

ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO DE UN DESPLIEGUE DE RED FTTH

Autor: Belén Rey Rodríguez

Profesor: Josep María Fàbrega Sánchez

Máster en Ingeniería de Telecomunicación

Junio 2019

Créditos/Copyright



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento- NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

Copyright © 2019 Belén Rey Rodríguez

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Análisis tecno-económico de un despliegue de red FTTH</i>
Nombre del autor:	<i>Belén Rey Rodríguez</i>
Nombre del colaborador/a docente :	<i>Josep María Fàbrega Sánchez</i>
Nombre del PRA:	<i>José Antonio Morán Moreno</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	<i>06/2019</i>
Titulación o programa:	<i>Máster en Ingeniería de Telecomunicación</i>
Área del Trabajo Final:	<i>Comunicaciones ópticas</i>
Idioma del trabajo:	<i>Español</i>
Palabras clave	<i>Fibra óptica, FTTH, Divisores</i>

Resumen del Trabajo:

El despliegue de fibra óptica actualmente en auge, invita a investigar nuevas vías para intentar ahorrar costes y para asegurar la máxima viabilidad técnica a los diferentes operadores.

En este proyecto fin de máster, se proponen tres escenarios que combinan algunas de las características principales en un despliegue de red FTTH.

Los primeros capítulos introducen al lector en toda la terminología utilizada en este sector con el fin de facilitar la comprensión de los capítulos posteriores. A continuación, se estudian diferentes escenarios en los que se varían los niveles de división y el tipo de divisores empleado. Por último, se estudia cuál es la mejor opción entre los resultados obtenidos teniendo en cuenta su rentabilidad económica, su mantenimiento, su fiabilidad y su flexibilidad.

Abstract:

The deployment of optical fiber currently at growth, invites to investigate new ways to try how to save costs and ensure the maximum viability to different operators.

In this final project, three scenarios which merge some of the main characteristics of the deployment of FTTH network are suggested.

The first chapters introduce the reader to all the terminology used in this field in order to make easier the understanding of following chapters. Next, different scenarios are studied where the levels of division and the types of splitters employed are modified. Lastly, it is studied which one is the best choice within the results acquired keeping in mind its economical profitability, maintenance, reliability and flexibility.

Dedicatoria/Cita

*“Lo maravilloso de aprender algo
es que nadie puede arrebatárnoslo”
(B. B. King)*

Agradecimientos

Gracias a mi tutor, Josep María Fàbrega Sánchez, por su ayuda y su disponibilidad en todo momento para sacar adelante este Trabajo Fin de Máster.

Gracias a mis incondicionales, mis padres. Por acompañarme en otro de los momentos más importantes de mi vida, por ayudarme a cumplir todo lo que me propongo, por confiar en mí y por ser ejemplo de esfuerzo y constancia. Os quiero.

Gracias a mi familia y amigos, por estar siempre a mi lado y animarme en los momentos más duros.

Resumen

El despliegue de fibra óptica actualmente en auge, invita a investigar nuevas vías para intentar ahorrar costes y para asegurar la máxima viabilidad técnica a los diferentes operadores.

En este proyecto fin de máster, se proponen tres escenarios que combinan algunas de las características principales en un despliegue de red FTTH.

Los primeros capítulos introducen al lector en toda la terminología utilizada en este sector con el fin de facilitar la comprensión de los capítulos posteriores. A continuación, se estudian diferentes escenarios en los que se varían los niveles de división y el tipo de divisores empleado. Por último, se estudia cuál es la mejor opción entre los resultados obtenidos teniendo en cuenta su rentabilidad económica, su mantenimiento, su fiabilidad y su flexibilidad.

Palabras clave

Fibra óptica, FTTH, Divisores

Abstract

The deployment of optical fiber currently at growth, invites to investigate new ways to try how to save costs and ensure the maximum viability to different operators.

In this final project, three scenarios which merge some of the main characteristics of the deployment of FTTH network are suggested.

The first chapters introduce the reader to all the terminology used in this field in order to make easier the understanding of following chapters. Next, different scenarios are studied where the levels of division and the types of splitters employed are modified. Lastly, it is studied which one is the best choice within the results acquired keeping in mind its economical profitability, maintenance, reliability and flexibility.

Key Words

Optical fiber, FTTH, Splitters

Índice

1. Introducción.....	13
1.1. Justificación y formulación del problema.....	13
1.2. Estado del arte.....	13
1.3. Objetivos	14
1.4. Plan de trabajo.....	15
1.4.1. Diagrama temporal a alto nivel: Hitos	15
1.4.2. Diagrama temporal a bajo nivel: Tareas.....	15
1.4.3. Observaciones.....	16
2. Fibra Óptica.....	17
2.1. Estructura.....	17
2.2. Tipos de transmisión.....	17
2.2.1. Monomodo	17
2.2.2. Multimodo.....	18
3. Red de acceso FTTH.....	19
3.1. Tipos de arquitecturas en la red de acceso.....	19
3.1.1. Arquitectura punto a punto.....	19
3.1.2. Arquitectura punto – multipunto	20
3.2. Topologías de la red de acceso.....	20
3.2.1. Topología en anillo.....	20
3.2.2. Topología en bus.....	21
3.2.3. Topología en estrella	22
3.2.4. Topología en árbol	22
4. Elementos constructivos	23
5. Análisis tecno-económico en distintos escenarios	25
5.1. Zona de trabajo.....	25
5.2. Precio de los materiales.....	27
5.3. Escenario 1	28
5.3.1. Descripción de las características del escenario de trabajo.....	28
5.3.2. Diseño de la red	30

5.3.3. Estudio técnico	32
5.3.4. Estudio económico.....	33
5.4. Escenario 2	33
5.4.1. Descripción de las características del escenario de trabajo.....	33
5.4.2. Diseño de la red	35
5.4.3. Estudio técnico	36
5.4.4. Estudio económico.....	37
5.5. Escenario 3	38
5.5.1. Descripción de las características del escenario de trabajo.....	38
5.5.2. Diseño de la red	39
5.5.3. Estudio técnico	40
5.5.4. Estudio económico.....	41
6. Comparación de escenarios	42
6.1. Escenario 1 vs escenario 2.....	42
6.2. Escenario 2 vs escenario 3.....	43
6.3. Escenario 1 vs escenario 3.....	44
7. Conclusiones generales	46
8. Líneas Futuras.....	47
Bibliografía	48
Listado de acrónimos	49

Figuras y tablas

Índice de figuras

Figura 1. Multiplexación WDM	14
Figura 2. Plan de trabajo. Hitos	15
Figura 3. Plan de trabajo. Tareas	16
Figura 4. Estructura FO	17
Figura 5. Fibra óptica monomodo	18
Figura 6. Fibra óptica multimodo	18
Figura 7. Tramos de la red de acceso	19
Figura 8. Arquitectura punto a punto	20
Figura 9. Arquitectura punto - multipunto	20
Figura 10. Topología en anillo	21
Figura 11. Topología en Bus	21
Figura 12. Topología en estrella	22
Figura 13. Topología en árbol	22
Figura 14. Caja de empalme	23
Figura 15. Caja terminal óptica	23
Figura 16. Divisor 1:2	23
Figura 17. ROM	24
Figura 18. Zona de Trabajo	26
Figura 19. 16 clientes en cada edificio	26
Figura 20. Dos niveles de división 1:4-1:16	29
Figura 21. Esquema lógico divisores balanceados 1:4-1:16	30
Figura 22. Escenario 1	30
Figura 23. Potencia divisores balanceados escenario 1	32
Figura 24. Esquema lógico divisores balanceados 1:2-1:4-1:8	34
Figura 25. Escenario 2	35
Figura 26. Potencia divisores balanceados escenario 2	37
Figura 27. Esquema lógico divisores desbalanceados	38
Figura 28. Escenario 3	39
Figura 29. Divisores desbalanceados escenario 3	40
Figura 30. Escenario 1 vs escenario 2	42
Figura 31. Escenario 2 vs escenario 3	43
Figura 32. Escenario 1 vs escenario 3	45

Índice de tablas

Tabla 1. Precio de los materiales	27
Tabla 2. Características escenario 1	28
Tabla 3. Metros de FO escenario 1	31
Tabla 4. Desglose de precios escenario 1	33
Tabla 5. Características escenario 2.....	33
Tabla 6. Metros de FO Escenario 2	36
Tabla 7. Desglose precios Escenario 2.....	37
Tabla 8. Características Escenario 3	38
Tabla 9. Metros de FO escenario 3.....	39
Tabla 10. Desglose precios escenario 3	41
Tabla 11. Características escenario 1 vs escenario 2.....	43
Tabla 12. Características escenario 2 vs escenario 3.....	44
Tabla 13. Características escenario 1 vs escenario 3.....	45

1.Introducción

1.1. Justificación y formulación del problema

En la actualidad España cuenta con más de 20 millones de hogares conectados con fibra óptica, esto quiere decir que más de un 50% de la población es usuario habitual de este servicio.

La fibra óptica ofrece ciertas ventajas respecto al resto de tecnologías: transmisión de datos a alta velocidad (hasta 1 Gb/s); latencia mínima; inmunidad ante las interferencias electromagnéticas ocasionadas por la temperatura, caídas de tensión u otros aparatos electrónicos y posibilidad de realizar conexiones simultáneas sin perder velocidad.

En este trabajo fin de máster se centrará en la red de acceso de fibra óptica con arquitectura FTTH, aquella que utiliza la fibra como medio físico de transmisión para llegar directamente al hogar del usuario sin necesidad de utilizar el par de cobre en ninguno de sus tramos.

1.2. Estado del arte

Los diseños FTTH que actualmente se realizan en la red de acceso se caracterizan por ser totalmente pasivos (PON), es decir, no contienen elementos que requieran energía eléctrica para su funcionamiento. Las redes PON están formadas por tres elementos principales:

- OLT (Optical Line Termination): Se encuentran en la central telefónica y su función principal es convertir la señal eléctrica en una señal óptica.
- Divisor Óptico (Splitter): Dispositivo que separa 1 señal óptica de entrada en N fibras de salida (1:N).
- ONT (Optical Network Termination): Se encuentra en el domicilio del cliente y convierte las señales ópticas en señales eléctricas.

Además, existen otros equipos que también son necesarios a la hora de realizar un buen diseño como pueden ser las cajas de empalme, las cajas terminales ópticas, los repartidores ópticos e incluso la propia fibra óptica.

Una de las tecnologías más extendidas dentro de las redes pasivas, es GPON o *Gigabit-capable Passive Optical Network*, todos sus estándares garantizan velocidades superiores a 1Gb/s (actualmente 2.4 Gb/s (Downstream) / 1.2 Gb/s (Upstream)) y permiten una distancia física de aproximadamente 60km, aunque debido al tipo de láser que se utiliza, a la atenuación de la fibra y a la dispersión (cromática y modal) no suele superar los 20km .

Las redes GPON tienen ciertas ventajas:

- Ahorro energético al eliminar los equipos activos.
- Fiabilidad en el despliegue, ya que al no utilizar elementos activos hay una menor tasa de fallo.
- Aumento en la calidad del servicio, GPON cumple un modelo de QoS que garantiza el ancho de banda necesario por usuario.
- Aumento en la seguridad, se trata de un estándar de telecomunicaciones cifrado (encriptación AES).

El diseño que se realiza con este tipo de tecnología no cierra puertas al futuro, ya que permite que sin cambiar ningún tipo de elemento se pueda evolucionar tanto a XGSPON como a NGPON2.

Se utiliza la **multiplexación WDM** (Wavelength División Multiplexing) para realizar la transmisión de datos ascendente/descendente a la vez (full-duplex). Con esta técnica se logra transmitir por una misma fibra, de manera bidireccional, señales que tienen diferentes longitudes de onda, aprovechando mucho más el ancho de banda de la fibra y ganando escalabilidad en el sistema.

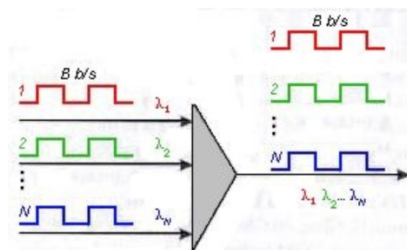


Figura 1. Multiplexación WDM

Es deseable utilizar arquitecturas de red que además de cumplir con los requisitos de calidad y servicio, se adecuen a la premisa de un bajo CAPEX/OPEX, tema que abordaremos en capítulos posteriores.

1.3. Objetivos

Actualmente, dependiendo de la operadora que fije los criterios para el diseño de la red de fibra, se utilizan unas combinaciones tanto de tecnología, de topología, como del nivel de división de la fibra.

Por ello, como principal objetivo se ha planteado un análisis en la planificación de una red FTTH con tecnología GPON sobre diferentes escenarios.

Este objetivo final se puede dividir en hitos más específicos:

- Adquisición de los conocimientos necesarios sobre fibra óptica para poder enfrentarse a un diseño de FTTH.
- Análisis de las topologías de red existentes.
- Análisis de las tecnologías de red existentes.

- Análisis de los elementos que intervienen en un diseño FTTH.
- Realización de la planificación de un diseño real, a alto nivel, variando los niveles de división y los tipos de divisores, estudiando su viabilidad económica.
- Obtención de conclusiones sobre el modo de despliegue más rentable desde el punto de vista económico y sobre el punto de vista técnico.
- Estudio sobre posibles líneas de futuro de este proyecto.

1.4. Plan de trabajo

En este apartado se mostrará un desglose de cómo se ha planificado el proyecto para poder cumplir con los tiempos marcados en la asignatura.

1.4.1. Diagrama temporal a alto nivel: Hitos

En la figura 2, se detallan los hitos más relevantes del proyecto, con las fechas en las que se debe ejecutar cada uno de ellos:

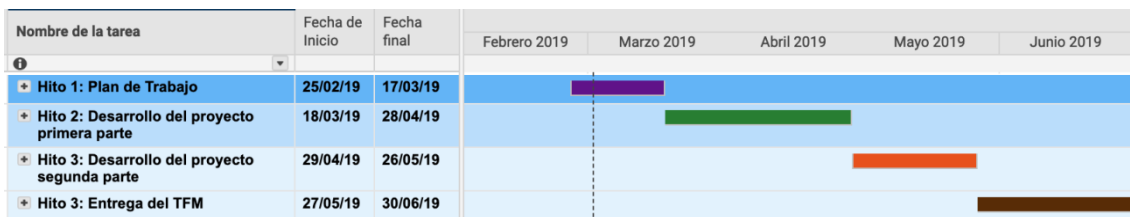


Figura 2. Plan de trabajo. Hitos

1.4.2. Diagrama temporal a bajo nivel: Tareas

Cada uno de los hitos anteriores está formado por varias tareas, en la figura 3 se puede visualizar el diagrama de Gantt completo:

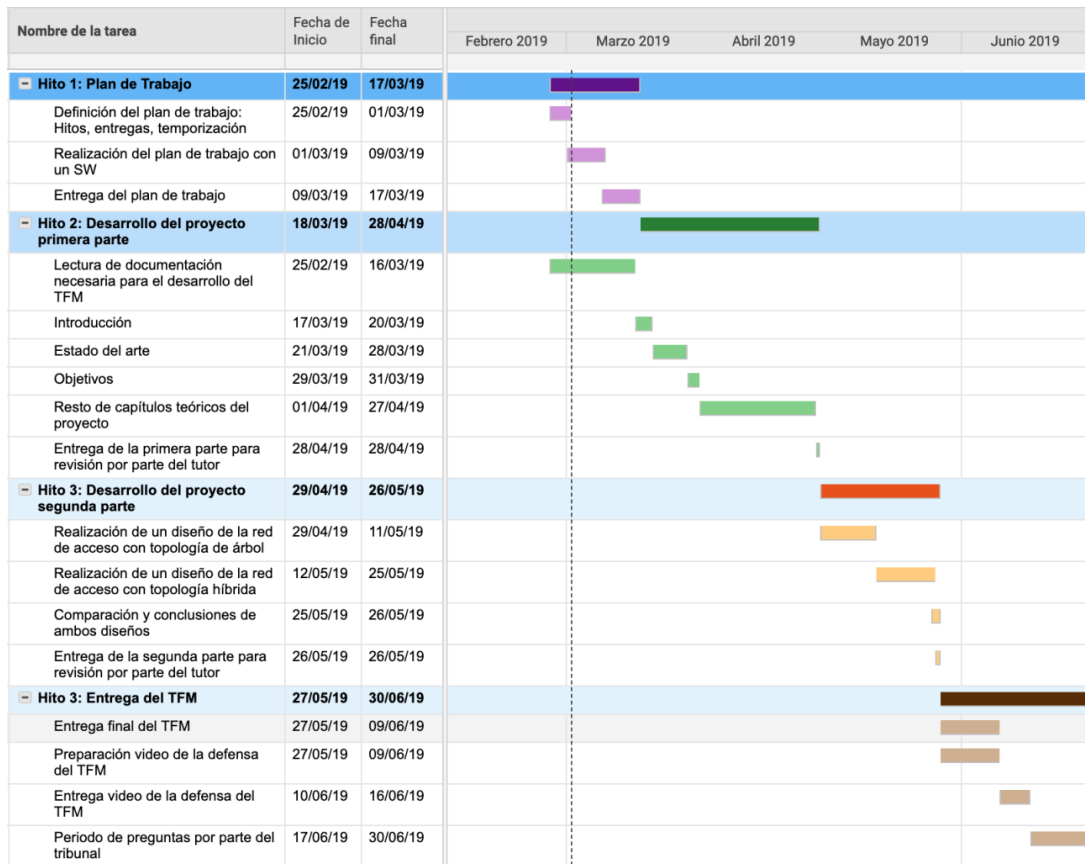


Figura 3. Plan de trabajo. Tareas

1.4.3. Observaciones

Con esta planificación se obtiene que el Proyecto estará finalizado el día 30/06/2019.

En el desarrollo del proyecto, para conseguir llegar a este hito en tiempo, se han tenido que paralelizar varias tareas, además de la lectura de documentación que se ha llevado a cabo desde el principio de la asignación del tema.

Debido a un cambio en el contenido del proyecto, se ha modificado el hito 3, realizando los diferentes escenarios en los que se modifica el nivel de división, en vez de las redes de acceso con distintas topologías.

2. Fibra Óptica

La fibra óptica es un elemento flexible y transparente que utiliza la luz como medio de transmisión de la información. Puede estar hecha de vidrio o de plástico, aunque cada vez son más las aplicaciones que utilizan fibra de plástico, la más extendida entre las telecomunicaciones es la de vidrio y será la que estudiemos en este proyecto. Su estructura está formada por varios componentes agrupados de manera concéntrica, tal y como se presenta a continuación.

2.1. Estructura

- Núcleo: Medio físico que transmite la señal, tiene un índice de refracción n_1
- Revestimiento: Recubre al núcleo, tiene un índice de refracción diferente a este, n_2 .
- Material de refuerzo: Se utilizan fibras de aramida para mejorar la tracción del cable y reforzarlo.
- Cubierta: Puede ser de diferentes materiales, dependiendo de donde se vaya a tender la fibra, por ejemplo: si el cable de fibra debe ir por el interior del edificio, uno de los materiales que llevará esa cubierta será termoplástico, ya que es ignífugo y, por tanto, actuará retardando la llama.

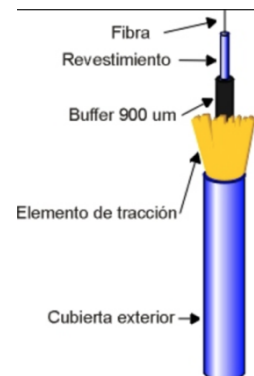


Figura 4. Estructura FO

2.2. Tipos de transmisión

Dependiendo de cuántos modos transmita la fibra óptica tendremos diferentes tipos de transmisión.

2.2.1. Monomodo

La principal característica de este tipo de fibras es que únicamente transmiten un modo de propagación, haciendo que la luz viaje por el eje central de la fibra sin reflexión. Esto se consigue limitando la longitud de onda de operación y reduciendo al máximo el núcleo central de la fibra hasta que el diámetro alcanza las micras necesarias para que la transmisión sea de un único modo.

Por este motivo, la longitud de onda permitida varía entre 1260nm y 1650nm, aunque las más habituales son 1310nm y 1550nm (segunda y tercera ventana respectivamente).

Este tipo de fibra es la que normalmente se utiliza en la red de acceso FTTH, ya que tiene poca atenuación y un ancho de banda prácticamente ilimitado para largas distancias.

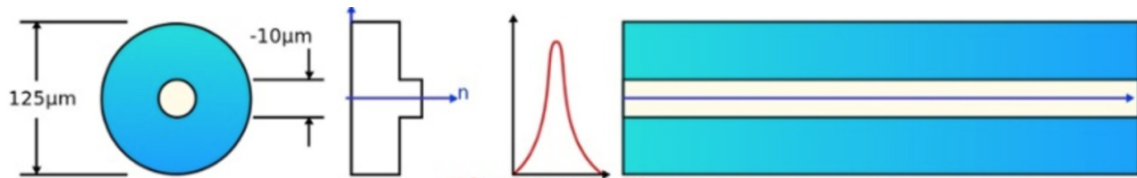


Figura 5. Fibra óptica monomodo

2.2.2. Multimodo

Este tipo de fibra se utiliza en aplicaciones de corta distancia, donde se propaga más de un modo, el diámetro del núcleo es más grande que las monomodo y se trabaja a unas longitudes de onda concretas, típicamente entre 850nm y 1310nm. Se basa en la reflexión contra sus paredes para la transmisión de varios haces diferentes de luz (modos).

En función del perfil de índice de refracción del núcleo pueden ser de dos tipos:

- Índice gradual: El índice de refracción no es constante y la transición entre el núcleo y el revestimiento cambia de forma no abrupta.
- Índice escalonado: El índice de refracción es constante por todo el núcleo y la transición entre núcleo y revestimiento es abrupta

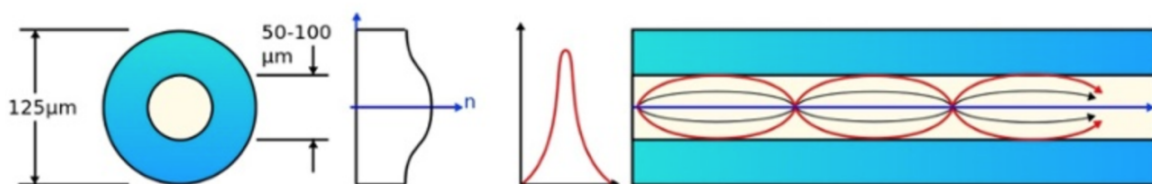


Figura 6. Fibra óptica multimodo

3. Red de acceso FTTH

Para que cualquier operador pueda ofrecer conectividad a un cliente utilizando fibra óptica, es necesario que haya desplegado su red de acceso. El operador debe haber conectado al usuario con el repartidor de fibra que se encuentra en la central de telecomunicaciones.

La red de acceso se divide en diferentes tramos, como se puede apreciar en la figura 7:

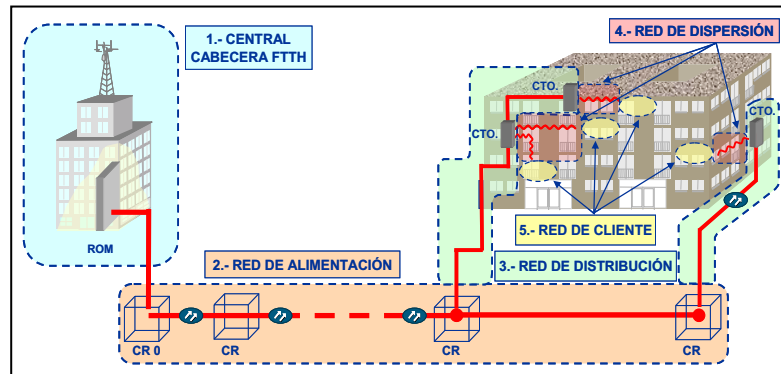


Figura 7. Tramos de la red de acceso

- Central Cabecera FTTH: Lugar donde se instalan los equipos OLT, desde los que se da acceso a los abonados.
- Red de Alimentación: Constituye el primer tramo, va desde la central hasta el primer nivel de división.
- Red de Distribución: Constituye el segundo tramo, va desde el primer nivel de división hasta las cajas terminales ópticas.
- Red de Dispersión: Constituye el tercer tramo, desde las cajas terminales ópticas hasta los domicilios de cada cliente (acometidas).
- Red de Cliente: Constituye el último tramo, esta formada por la red que cada cliente tiene en su propio domicilio, va desde la roseta óptica hasta la ONT.

3.1. Tipos de arquitecturas en la red de acceso

3.1.1. Arquitectura punto a punto

La característica principal de este tipo de arquitecturas es que la señal conecta dos puntos separados físicamente con una única fibra. La conexión se inicia en la central y llega hasta la casa del cliente sin pasar por ningún divisor, consiguiendo así un enlace completamente dedicado.

Económicamente desplegar de esta manera supone un coste elevado, ya que se invierte toda la capacidad del cable en un único servicio. Además, tiene un gran consumo de energía.

El uso de este tipo de arquitecturas suele realizarse para dar servicio a las empresas que necesitan una fibra dedicada, o para comunicar diferentes centrales telefónicas. En este caso, el ancho de banda es mucho más elevado que con cualquier otro tipo de arquitectura y se pierde muy poca potencia.

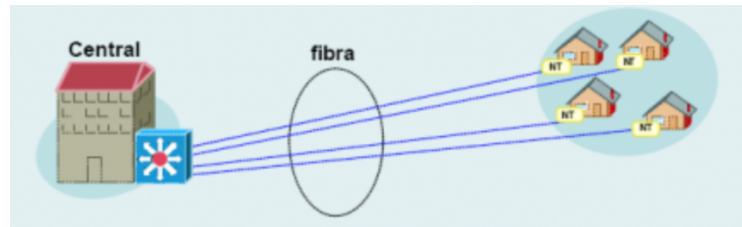


Figura 8. Arquitectura punto a punto

3.1.2. Arquitectura punto – multipunto

Este tipo de red se basa en enlaces no dedicados, donde existe un transmisor y N receptores. Es una de las arquitecturas más utilizadas en la red de acceso, debido a que se ahorran costes tanto en el despliegue inicial como en el mantenimiento de la red. Es necesario instalar splitters que ramifique la señal para que llegue a cada uno de esos N hogares, según se aprecia en la figura 9.

Hay que tener en cuenta que, al dividir la señal óptica se pierde más potencia que si fuera un enlace punto a punto, por ese motivo habrá que diseñar, de acuerdo a unas distancias permitidas, en función del tipo de láser elegido para el despliegue y el divisor utilizado.

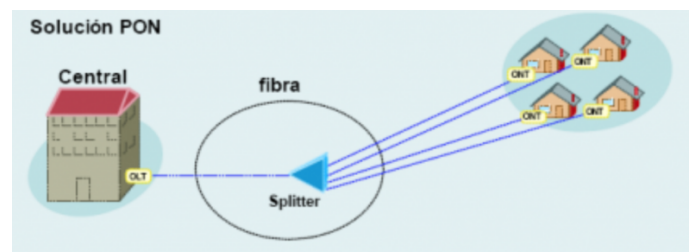


Figura 9. Arquitectura punto - multipunto

3.2. Topologías de la red de acceso

3.2.1. Topología en anillo

Se trata de un bucle cerrado. Todos los usuarios se conectan a la red, si uno de ellos sufre una avería, toda la red quedará inoperativa.

Normalmente el camino es unidireccional, donde la señal se envía en una única dirección, obteniendo de esta manera una mayor velocidad en la transmisión de la información. Aunque esta arquitectura se caracteriza por su gran simplicidad, también tiene un precio elevado.

Un protocolo típico empleado en esta topología es el Token Ring, en el que se transmite la información de nodo a nodo cuando uno de ellos posee el testigo o token. Normalmente para este tipo de transmisiones se utiliza una única longitud de onda, por lo que limita mucho la posibilidad de transmitir simultáneamente. Para mejorar este problema, existen otras tecnologías, como WDM, que no requiere de un protocolo específico que limite los espacios de tiempo en los que puede transmitir cada nodo, al poder usar cada uno una longitud de onda diferente.

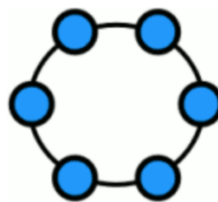


Figura 10. Topología en anillo

3.2.2. Topología en bus

Al igual que la topología anterior, la arquitectura de esta red es muy simple. Todos los usuarios se conectan a ella mediante un único canal (Bus troncal o Backbone). Por este motivo, resulta bastante sencillo añadir un nuevo cliente a la red, no habiendo ningún problema si alguno sufre una avería, ya que es barato y tiene fácil solución.

Si el cableado troncal se ve afectado por algún problema, toda la red se degradaría, impidiendo el conexionado de los usuarios a ella.

Esta topología no es adecuada para usarla en un despliegue con fibra óptica ya que la conexión de cada uno de los nodos a la fibra troncal requeriría de un acoplador desbalanceado.

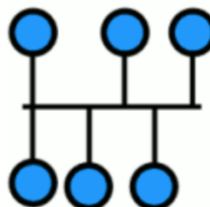


Figura 11. Topología en Bus

3.2.3. Topología en estrella

Este tipo de red permite que la señal se envíe en paralelo a diferentes clientes. Hay un equipo central que se conecta directamente a cada usuario, por eso simula una arquitectura punto a punto.

Al tratarse de una topología centralizada, es fácil de gestionar a los usuarios, aunque costosa. La red desplegada en telefonía para la transmisión de voz ha utilizado siempre esta topología.

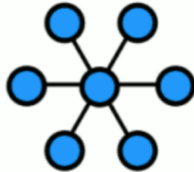


Figura 12. Topología en estrella

3.2.4. Topología en árbol

Es la más utilizada en la red de acceso, no existen colapsos ni saturación en la misma. Se incorpora un primer divisor con el que se inicia la red de distribución, que ramifica ésta, como si de un árbol se tratara. Como se puede apreciar en la figura 13, se puede añadir un segundo nivel de división que añada más “ramas” al árbol hasta llegar a los clientes destino.

El único inconveniente que existe es que si el primer factor de división, o el cable de alimentación, sufren algún problema, el usuario final dejaría de tener servicio.

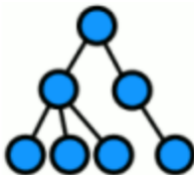


Figura 13. Topología en árbol

4. Elementos constructivos

Los elementos más importantes que intervienen en el despliegue de fibra óptica y que se utilizarán para realizar el análisis de este proyecto son:

- Cajas de empalme:



Figura 14. Caja de empalme

Las cajas de empalme sirven para conectar tramos largos de la red de acceso FTTH. Estas cajas se utilizan para realizar empalmes, ramificaciones de la red y también para incluir divisores ópticos. Se pueden ubicar en arquetas o cámaras de registro.

- Cajas terminales ópticas:



Figura 15. Caja terminal óptica

Conectan la red de fibra del operador con la vivienda del cliente. En cada CTO existen bandejas de empalme, que pueden ser bandejas de fusiones o bandejas de divisores ópticos. Se pueden ubicar en fachada, en el interior de los edificios, en postes...

- Divisores:



Figura 16. Divisor 1:2

Se utilizan cuando la arquitectura de la red es punto – multipunto en redes de acceso. Está formado por una entrada y N salidas

- Repartidores ópticos modulares:



El repartidor óptico es un equipo físico que ejerce como frontera entre la transmisión del GPON y donde se conectan los cables para comenzar el despliegue de fibra.

Figura 17. ROM

5. Análisis tecno-económico en distintos escenarios

GPON es un estándar que soporta una solución multiprotocolo de transporte con la que se puede dar servicio a un número máximo de usuarios, que varía en función del nivel de división (1:N) con el que se diseñe y la distancia de los usuarios a la central.

En este proyecto, trabajaremos siempre para dar servicio a 64 clientes, que se corresponde con el límite del estándar GPON. Por tanto, nuestro nivel de división será 1:64. Para ello se realizará un estudio con algunos de los escenarios de trabajo con los que podremos llegar a esta configuración y se modificarán tanto los niveles de división de cada escenario como el tipo de divisor empleado.

Teniendo en cuenta estas particularidades, se realizará un posible diseño, saliendo desde una Central Telefónica y llegando hasta la fachada del edificio del cliente donde se quiere dar servicio.

Para cada escenario se realizará un análisis técnico, así como uno económico que permita, una vez finalizados todos los diseños, obtener conclusiones que cualquier operador podría tener en cuenta en su despliegue de red.

5.1. Zona de trabajo

La zona de trabajo elegida que se utilizará en todos los escenarios está formada por una central telefónica y 4 edificios a los que se les quiere dar cobertura de fibra óptica, a su vez cada edificio está formado por varios portales.

Se decide que las cajas terminales ópticas con las que se realizará el diseño en cada escenario sean de exterior, situándose en la fachada de cada edificio, de la misma manera que se instalaron las cajas terminales de cobre en su momento. Esta decisión está motivada porque se trata de una zona antigua y los edificios no estaban sometidos a la actual Ley ICT, que obliga a realizar una obra civil en el interior del edificio para los servicios de telecomunicaciones.

En la imagen de la figura 18 se observa el área elegida para realizar los diferentes casos prácticos. En la imagen se aprecia un edificio más grande, señalado con un rectángulo rojo, que actualmente es una central telefónica y desde la que se saldrá para dar servicio. Además, también se visualizan cuatro edificios rectangulares que guardan cierta simetría entre ellos.

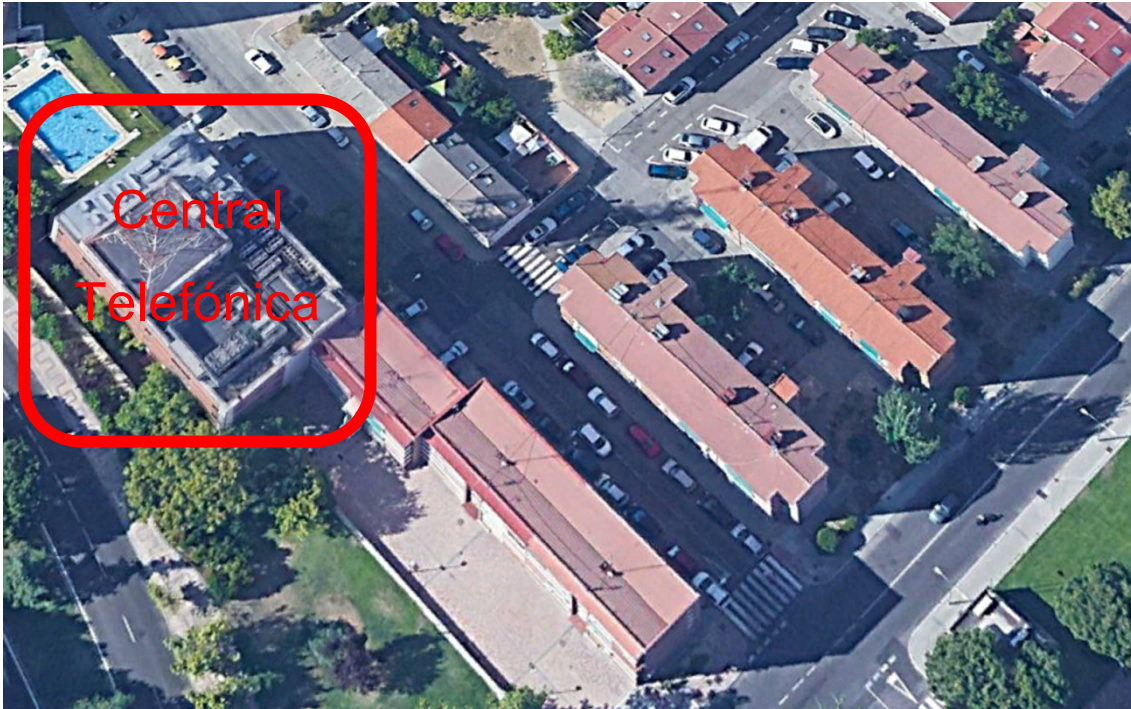


Figura 18. Zona de Trabajo

En cada uno de esos edificios supondremos que hay 16 clientes, y, por lo tanto, se dimensionará el diseño conforme a ello. Se marcará cada uno de los edificios con un rectángulo azul para que visualmente ayude al diseñador como se muestra en la figura 19.

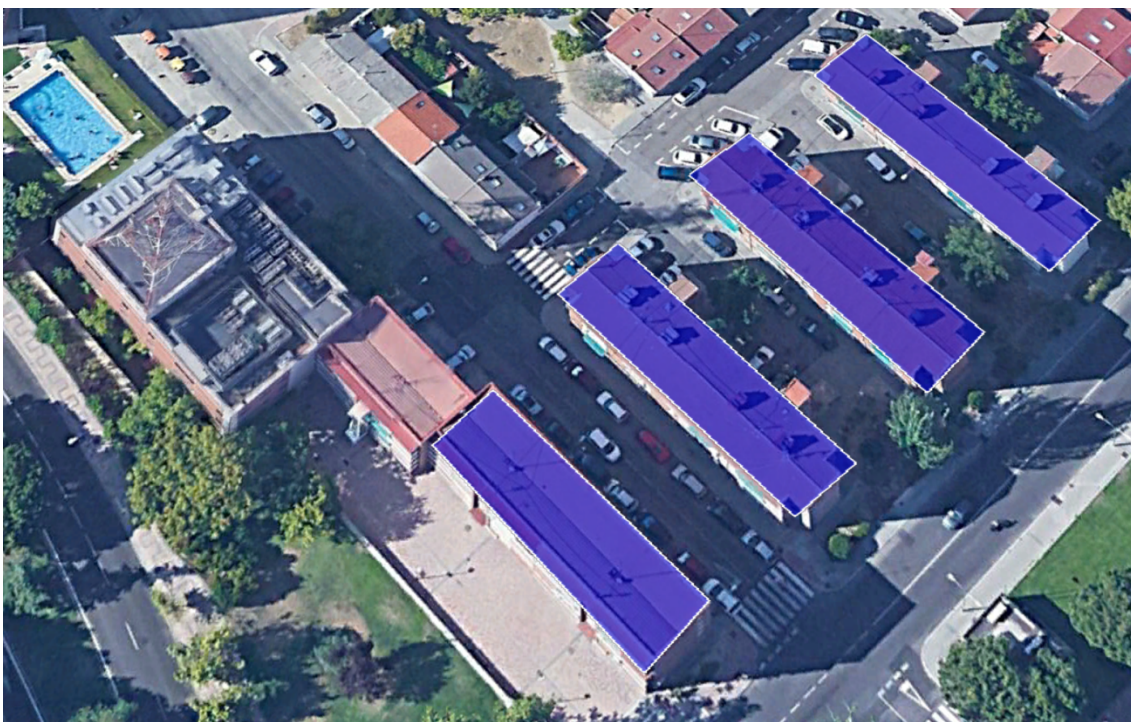


Figura 19. 16 clientes en cada edificio

5.2. Precio de los materiales

A continuación, se detalla un posible precio asignado a cada material, dependiendo de sus características técnicas:

Material	Precio
Fo en tramo azul	500€/m
Fo en tramo amarillo	300€/m
Fo en tramo rosa	100€/m
Cajas de Empalme	90€/ud
CTO de exterior	70€/ud
Divisores 1:2	20€/ud
Divisores 1:4	30€/ud
Divisores 1:8	40€/ud
Divisores 1:16	50€/ud
Divisores ad hoc	100€/ud

Tabla 1. Precio de los materiales

Los precios elegidos tienen la siguiente justificación:

- Cables: El tramo azul será el más caro de todos, puesto que tiene doble cubierta para retardar la llama. El tramo amarillo también será ignífugo, característica que encarecerá su precio. Por este motivo, se intentarán optimizar los diseños y que el uso del cable azul y amarillo sea el menor posible. El tramo rosa tendrá un precio estándar y se deberá utilizar siempre que se pueda. Se ignorará el número de fibras que contiene el cable que también incrementa el coste, ya que en este proyecto se trabajará a nivel de una fibra por cable.
- Cajas de empalme / CTO: Las dos cajas vendrán de fábrica sin divisor incorporado, habrán pasado diferentes controles de calidad para que sean totalmente resistentes y sean prácticas en los diseños que se propondrán a continuación.
- Divisores: A mayor nivel de división, el elemento es más complejo de fabricar y, por tanto, tendrá mayor coste. Los Divisores ad hoc están pensados para cuando se trate de divisores desbalanceados en los que pueda variar el ratio de potencia entre una salida y la otra. En este proyecto se ha realizado una estimación de precio de los divisores ad hoc alta, debido a que se trata de componentes no estándar, que no tienen un volumen de demanda lo suficiente elevado en el mercado, por lo que su precio nunca será comparable al de divisores estándar que están desplegando la mayor parte de los operadores de telecomunicaciones en el mundo.

5.3. Escenario 1

5.3.1. Descripción de las características del escenario de trabajo

Niveles de división	2
Número de clientes	64
Topología	Árbol
Arquitectura	Punto-multipunto
Tipo de Divisor	Balanceado

Tabla 2. Características escenario 1

Este escenario contará con dos niveles de división:

- El primer nivel de división será 1:4, estará formado por un divisor que tendrá una entrada de alimentación y cuatro salidas para los siguientes niveles de división. Cada salida de este divisor se podrá utilizar para dar servicio a un edificio diferente.
- El segundo nivel de división estará formado por cuatro divisores de 1:16, cada uno de ellos tendrá una entrada de alimentación y 16 salidas que se podrán conectar al domicilio del cliente para darle servicio.

Una vez elegidos los niveles de división para conocer los clientes a los que se desea dar servicio, se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$N = \text{Factor_División}_{1^{\text{º nivel}}} * \text{Factor_División}_{2^{\text{º nivel}}}$$

En este caso:

$$N = 4 * 16 = 64 \text{ clientes}$$

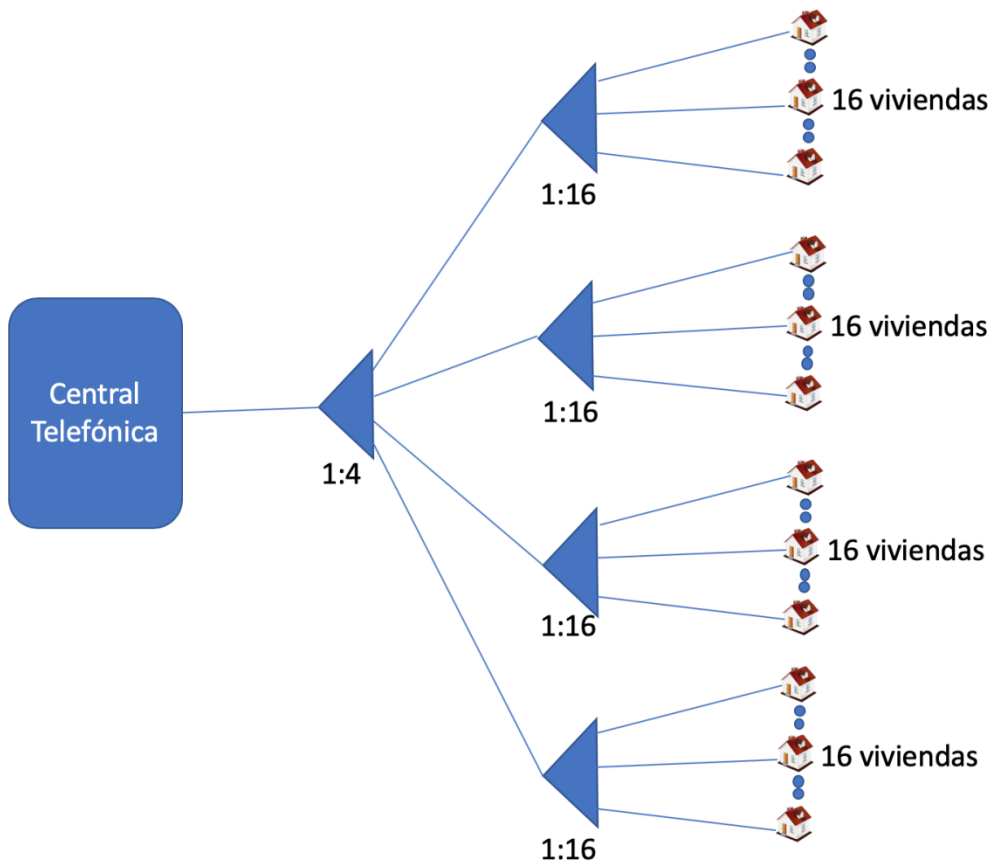


Figura 20. Dos niveles de división 1:4-1:16

Como se puede observar en la Figura 20, la topología elegida es árbol-rama, ya que se considera que es la que menos problemas puede generar en la red de acceso, al no existir saturación en la red y la que puede ofrecer una buena solución a futuro, si uno de los divisores de segunda etapa falla por completo, ya que sólo 16 usuarios sufrirían un corte en el servicio, dejando al 75% de la red operativa.

La decisión sobre el tipo de arquitectura está motivada porque al ser punto-multipunto, se realiza un uso más eficiente de la red instalando divisores, y no dedicando un enlace directo a cada cliente.

Por último, el divisor será de tipo balanceado, es decir, los 4 divisores de segunda etapa tendrán la misma atenuación, y serán exactamente iguales, tal y como se puede ver en la figura 21.

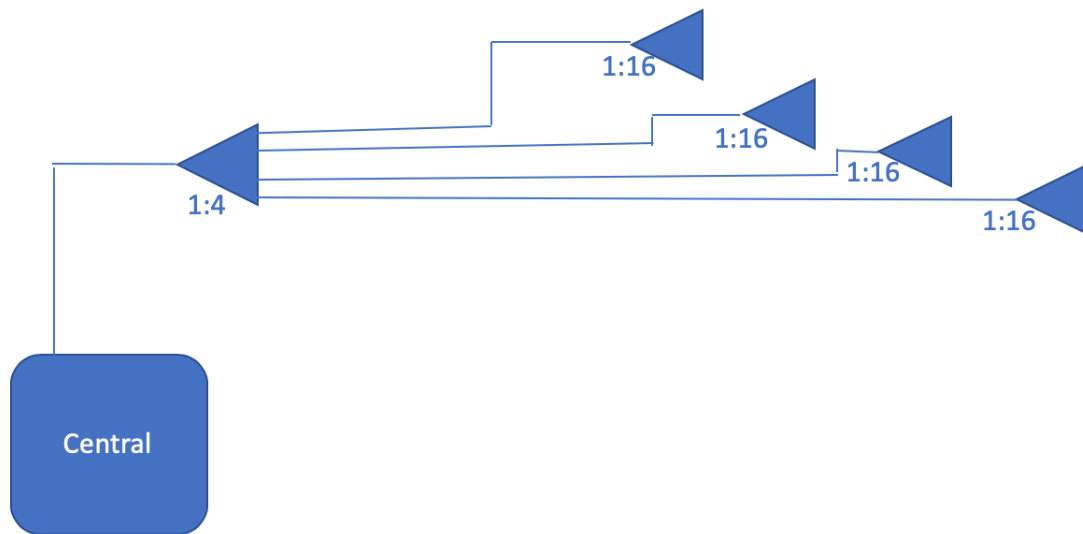


Figura 21. Esquema lógico divisores balanceados 1:4-1:16

5.3.2. Diseño de la red

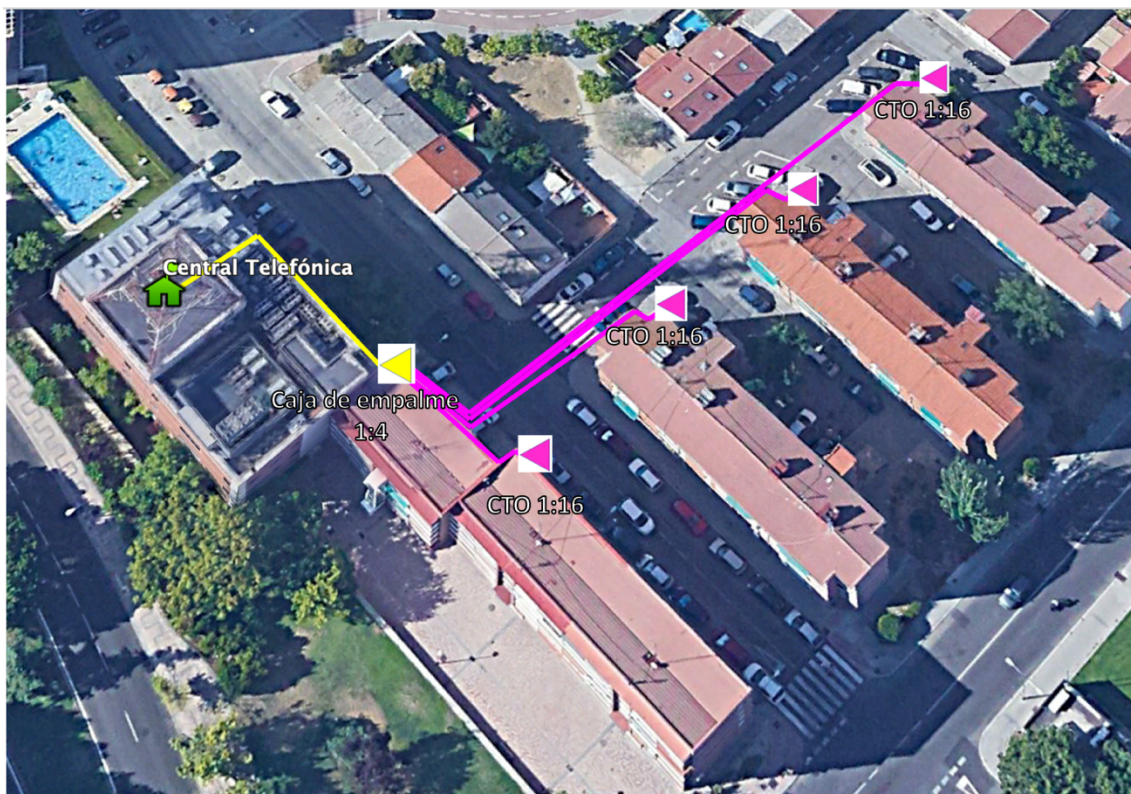


Figura 22. Escenario 1

Sobre la zona elegida, el diseño se realiza teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El primer nivel de división 1:4 se instalará en el interior de una caja de empalme que tendrá capacidad para alojar hasta 5 divisores del mismo tipo. Si a futuro el despliegue requiere más de 5 divisores (320 clientes) atendidos desde la misma central, se deberá hacer una ampliación e instalar otra Caja de Empalme. En cada patilla del divisor se fusionará una fibra óptica.
- El diseño se ha realizado a nivel de fibras ópticas, por lo tanto, todas las líneas que aparecen en la figura 22 simulan una única fibra óptica.
- Existe una diferencia visual en las fibras dependiendo del tipo de cable sobre el que irían, ya que, al variar el material, variará también su precio. Esto se tendrá en cuenta en el análisis económico.
 - El tramo amarillo pertenece a un cable que va desde la central hasta el primer nivel de división. Al estar en la central telefónica tiene que ser ignífugo para que actúe como retardante de la llama en caso de que exista un incendio. Un posible material para este tipo de cable puede ser el termoplástico.
 - Los tramos rosas irán por canalización cuando se trate de un cruce de calles, y se instalarán en cada edificio por fachada. Se podrá utilizar un cable versátil como puede ser uno cuyo material sea polietileno.

En un diseño en el que se quisiera atender a más de 64 clientes, también habría que valorar la capacidad de los cables de fibra, ya que a mayor capacidad más se encarecen los costes.

A continuación, en la tabla 3, se detallan los metros de fibra óptica utilizados en función del color:

Tramo de FO	Metros
Cable Amarillo	33,7
Cable Rosa 1	17
Cable Rosa 2	33,9
Cable Rosa 3	54,2
Cable Rosa 4	75

Tabla 3. Metros de FO escenario 1

- Los divisores de 1:16 se situarán en una CTO de Exterior, preparada para sufrir cualquier inclemencia temporal. Cuando uno de los posibles clientes a los que se puede llegar a atender

con esta caja soliciten servicio a su compañía telefónica, deberá de ir un técnico a terreno y tirar una acometida que conecte la CTO con la casa del cliente.

5.3.3. Estudio técnico

La disposición de la caja de empalme en la ubicación elegida facilita la escalabilidad de la red, ya que si a futuro se necesita dar servicio a más de 64 clientes no habrá que volver a tirar cable desde la central (a no ser que se llenen todos los divisores de la caja).

Al ser cajas que necesitan tener 16 salidas, son relativamente grandes y al estar situadas en fachada serán estéticamente menos adecuadas que si se seleccionasen divisores más pequeños.

En la figura 24, se muestra como quedaría el reparto de potencia. Todos los divisores tendrán la misma (25%), la fibra que sale de la central llevará un 100% y se irá repartiendo de manera equitativa. Si en una zona no se necesita tanta potencia porque está más cerca de la central, se estará desperdiciando parte de la misma.

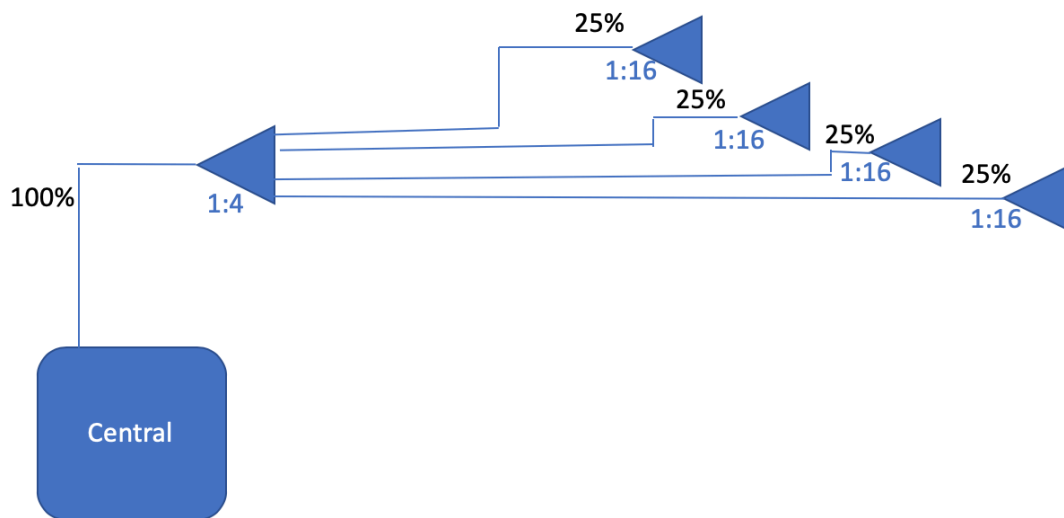


Figura 23. Potencia divisores balanceados escenario 1

5.3.4. Estudio económico

En función de los precios asignados, el despliegue del escenario 1 tendrá un coste de materiales de 28.720€ que se desglosa a continuación:

Material	Unidades	Precio
Fo en tramo amarillo	33,7 metros	10.110€
Fo en tramo rosa	180,1 metros	18.010€
Cajas de Empalme	1	90€
CTO de exterior	4	280€
Divisores 1:4	1	30€
Divisores 1:16	4	200€

Tabla 4. Desglose de precios escenario 1

5.4. Escenario 2

5.4.1. Descripción de las características del escenario de trabajo

Niveles de división	3
Número de clientes	64
Topología	Árbol
Arquitectura	Punto-multipunto

Tabla 5. Características escenario 2

Este escenario tendrá 3 niveles de división:

- El primer nivel de división será del tipo 1:2, con una entrada de alimentación y dos salidas para los siguientes niveles de división.
- El segundo nivel de división estará formado por dos divisores 1:4, vendrá de un nivel 1:2 y tendrá cuatro patillas de salida.
- El tercer nivel de división tendrá 8 divisores 1:8, que llegarán a 8 viviendas cada uno, llegando a obtener un nivel de despliegue 1:64.

El esquema topológico que refleja su distribución es árbol-rama. La elección de este esquema coincide con lo señalado en el escenario 1 y se muestra en la figura 24:

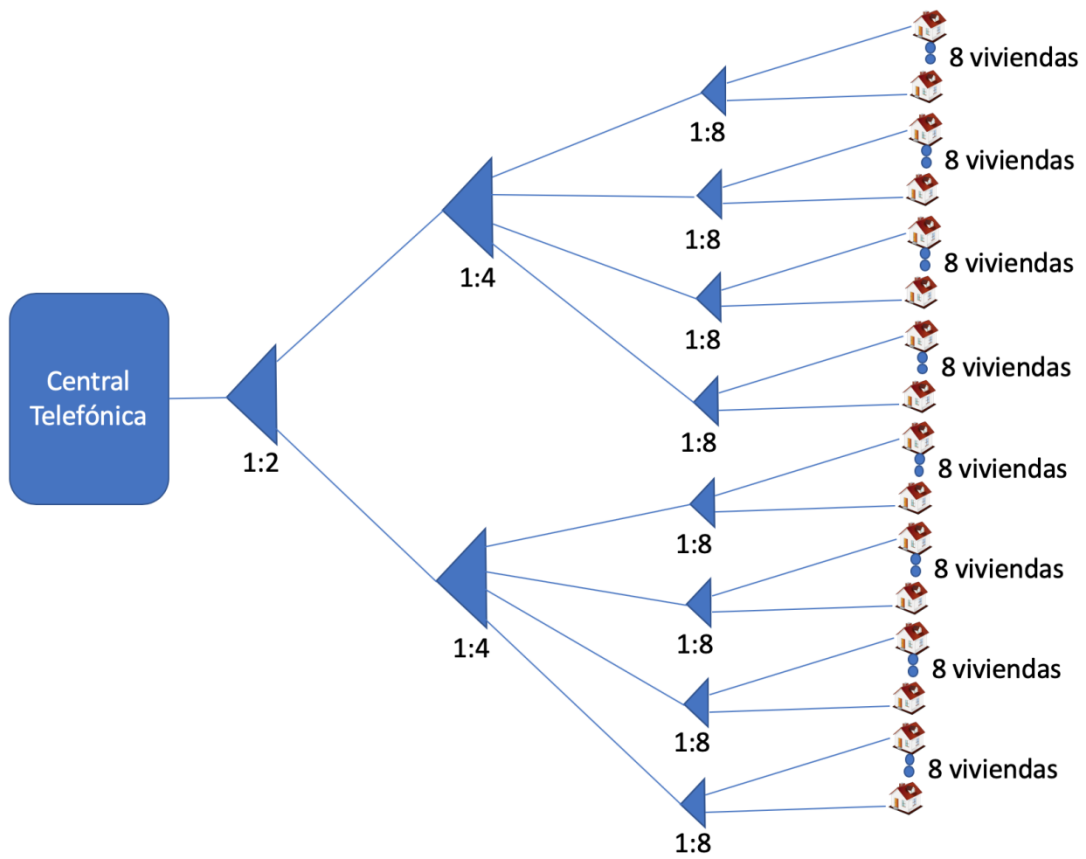


Figura 24. Esquema lógico divisores balanceados 1:2-1:4-1:8

5.4.2. Diseño de la red

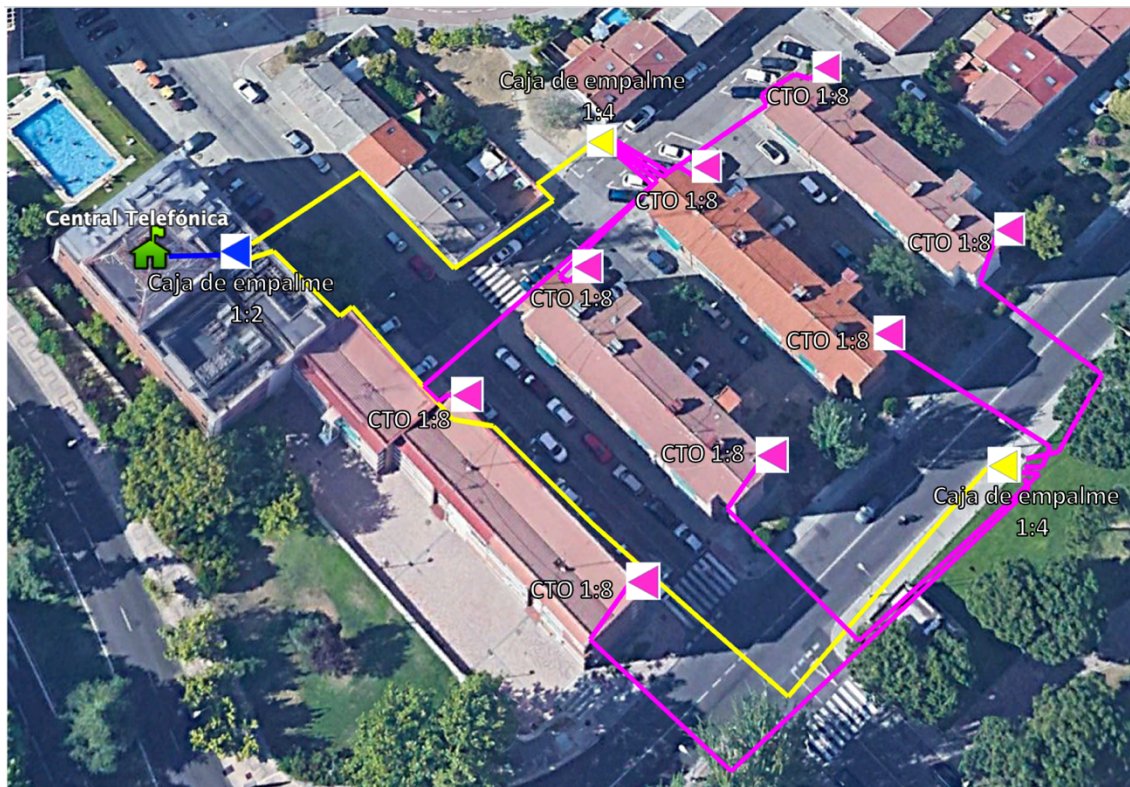


Figura 25. Escenario 2

Sobre la zona elegida, el diseño se realiza teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El divisor de 1:2 se instala en la central telefónica, el cable que sale del repartidor de fibra óptica y que conecta con este divisor se alojará exclusivamente en la central, y debe ser todavía más especial que el tramo amarillo, se elegirá un cable con doble capa de Termoplástico.
- Los divisores de 1:4 se instalarán estratégicamente, para que cuando a futuro surja una necesidad de desplegar en una zona más apartada al núcleo central actual, sea más accesible y si existen recursos, se pueda llevar a cabo el diseño.
- Los edificios tendrán dos CTO, una en cada extremo, lo que hará que cuando se tenga que dar de alta a los clientes, se hará desde la caja que por cercanía esté mejor situada. Evitando que en el edificio existan cables que vayan de un extremo a otro de la fachada.
- Los cables irán por canalización y por fachada, en la tabla 6 se detallan los metros utilizados:

Tramo de FO	Metros
Cable Azul	7,24
Cable Amarillo 1	62,2
Cable Amarillo 2	122
Cable Rosa 1	51,8
Cable Rosa 2	29,3
Cable Rosa 3	14,8
Cable Rosa 4	36,4
Cable Rosa 5	76
Cable Rosa 6	58,8
Cable Rosa 7	28,3
Cable Rosa 8	40,9

Tabla 6. Metros de FO Escenario 2

5.4.3. Estudio técnico

Elegir poner en la Central Telefónica una caja de empalme con un divisor 1:2 dentro, permite que si a futuro, por motivos de potencia se desea dar servicio sólo a 32 clientes se pueda hacer sin problemas. En este caso, el modo de proceder sería fusionar directamente el tramo de cable azul con el que une uno de los divisores, eliminando el de 1:2 y permitiendo que se conecte directamente al Repartidor de Fibra un divisor de 1:4 y 4 divisores de 1:8.

Por otro lado, en el diseño de la figura 26 se observa un elevado número de fibras, esto puede causar a futuro un aumento en las averías, ya que, a mayor número de cables, más probabilidades de que falle alguno de ellos. Por otro lado, en cada edificio se da servicio a 16 clientes, pero al darlo con dos cajas diferentes, si una de ellas falla por algún motivo, los 8 clientes del edificio que dependen de la otra caja estarían aislados de esa avería.

Respecto a la potencia, todos los divisores tienen la misma, son balanceados, y aquellos que tienen el mismo nivel de división, serán idénticos:

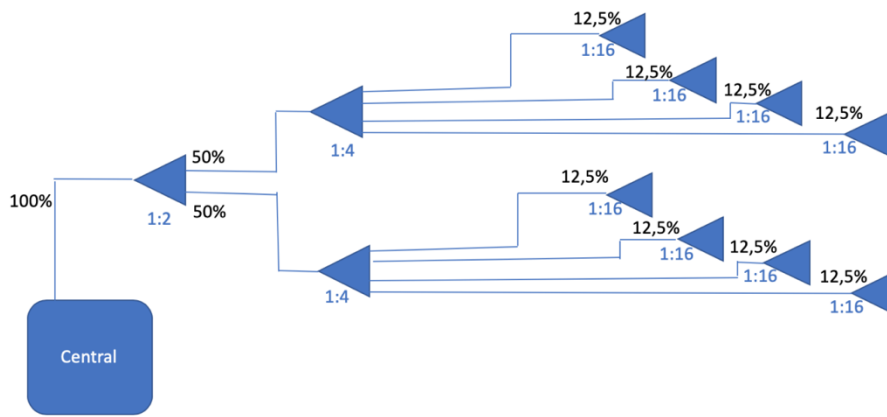


Figura 26. Potencia divisores balanceados escenario 2

Podemos comprobar que cuantas más etapas de división se añadan a lo largo del diseño, menos potencia llegará al último nivel de división, y por tanto al cliente final.

5.4.4. Estudio económico

Económicamente el segundo escenario tendrá un coste de materiales de 93.730€, cuyo desglose se muestra en la tabla 7:

Material	Unidades	Precio
Fo en tramo azul	7,24 metros	3.620€
Fo en tramo amarillo	184,2 metros	55.260€
Fo en tramo rosa	336,3 metros	33.620€
Cajas de Empalme	3	270€
CTO de exterior	8	560€
Divisores 1:2	1	20€
Divisores 1:4	2	60€
Divisores 1:8	8	320€

Tabla 7. Desglose precios Escenario 2

5.5. Escenario 3

5.5.1. Descripción de las características del escenario de trabajo

Niveles de división	1
Número de clientes	64
Topología	Árbol
Arquitectura	Punto-multipunto
Tipo de Divisor	Desbalanceado

Tabla 8. Características Escenario 3

Este escenario contará con un único nivel de división:

La topología elegida es árbol-rama, como en todos los escenarios anteriores, aunque al tener un único nivel de división no existirán ramificaciones.

La arquitectura también será punto-multipunto, ya que se considera que dedicar un único enlace no es una buena opción en este caso, porque se desperdiciarían muchas fibras en una zona de continua demanda de servicios como esta.

Por último, los divisores serán de tipo desbalanceado, es decir, ninguno será igual que el anterior, debido a las especificaciones de potencia. Esto hará que al diseñar la red se especifique con qué potencia se desea trabajar y en función de la que se elija se solicite al suministrador el divisor correspondiente.

El esquema lógico de este escenario es el que se muestra en la figura 27:

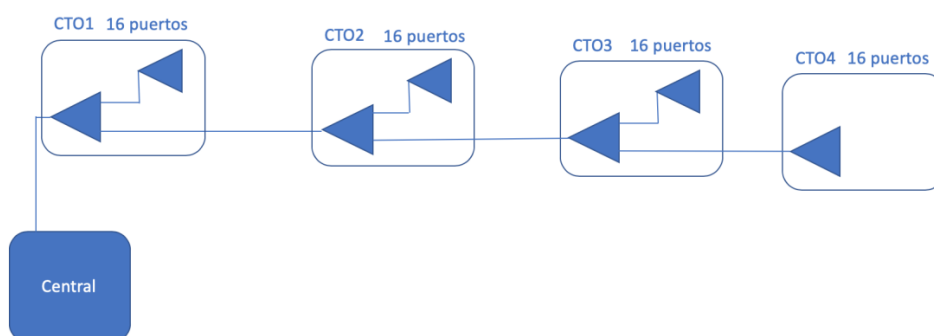


Figura 27. Esquema lógico divisores desbalanceados

5.5.2. Diseño de la red

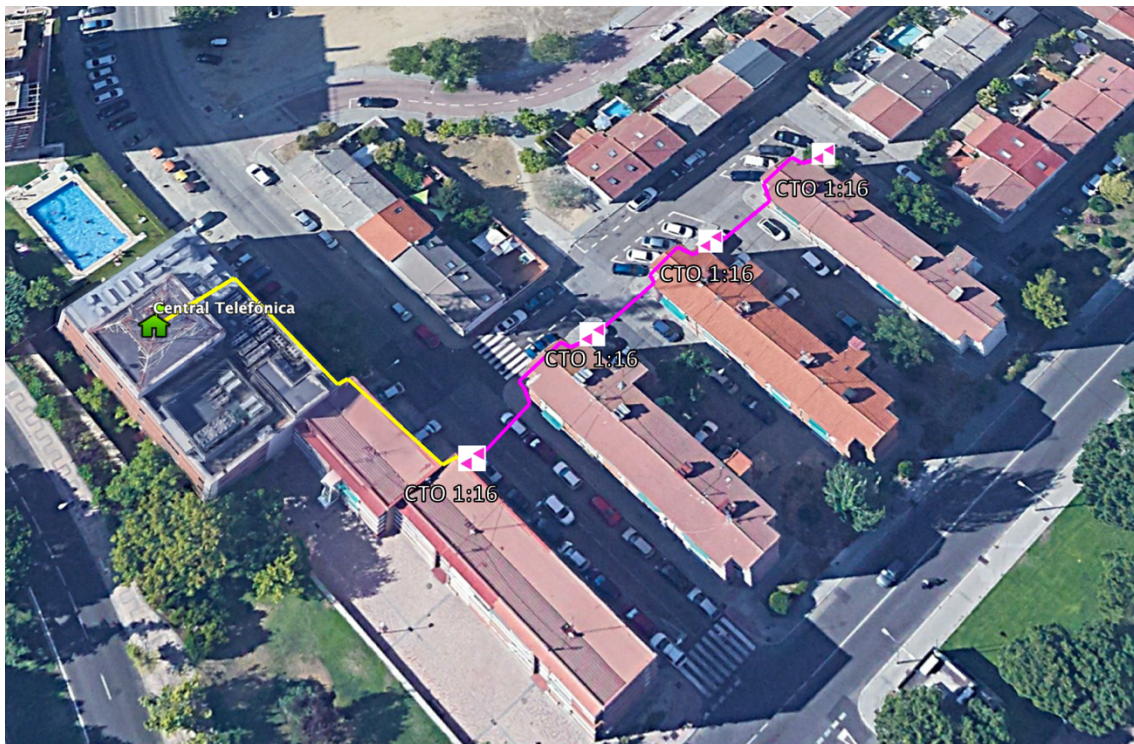


Figura 28. Escenario 3

En este escenario sólo habrá un trazado de red que dará continuidad a todo el circuito. Se iniciará el despliegue con un cable ignífugo desde la central telefónica y al llegar a cada edificio se instalará una CTO con un divisor de 1:16. En ese divisor una de las patillas dará continuidad a la red, y será sobre la que se fusione la siguiente fibra para seguir a la siguiente caja, y en otra de las patillas se conectará otro divisor 1:16 que será sobre el que se conecten las acometidas de los clientes, consiguiendo así dar servicio a los 64 clientes propuestos.

En este caso, los cables irán por canalización y por fachada y el recuento en metros será el que figura en la tabla 9:

Tramo de FO	Metros
Cable Amarillo	54,3
Cable Rosa 1	24,4
Cable Rosa 2	21
Cable Rosa 3	24,4

Tabla 9. Metros de FO escenario 3

5.5.3. Estudio técnico

Técnicamente este escenario presenta algunas dificultades, ya que es el propio diseñador el que debe decidir que potencia debe tener cada uno de los divisores para que el servicio llegue correctamente.

En la figura 29 se muestra una propuesta en la que en cada CTO se iría dejando un 25% de la potencia:

- Inicialmente se tiene un 100% de la potencia que se quiere ir depositando en cada una de las cajas.
- En la primera CTO dejaríamos un 25% de la potencia para dar servicio a los clientes que se conecten directamente a ella. Por lo que tendríamos disponible un 75% de la potencia para las otras tres cajas.
- La segunda CTO tendría disponible un 75% de la potencia inicial, en este caso el reparto se realiza dejando un 33,3% en el divisor que conecta a los vecinos y un 66,6% al resto.
- Hasta este punto ya se habría utilizado el 50% de la potencia, por lo que tendríamos el 50% restante, que dividiríamos de manera igualitaria en el divisor que atiende a los 16 clientes y el que continua dando servicio a la CTO4.
- Por último, la CTO 4 recibe un 25% de la potencia, que utilizará al 100% para la conexión de las acometidas.

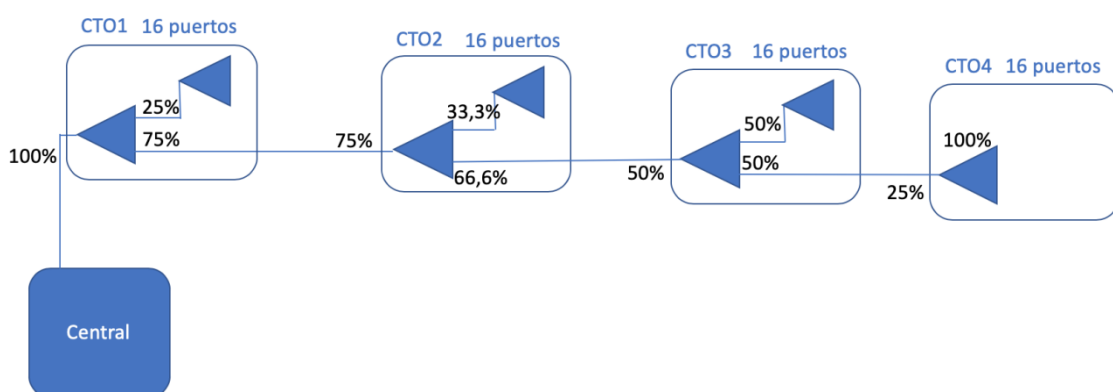


Figura 29. Divisores desbalanceados escenario 3

Por otro lado, como todas las cajas tienen una dependencia entre sí, si una de las CTOs falla, es mucho más complicado encontrar el punto de fallo, ya que puede venir de un problema en las cajas anteriores o en los cables que las conectan.

5.5.4. Estudio económico

Económicamente, este caso puede resultar el más rentable a nivel de cable ya que utiliza muy pocos metros, pero tiene muy poca rentabilidad a nivel de divisores, al no poder tener un stock elevado de los mismos porque cada uno es diferente, y por tanto, necesitar comprarlos ad hoc.

Además, cada caja necesita tener dos divisores, lo que produce un aumento de los mismos respecto al resto de diseños.

Asignándoles el precio que corresponde, el coste total del escenario 3 sería de 24.350€

Material	Unidades	Precio
Fo en tramo amarillo	54,3 metros	16.290€
Fo en tramo rosa	69,8 metros	6.980€
CTO de exterior	4	280€
Divisores ad hoc	8	800€

Tabla 10. Desglose precios escenario 3

6. Comparación de escenarios

En este capítulo se realizará una comparación de escenarios que mantienen un nexo de unión, es decir, aquellos en los que podamos observar bastantes sinergias para que el estudio sea lo más objetivo posible.

Se decide que la diferencia entre escenarios será el factor de división y el tipo de divisor empleado, debiendo tener en común el número de clientes a los que se da servicio, la topología, la arquitectura que se utiliza para realizar una comparación adecuada.

6.1. Escenario 1 vs escenario 2

Técnicamente ambos escenarios son buenos, y cada uno puede tener una aplicación diferente dependiendo del entorno de trabajo.

Para estos edificios en concreto, el **mejor escenario sería el primero**, siempre y cuando no considerásemos una extensión más allá de los 64 clientes iniciales y la misma potencia para todos los divisores, ya que este escenario es menos escalable que el segundo. Si se necesitara dar servicio a más clientes, sin duda, el mejor caso sería el dos.

Además, económicamente, en lo que a material se refiere, es prácticamente un 70% más barato diseñar con el escenario 1, tal y como se puede observar en la figura 30. Si se externalizase la construcción de los elementos y tuviésemos en cuenta la mano de obra, seguiría siendo el primer escenario el más rentable ya que tiene menos elementos que requieran una instalación.

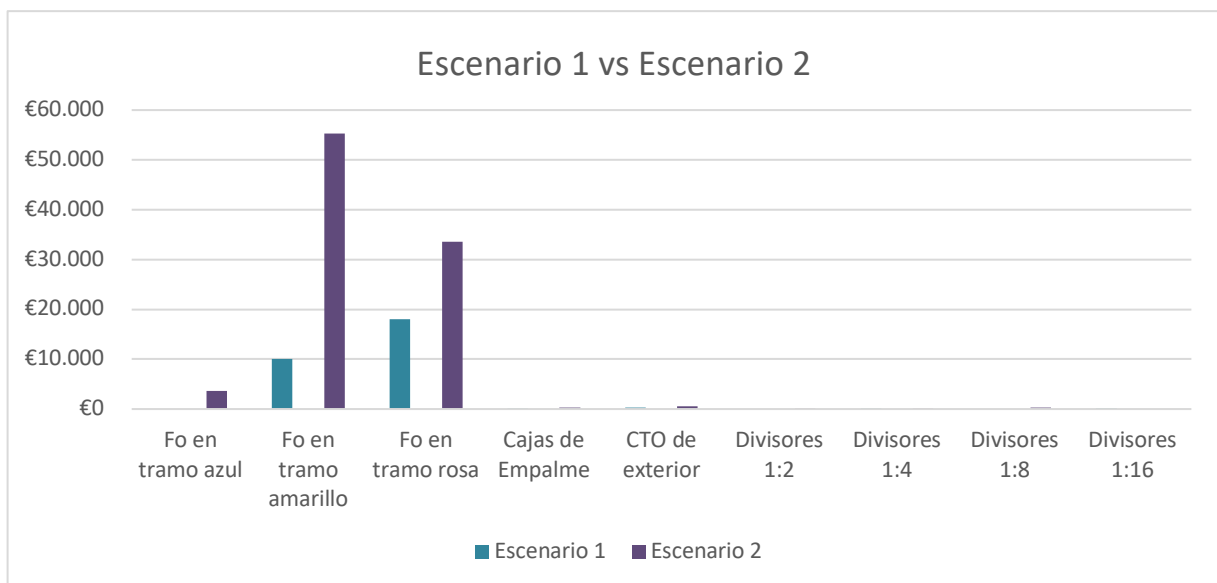


Figura 30. Escenario 1 vs escenario 2

Por otro lado, la flexibilidad en ambos escenarios es parecida, permitiendo ampliar la red cuando las circunstancias lo requieran.

En lo que al mantenimiento de la red se refiere, si se trabajara con el Escenario 2, habría muchos más puntos de posibles averías, ya que se dispondría de más elementos para transmitir la información.

Resumiendo todas estas características técnicas, podríamos concluir con la información que aparece en la tabla 11:

Características	Escenario 1	Escenario 2
Flexibilidad	Alta	Alta
Fiabilidad	Alta	Baja
Metros Fo	213,8m	527,74m

Tabla 11. Características escenario 1 vs escenario 2

6.2. Escenario 2 vs escenario 3

Si sólo se analiza el resultado económico obtenido en cada escenario, el tercero resulta mucho más barato que el segundo. La mano de obra que no estaría incluida en este presupuesto, también sería más barata en el tercer escenario dado que se incluyen menos materiales sobre los que se debe realizar una instalación. De una manera más visual, podemos deducir estos resultados en la figura 31:

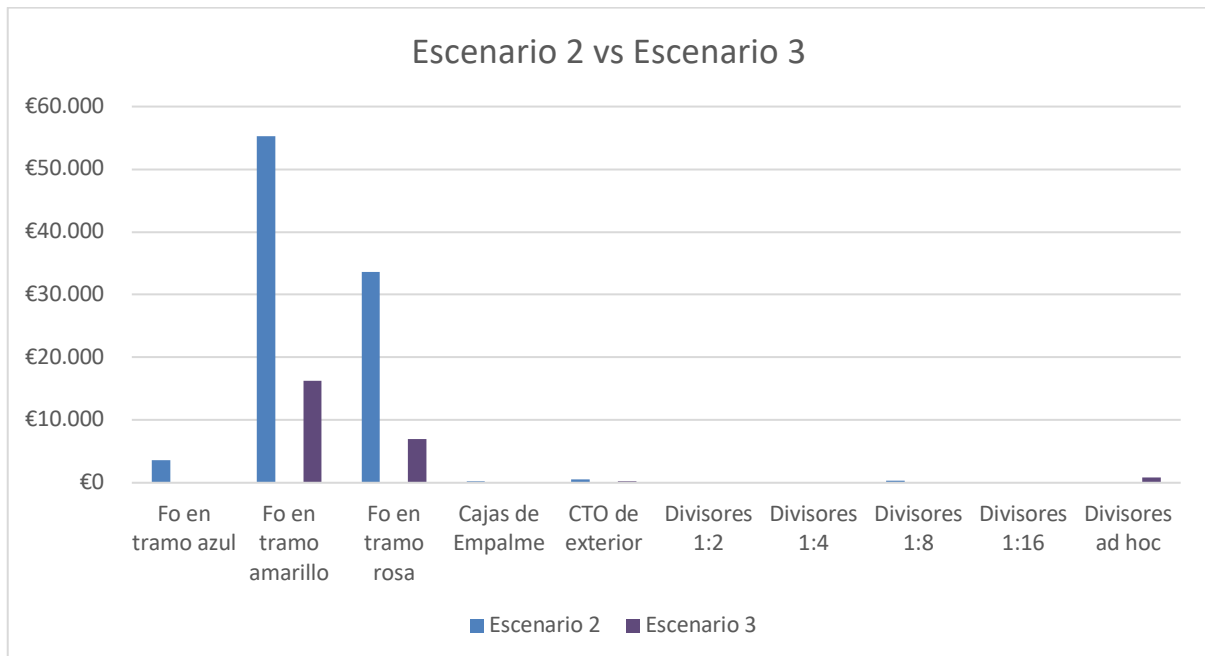


Figura 31. Escenario 2 vs escenario 3

Pero además del componente económico, hay que considerar la viabilidad técnica, es mucho más complicado diseñar teniendo en cuenta la potencia de los divisores, por tanto, es probable, que el personal dedicado a realizar este tipo de diseños requiera de una cualificación extra, que debe ser remunerada.

Además, el departamento de logística de la empresa para la que se esté trabajando, dejará de tener sentido al necesitarse directamente una gestión con el proveedor para que suministre los divisores en función de la potencia elegida.

En el caso de una avería en una caja, existe una conexión directa con las anteriores que impedirá que tenga servicio y que arreglarla sea más costoso tanto económica como temporalmente. Aunque la tasa de fallo de la fibra óptica es bastante inferior a la que existía cuando el despliegue que se realizaba era de cobre.

Características	Escenario 2	Escenario 3
Flexibilidad	Alta	Baja
Fiabilidad	Baja	Baja
Metros Fo	527,74m	124,1m

Tabla 12. Características escenario 2 vs escenario 3

Por todo lo explicado anteriormente, se considera que la mejor opción en este caso según criterios económicos es el Escenario 3 y según criterios técnicos el Escenario 2.

6.3. Escenario 1 vs escenario 3

De manera análoga al caso anterior, el diseño en el tercer escenario resultaría mucho más complejo para el usuario dedicado a hacer esta labor. Además, a nivel técnico, en el caso de que surgiera alguna avería, este escenario seguiría siendo el más complicado para mantener la red activa.

Económicamente este caso es complejo de analizar, como se puede visualizar en el gráfico de la figura 32, los costes están más o menos compensados, ya que lo que se necesita de un tipo de fibra se compensa con otra, y lo que se necesita de un tipo de divisor es lo que se consume de otro, aún así, la mejor opción sería diseñar con el escenario 3 ya que supondría un ahorro de 4.370€ respecto al escenario 1.

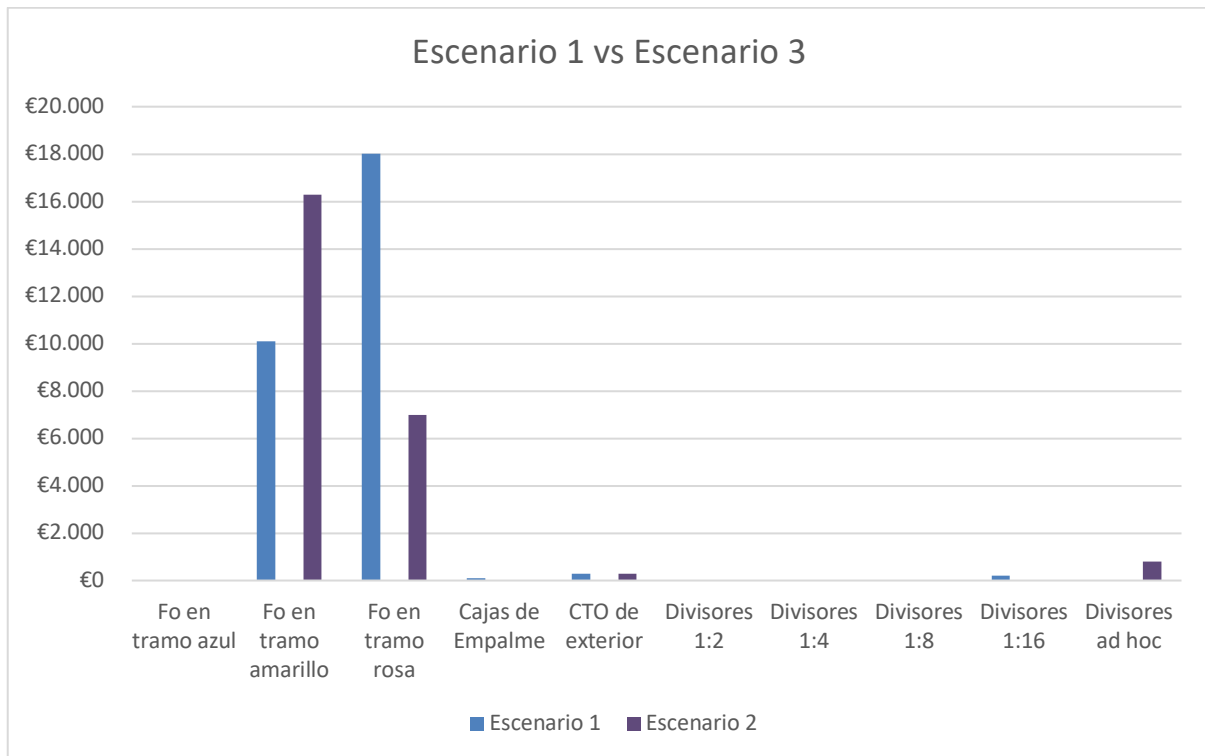


Figura 32. Escenario 1 vs escenario 3

Desde un punto de vista técnico, sus principales características se resumirían como se muestra en la tabla 13:

Características	Escenario 1	Escenario 3
Flexibilidad	Alta	Baja
Fiabilidad	Alta	Baja
Metros Fo	213,8m	124,1m

Tabla 13. Características escenario 1 vs escenario 3

7. Conclusiones generales

Después del análisis comparativo de cada escenario se pueden extraer las siguientes conclusiones.

La mejor solución depende totalmente de la ubicación de las viviendas que se quieren atender, es decir, no hay un escenario que sea el mejor, sino que varía en función de los criterios de diseño.

Si el diseño no se hiciera enfocado a posibles clientes finales, sino al número de clientes que realmente contratarían el servicio, la percepción del mejor escenario podría variar. Por ejemplo, suponiendo 8 clientes o menos en cada edificio, el mejor escenario sería el segundo, ya que se diseñaría con los elementos necesarios y no se dejarían infrautilizadas patillas de cada divisor.

Además, desde el punto de vista logístico, el contar con los divisores desbalanceados en el almacén de cualquier empresa es prácticamente inviable, se incrementarían los tiempos de entrega y añadiría demasiados trámites para solicitar cada elemento diseñado.

Utilizar divisores desbalanceados personaliza totalmente el despliegue, pero si no se diseña a capacidad final, supone un problema, ya que se debería rehacer todo el diseño de los elementos anteriores y reajustar sus potencias para conseguir el objetivo final a futuro.

La solución más fácil, rápida, económica y que no complica las labores de diseño ni el mantenimiento de la red sería diseñar con dos etapas de división 1:4-1:16 en escenarios urbanos.

8. Líneas Futuras

Este proyecto se ha centrado en un entorno urbano, concretamente en una zona con varios edificios en la que los clientes se encontraban situados en diferentes bloques.

Una posible línea de investigación para continuar con el proyecto y poder comparar los resultados sería realizar un cambio de escenario, por ejemplo, en un entorno rural, en el que probablemente todo cambie si los clientes se sitúan en casas unifamiliares, donde compensará más extender la red geográficamente con elementos de menor factor de división.

Una segunda línea de análisis puede ser calcular como afectaría económicamente en el diseño realizado del escenario más rentable, una ampliación para dar servicio a un nuevo cliente para el que no estaba dimensionada la red.

Bibliografía

- “Elementos pasivos de la Red de Distribución de una Red de Acceso”, [disponible online: <https://slideplayer.es/slide/5458299/>]
- “Redes de fibra óptica activas y pasivas” [disponible online: <http://natymatiz.blogspot.com/2011/05/redes-de-fibra-optica-activas-y-pasivas.html>]
- “Tecnología WDM” [disponible online: <https://www.monografias.com/trabajos103/tecnologia-wdm/tecnologia-wdm.shtml>]
- “GPON” [disponible online: <https://es.wikipedia.org/wiki/GPON>]
- “Multiplexación WDM” [disponible online: <https://sites.google.com/site/unidad5telecomunicacion/multiplexacion-wdm>]
- “Catálogo de materiales de fibra óptica. Electroson” [disponible online: <http://www.electrosonteleco.com>]
- “GPON: qué es y qué importancia tiene en la conexión de fibra óptica FTTH”[disponible online: <https://www.redeszone.net/2019/04/06/gpon-que-es/>]
- “Tipos de topologías” [disponible online: <https://www.topologiasdered.top/tipos-de-topologias/>]

Listado de acrónimos

FTTH	Fibra hasta el hogar (Fiber To The Home)
PON	Red Óptica Pasiva
GPON	Gigabit-capable Passive Optical Network
CTO	Caja Terminal Óptica
FO	Fibra Óptica
OLT	Optical Line Terminal
ONT	Optical Network Terminal
Splitter	Divisor Óptico
QoS	Quality of Service
WDM	Wavelength Division Multiplexing
CAPEX	Capital Expenditure
OPEX	Operational expenditures
ROM	Repartidor Óptico Modular
ICT	Infraestructura Común de Telecomunicación
NGPON2	Next generation passive optical network 2
XGSPON	10-Gigabit-capable symmetric passive optical network
AES	Advanced encryption standard