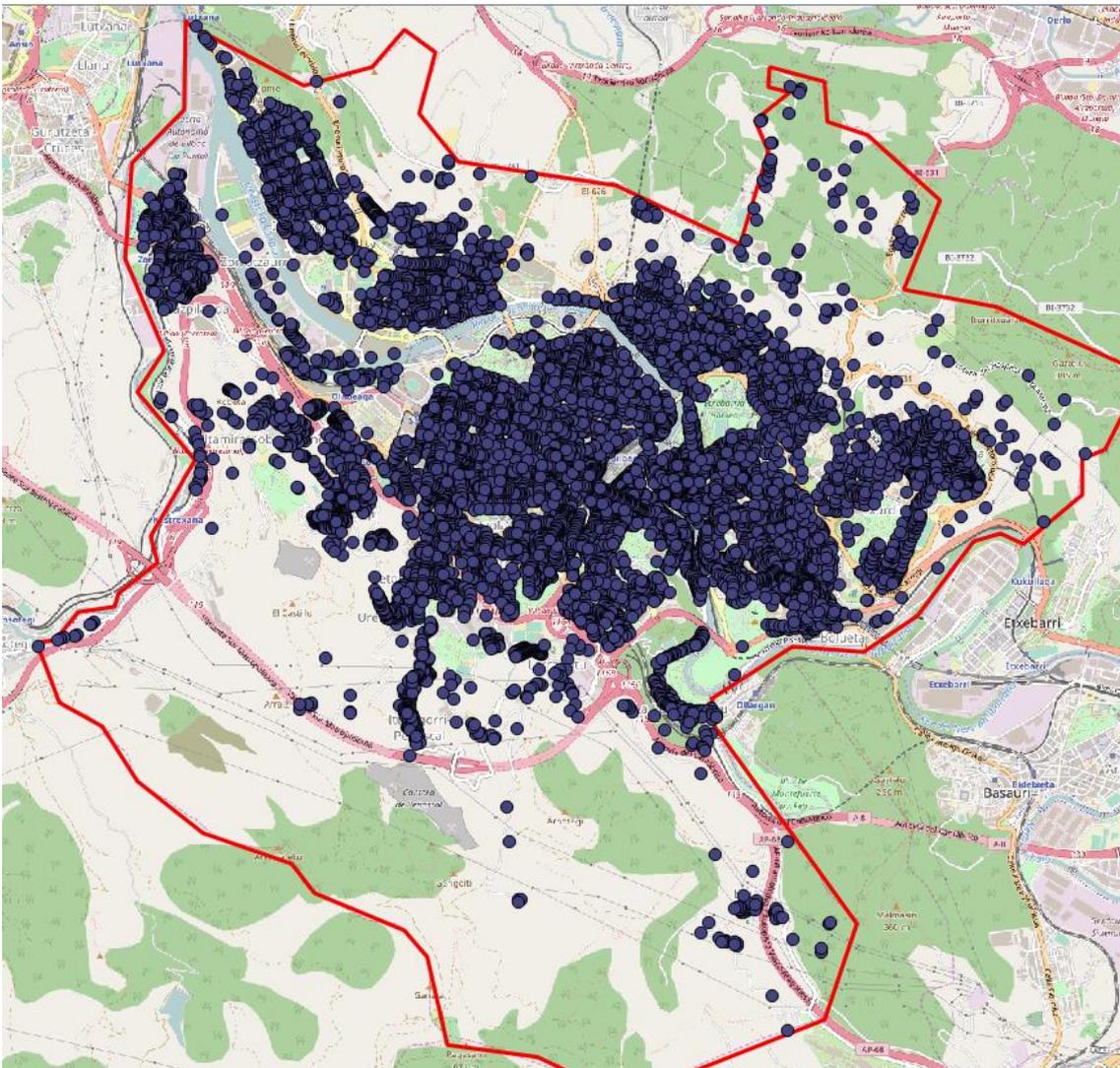


Ilustración 53: Unidades inmobiliarias de Bilbao



Ilustración 54: Zoom unidades inmobiliarias de Bilbao

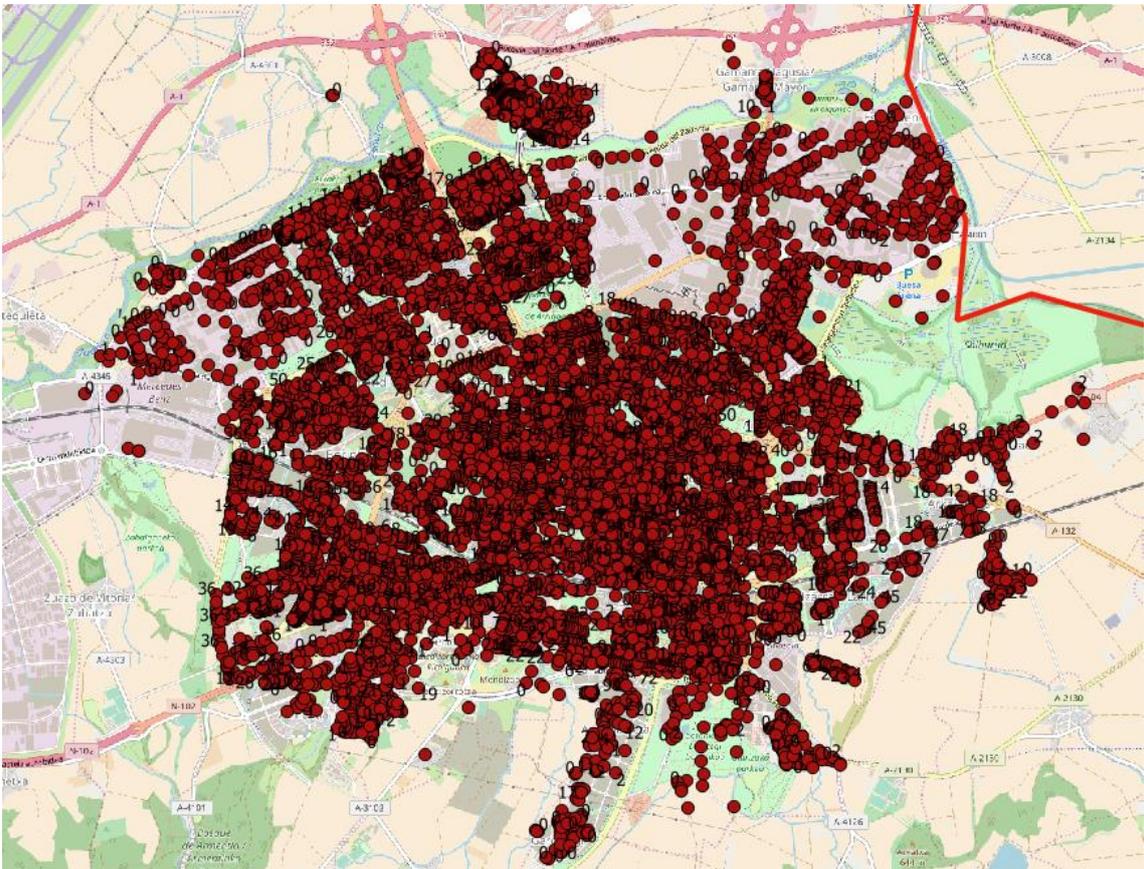


Ilustración 55: Unidades inmobiliarias de Vitoria



Ilustración 56: Zoom unidades inmobiliarias de Vitoria

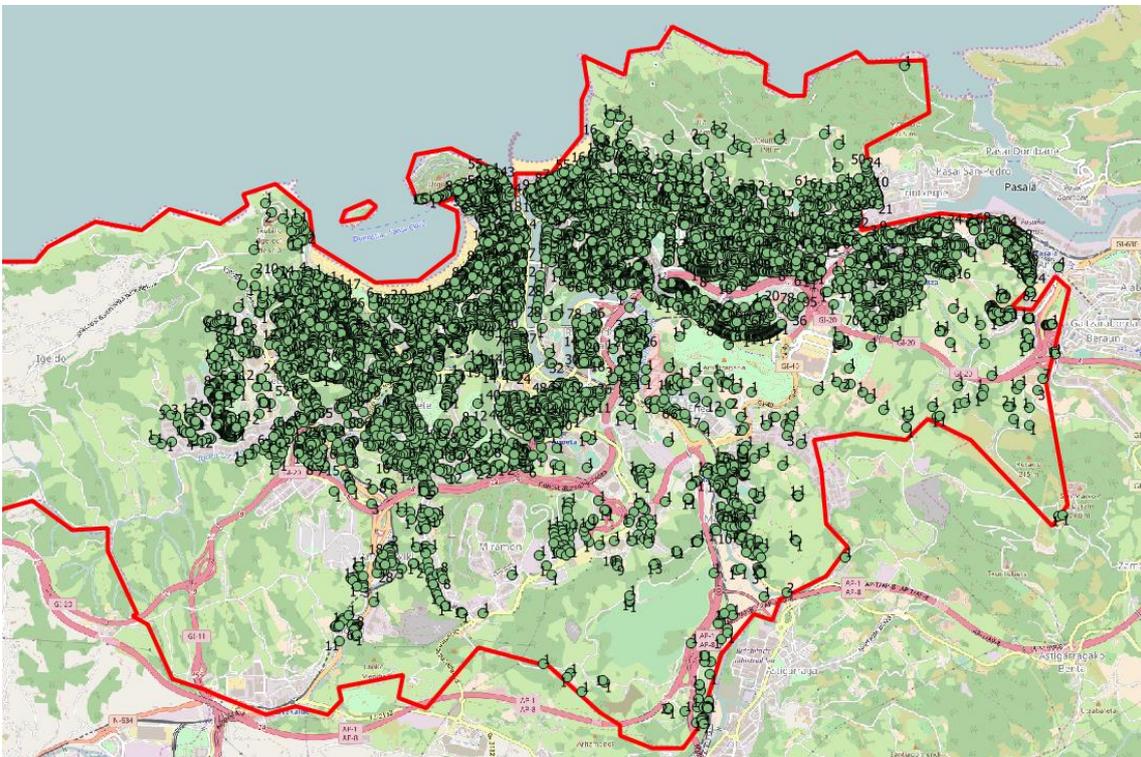


Ilustración 57: Unidades inmobiliarias de Donostia

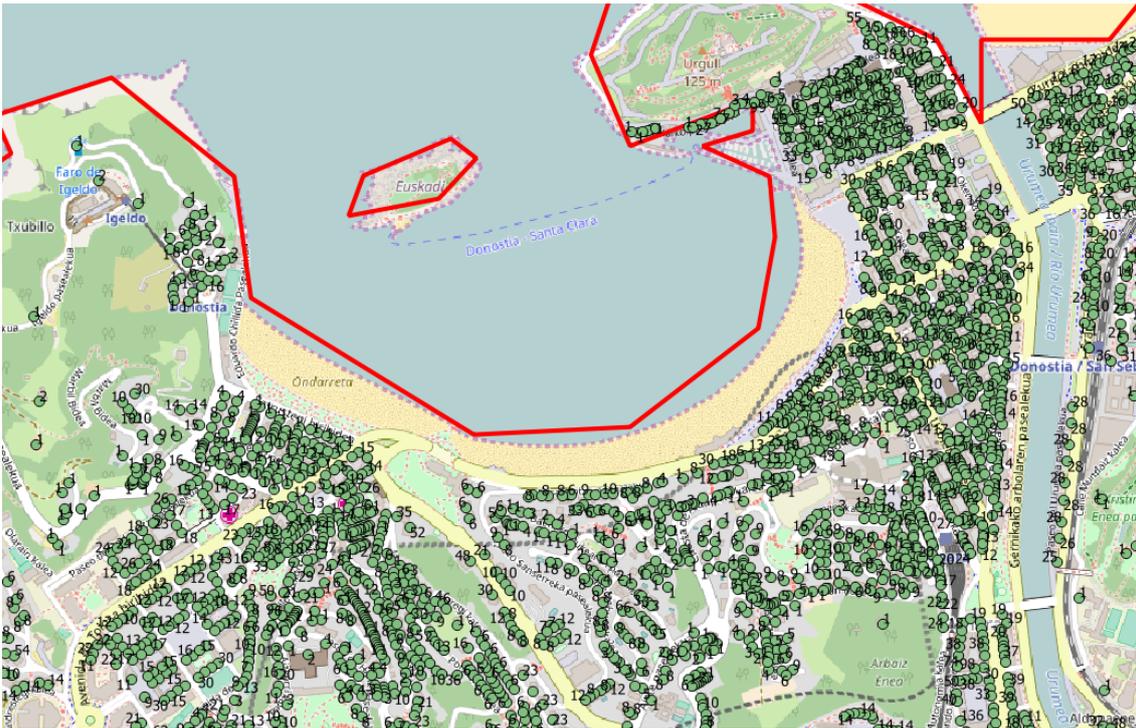


Ilustración 58: Zoom unidades inmobiliarias de Donostia

2.2. Centrales FTTH

A continuación, se ubican geográficamente las centrales FTTH de Telefónica existentes en las tres ciudades.

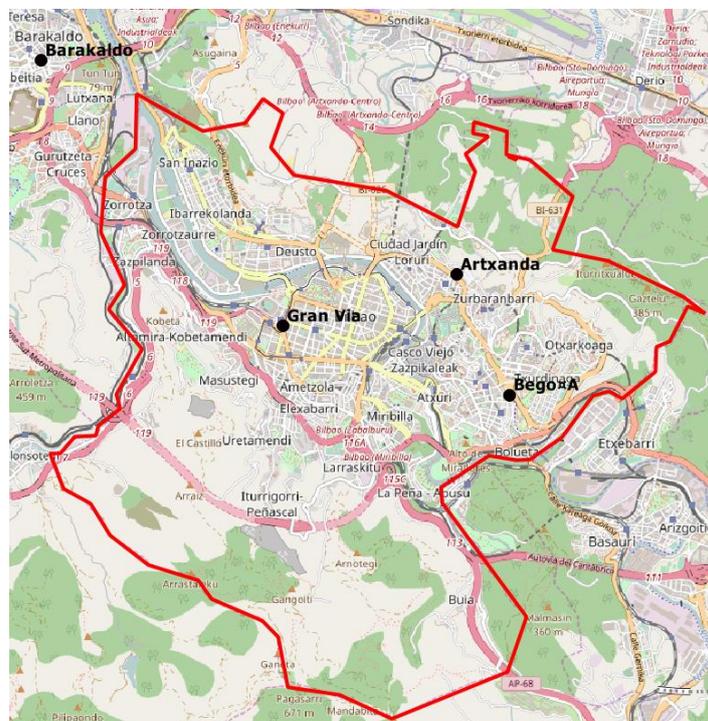


Ilustración 59: Centrales FTTH de Telefónica Bilbao

2.3. Central FTTH Gran Vía de Bilbao

Como ya se ha comentado, el diseño de la red de acceso para todas las ciudades es repetitivo por lo que únicamente se ha realizado el diseño de un nodo de Bilbao. A continuación, se muestran los planos del diseño de la red de acceso del nodo de Gran vía de Bilbao.

En la siguiente imagen se muestra el área de cobertura de la central FTTH de Gran Vía.

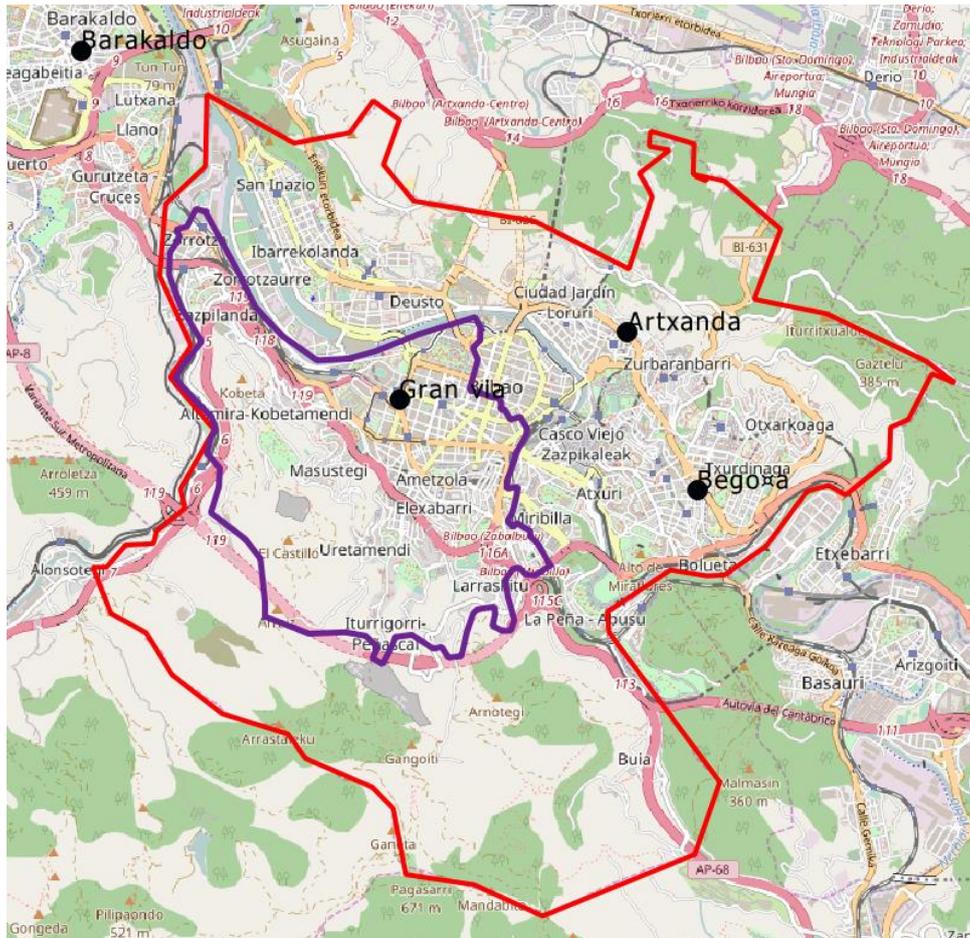


Ilustración 62: Cobertura del nodo de Gran Vía de Bilbao

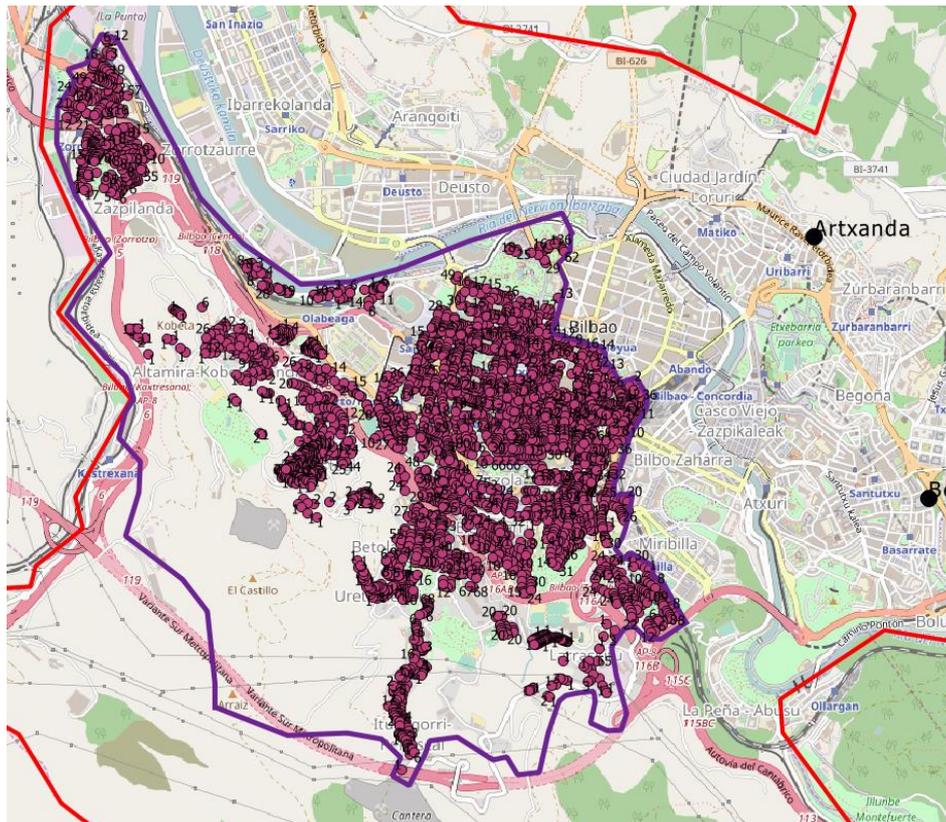


Ilustración 63: Unidades inmobiliarias bajo la cobertura del nodo de Gran Vía de Bilbao

En la siguiente imagen se muestran los clústeres, que agrupan a las unidades inmobiliarias en el nodo de Gran Vía, donde se ubica el segundo nivel de división. En cada clúster se indica el número de unidades inmobiliarias a las que da servicio.

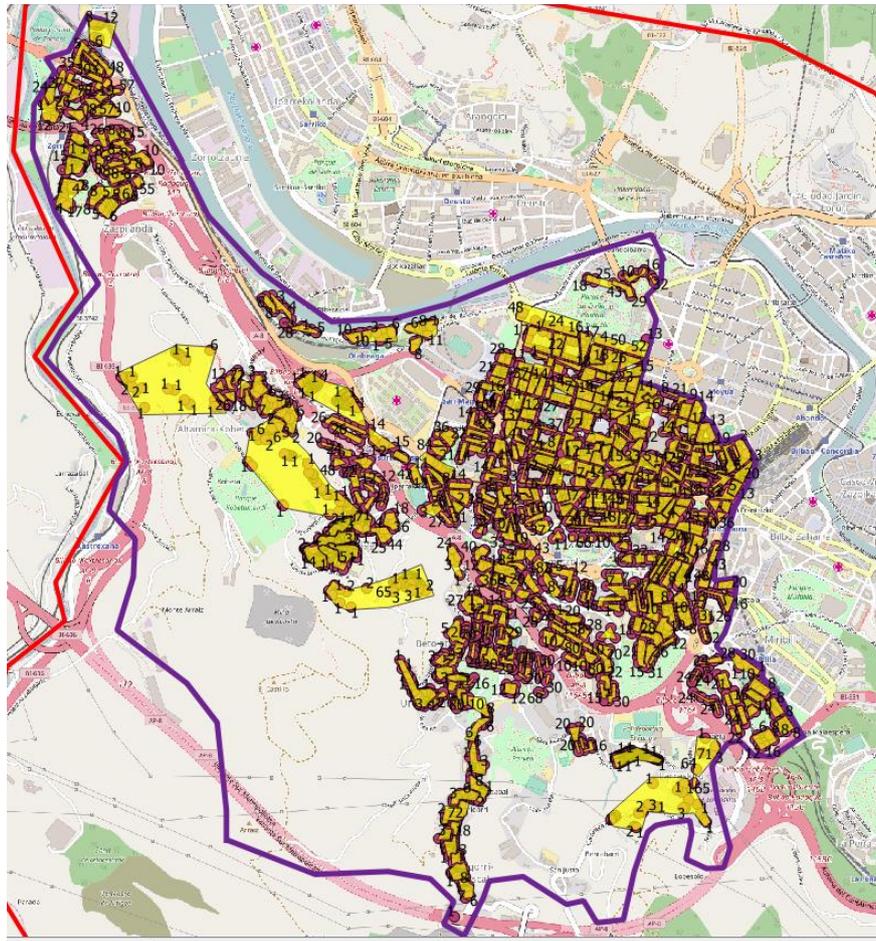


Ilustración 64: Clústeres del nodo de Gran Vía de Bilbao

En la siguiente imagen, se muestran los módulos en lo que se ha dividido el nodo de Gran Vía en Bilbao.

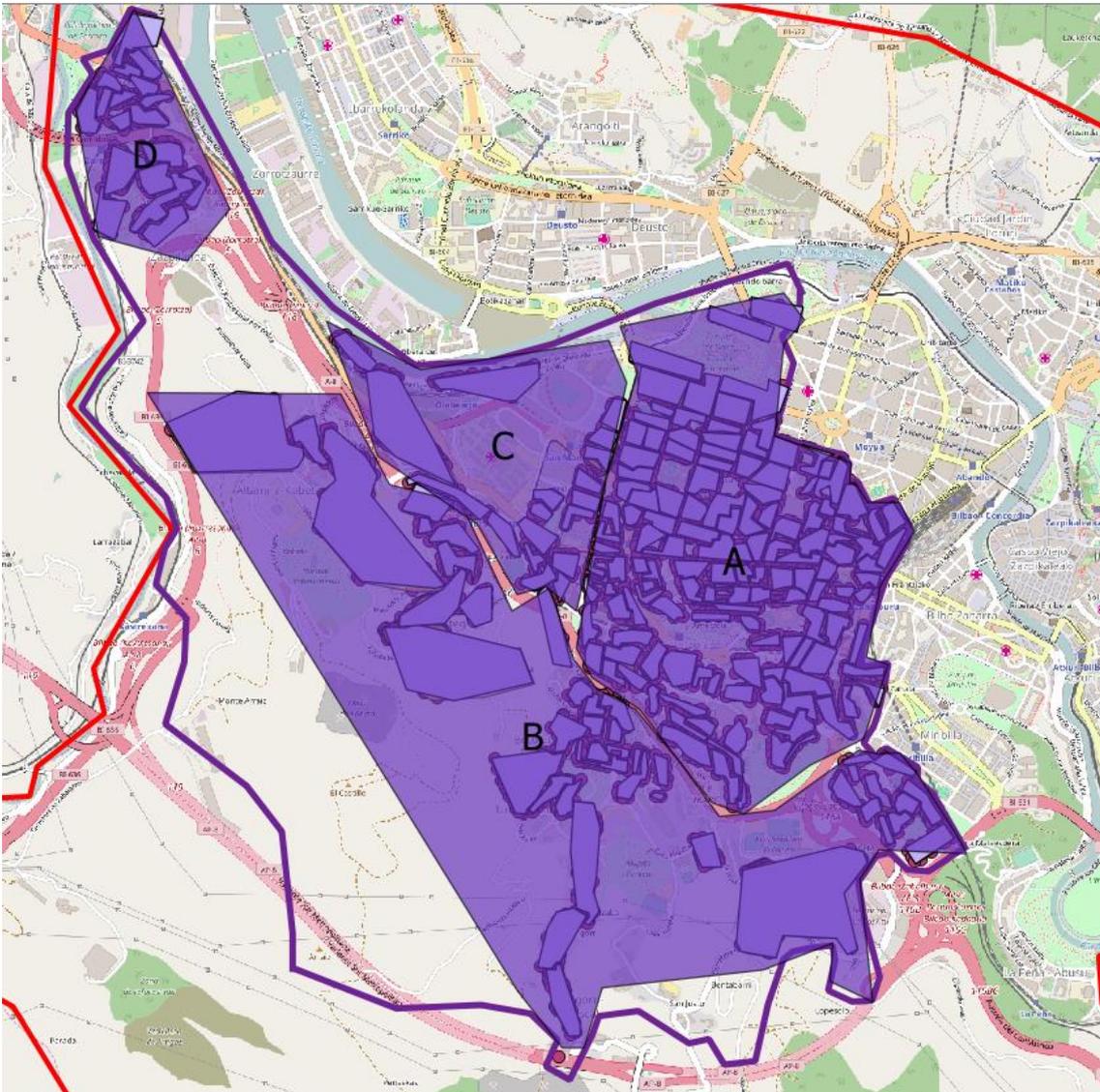


Ilustración 67: Módulos del nodo de Gran Vía de Bilbao

2.4. Canalizaciones de Telefónica

Por último, se muestran las canalizaciones de Telefónica que se van a utilizar.

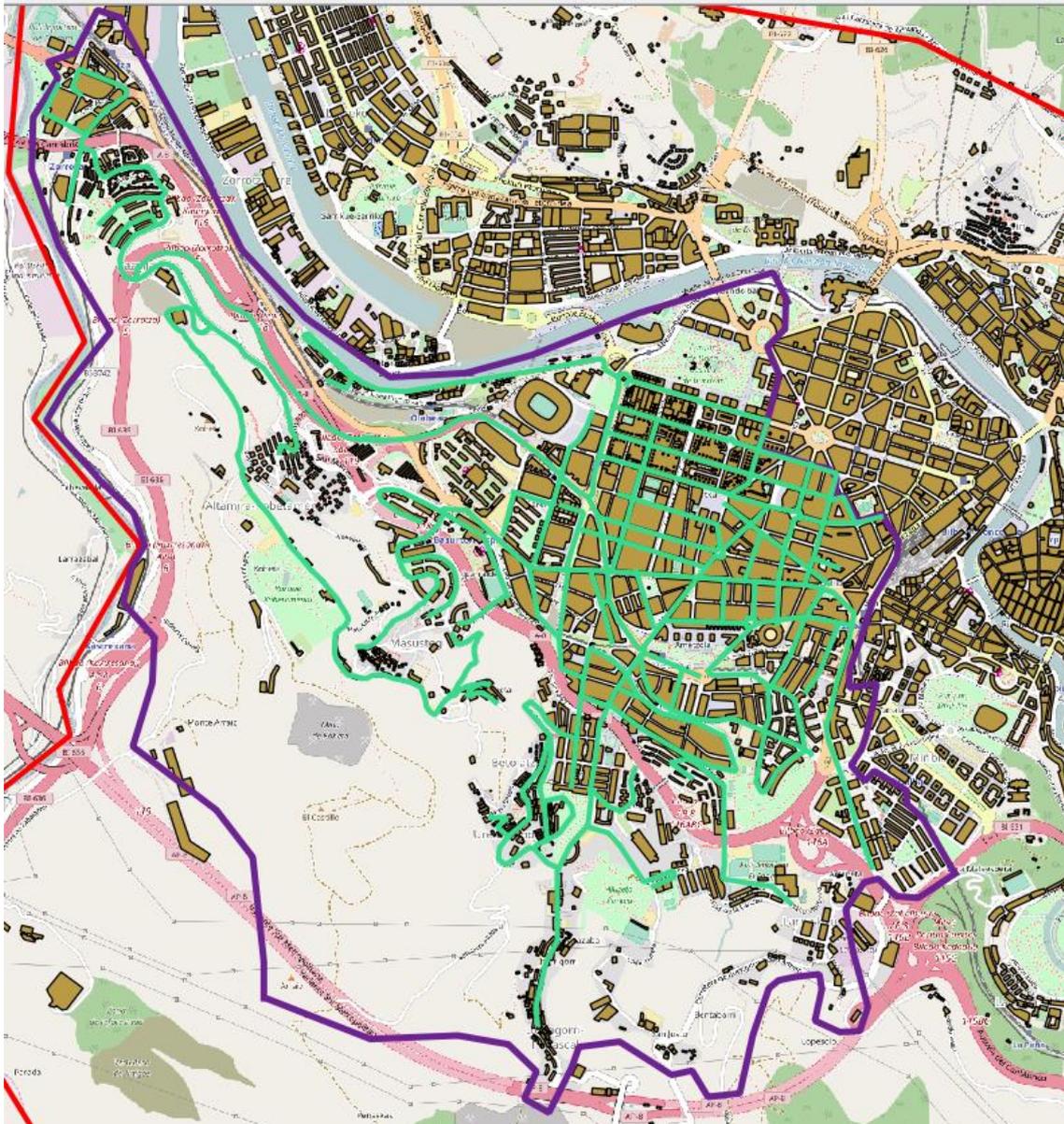


Ilustración 68: Canalizaciones de Telefónica.

3. Red de transporte

En este apartado se muestran los anillos de fibra óptica que forman la red de transporte.

3.1. Unión de las centrales FTTH de Bilbao

En la siguiente imagen se muestra el anillo de capacidad de 40Gbps que une las cuatro centrales FTTH que dan servicio al municipio de Bilbao.

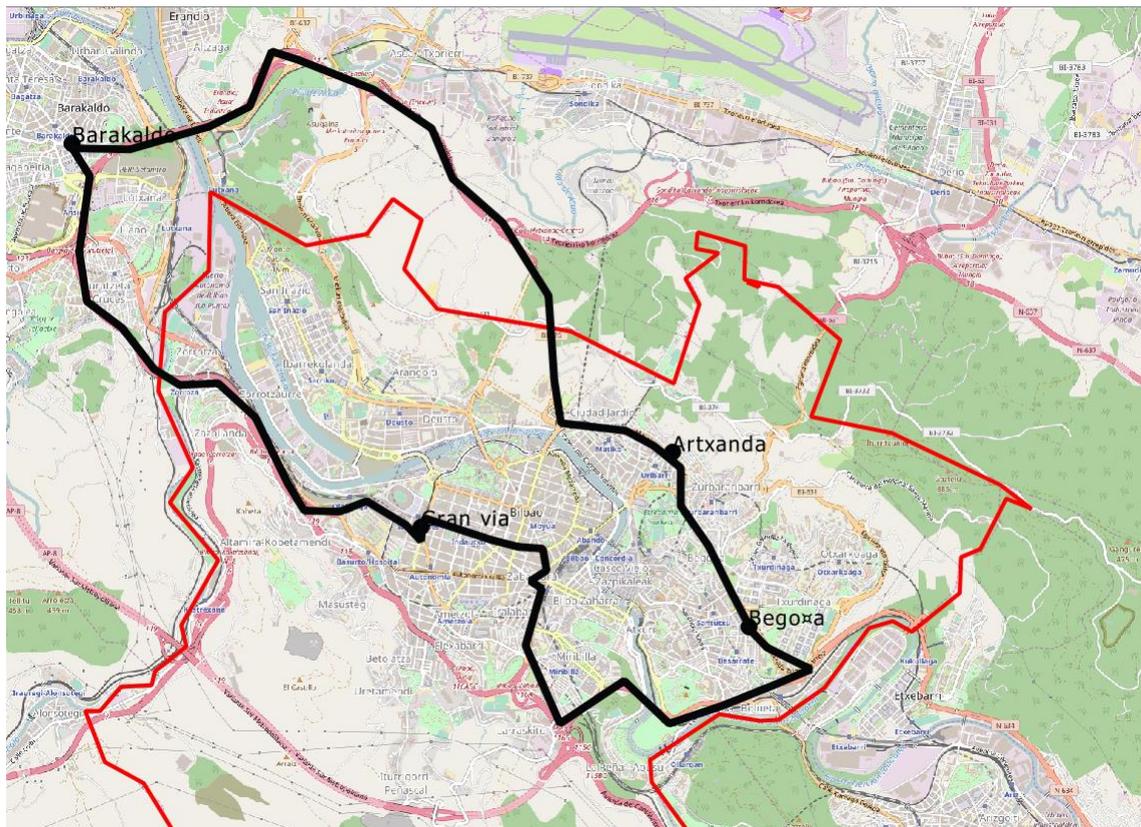


Ilustración 69: Anillo de 40 Gbps de Bilbao

3.2. Unión de las centrales FTTH de Donostia

En la siguiente imagen se muestra el anillo de capacidad de 40Gbps que une las tres centrales FTTH que dan servicio al municipio de Donostia.



Ilustración 70: Anillo de 40 Gbps Donostia

3.3. Unión de las centrales FTTH de Vitoria

En la siguiente imagen se muestra el anillo de capacidad de 40Gbps que une las dos centrales FTTH que dan servicio al municipio de Vitoria.

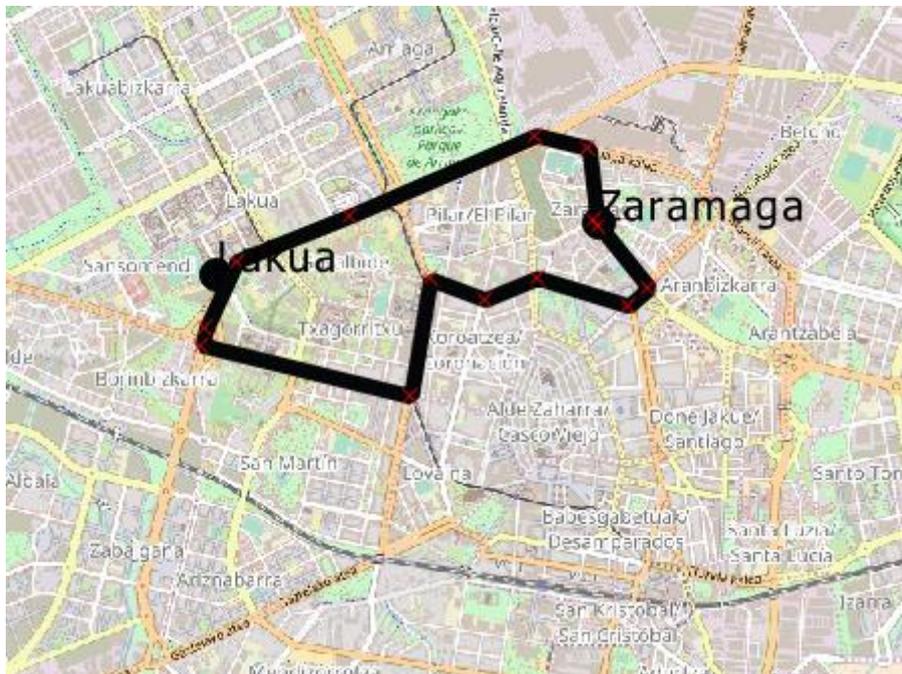


Ilustración 71: Anillo de 40 Gbps Vitoria

3.4. Unión de los tres municipios

En la siguiente imagen se muestra el anillo de capacidad de 100Gbps que une las tres ciudades. La unión en cada ciudad se encontrará en la central FTTH más concurrida.

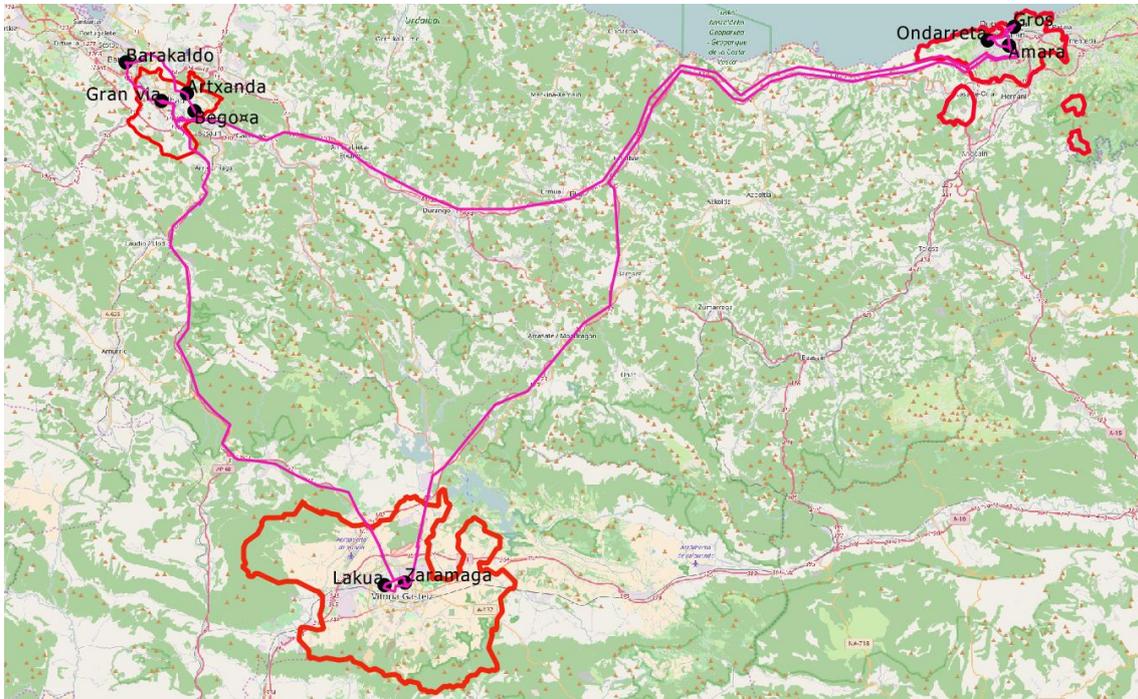


Ilustración 72: Anillo de 100 Gbps