

DESIGN OF A FIBER OPTIC-BASED CITY NETWORK

A Degree Thesis

**Submitted to the Faculty of the
Escola Tècnica d'Enginyeria de Telecomunicació de
Barcelona**

Universitat Politècnica de Catalunya

by

Ivan Alsina Gómez

**In partial fulfilment
of the requirements for the degree in
TELECOMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING**

Advisor: Salvatore Spadaro

Barcelona, January 2018

RESUM

Aquest projecte consisteix en el disseny d'una xarxa FTTH, amb tecnologia WDM-PON, per a la ciutat de Cervera. L'ajuntament del municipi encarrega a una empresa privada la realització del projecte i s'involucra directament en aquest col·laborant econòmicament.

En primer lloc s'obté informació de la tecnologia FTTH i les seves arquitectures. Tot seguit es valora el problema existent en els desplegaments actuals de fibra òptica, i finalment, s'exposa la solució proposada per a la ciutat de Cervera. Aquesta solució està condicionada a un estudi demogràfic i topogràfic que s'ha realitzat prèviament.

El disseny de la xarxa FTTH/WDM-POM a Cervera garanteix un ample de banda de 10Gbps tant en Uplink com en Downlink per a tots els habitants del municipi. La instal·lació de la xarxa es realitzarà en canalitzacions subterrànies ja existents per així reduir el cost econòmic i l'impacte mediambiental en el municipi.

S'ha fet un estudi de la viabilitat econòmica del projecte amb un índex de penetració del 25%, que és una xifra bastant realista, i també dos estudis més amb uns índexs de penetració més optimistes del 50% i del 75%.

S'ha estudiat també l'impacte mediambiental que suposaria la instal·lació de la xarxa a Cervera.

Finalment es clou que el projecte és viable tant econòmicament com mediambientalment, i que si es realitzés correctament aportaria grans beneficis econòmics i socials a la ciutat. Cervera seria una ciutat referent en la instal·lació d'una xarxa FTTH amb aquest tipus de tecnologia i tindria un reconeixement nacional i internacional molt important.

ABSTRACT

This project consists in the design of a FTTH network, with WDM-PON technology, for the city of Cervera. The city council of the municipality orders to a private company the realization of the project and it is directly involved in this collaborating economically.

First you get information about FTTH technology and its architectures. The problem existing in the current optical fiber deployments is then evaluated, and finally, the solution proposed for the city of Cervera is exposed. This resolution is conditioned by a demographic and topographic study that has been carried out previously.

The design of the FTTH / WDM-POM network in Cervera guarantees a bandwidth of 10Gbps both in Uplink and Downlink for all the inhabitants of the municipality. The installation of the network will be carried out in existing underground pipelines to reduce the economic cost and the environmental impact in the municipality.

A study of the economic viability of the project has been carried out with a penetration rate of 25% customers, which is a fairly realistic case, and also two more studies with more optimistic penetration rates of 50% and 75%.

The environmental impact of the installation of the network in Cervera has also been studied.

Finally, it is stated that the project is viable both economically and environmentally, and that if performed correctly it would bring great economic and social benefits to the city. Cervera would be a referent city in the installation of an FTTH network with this type of technology and would have a very important national and international recognition.

RESUMEN

Este proyecto consiste en el diseño de una red FTTH, con tecnología WDM-PON, para la ciudad de Cervera. El ayuntamiento del municipio encarga a una empresa privada la realización del proyecto y se involucra directamente en este colaborando económicamente.

En primer lugar se obtiene información de la tecnología FTTH y sus arquitecturas. A continuación se valora el problema existente en los despliegues actuales de fibra óptica, y finalmente, se expone la solución propuesta para la ciudad de Cervera. Esta solución está condicionada a un estudio demográfico y topográfico que se ha realizado previamente.

El diseño de la red FTTH / WDM-POM en Cervera garantiza un ancho de banda de 10Gbps tanto en Uplink como en Downlink para todos los habitantes del municipio. La instalación de la red se realizará en canalizaciones subterráneas ya existentes para así reducir el coste económico y el impacto medioambiental en el municipio.

Se ha hecho un estudio de la viabilidad económica del proyecto con un índice de penetración de clientes del 25%, que es una cifra bastante realista, y también dos estudios más con unos índices de penetración más optimistas del 50% y del 75%.

Se ha estudiado también el impacto medioambiental que supondría la instalación de la red en Cervera.

Finalmente se concluye que el proyecto es viable tanto económica como medioambientalmente, y que si se realizara correctamente aportaría grandes beneficios económicos y sociales a la ciudad. Cervera sería una ciudad referente en la instalación de una red FTTH con este tipo de tecnología y tendría un reconocimiento nacional e internacional muy importante.

AGRAÏMENTS

En primer lloc agrair al meu tutor Salvatore Spadaro la seva implicació en el projecte. Sense la seva ajuda no hagués estat possible poder reconduir la situació en la que em trobava després de patir una llarga malaltia.

A l'Albert Cisteró, company d'estudi i actualment professional en l'àmbit de les comunicacions òptiques, per tot el suport donat.

A l'Ajuntament de Cervera, per facilitar-me documentació per poder seguir endavant en el projecte.

Finalment, a la meva família, per donar-me suport no només en aquest treball sinó al llarg de tota la carrera, tant en els bons com en els mals moments.

HISTORIAL DE REVISIONS I REGISTRE D'APROVACIÓ

Revision	Date	Purpose
0	20/12/2017	Creació del document
1	15/01/2018	Revisió del document per part de l'estudiant
2	20/01/2018	Revisió del document per part de la tutora
3	21/01/2018	Revisió final

LLISTA DE DISTRIBUCIÓ DEL DOCUMENT

Nom	Correu electrònic
Ivan Alsina	ivanalsinag@gmail.com
Salvatore Spadaro	spadaro@tsc.upc.edu

Escrit per:		Revisat i aprovat per:	
Date	30/11/2017	Date	20/01/2018
Name	Ivan Alsina	Name	Salvatore Spadaro
Position	Project Author	Position	Project Supervisor

ÍNDEX

RESUM	2
ABSTRACT	3
RESUMEN	4
AGRAÏMENTS	5
HISTORIAL DE REVISIONS I REGISTRE D'APROVACIÓ	6
ÍNDEX	7
ÍNDEX DE FIGURES	8
1. INTRODUCCIÓ	9
2. TECNOLOGIES FTTX	10
3. ARQUITECTURES FTTH	12
4. PLANTEJAMENT DEL DISSENY	14
5. DIAGRAMA DE GANTT	15
6. PROPOSTA DE SOLUCIÓ: XARXA WDM-PON	16
7. ESTUDI DEMOGRÀFIC I TOPOGRÀFIC DEL MUNICIPI	18
8. DISSENY DE LA XARXA	19
8.1. DESPLEGAMENT DE LA XARXA	23
8.2. BALANÇ DE POTÈNCIA	25
8.3. REPRESENTACIÓ DEL DISSENY	27
9. ESTUDI ECONÒMIC	30
10. ESTUDI MEDIAMBIENTAL	36
11. CONCLUSIONS	37
12. BIBLIOGRAFIA	38
13. ANNEX	40

ÍNDIX DE FIGURES

FIGURA 1. Evolució dels accessos DSL i FTTH.	9
FIGURA 2. Tecnologies FTTx.	10
FIGURA 3. Relació FTTH-FTTB als països europeus.	11
FIGURA 4. Esquema de l'arquitectura PON i de l'arquitectura P2P.	12
FIGURA 5. Evolució de la demanda de dades amb el temps.	14
FIGURA 6. Diagrama de Gantt per setmanes.	15
FIGURA 7. Diagrama de Gantt per dies.	15
FIGURA 8. Esquema arquitectura WDM-PON.	16
FIGURA 9. Funcionament tecnologia CWDM i DWDM.	17
FIGURA 10. Mapa de Cervera.	18
FIGURA 11. Esquema de la xarxa FTTH.	19
FIGURA 12. OLT MA5600T de Huawei.	21
FIGURA 13. Transceiver CWDM-10G-XFP-10.	21
FIGURA 14. MUX/DEMUX DCMD-16.	22
FIGURA 15. Caixa d'empalmes F/TOR-GCO2-BC6.	22
FIGURA 16. ONT ME4600 de Cisco Systems.	22
FIGURA 17. Ubicació empalmes i connectors a la xarxa.	26
FIGURA 18. Disseny de la xarxa amb Autocad.	28
FIGURA 19. Detall disseny Autocad.	29
FIGURA 20. Gràfic de barres del flux de caixa semestral.	34
FIGURA 21. Gràfic del Payback.	34

1. INTRODUCCIÓ

L'objectiu principal d'aquest projecte consisteix en el disseny i desplegament d'una xarxa FTTH (Fiber to Home) en el municipi de Cervera. Aquest projecte neix de la necessitat d'oferir aquesta tecnologia a tot el municipi, ja que actualment només una petita part de la població té accés a aquesta, i millorar alhora, les prestacions dels usuaris que ja disposen actualment de fibra òptica.

Per fer-ho és necessari fer un estudi d'aquest tipus de tecnologia que permeti portar la fibra òptica fins a la pròpia vivenda de l'usuari, oferint així serveis de banda ampla amb molt bones prestacions, molt superiors als dels sistemes de comunicacions per cable de coure o coaxial.

Amb el disseny de la xarxa el municipi tindrà beneficis econòmics, tecnològics i socials. A més el desplegament de la xarxa es farà de tal manera que es minimitzarà l'impacte mediambiental a la ciutat, utilitzant les canalitzacions ja existents que permetran no haver de fer obres importants.

La fibra òptica és amb tota seguretat la tecnologia del futur en l'àmbit de les TIC, i té un llarg recorregut. Diàriament augmenta el nombre d'accessos de fibra òptica i el nombre de contractes al servei, degut a que la demanda de dades que tenen els dispositius cada vegada és més elevada. A continuació podem veure un gràfic, publicat pel CNMC, que relaciona el nombre d'accessos DSL i FTTH a Espanya:

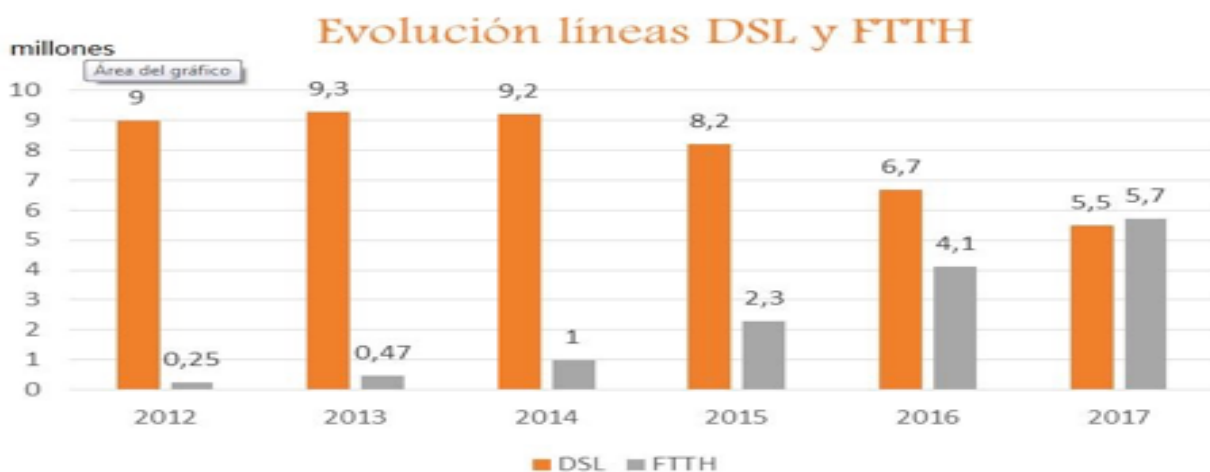


FIGURA 1. Evolució dels accessos DSL i FTTH. Font: CNMC

En el gràfic anterior podem veure com en els darrers anys el nombre d'accessos FTTH augmenten considerablement, mentre que els accessos DSL disminueixen. Tal i com s'ha esmentat anteriorment, la fibra òptica actualment compta amb una gran demanda i es preveu que en un futur aquesta s'incrementi, és per això que el desplegament i la instal·lació d'una xarxa FTTH a Cervera garanteix uns beneficis tecnològics, socials i econòmics molt grans al municipi, que dinamitzaran i modernitzaran la ciutat.

En els següents apartats relacionem els diferents tipus de tecnologies de fibra òptica que existeixen i el tipus d'arquitectures de la tecnologia FTTH, que és l'escollida per al desenvolupament d'aquest projecte.

2. TECNOLOGIES FTTH

Existeixen diferents tipus de desplegaments per a xarxes de fibra òptica. En cadascuna d'aquestes tecnologies varia la longitud de fibra òptica que s'utilitza i el punt de la xarxa en el que arriba aquesta, essent algunes d'elles xarxes mixtes de fibra i coure:

FTTN: Fiber-to-the-node. La fibra arriba fins a un punt de distribució de la zona i des d'allí es porta fins a cadascuna de les vivendes mitjançant cable de coure.

FTTC: Fiber-to-the-curb. Exactament el mateix funcionament que FTTN però amb la diferència de que el punt de distribució és més pròxim a la vivenda.

FTTB: Fiber-to-the-building. El punt de distribució de la fibra es troba dins de l'edifici.

FTTH: Fiber-to-the-home. La fibra arriba directament a la vivenda del client.

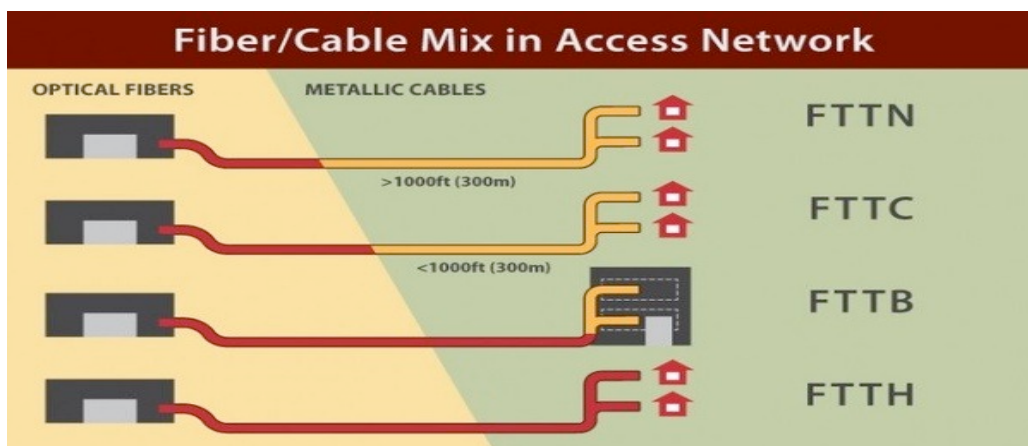


FIGURA 2. Tecnologies FTTH. Font: "Optical Fiber Access Modes", Amelia Liu, 2015.

En una xarxa FTTH, l'operador desplega la fibra des de la central o header fins a la roseta òptica situada a l'habitatge del client. És de les tecnologies FTTx la que pot oferir més ample de banda, però pel contrari és també la més cara econòmicament, ja que el recorregut del cable de fibra des de la central a la vivenda del client és més llarg.

El disseny de la xarxa de fibra òptica per al municipi de Cervera serà amb la tecnòloga FTTH, ja que utilitzar qualsevol de les altres tres opcions significaria fer ús de coure, i per tant que fos una xarxa mixta (fibra òptica i coure), cosa que no ens interessa si volem garantir un ample de banda superior al que tenen actualment alguns habitants de la ciutat.

En el gràfic següent, extret de FTTH Council Europe, podem veure l'índex de penetració de les tecnologies FTTB i FTTH a cadascun dels països europeus:

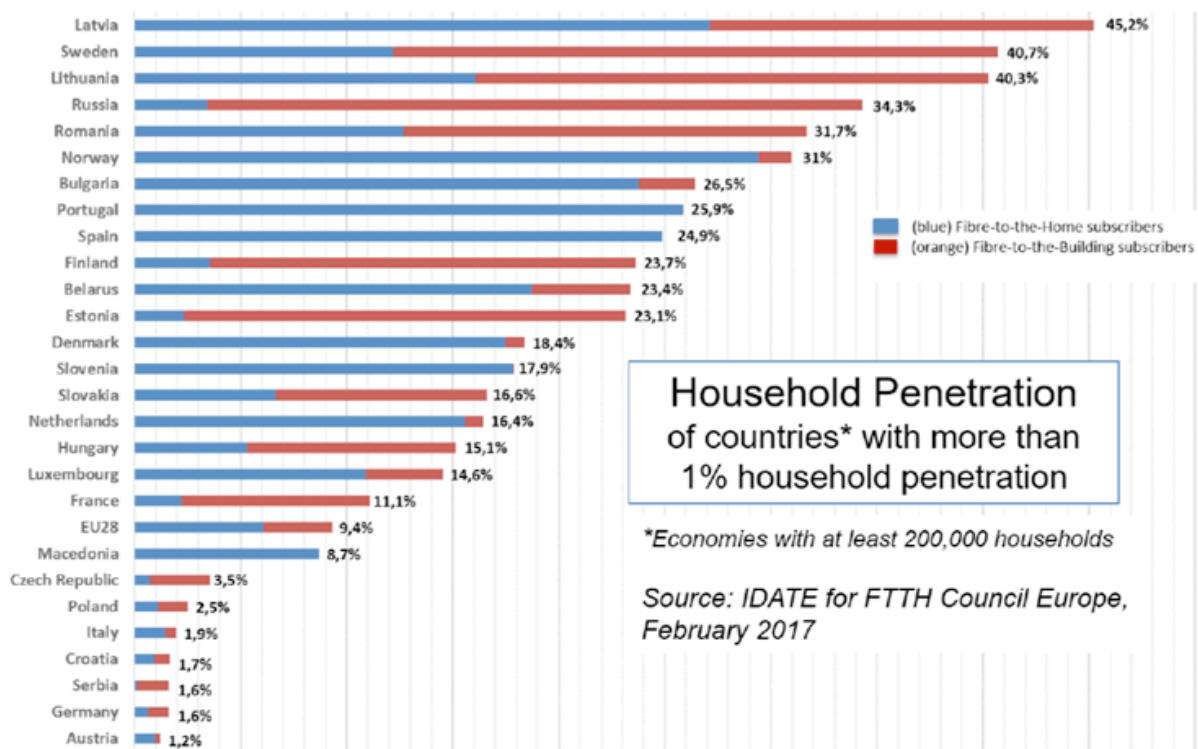


FIGURA 3. Relació FTTH-FTTB als països europeus.

Tal i com podem veure, a Espanya la totalitat dels accessos a fibra òptica són amb la tecnologia FTTH, per tant és una tecnologia suficientment madura com per dissenyar solucions basades en ella. És per això que no tindria sentit en aquest projecte dissenyar una xarxa híbrida (HFC) de fibra òptica i coure, que oferís unes prestacions inferiors a les actuals.

3. ARQUITECTURES FTTH

El disseny d'una xarxa FTTH està basat principalment en dos arquitectures:

- *Point to Point (P2P)*: consisteix en una connexió directa entre la central i l'usuari final, per tant és necessari un cable per a cada client de la xarxa.
- *Point to Multiple Point (P2MP)*: Mitjançant l'ús de divisors òptics o splitters es pot compartir una fibra entre diferents clients, d'aquesta forma es redueix en gran part el nombre de cablejat de la xarxa.

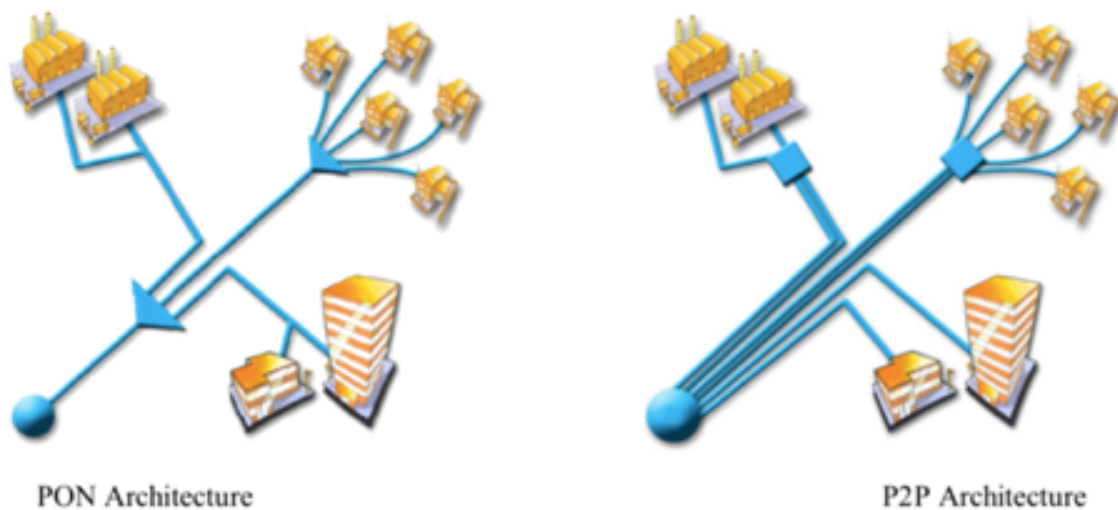


FIGURA 4. Esquema de l'arquitectura PON i de l'arquitectura P2P.

En la següent taula es mostren les principals característiques de cada arquitectura:

<i>Arquitectura</i>	<i>Avantatges</i>	<i>Inconvenients</i>
P2MP (Point to Múltiple Point)	Baix cost econòmic	Ample de banda limitat
	Més seguretat en la encriptació d'informació	Difícil fer modificacions futures
	Més senzilla la instal·lació, per tant més ràpida	Pèrdues de potència elevades degut als splitters

<i>Arquitectura</i>	<i>Avantatges</i>	<i>Inconvenients</i>
P2P (Point to Point)	Gran ample de banda	Cost Econòmic
	Fàcil fer modificacions	Molt temps per completar la instal·lació
	Baixes pèrdues de potència	Molt difícil implementar-ho tècnicament
	Arquitectura simple	

Tal i com podem veure en les taules anteriors, les dos arquitectures tenen diferents avantatges i inconvenients pel que fa a la seva implementació.

Pel que fa a la xarxa P2P, és capaç de proporcionar un ample de banda molt elevat als usuaris finals, però la seva implementació tècnica és d'una alta dificultat, ja que cada vivenda del municipi hauria d'estar connectada a la central a través d'una fibra pròpia. Això implica la construcció de grans canalitzacions per poder encabir tot el cablejat de la xarxa. Aquestes obres tindrien un elevat cost econòmic a més de tenir un greu impacte mediambiental en la ciutat.

Per altra banda, el disseny d'una xarxa PON (Passive Optical Network) basada en una tecnologia P2MP redueix en gran mesura la quantitat de cablejat necessari per a la instal·lació de la xarxa. Actualment és el disseny més utilitzat per les empreses i vivendes on s'instal·la fibra òptica, ja que té un cost econòmic molt més reduït que una xarxa P2P, i a més, el seu disseny és més pràctic, ja que no hi ha un cable propi entre la central i cada client. El principal inconvenient d'aquesta arquitectura és l'ús de splitters o divisors òptics, que produeixen moltes pèrdues de potència a la xarxa i a més fan que l'ample de banda que proporciona la central o POP (Point of Presence) s'hagi de repartir entre altres clients de la xarxa.

Splitters

Un splitter o divisor òptic és un component òptic passiu, l'objectiu del qual és repartir la senyal òptica de la fibra que rep en altres fibres. Els splitters tenen una entrada i dos o més sortides, n'hi ha de diferents tipus, 1:2 (1 entrada i 2 sortides), 1:4, 1:8, 1:16, 1:64, per tant, la mateixa longitud d'ona que entra al splitter està compartida amb totes les sortides d'aquest.

4. PLANTEJAMENT DEL DISSENY

L'ús de splitters o divisors òptics és un gran inconvenient per a una xarxa FTTH que els utilitzi, ja que significa que si la xarxa té un splitter de 1:64 que dona servei a 64 clients, la senyal òptica que hi ha a la entrada del splitter està dividida entre 64 ports de sortida. Això fa que no es pugui garantir l'ample de banda màxim per a tots els usuaris de la xarxa durant tot el temps de connexió. Una xarxa PON que té un OLT que emet a 1Gbps i un splitter 1:64 garanteix l'ample de banda de 1Gbps a l'usuari final només en 1/64 del temps total, suposant que tots els usuaris estan connectats al mateix moment. Si dels 64 usuaris hi ha un moment en el qual només estan connectats a la xarxa 30 d'aquests, el temps en el que es podria garantir el màxim ample de banda seria 1/30 del temps total. Aquest funcionament està basat en TDMA (Time Division Multiplexing Access).

És per això que utilitzar divisors òptics en una xarxa FTTH és una gran limitació pel que fa a les prestacions d'ample de banda que es pugui oferir. Actualment, però, no és un problema molt visible perquè no tots els usuaris del municipi tenen fibra òptica contractada i és difícil que en un moment concret estiguin tots els clients connectats alhora.

La dificultat serà major quan en un futur la demanda d'ample de banda creixi i es necessiti augmentar les prestacions de cada client, a més, també cal dir, que cada any augmenta el nombre de vivendes que contracten fibra òptica, augmentant així el nombre d'usuaris que estan connectats al mateix splitter i per tant el nombre de possibles usuaris que es podran connectar en el mateix instant de temps a la xarxa.

En el següent gràfic podem veure l'evolució de la demanda de dades per usuari al llarg dels últims anys:

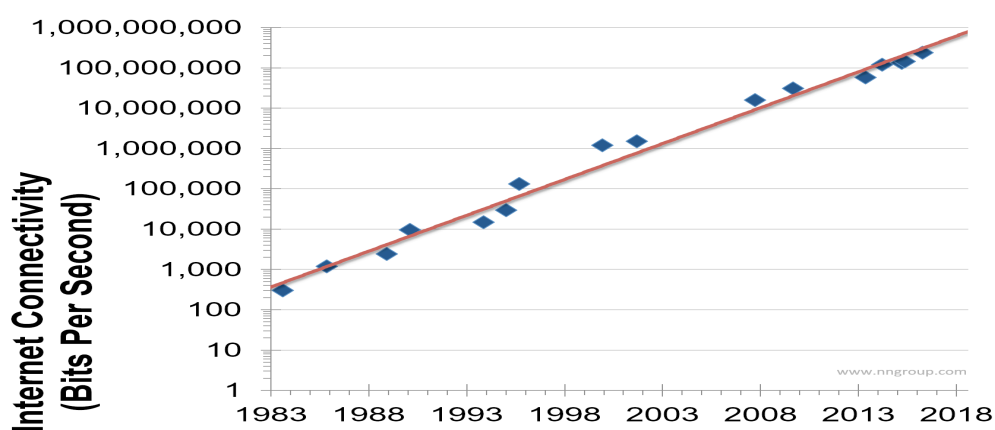


FIGURA 5. Evolució de la demanda de dades amb el temps. Font: "Nielsen's Law of Internet Bandwidth", Jakob Nielsen.

Si el creixement d'aquesta demanda continua com fins ara significarà que en un futur pròxim els usuaris faran ús d'un ample de banda de 10Gbps. Això dóna lloc a reflexionar sobre si la instal·lació de les xarxes PON basades en els divisors òptics que actualment s'estan instal·lant en la majoria de llocs, poden tenir, o no, continuïtat en un futur. Ja que la demanda de dades anirà creixent i el nombre d'usuaris connectats a la xarxa també, això farà que s'hagi de reduir en un gran factor els splitters de la xarxa per a que els usuaris pugin rebre un ample de banda més elevat durant més temps. Reduir el factor de divisió del splitter implica fer modificacions a la xarxa.

És en aquest sentit, que en aquest projecte es proposa un disseny d'una xarxa FTTH al municipi de Cervera amb la tecnologia WDM-PON. El diagrama de Gantt amb el qual s'ha realitzat aquest projecte és el següent:

5. DIAGRAMA DE GANTT

Per setmanes:

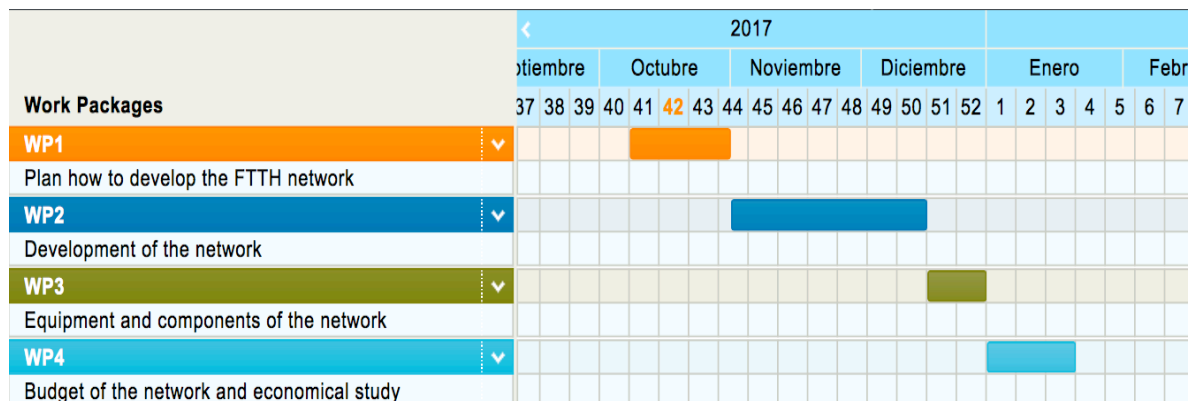


FIGURA 6. Diagrama de Gantt per setmanes.

Per dies:

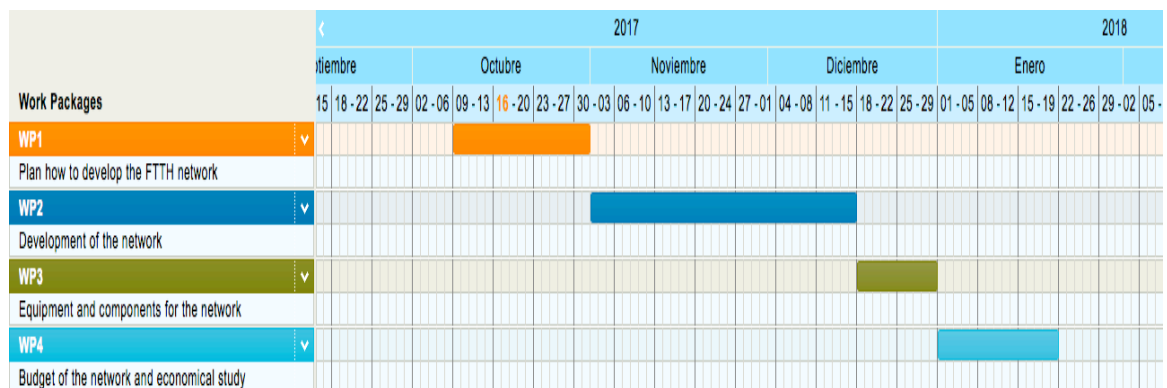


FIGURA 7. Diagrama de Gantt per dies.

6. PROPOSTA DE SOLUCIÓ: XARXA WDM-PON

El problema exposat anteriorment dóna lloc a una solució basada en el disseny d'una xarxa sense divisores òptics i fent ús de la tecnologia WDM-PON. Aquesta tecnologia garanteix als usuaris finals grans amplituds de banda comparables a la tecnologia Point-to-point però utilitzant una arquitectura PON. L'objectiu d'aquest projecte és dotar a totes les vivendes del municipi de les millors prestacions possibles de fibra òptica del mercat, permetent un ample de banda de fins a 10Gbps tant en Uplink com en Downlink.

La tecnologia WDM (Wide Division multiplexer) està basada en la multiplexació de longituds d'ona en una mateixa fibra òptica, permetent que es puguin transportar per una mateixa fibra fins a 80 longituds d'ona. Això permet que arribi a l'usuari final una longitud d'ona pròpia, que no comparteix amb cap dels altres usuaris de la xarxa, tal i com sí passa en una xarxa PON on el seu gran inconvenient radica en l'utilització de splitters. Al mateix temps té un desplegament molt més real en l'aspecte tècnic que una xarxa P2P en la que cada client tindria una fibra òptica pròpia connectada a la central, cosa molt difícil d'implementar i amb uns inconvenients i costos econòmics molt més elevats.

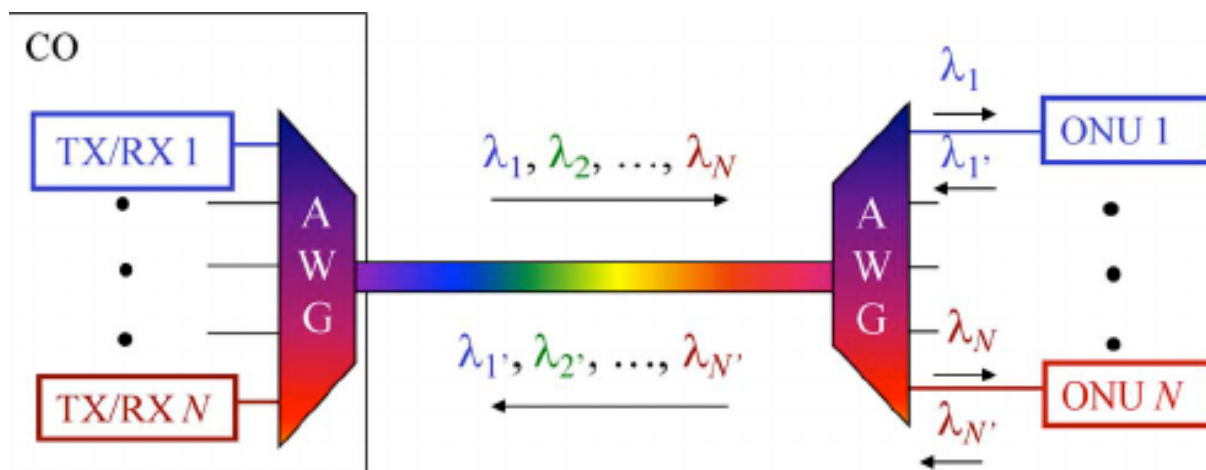


FIGURA 8. Esquema arquitectura WDM-PON. Font: "Next Generation Broadband Access Networks and technologies", Elaine Wong, 2012.

Tal i com podem veure en la figura 8, la tecnologia WDM-PON consta d'un multiplexador i un demultiplexador que permeten que l'usuari final rebí una longitud d'ona pròpia. Segons el nombre de longituds d'ona a multiplexar i la distància màxima a la que poden arribar aquestes, podem distingir entre dos tipus d'arquitectures:

CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) – ITU G.694.2:

- Permet multiplexar fins 18 longituds d'ona entre 1270nm i 1610nm, amb una separació de 20nm entre cadascuna d'elles. Tot i que típicament s'utilitzen 16 longituds d'ona.
- Longituds de fins 80km.
- Transmet en segona finestra.

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) – ITU G.694.1:

- Permet multiplexar fins 80 longituds d'ona amb una separació de fins a 0,8nm entre cadascuna d'elles.
- Longituds molt superiors a 80km.
- Transmet en tercera finestra.

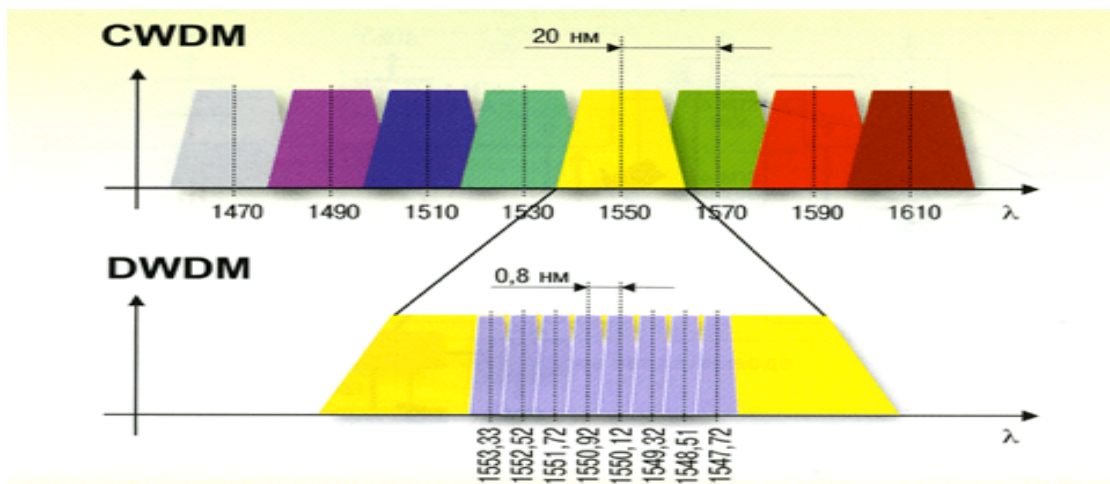


FIGURA 9. Funcionament tecnologia CWDM i DWDM. Font: "Differences between CWDM and DWDM", Kerry Zhang, 2015.

En el nostre cas, la xarxa està dissenyada amb tecnologia CWDM principalment perquè té uns costos molt més inferiors que la DWDM i pot emetre fins a distàncies de 80km. A Cervera la distància d'extrem a extrem del municipi és de 5km, per tant garantim la cobertura en el pitjor dels casos (enllaç òptic de 5km). S'utilitzaran 16 de les 18 longituds d'ona disponibles, per així poder fer un disseny més senzill.

7. ESTUDI DEMOGRÀFIC I TOPOGRÀFIC DEL MUNICIPI

Cervera, capital de la Segarra, està format pel municipi de Cervera i cinc nuclis agregats: La Cardosa, Castellnou D'Oluges, Malgrat, La Prenyanosa i Vergós. La ciutat està situada al centre de Catalunya, cosa que fa que sigui un municipi molt ben comunicat per carretera (A2 Lleida-Barcelona, Eix Transversal Cervera-Girona i L313 Cervera-Andorra) i que hi hagi un bon servei de tren i de bus.

Pel nostre disseny de la xarxa FTTH no tindrem en compte cap dels cinc agregats al municipi. Per tant, les següents dades extretes de l'Ajuntament de Cervera, corresponen només a la ciutat de Cervera:

Superfície: 4,60 km²

Altitud: 548 m

Població: 9.179 habitants

Vivendes: 3560



FIGURA 10. Mapa de Cervera. Font: Google Maps.

Per altra part, alguns dels equipaments municipals importants a destacar son: la Biblioteca Comarcal, el Conservatori de Música, l'Arxiu Històric Comarcal, Centre de Recursos Educatius, el Centre d'Atenció Primària, el Museu Comarcal de Cervera, l'Espai Expositiu del pilot campió del món Marc Màrquez, l'Ajuntament, els dos centres d'educació infantil, tres centres d'educació primària i els dos centres d'educació secundària.

Molts d'aquests equipaments citats anteriorment no tenen actualment servei de fibra òptica. És per això que es realitzarà el disseny d'una xarxa FTTH que pugui abastir tota la ciutat i millori les prestacions que actualment hi ha del servei. Per realitzar aquest estudi s'han tingut en compte diferents dades facilitades per la Paeria de Cervera referents a la superfície del municipi i possible creixement d'aquest, tipus de població que hi ha a la ciutat (formació dels habitants, edat, estudis...), nombre de vivendes, ubicació de les empreses del municipi... Aquestes dades estan recopilades en l'annex 01. Amb part de les dades anteriors s'ha elaborat

un disseny de la xarxa FTTH a Cervera organitzat en quatre fases de desplegament. La primera de les quals abraçarà la zona residencial amb clients amb un poder adquisitiu més elevat, i que per tant és més probable que es puguin permetre contractar el servei de fibra òptica. En la segona fase es desplegarà la xarxa a la zona del Polígon Industrial, on actualment les empreses no gaudeixen de servei de fibra òptica.

8. DISSENY DE LA XARXA

En el disseny de la xarxa FTTH es pot distingir entre dos subxarxes, la d'alimentació i la de distribució. La primera és la que porta les fibres des de la central als punts d'accés, que serien les caixes d'empalme en aquest cas. I la segona es la que distribueix les fibres des dels punts d'accés als usuaris finals. L'esquema de la xarxa té la forma següent:

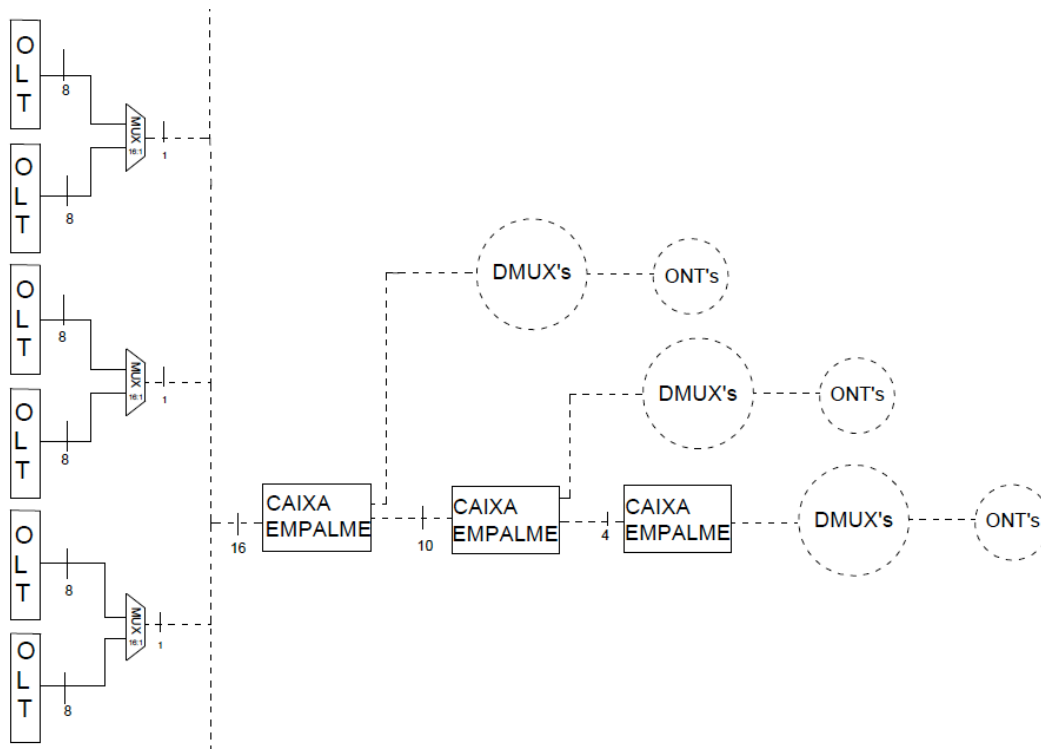


FIGURA 11. Esquema de la xarxa FTTH

Xarxa d'Alimentació

Està formada per la Central o POP (point of presence), els multiplexors i les caixes d'empalme. A la Central o Header hi ha els OLT (Optical Line Transmission), aquests elements emeten la senyal òptica amb la potència necessària per a que l'usuari final tingui el màxim ample de banda possible. De cada port de la OLT surt una fibra que va dirigida a un multiplexor situat a la mateixa Central, aquest multiplexor és de tipus 16:1, és a dir, té 16 entrades i 1 sortida, per tant rebrà 16 longituds d'ona, cadascuna amb la seva corresponent fibra, i a la sortida tindrà les 16 senyals multiplexades en una única fibra. Per tant, a la sortida del multiplexor hi ha les mateixes longituds d'ona que a la entrada però en una única fibra, cosa que permet reduir molt el nombre de fibres totals de la xarxa per a transportar la mateixa quantitat d'informació. Les fibres que surten de cada multiplexor s'agrupen en un cable de 16 fibres, fent que cadascun d'aquests sigui capaç de transportar un total de 256 longituds d'ona (16 longituds d'ona en cadascuna de les 16 fibres del cable), és a dir, sigui capaç de donar servei a un total de 256 clients.

Aquests cables van repartint la fibra als seus clients per tot el municipi a través de caixes d'empalme. En cadascuna de les caixes hi ha un màxim de 6 entrades d'altre cablejat provinent dels demultiplexors, a més de l'entrada i sortida del cable principal de 16 fibres. Per tant 6 de les fibres del cable d'alimentació podran empalmar-se per portar la fibra als 6 demultiplexors corresponents, les 10 fibres restants seguiran el seu camí per la canonada fins a trobar-se amb una nova caixa d'empalme.

Xarxa de Distribució

Conforma el trajecte des de la caixa d'empalme fins a la ONT de l'usuari final. És a dir, els cables d'una fibra òptica que surten de la caixa d'empalme es connecten al seu demultiplexor corresponent. El cable que arriba al demultiplexor és només d'una fibra però conté 16 longituds d'ona, aquestes 16 longituds d'ona es distribuïran en 16 fibres a la sortida del demultiplexor i es connecten directament a la ONT de cada client.

La xarxa WDM-CWDM està formada pels següents components:

OLT (Optical Line Termination)

La OLT està situada a la Central, és l'element del qual parteix el cable de fibra òptica cap als usuaris finals de la xarxa, les OLT's gestionen tot el tràfic de la xarxa tan de pujada(Uplink) com de baixada(Downlink). En el projecte s'ha de garantir que el client final tingui un ample de banda de 10Gbps. És pràcticament impossible trobar algun



FIGURA 12. OLT MA5600T de Huawei

OLT que tingui més de 8 ports per XFP's a 10GE, ja que és un ample de banda que no es proporciona actualment, per tant haurem de col·locar 2 OLT's de 8 ports per a cada Multiplexor de la xarxa (16:1). El model utilitzat és el MA5600T de Huawei. Consultar especificacions a l'annex02.

Transceiver

El transceiver o XFP utilitzat és el model CWDM-10G-XFP-10, específic per a una xarxa WDM-CWDM. Cadascun dels 16 transceivers que van connectats al multiplexor han d'emetre amb una longitud d'ona diferent, ja que quan es multiplexin



FIGURA 13. Transceiver CWDM-10G-XFP-10

les 16 senyals en una mateixa fibra no poden coincidir, perquè cada longitud d'ona va dirigida a un client diferent. Les longituds d'ona emeses per cada transceiver varien entre 1270nm i 1610nm, cadascuna d'elles espaiada 20nm. Per exemple, un transceiver pot emetre a la longitud d'ona 1290nm, el següent la de 1310nm, el següent la de 1330nm, i així successivament. Els transceivers escollits proporcionen 10GE fins a un màxim de 10km, aquesta distancia màxima no és cap problema en el nostre desplegament, ja que en el pitjor cas la distancia màxima d'una fibra seria d'aproximadament 5km (d'extrem a extrem del municipi). Consultar especificacions a l'annex03.

MUX/DEMUX

Els Multiplexors i Demultiplexors utilitzats són específics d'una xarxa WDM-CWDM. Contenen 1 canal per cadascuna de les 16 longituds d'ona, separats cadascun 20nm, tal i com s'ha esmentat en l'anterior descripció. Cada Mux o Demux té



FIGURA 14. MUX/DEMUX DCMD-16

unes pèrdues d'inserció de 3dB que es tindran en compte per calcular el balanç de potència de cada enllaç. El Mux/Demux utilitzat és el DCMD-16. Consultar especificacions a l'annex04.

Caixa d'empalmes

Les caixes d'empalme o "torpedos" utilitzats tenen 6 entrades de 30mm de diàmetre per a cables provinents dels 6 Demultiplexors connectats a cada caixa d'empalmes, a més d'una altra entrada oval de 30x82mm per l'entrada i la sortida del cable de la xarxa d'alimentació. La caixa és totalment hermètica i preparada per poder suportar difícils condicions ambientals a l'exterior. Consultar característiques del model F/TOR-GCO2-BC6 a l'annex05.



FIGURA 15. Caixa d'empalmes F/TOR-GCO2-BC6

ONT

La Optical Line Termination (ONT) és l'element situat a les vivendes dels clients. Actualment no es fabriquen ONT's que puguin suportar 10Gbps en Uplink o Downlink, és per això que s'ha calculat el balanç de potència



FIGURA 16. ONT ME4600 de Cisco Systems

tenint en compte una ONT que suporta 2,5Gbps, i quan sigui possible s'instal·laran les ONT's de 10Gbps. La resta de components de la xarxa han estat escollits per al desplegament d'una xarxa FTTH que garanteixi un ample de banda de 10Gbps tan de pujada com de baixada a l'usuari final, d'aquesta forma en un futur només caldrà modificar les ONT's per a que tota la xarxa proporcioni l'ample de banda indicat. La ONT ha de poder rebre a la

mateixa longitud d'ona que emet el transceiver, i el mateix a la inversa. El model escollit és el ME4600 de Cisco Systems. Les característiques d'aquest model es poden consultar en l'annex06.

8.1. DESPLEGAMENT DE LA XARXA

El desplegament de la xarxa es realitzarà introduint el cablejat en canalitzacions ja construïdes. D'aquesta manera reduïrem els costos econòmics del projecte (construir unes canalitzacions pròpies implicaria un cost de 75€/metre) i el greu impacte mediambiental que tindrien les obres a la ciutat. Les canalitzacions utilitzades són propietat de l'empresa Telefònica, és per això que es paga un lloguer per cada metre de canalització en el que volem introduir el nostre cablejat. El preu del lloguer és d'aproximadament 1€/m a l'any.

Tot el cablejat es desplega mitjançant tubs de PVC de dos tipus:

- **Conductes PVC de 110 mm de diàmetre:** En el seu interior tenen una estructura "tritubo" de 40mm. Son utilitzats per a la xarxa d'alimentació, tot i que també és possible que en algun punt s'inclouï algun cablejat concret de la xarxa de distribució.
- **Conductes PVC de 63 mm de diàmetre:** S'utilitzen per a la xarxa de distribució, és a dir, connecten els usuaris al seu demultiplexor corresponent.

La fibra òptica s'introdueix a les vivendes a través de les arquetes que hi ha a cada edifici, en les quals actualment hi ha l'accés de la línia telefònica o l'ADSL. Aquestes arquetes són de tipus 'M' i també són propietat de Telefònica.

Hi ha diferents tipus d'arquetes:

- **Arquetes tipus 'M':** Tenen unes dimensions de 30x30x55(cm)
- **Arquetes tipus 'D':** Permeten canalitzacions de fins a 4 conductes de 100mm i 4 conductes de 63mm. Tenen unes dimensions de 110x90x100(cm)
- **Arquetes tipus 'H':** Permeten canalitzacions de fins a 4 tubs de 63mm. Tenen unes dimensions de 80x70x82(cm)

Pel que fa al desplegament de la xarxa FTTH a Cervera, només serà necessari utilitzar les arquetes de Telefònica tipus ‘M’ instal·lades prop de cada vivenda. La resta d’arquetes en les quals s’introduiran les caixes d’empalme i els Demultiplexors s’hauran de construir, ja que seran les arquetes pròpies de la xarxa i que s’utilitzaran exclusivament per al desplegament d’aquesta. Seran unes arquetes tipus ‘H’ amb les dimensions citades anteriorment, això permetrà que hi hagi suficient espai per als components actius ja esmentats. El cost de la construcció de cada arqueta és de 140€.

Pel que fa al cablejat de la xarxa, utilitzarem diferents tipus de cable segons el tram de la xarxa al qual haguem de dotar de fibra. Els tipus de cable utilitzats són els següents:

- **Cable PFVP de 16 fibres (G652 3000N)**: s’utilitza en la xarxa d’alimentació. És un cable de 16 fibres òptiques. És un cable que anirà pels conductes de PVC de les canalitzacions durant tot el seu recorregut. Algunes de les seves característiques importants son: resistència a la humitat i l’aigua, conté elements que fan que tingui una molt bona tracció, està protegit contra rosegadors. Veure especificacions l’annex07.

- **Cable R100 de 1 fibra (G657A)**: s’utilitza en la xarxa de distribució. Té la funció de transportar la senyal òptica des de la Caixa d’Empalme fins al Demultiplexor, i de cada sortida del Demultiplexor fins a la ONT de cada vivenda. És un cable que, com el citat anteriorment, anirà pels conductes de PVC durant tot el seu recorregut fins a l’arqueta de l’habitatge corresponent. Es poden consultar les seves característiques en l’annex08.

Cal dir també que tot el desplegament de la xarxa serà soterrat mitjançant les canalitzacions llogades, però pot ser que en alguns casos particulars no es pugui fer arribar la fibra òptica pels conductes subterranis i que s’hagi de fer per una altra via, per exemple fent passar el cable per la façana. En aquests casos s’utilitzaran uns altres tipus de cables amb diferents característiques que permetin un fàcil i còmode desplegament de la xarxa.

8.2. BALANÇ DE POTÈNCIA

Per poder calcular el pressupost de potència òptica de la que disposem en el nostre enllaç de fibra òptica ens hem de fixar en els paràmetres de mínima potència emesa i mínima sensibilitat del receptor tant en el transceiver com en l'ONT.

	Minimum Power Transmit	Minimum Sensitivity Receiver
Transceiver	0 dB	-15 dBm
ONT	0,5 dB	-27 dBm

Observem els dos possibles pressupostos òptics i quin és el més limitat, i per tant, el més restrictiu.

Pressupost Núm. 1: Min.Tx.Transceiver(dB) – Min.Rx.ONT(dBm) = 0 – (-27) = 27dB

Pressupost Núm. 2: Min.Tx.ONT(dB) – Min.Rx.Transceiver(dBm) = 0,5 – (-15) = 16dB

El pressupost òptic més restrictiu és el “PRESSUPOST 2”, per tant disposem de 16 dB, dels quals hem d'anar restant les pèrdues de l'enllaç de fibra òptica més restrictiu (el més llarg) per tal d'aconseguir que ens quedi un balanç de potència positiu. Cal dir, però, que s'acostuma a deixar un marge de seguretat de 3dB, per les modificacions que pugui haver en la xarxa en un futur.

A partir de l'esquema de la xarxa i de les especificacions del fabricant de cada component podem fer el càlcul del balanç de potència òptica del nostre enllaç més restrictiu, de tal manera que si obtenim un balanç òptic més gran a 3dB significarà que en la resta d'enllaços també complim el nostre objectiu.

Paràmetres

Pressupost òptic: 16dB

Pèrdues connector: 0,3dB

Pèrdues empalme: 0,1dB

Atenuació fibra (2a ventana): 0,4db/km

Pèrdues inserció MUX: 3dB

Pèrdues inserció DMUX: 3dB

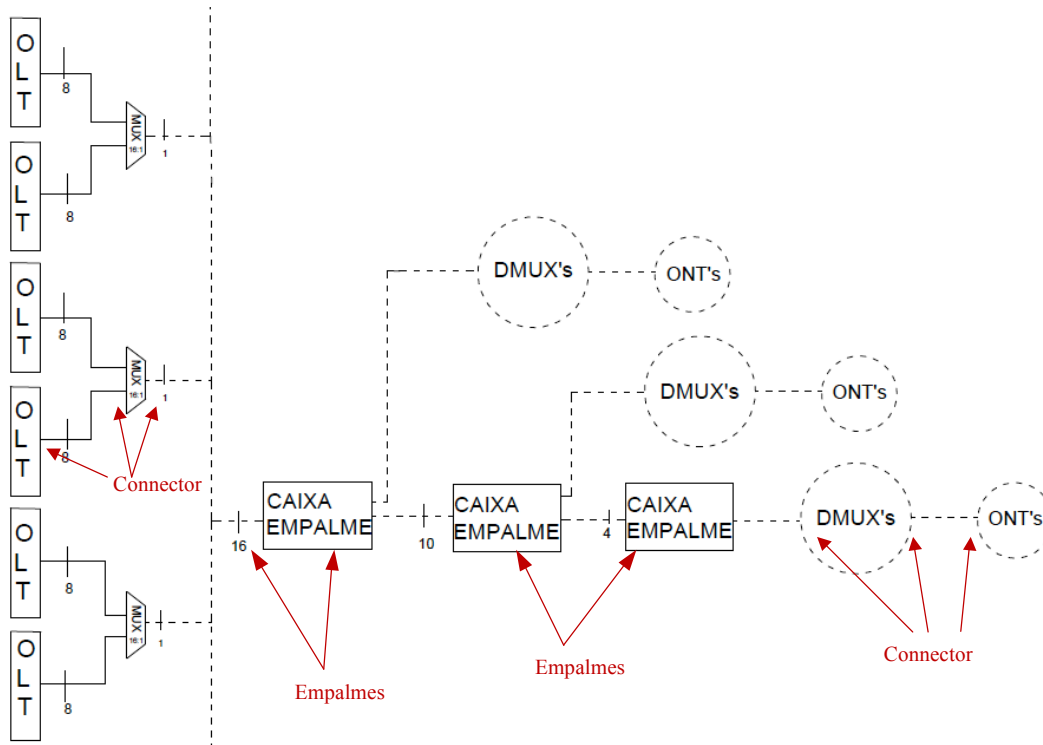


FIGURA 17. Ubicació empalmes i connectors a la xarxa.

El càlcul de l'enllaç més restrictiu es farà amb l'habitatge que està més allunyat del POP (Point of Presence) i que està situat en la última fase de la xarxa de distribució, això significa que té pèrdues degut a tots els empalmes de la xarxa. Pel que fa a l'atenuació de la fibra per la distància, el pitjor cas es produeix amb un enllaç de 5km (d'extrem a extrem del municipi). Pel que fa als empalmes, n'hi ha 4, el primer es produeix quan s'empalma la sortida del MUX al cable de 16 fibres que entra a la primera caixa d'empalme, la resta d'empalmes es produeixen a la segona, tercera i quarta caixa d'empalme, respectivament. Pel que fa als connectors, n'hi ha 6, tal i com podem veure a l'esquema anterior.

Atenuació fibra (2a ventana): $0,4\text{dB/km} * 5 \text{ km} = 2\text{dB}$

Pèrdues connectors: $0,3\text{dB/connector} * 6 \text{ connector} = 1,8\text{dB}$

Pèrdues empalme: $0,1\text{dB/empalme} * 4 \text{ empalme} = 0,4\text{dB}$

Pressupost òptic - Atenuació fibra - Pèrdues connectors - Pèrdues empalme - Pèrdues inserció MUX - Pèrdues inserció DMUX > 3dB

$$16\text{dB} - 2\text{dB} - 1,8\text{dB} - 0,4\text{dB} - 3\text{dB} - 3\text{dB} = 5,8 \text{ dB} > 3\text{dB}$$

Es compleix l'expressió anterior, per tant garantim que tots els clients xarxa rebran correctament l'ample de banda que emet la OLT.

8.3. REPRESENTACIÓ DEL DISSENY

El disseny de la xarxa FTTH a la ciutat de Cervera està representat en el plànol del municipi amb Autocad, un software de disseny gràfic. El plànol del municipi ha estat facilitat per l'Ajuntament de Cervera i sobre aquest s'ha dissenyat la xarxa de fibra òptica.

El disseny de la xarxa està fet per capes, és a dir, distingeix entre capes de la xarxa de distribució i capes de la xarxa d'alimentació, permetent, d'aquesta forma, veure d'una manera més nítida i exacta a quines zones dona servei la xarxa.

En el plànol hi ha un total de 31 capes, 30 corresponen a les diferents zones on actuen els demultiplexors, per tant, en cadascuna d'aquestes capes es dona servei a 16 vivendes. La capa restant correspon a la xarxa d'alimentació i al cablejat que va per les diferents caixes d'empalme.

En el plànol d'Autocad s'ha dissenyat només una part de la xarxa, ja que el disseny per tot el municipi significa molt temps invertit en un disseny molt repetitiu. Així doncs s'ha fet una part de la xarxa formada per 5 caixes d'empalme i 30 demultiplexors que donen servei a 480 vivendes. Cadascuna de les zones en les que actua un demultiplexor està formada per l'arqueta en la que hi haurà el demultiplexor corresponent, i la seva xarxa de distribució. Pel que fa a la xarxa d'alimentació, inicia el seu recorregut al POP i es va repartint per tot el municipi mitjançant les caixes d'empalme.

Tot seguit es mostra una part del disseny de la xarxa:

Xarxa de distribució —

Xarxa d'alimentació —

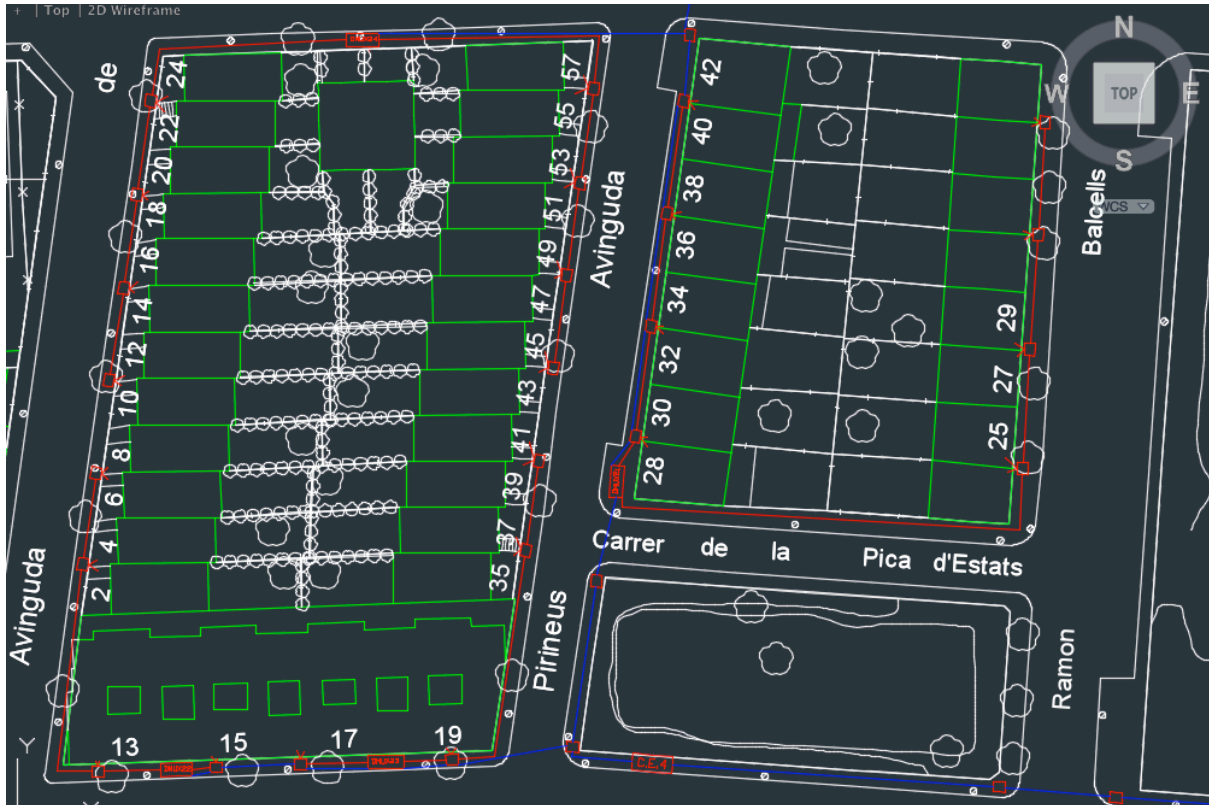


FIGURA 18. Disseny de la xarxa amb Autocad.

Tal i com es pot veure en la figura anterior, es fa ús de les diferents arquetes disponibles segons convingui. Les arquetes de dimensions més reduïdes amb les quals s'accedeix a cada edifici són les tipus "M", mentre que les altres arquetes en les quals hi ha els demultiplexors i les caixes d'empalme es construeixen per poder fer un correcte disseny i instal·lació de la xarxa FTTH.

També es pot veure com cada Demultiplexor dona servei a 16 vivendes, en la il·lustració següent el DMUX21 clarament dona servei a 16 vivendes.

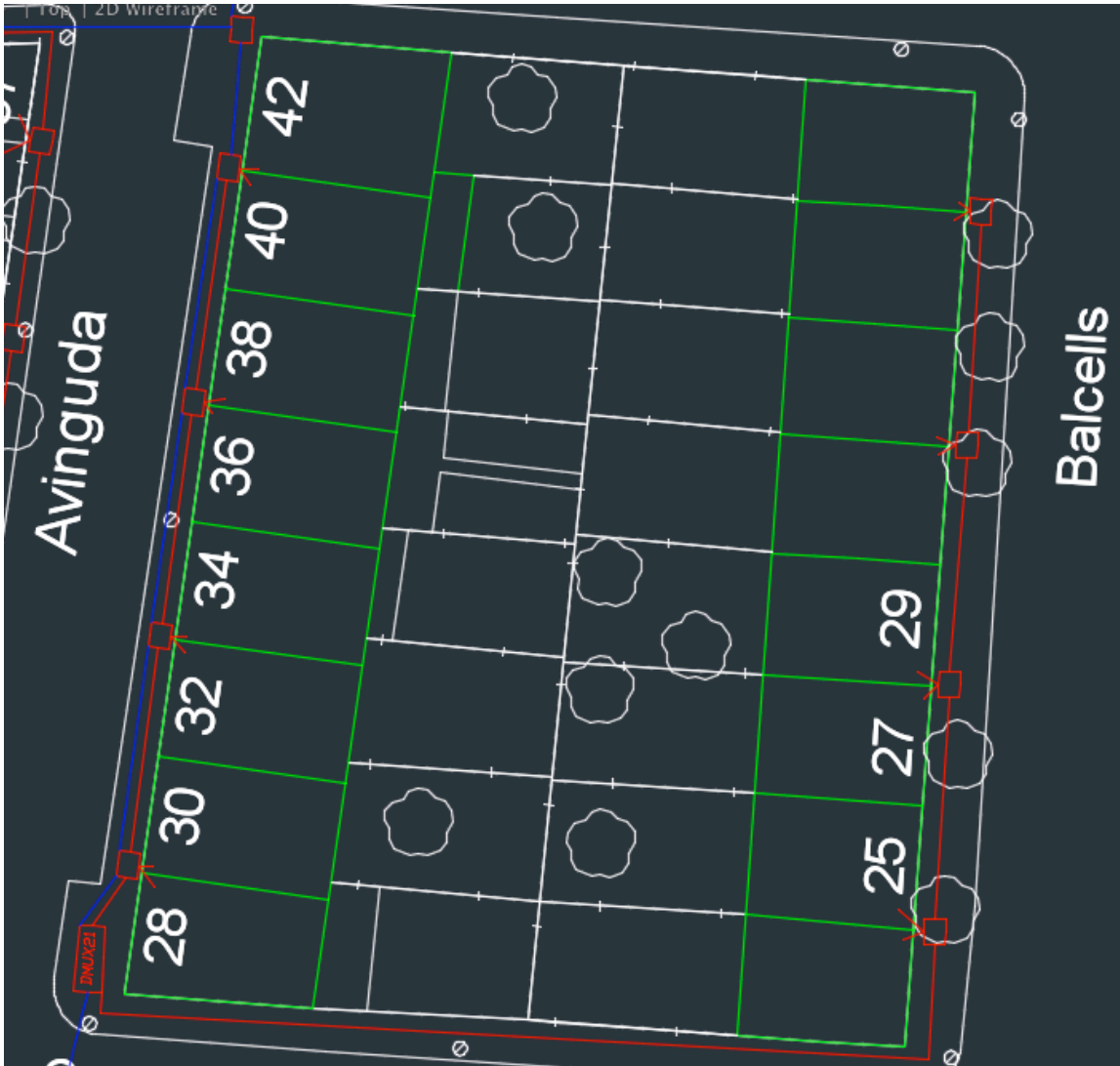


FIGURA 19. Detall disseny Autocad.

Cal dir també que per saber exactament el nombre de vivendes de cada edifici s'ha consultat la web del Ministerio de Hacienda y Función Pública, en la qual es proporciona informació sobre el Cadastre.

Es pot visualitzar el plànol sencer del municipi i la seva instal·lació per a 480 vivendes a l'annex09.

9. ESTUDI ECONÒMIC

S'ha fet un estudi econòmic per demostrar que el projecte sigui viable econòmicament. Els costos del projecte aniran a càrrec de l'empresa que dissenya la xarxa, excepte la instal·lació de la fibra a les canalitzacions, que aniran a càrrec de l'Ajuntament de Cervera. Així doncs tots els components de la xarxa de fibra òptica, el cablejat, la construcció de les arquetes per a caixes d'empalme i multiplexors, el manteniment de la xarxa, el lloguer de les canalitzacions a Telefònica, el sou de l'Enginyer i el sou del cap d'Instal·lació aniran a càrrec de l'empresa que dissenya la xarxa.

Per altra banda, l'Ajuntament es farà càrrec dels costos que suposin obrir les canalitzacions de Telefònica per introduir el cablejat de la xarxa FTTH. A canvi d'aquesta ajuda econòmica per part de la Paeria, a l'Ajuntament i a tots els equipaments municipals de la ciutat se'ls dotarà de fibra òptica amb un contracte il·limitat i gratuït.

Es preveu que el procés d'instal·lació de fibra òptica a tot el municipi tingui una durada de dos anys, en els quals el desplegament de la xarxa es farà en quatre períodes de sis mesos cadascun. Es començarà el primer procés d'instal·lació de sis mesos per la zona residencial de la ciutat, on es preveu que els residents d'aquests barris amb un poder adquisitiu més elevat que a la resta de la ciutat puguin contractar els serveis de la xarxa de fibra òptica que ofereix l'empresa. Es suposarà que en cada fase de desplegament de la xarxa pel municipi hi hagi un índex de penetració del 25%, percentatge que podria ser molt més elevat tenint en compte que l'índex de penetració de les xarxes FTTH a l'Estat Espanyol era d'un 29,7% el mes de febrer de l'any 2017.

L'estudi econòmic inclou els costos totals de la instal·lació de la xarxa, a més dels costos i ingressos que aniria tenint l'empresa al llarg de cada procés de 6 mesos. El preu mensual per a ser client de la xarxa FTTH amb la que s'abastirà el municipi de Cervera és de 55€, preu reduït per la quantitat d'ample de banda que s'està oferint a l'usuari final, un ample de banda que cap de les companyies actuals es capaç d'oferir.

A continuació es mostren els costos totals de l'empresa per a tot el projecte, tenint en compte que el lloguer de les canalitzacions, el manteniment de la xarxa, el sou de l'enginyer i el sou del cap d'instal·lació són costos fixos anuals, en canvi la resta d'inversió és única (només s'ha de fer una vegada).

Components	Unitats	€/Unitat	Total(€)
OLT	446	1.000,00 €	446.000,00 €
MUX	223	614,75 €	137.089,25 €
DEMUX	223	614,75 €	137.089,25 €
Caixa Empalme	38	130,00 €	4.940,00 €
ONT	3560	50,00 €	178.000,00 €
Transceiver	3560	62,21 €	221.467,60 €
Cable	30000	0,03 €	900,00 €
Arquetes 80x70x82cm	261	140,00 €	36.540,00 €
TOTAL			1.162.026,10 €

Tal i com s'ha esmentat anteriorment, la xarxa donarà servei a 3.560 vivendes, per tant aquest ha de ser el nombre de transceivers i ONT's de la xarxa. Cada pack de multiplexor/demultiplexor ha de donar servei a 16 vivendes, per tant s'han de comprar 223 Mux i Dmux ($3560/16 = 223$). Són necessàries dos OLT's per cada MUX/DMUX, per tant 446.

D'arquetes se n'hauran de construir 261, 223 d'aquestes correspondran als Demultiplexors, i les 38 restants a les caixes d'empalme. Totes les arquetes tindran les mateixes dimensions 80x70x82cm. Finalment, s'utilitzaran 30.000 metres de cable per a tota la xarxa.

Per poder fer front a totes aquestes despeses es demanarà un préstec de 350.000 € amb un interès anual del 2,5%. Durant els dos primers anys i mig només pagarem interessos del préstec, i al cap de dos anys i mig pagarem tot el préstec de cop. Els interessos anuals del préstec són de 8750 €, mentre que els interessos corresponents a mig any són de 4375 €.

Costos fixes anuals:

Concepte	Unitats	€/Unitat	Total (€)
Canalitzacions	20000	1,00 €	20.000,00 €
Manteniment	-	-	10.000,00 €
Enginyer	1	24.000,00 €	24.000,00 €
Cap instal·lació	1	18.000,00 €	18.000,00 €
Interessos préstec (2,5%)	1	8.750,00 €	8.750,00 €
TOTAL			80.750,00 €

Com es pot veure en la taula anterior, es llogaran 20km de canalitzacions a Telefònica per poder desplegar la xarxa FTTH al municipi. El manteniment de la xarxa tindrà un cost de 10.000 € a l'any, el sou de l'enginyer és de 24.000 € a l'any i el del cap d'instal·lació és de 18.000 €. Pel que fa als interessos del préstec, quan hagin passat dos anys i mig ja haurem pagat la totalitat d'aquest, per tant ja no pagarem més interessos. Es pot veure el full de càlcul complet dels costos fixes i de la inversió a l'annex10.

Ingressos anuals segons l'índex de penetració de clients:

Clients (25%, 50%, 75%, 100%)	€/mes	€/any
1	55,00 €	660,00 €
890	48.950,00 €	587.400,00 €
1780	97.900,00 €	1.174.800,00 €
2670	146.850,00 €	1.762.200,00 €
3560	195.800,00 €	2.349.600,00 €

Tot seguit es pot veure els costos, els ingressos i el balanç econòmic del primer període de 6 mesos en el qual es fa el desplegament del 25% de la totalitat de la xarxa, per tant es dona servei de fibra òptica a 890 vivendes ($3560 \cdot 0,25$). Els costos d'aquest període serien els següents:

Components	Unitats	€/Unitat	Total
OLT	111	1.000,00 €	111.000,00 €
MUX	55	614,75 €	33.811,25 €
DEMUX	55	614,75 €	33.811,25 €
Caixa Empalme	9	130,00 €	1.170,00 €
ONT	223	50,00 €	11.150,00 €
Transceiver	223	62,21 €	13.872,83 €
Cable	7500	0,03 €	225,00 €
Enginyer	1	12.000,00 €	12.000,00 €
Cap instal·lació	1	9.000,00 €	9.000,00 €
Arquetes 80x70x82cm	65	140,00 €	9.100,00 €
Canalitzacions telefonica llogades	5000	1,00 €	5.000,00 €
Manteniment	-	-	5.000,00 €
Interessos préstec (2,5%)	1	4.375,00 €	4.375,00 €
total			249.515,33 €

Com es pot veure en l'anterior taula, durant aquest primer període s'inverteix en el 25% de la totalitat de components, arquetes, cablejat... Els únics components que van en funció de la demanda dels clients són el transceiver i la ONT, que només es compraran quan s'hagi de fer la instal·lació a un nou client, d'aquesta manera es redueixen els costos en la inversió de components. Per tant, com els costos anteriors corresponen al desplegament d'un 25% de la xarxa, hauríem de comprar un 25% de transceivers i de ONT's (que serien 890 en cada cas), però com que es suposa un índex de penetració del 25% només comprarem una quarta part d'aquests, per tant 223 ($\frac{1}{4} \cdot 890 = 223$).

Els ingressos amb un índex de penetració del 25% sobre la primera fase de desplegament de la xarxa i amb una quota mensual de 55€ per client serien els següents:

Clients (25%)	€/mes	€/6MESOS
1	55,00 €	330,00 €
223	12.265,00 €	73.590,00 €

El 25% de clients del 25% de desplegament realitzat en la primera fase de la totalitat de la xarxa correspon a 223 clients ($3560 \text{ vivendes} \cdot 0,25 \cdot 0,25 = 223$).

Per tant, en el primer període de 6 mesos tindriem unes pèrdues de 175.925,33 euros, que acumulat al préstec demanat de 350.000 euros resulta un flux acumulat total de 174.074,67 euros, tal i com es pot veure en la següent taula:

	Costos	Ingressos	Flux caixa	Flux acumulat
Amb un 25% de clients del 25% de vivendes	249.515,33 €	73.590,00 €	-175.925,33 €	174.074,67 €

A continuació es mostra un gràfic del flux de caixa de cada semestre (suposant un índex de penetració del 25%) de l'empresa al llarg dels primers quatre anys de funcionament d'aquesta:

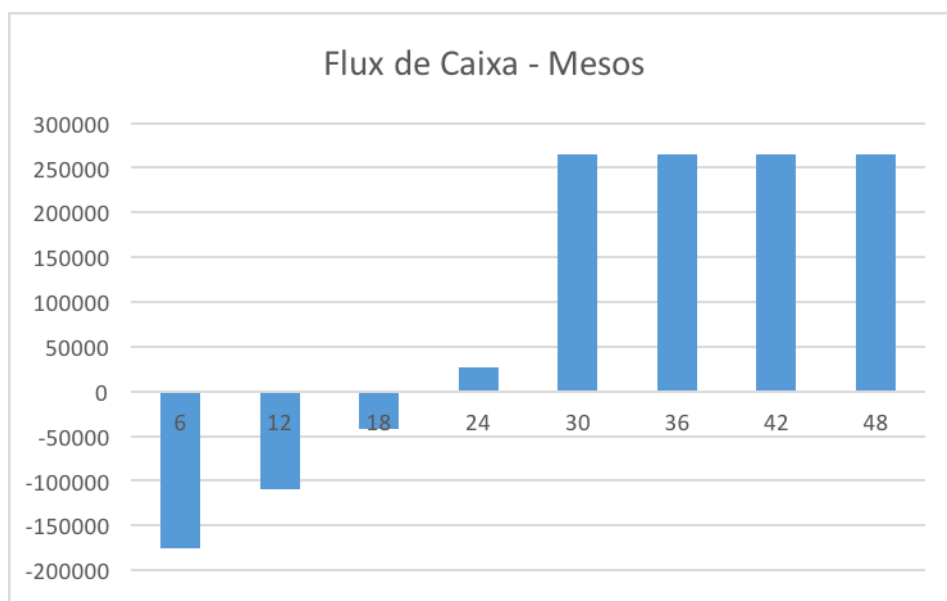


FIGURA 20. Gràfic de barres del flux de caixa semestral.

En el següent gràfic podem veure el Payback, que indica quan recuperariem el capital invertit en el projecte:

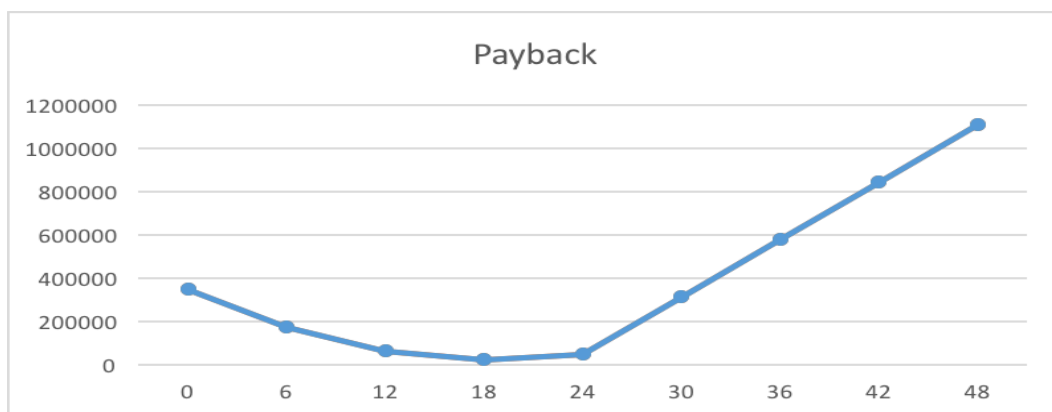


FIGURA 21. Gràfic del Payback

Tal i com indica el gràfic anterior, recuperariem la inversió en poc més de 2 anys i mig, un temps que no és excessivament llarg per les grans dimensions i el llarg recorregut que té el projecte. Cal dir que a partir del quart període (24 mesos) ja estarà tot el desplegament de la xarxa fet i no hi haurà costos semestrals molt elevats, encara que també existiran els costos anuals de manteniment, lloguer de les canalitzacions a Telefònica, i els salaris de l'enginyer i el cap d'instal·lació.

L'estudi econòmic complet basat en un índex de penetració del 25% es troba en l'annex11.

S'han realitzat dos estudis econòmics més suposant un índex de penetració més optimista, del 50% i del 75%. En el full de càlcul adjunt a l'annex12 i l'annex13, respectivament, es mostren aquests dos estudis.

10. ESTUDI MEDIAMBIENTAL

Per comprovar si el desplegament d'una xarxa de fibra òptica a Cervera té un impacte mediambiental positiu sobre el municipi s'ha realitzat un estudi mediambiental del projecte.

En primer lloc cal destacar que la implantació d'una xarxa de fibra òptica en vers una de coure té uns grans efectes positius en el medi ambient. Aquests beneficis són els següents:

- Segons investigacions realitzades per l'Agència de Protecció Mediambiental, un cable de coure consumeix 3,5W de potència cada 100 metres de longitud. En canvi una fibra òptica consumeix 1W cada 300 metres. Aquest menor consum es tradueix en menys energia gastada per metre, i per tant no es necessita tan equipament per refrigerar tot el cablejat, equipament que com més hi hagi, més espai ocupa del sol del municipi.
- Un cable de fibra òptica allibera només 7 grams de CO₂ per a cada Gigabit de data que transmet, molt menys que un cable de coure. Per tant s'alliberaria molt menys CO₂ si totes les xarxes desplegades fossin de fibra òptica en lloc de coure, i l'impacte positiu en la contaminació del medi ambient seria molt bo.
- L'extracció de coure és altament contaminant i afecta a la vegetació, l'aigua i la vida orgànica de les zones pròximes a les mines. Les persones exposades contínuament a aquest material són més propenses a tenir malalties del cor o càncer. Per altra banda, la fibra òptica està feta d'un vidre molt pur que és fabricat amb Diòxid de Silici (SiO₂), el segon element més abundant de la terra després de l'Oxigen (O₂). L'obtenció d'aquest compost és relativament senzilla i poc contaminant en relació a la del coure, a més de ser un material abundant i per tant un recurs que no s'esgotarà fàcilment.

A part dels beneficis esmentats anteriorment, per instal·lar una xarxa de fibra òptica en comptes d'una xarxa ADSL mitjançant coure, també s'ha de tenir en compte que a la ciutat de Cervera tot el desplegament de la xarxa es realitzarà en canalitzacions llogades. Per tant, no seran necessàries noves obres que causin un impacte mediambiental greu en el municipi, sinó que només serà necessari obrir les canalitzacions ja fetes i introduir-hi el cablejat de la xarxa FTTH.

11. CONCLUSIONS

Finalment, després d'estudiar la viabilitat del projecte es clou que és viable econòmicament i amb un impacte mediambiental molt reduït. La viabilitat econòmica del projecte és possible gràcies a que l'Ajuntament de Cervera hi participa i es fa càrrec de tots els costos d'obra i instal·lacions. Sense la seva implicació els costos econòmics serien molt més alts i la realització del projecte seria més complicada.

Tal i com s'ha demostrat es recupera la inversió econòmica del projecte en 2 anys i mig, un període que no és gaire elevat. L'estudi econòmic s'ha realitzat amb un índex de penetració del 25%, i tenint en compte que per a tot Espanya l'índex de penetració és del 29,7%, és molt probable que a Cervera sigui superior al 25%, ja que l'ample de banda que s'ofereix és molt més elevat i a un preu molt similar al d'una xarxa PON actual.

El desplegament de la xarxa FTTH d'última generació a Cervera tindria un gran impacte social i econòmic en la ciutat. Afavoriria el creixement industrial d'aquesta, i col·locaria Cervera en el punt de mira de tot el país com a referent tecnològic. Ja que seria el primer municipi del país en el que s'instal·la una xarxa amb la tecnologia WDM-PON que garanteix al client un ample de banda de 10Gbps tan en Uplink com en Downlink. Per a les empreses és una gran oportunitat per créixer i desenvolupar-se ràpidament, ja que amb aquesta tecnologia cadascuna té el seu propi ample de banda que no ha de compartir amb cap usuari de la xarxa, i per tant garanteix el millor servei en tot el temps de connexió.

Cal dir que s'haurà d'esperar un temps a que surtin al mercat ONTs que siguin capaces de suportar 10Gbps, però mentrestant s'oferiran amples de banda més reduïts, que tot i així seran els més alts del mercat. La demanda de dades amb els anys anirà augmentant i serà necessari l'ús d'una tecnologia com WDM-PON per poder garantir al client un servei que cobreixi les seves necessitats. És per això que amb el desenvolupament d'aquest projecte la ciutat de Cervera pot ser pionera en aquest àmbit, garantint un servei excel·lent amb unes condicions econòmiques i mediambientals immillorables per al municipi.

12. BIBLIOGRAFIA

UGT Comunicaciones (2017). Relació FTTH – FTTB. Recuperat de

<http://www.ugtcomunicaciones.es/wordpress/dar-cobertura-ftth-todos-la-ue-costaria-156-000-me/>

Infinera (2017). Wavelength-Division Multiplexing. Recuperat de

<https://www.infinera.com/technology/wdm-wavelength-division-multiplexing/>

Cedric F. Lam (2016). Fiber to the Home: Getting beyond 10Gb/s. Recuperat de [https://www.osa-](https://www.osa-opn.org/home/articles/volume_27/march_2016/features/fiber_to_the_home_getting_beyond_10_gb_s/)

[opn.org/home/articles/volume_27/march_2016/features/fiber_to_the_home_getting_beyond_10_gb_s/](https://www.osa-opn.org/home/articles/volume_27/march_2016/features/fiber_to_the_home_getting_beyond_10_gb_s/)

Beyondtech Team (2016). ¿Cómo la fibra óptica salvarà el mundo?. Recuperat de

<https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/98494593-como-la-fibra-optica-salvara-el-mundo>

Manuel Espinós (2015). Calcular el presupuesto de una red FTTH. Recuperat de

<http://wifero.blogspot.com.es/2015/11/calcular-el-presupuesto-optico-de-una.html>

FS.COM (2016). FTTH Architecture P2P and PON. Recuperat de [https://community.fs.com/blog/ftth-](https://community.fs.com/blog/ftth-architecture-p2p-and-pon.html)

[architecture-p2p-and-pon.html](https://community.fs.com/blog/ftth-architecture-p2p-and-pon.html)

Jesús Maya Urtado (2014). Un vistazo práctico al FTTH. Recuperat de [http://megasporuntubo.es/un-](http://megasporuntubo.es/un-vistazo-practico-al-ftth/)

[vistazo-practico-al-ftth/](http://megasporuntubo.es/un-vistazo-practico-al-ftth/)

Asis Rodríguez (2012). Conectorización y balance óptico en una red FTTH. Recuperat de

<https://www.fibraopticahoy.com/conectorizacion-y-balance-optico-en-una-red-ftth-1-a-parte/>

Enrique del Rio (2015). ¿Es posible ofrecer 300 Megas en bajada con el estandar GPON? Si, pero

no a todos los usuarios a la vez. Recuperat de [\[possible-ofrecer-300-megas-en-bajada-con-el-estandar-gpon-si-pero-no-a-todos-los-usuarios-a-la-vez/\]\(http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/2015/09/29/es-possible-ofrecer-300-megas-en-bajada-con-el-estandar-gpon-si-pero-no-a-todos-los-usuarios-a-la-vez/\)](http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/2015/09/29/es-</p></div><div data-bbox=)

Shaun Trezise (2016). Fiber to the Premises Deployment - comparing PON and P2P architectures.

Recuperat de <http://www.ppc-online.com/blog/fiber-to-the-premises-deployment-comparing-pon-and-p2p-architectures>

Einar In De Betou, Christian-Alexander Bunge, Henrik Åhlfeldt, and Magnus Olson (2014). WDM-PON is a key component in next generation access. Recuperat de

<http://www.lightwaveonline.com/articles/print/volume-31/issue-2/features/wdm-pon-is-a-key-component-in-next-generation-access.html>

Stephan Rettenberger (2009). What is WDM-PON. Recuperat de

<http://www.capacitymedia.com/Article/2790445/What-is-WDM-PON>

Furukawa Electric LatAm (2014). Conjunto de empalme óptico, preparación y instalación [Vídeo].

Recuperat de <https://www.youtube.com/watch?v=cozx11Dr-QI>

Google Maps. (2017). Cervera [Mapa]. 1: 20000. Recuperat de

<https://www.google.es/maps/place/Cervera,+Lleida/@41.6735091,1.2664021,15.64z/data=!4m5!3m4!1s0x12a4214b186f8a7d:0xb3a1b418afd7222!8m2!3d41.6838422!4d1.2794744>

Networks and Distributed Systems, group 922. Aalborg University, 3 (2012). PON and Point-to-Point based infrastructure planning in Lolland municipality.

Base Cartogràfica de Cervera. (2017). Cervera [Mapa]. 1:1000. Recuperat de Departament d'urbanisme, Ajuntament de Cervera.

Departament de promoció econòmica. (2017). Empreses Cervera 2017. Ajuntament de Cervera.

Departament del Padró. (2017). Resum d'habitants per unitats poblacionals. Ajuntament de Cervera.

Departament del Padró. (2017). Piràmide de població. Ajuntament de Cervera.

Departament del Padró. (2017). Càlcul de població. Ajuntament de Cervera.

Departament del Padró. (2017). Resum per titulació. Ajuntament de Cervera.

13. ANNEX