

Disseny i desplegament municipal d'una xarxa de distribució de fibra òptica

Joan Ramos Bolea
Grau d'Enginyeria de Tecnologies i Serveis de Telecomunicació
TFG - Sistemes de Comunicació

Victor Martínez Illamola

Carlos Monzo Sánchez

Gener 2020



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	<i>Disseny i desplegament municipal d'una xarxa de distribució de fibra òptica</i>
Nom de l'autor:	<i>Joan Ramos Bolea</i>
Nom del consultor/a:	<i>Victor Martínez Illamola</i>
Nom del PRA:	<i>Carlos Monzo Sánchez</i>
Data de lliurament (mm/aaaa):	<i>01/2020</i>
Titulació o programa:	<i>Grau d'Enginyeria de Tecnologies i Serveis de Telecomunicació</i>
Àrea del Treball Final:	<i>Sistemes de Comunicació</i>
Idioma del treball:	<i>Català</i>
Paraules clau	<i>Projecte, Fibra Òptica, GPON, FTTH</i>

Resum del Treball

En els darrers anys, la fibra òptica ha patit una gran expansió com a medi de comunicació per a navegar a través d'Internet degut a les seves grans prestacions. Malgrat això, encara hi ha municipis que no disposen de fibra òptica als seus carrers, ja que el desplegament encara està en procés actualment i, per tant, a certes localitats no hi ha servei de fibra òptica de cap operador.

En el present treball ens centrarem a realitzar el projecte de desplegament de fibra òptica, que inclourà la infraestructura, l'equipament utilitzat i la tecnologia emprada per al municipi d'Espinelves, una localitat rural ubicada entre la comarca d'Osona i La Selva, i que actualment no en disposa.

Començarem a contextualitzar el lloc on es realitzarà el desplegament FTTH, així com les seves característiques tècniques. Es realitzarà el disseny, el desenvolupament del projecte i es definirà l'equipament necessari per al funcionament de la xarxa.

A part d'aquesta oferta de servei per als habitants d'Espinelves, també s'oferirà al consistori la interconnexió de les dependències municipals a través d'enllaços sense fils contractant només una fibra, per tal d'abaratir la despesa anual a l'Ajuntament pel servei d'Internet.

Abstract

In the last years, optical fiber has undergone a great expansion as a transmission media to navigate through the Internet properly because of its high performance. However, there are still towns that do not have optical fiber because the development is still in process and in certain locations there is no optical fiber service of any operator.

In this assignment we will focus on the optical fiber deployment project, which will include the infrastructure, equipment and the technology needed for Espinelves, a rural town located between the region of Osona and La Selva, that currently does not has service.

We will begin to contextualize the place where the FTTH deployment will take effect and the technical characteristics. We will create the design, the development of the project that will define the equipment needed for the network functionality.

Besides that, we will offer the interconnection of the municipal main units through wireless by contracting only one fiber, in order to reduce the anual costs for the Internet service to the Council of Espinelves.

Índex

1. Introducció	10
1.1 Context i justificació del Treball.....	10
1.2 Objectius del Treball	10
1.3 Enfocament i mètode seguit	11
1.4 Planificació del Treball.....	11
1.5 Breu sumari de productes obtinguts	12
1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria	13
2. Estat de l'art.....	14
2.1. Paràmetres i característiques de la fibra òptica.....	15
2.2. Avantatges de la fibra òptica	18
2.3. Situació actual de desplegament.....	20
3. Xarxes de fibra òptica	22
3.1. Topologies de xarxa	22
3.1.1. Configuració punt a punt	22
3.1.2. Configuració punt a multipunt.....	22
3.1.2.1. Topologia en bus.....	23
3.1.2.2. Topologia en estrella	23
3.1.2.3. Topologia en anell	23
3.1.2.4. Topologia en arbre	23
3.2. Classificació de xarxes de fibra òptica.....	24
3.2.1. FTTN (Fiber To The Node).....	24
3.2.2. FTTC (Fiber To The Curb)	24
3.2.3. FTTB (Fiber To The Building).....	24
3.2.4. FTTH (Fiber To The Home).....	25
3.3. Parts d'una xarxa de fibra	26
3.4. Elements principals d'una xarxa de fibra òptica.....	27
4. Estàndard GPON i comparació amb altres tecnologies.....	32
4.1. Estàndard PON	32
4.2. Estàndard GPON	33
4.3. Evolució a estàndards 10GPON.....	37
4.4. Estàndard WDM-PON.....	38
5. Disseny de la xarxa de distribució.....	40
5.1. Escenari de desplegament. Situació geogràfica i estudi del terreny	40
5.2. Permisos d'instal·lació i normatives.....	41
5.3. Obtenció dels plànols i consideracions prèvies	43

5.4. Planificació i esquema general de traçabilitat.....	45
5.5. Càlculs òptics.....	60
6. Plànols.....	63
7. Radioenllaç de seus municipals.....	71
7.1. Introducció.....	71
7.2. Identificació de les seus i dependències municipals.....	72
7.3. Normativa i comparació amb altres tecnologies.....	77
7.4. Elecció de l'antena i simulació del sistema.....	78
8. Conclusions.....	84
9. Glossari.....	86
10. Bibliografia.....	88
11. Annexos.....	92

Llista de figures

Figura 1: Diagrama de Gantt de planificació del treball	12
Figura 2: Fotòfon d'Alexander Graham Bell	14
Figura 3: Principi de funcionament d'una fibra òptica	16
Figura 4: Reflexió interna total i angle límit	16
Figura 5: Estructura d'una fibra òptica.....	17
Figura 6: Evolució de línies de banda ampla fixa per tecnologia	20
Figura 7: Quota de mercat de línies de banda ampla fixa (juliol 2019)	21
Figura 8: Tipus de topologies de xarxa	24
Figura 9: Arquitectures FTTx	25
Figura 10: Estructura de xarxa FTTH.....	27
Figura 11: Exemple d'splitter òptic a vuit sortides.....	27
Figura 12: Adaptador H/H per a connectors SC/APC.....	28
Figura 13: OLT Huawei MA5683T 48V 16 PON C+	29
Figura 14: ONT NuCom GP624GV	29
Figura 15: Roseta òptica de 2 ports	30
Figura 16: ROM de 120 ports de 3U	30
Figura 17: Caixa d'empalmament vertical	31
Figura 18: Caixa Terminal Òptica.....	31
Figura 19: Transmissió de paquets GPON a l'enllaç ascendent.....	34
Figura 20: Transmissió de paquets GPON a l'enllaç descendent.....	34
Figura 21: Longituds d'ona per a una xarxa GPON.....	35
Figura 22: Equació de càlcul d'atenuació total per a una xarxa de fibra òptica.....	36
Figura 23: Comparació de funcionament xarxa GPON/NGPON amb WDM-PON	39
Figura 24: Fotografia aèria del municipi d'Espinelves	40
Figura 25: Cartografia cadastral del municipi d'Espinelves	41
Figura 26: Fotografia aèria del Passeig Avellaneda.	44
Figura 27: Fotografia aèria del Carrer de les Escoles.	45
Figura 28: Fotografia aèria de l'Eix Transversal (C-25) i Espinelves	46
Figura 29: Fotografia aèria de la divisió lògica d'Espinelves	47
Figura 30: Zona de Fresnel.....	71
Figura 31: Identificació de l'Ajuntament i de la Pista Esportiva.....	73
Figura 32: Perfil d'elevació Ajuntament - Pista Esportiva	74
Figura 33: Fotografia des de la pista esportiva.....	74
Figura 34: La teulada de l'Ajuntament.....	75

Figura 35: Antena LBE-5AC-Gen2.....	78
Figura 36: Taula de potència transmissora i sensibilitat receptora	79
Figura 37: Equació del càlcul del valor P.I.R.E.....	79
Figura 38: Definició de les antenes - Radio Mobile	80
Figura 39: Patró de les antenes - Radio Mobile	81
Figura 40: Propietats de la xarxa - Radio Mobile.....	81
Figura 41: Gràfica de simulació Ajuntament - Pista Esportiva	82
Figura 42: Gràfica de simulació Pista Esportiva - Ajuntament.....	82

Índex de taules

Taula 1: Planificació del treball	12
Taula 2: Taula comparativa dels diferents medis de transmissió cablejats.....	19
Taula 3: Velocitats ascendent i descendent de les tecnologies APON i BPON	33
Taula 4: Rangs d'atenuació òptica de les diferents classes de l'estàndard GPON	36
Taula 5: Atenuacions del senyal òptic dels principals elements de la xarxa	36
Taula 6: Comparació de característiques GPON i 10GPON	38
Taula 7: Càlcul de potència òptica de cada caixa	61
Taula 8: Dades i característiques de l'Ajuntament.....	75
Taula 9: Dades i característiques del Pavelló municipal.....	76
Taula 10: Comparació entre l'estàndard 802.11 i l'estàndard 802.16	78

1. Introducció

1.1 Context i justificació del Treball

Al voltant de l'any 2000, Telefónica i el Ministeri de Foment van aprovar la tarifa plana d'Internet a Espanya, utilitzant la tecnologia ADSL. Dita tecnologia consisteix a donar accés a Internet fent ús del cablejat de parell trenat de coure que ja existia a les llars.

La seva implementació va servir per expandir Internet i, tot i que va suposar una evolució en la comunicació i en la societat, avui dia comporta moltes limitacions i que es poden solucionar amb altres medis de transmissió. Hi ha molts aspectes que dificulten el seu rendiment, com la distància de la central fins a la casa de l'usuari, la baixa qualitat del cable o les interferències electromagnètiques.

Per aquesta raó, es proposa realitzar un desplegament FTTH a través de GPON al municipi d'Espinelves, per tal d'abolir la ja obsoleta tecnologia ADSL i donar un millor servei als usuaris. Sens dubte, les xarxes de fibra òptica representen un punt d'inflexió en el desenvolupament i la implementació de les telecomunicacions, ja que les altes taxes de transmissió han permès augmentar la capacitat de les xarxes i dels serveis que es poden prestar davant de les exigències de la població.

1.2 Objectius del Treball

En aquest treball es realitzarà el disseny i desplegament d'una xarxa de fibra òptica residencial a la localitat d'Espinelves, adoptant la posició d'un operador, per tal d'aportar alguns beneficis econòmics, tècnics i socials al municipi. Aquest projecte té com a objectius:

- Definició de l'estructura de la xarxa.
- Dimensionat de la xarxa.
- Definir els elements que composaran la xarxa, ja sigui els equipaments com el cablejat.
- Disseny de la xarxa sense fils per a la interconnexió de les seus municipals.
- Donar un salt qualitatiu i equiparar el municipi amb les grans ciutats a nivell tecnològic.

1.3 Enfocament i mètode seguit

Com s'ha dit anteriorment, el municipi d'Espinelves no disposa de infraestructura de fibra òptica, per tant, és força habitual que hi hagi desconexions del servei d'ADSL degut al mal estat de les línies de coure que hi ha actualment, el poc manteniment d'aquestes i les limitacions que presenta el parell trenat de coure.

La intencionalitat del present document és fer-ne un estudi per a realitzar el desplegament de fibra òptica. Es començarà a fer una anàlisi de la situació geogràfica i del terreny del municipi per a veure si es pot aprofitar les canalitzacions ja existents per a dur a terme la xarxa d'alimentació a l'entrada del municipi. De fet, en cas que no hi hagi, pot suposar un gran obstacle degut al seu cost econòmic. Per això, i amb l'objectiu d'abaratir costos d'operació, instal·lació i manteniment, s'intentarà fer ús de la infraestructura ja existent de Telefónica. Aquesta infraestructura està regulada per a la Comissió Nacional del Mercat de la Competència [1], la qual permet el seu ús per part de tercers.

Posteriorment s'elaborarà el projecte amb la intenció de definir el mètode i les fases per a realitzar el desplegament de forma correcta. S'analitzarà la normativa actual, tècniques de desplegament, càlculs òptics, plànols, etc.

Finalment, es definirà els materials i dispositius necessaris per a situar-los sobre el plànol per al funcionament de la xarxa GPON. Aquest apartat també servirà per a detallar l'equipament i la ubicació de les antenes per a la interconnexió de les dependències municipals a través de la tecnologia Wifi.

1.4 Planificació del Treball

A la següent taula es presenta la planificació del Treball Final de Grau tenint en compte les dates de lliurament de les PACS:

Inici	Entrega	Dies	Hores	Activitat	Descripció
20/09/19	30/09/19	11	33	PAC1	Pla de treball
01/10/19	14/10/19	14	42	PAC2	Estudi de l'estat de l'art
15/10/19	15/12/19	62	186	PAC3	Anàlisi, disseny i resultats obtinguts
16/12/19	03/01/20	19	57	PAC4	Lliurament de la memòria final
04/01/20	14/01/20	11	33	PAC5	Presentació i defensa

Taula 1: Planificació del treball

La càrrega d'hores a invertir, per motius laborals, passa a ser de dilluns a divendres 3 hores al dia, i el diumenge 6 hores al dia.

A la següent figura queda definit el diagrama de Gantt, senyalant de color vermell els dies festius i s'han separat per colors cadascun dels lliuraments realitzats. El programa que s'ha fet servir per a realitzar la planificació temporal és *GanttProject*.

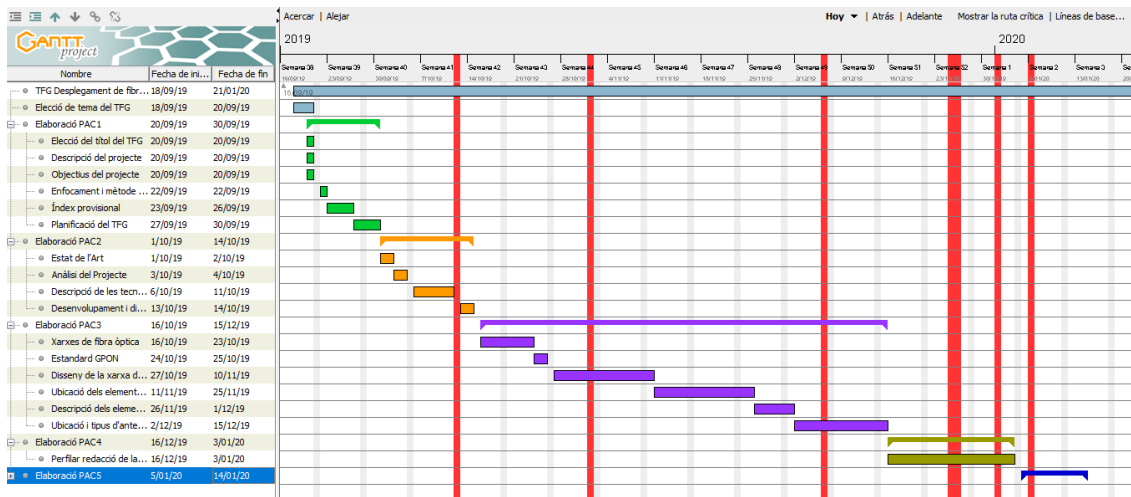


Figura 1: Diagrama de Gantt de planificació del treball

Nota: a l'annex I s'adjunta la imatge (en format DIN A4) de la totalitat de les tasques realitzades ja que no es pot apreciar.

1.5 Breu resumari de productes obtinguts

Com a resultat d'aquest treball s'obindrà la memòria del projecte, que recull i sintetitza tot el treball desenvolupat oferint una visió global de tota la feina realitzada per l'anàlisi i disseny de la xarxa de fibra òptica i la connexió sense fils de les seus.

Dins de la memòria també s'adjunta els plànols de disseny de la infraestructura de la xarxa de fibra òptica i la simulació amb l'aplicació Radio Mobile per a valorar-ne la viabilitat dels radioenllaços de totes les seus municipals.

1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria

A partir d'aquest primer capítol introductori al treball, segueixen els següents capítols:

- Capítol 2: es fa una introducció històrica molt breu de l'evolució d'aquest medi de transmissió cablejat fins a l'actualitat, on posteriorment es tracta de forma molt resumida els paràmetres i característiques de la fibra òptica. Finalment, es realitza un estudi de la situació actual de desplegament de la fibra òptica al nostre país, per a contextualitzar la situació i la tendència que s'està adoptant actualment.
- Capítol 3: en aquest capítol es detalla les diferents topologies, arquitectures i estructures de xarxa que se solen utilitzar en els desplegaments de fibra òptica. Posteriorment es defineixen els principals elements d'una xarxa de fibra òptica que serviran de base per a dissenyar-ne la infraestructura del projecte.
- Capítol 4: es detalla l'estàndard GPON que s'utilitzarà en el treball, fent-ne una comparació amb altres tecnologies per a justificar l'elecció d'aquest estàndard.
- Capítol 5: s'entra amb el disseny del projecte, fent-ne un estudi de l'escenari de desplegament i del compliment de la normativa vigent. També es detalla com s'ha obtingut els plànols del municipi, que serviran de base per a realitzar el disseny de la xarxa.
- Capítol 6: és el capítol destinat als plànols que s'han anat desenvolupant al llarg d'aquest projecte.
- Capítol 7: aquest és el capítol destinat completament a la interconnexió de les seus municipals a través de medis sense fils. Aquí s'identifiquen les seus, s'analitza la normativa vigent i es realitza la simulació per a valorar-ne la viabilitat del sistema.
- Resta de capítols: finalment s'arriba a les conclusions del treball, juntament amb el glossari de termes, bibliografia i annexos que s'han anat utilitzant al llarg d'aquest projecte.

2. Estat de l'art

Al voltant de l'any 1880 es troba la primera referència de transmissió d'informació mitjançant rajos de llum, quan Alexander Graham Bell va crear el fotòfon [2]. El seu funcionament consistia a rebotar un feix de llum solar cap a un mirall oscil·lant que vibrava en resposta de la veu de l'emissor. Llavors, el senyal modulat en forma de llum es transmetia a través de l'espai fins a arribar a un detector de seleni, que convertia el senyal lumínic en voltatge i així era enviat a un telèfon en forma d'àudio. El seu major problema era que el fotòfon estava condicionat per les condicions meteorològiques (no funcionava bé en dies nuvolosos).

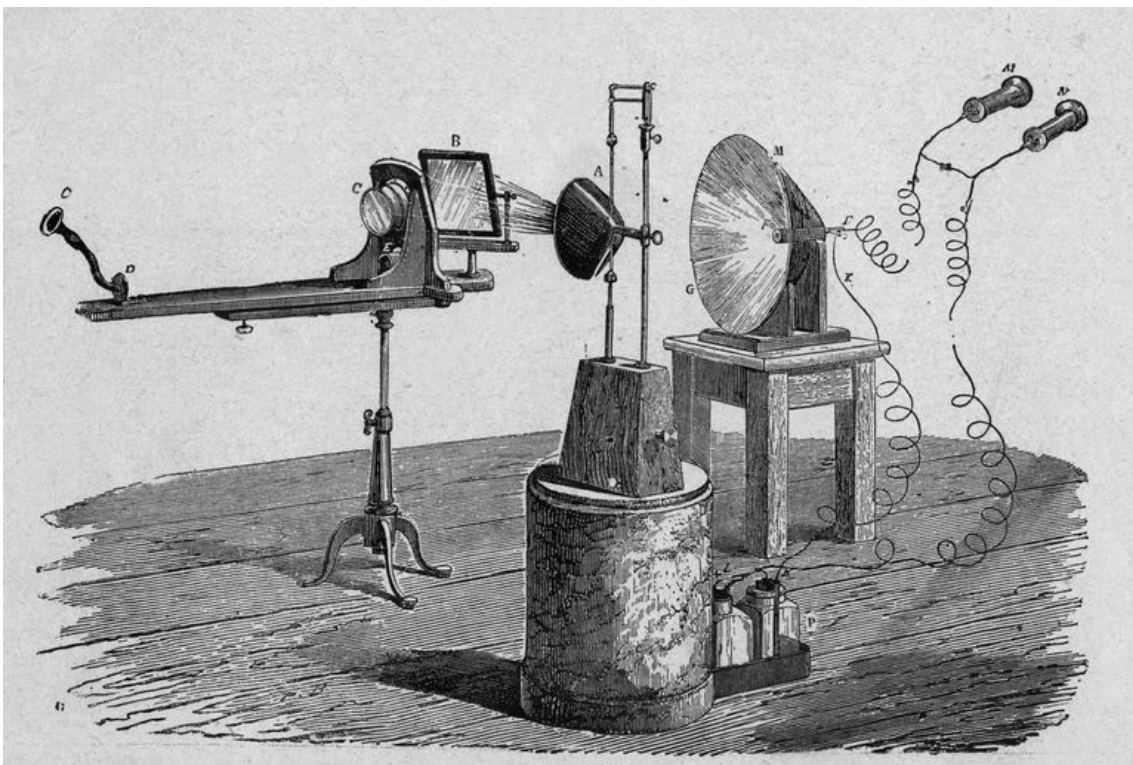


Figura 2: Fotòfon d'Alexander Graham Bell [3]

Més endavant, a la dècada dels 20, John Logie Baird (UK) i Clarence W. Hansell (US) van patentar la idea de fer servir un conjunt de barres transparents [4] (sense revestiment) per a transmetre imatges per televisió i facsímils respectivament. La primera transmissió simultània de so i vídeo es va retransmetre al 1930. Al juliol d'aquest mateix any, es va emetre la primera obra de televisió britànica, "The Man with the Flower in his Mouth". Malauradament, la qualitat del sistema era molt baixa (30 línies per imatge) i, en qüestió de sis anys més tard, la tecnologia de Marconi-Emi el va eclipsar amb 405 línies per imatge.

No va ser fins al 1951 quan Abraham C. S. Van Heel, Harold H. Hopkins i N. S. Kapany quan van cobrir una fibra de vidre amb un revestiment transparent. Aquest revestiment tenia un índex de refracció més baix que la pròpia fibra, fent que el llum es quedés confinat dins d'aquesta, creant així el fibroscopi flexible [5] (encara molt utilitzat avui dia a la medicina). Més endavant, al 1960 es va crear el làser i va suposar un canvi de concepte a l'hora d'enviar informació degut al seu augment en potència òptica, rang de freqüència i capacitat per a transmetre un gran ample de banda.

A l'any 1970, l'empresa Corning Glass Works (Nova York) [6] va anunciar que els seus investigadors Robert D. Maurer, Donald Keck, Peter C. Schultz i Frank Zimar havien aconseguit una fibra òptica amb una atenuació de 17 dB/km. Uns anys més tard, van aconseguir reduir l'atenuació a només 4 dB/km. Va ser l'avenç més important de la història amb aquest medi de transmissió, ja que possibilitava comunicacions de llargues distàncies, i des de llavors fins a l'actualitat el seu creixement ha sigut exponencial. Actualment, l'atenuació de la fibra ha anat disminuint fins a prendre valors de 0.2 dB/km [7].

Des de la dècada dels 90, la creixent demanda de serveis de comunicacions intensifica la recerca d'una infraestructura capaç de satisfer als usuaris, i també per a oferir una garantia de futur per a no quedar-se obsoleta en poc temps. Degut a això, no només va sorgir la fibra òptica com a competidor de les xarxes de coure, sinó que també es presenta com a la solució definitiva a llarg termini, davant de qualsevol exigència d'un ample de banda amb un gran volum de transferència de dades, oferint tota mena de serveis (televisió per internet, vídeos a la carta, jocs *online*, entre d'altres).

Actualment s'està investigant nous mesuradors d'ona per a augmentar la tecnologia de detecció òptica i quàntica, millorant el rendiment dels sensors de la propera generació i la capacitat de transport d'informació de les xarxes de fibra òptica [8].

2.1. Paràmetres i característiques de la fibra òptica

Tot i que no és l'objectiu de fer un estudi profund i ampli de la fibra òptica en aquest projecte, es donarà algunes pinzellades sobre els paràmetres i característiques més importants a tenir en compte.

Tal i com es pot veure a la figura 3, una fibra òptica senzilla està formada per un nucli transparent envoltat per un revestiment d'índex de refracció inferior al del nucli. Si un feix de llum entra dins de la fibra per un dels seus extrems, tots els rajos de llum amb un angle superior a l'angle crític respecte a les parets de la fibra, patiran la reflexió interna total i, com que el seu angle no variarà, aniran rebotant per les parets de la fibra fins al final, fet que permet transmetre llum a grans distàncies sense gaires pèrdues de potència òptica [9].

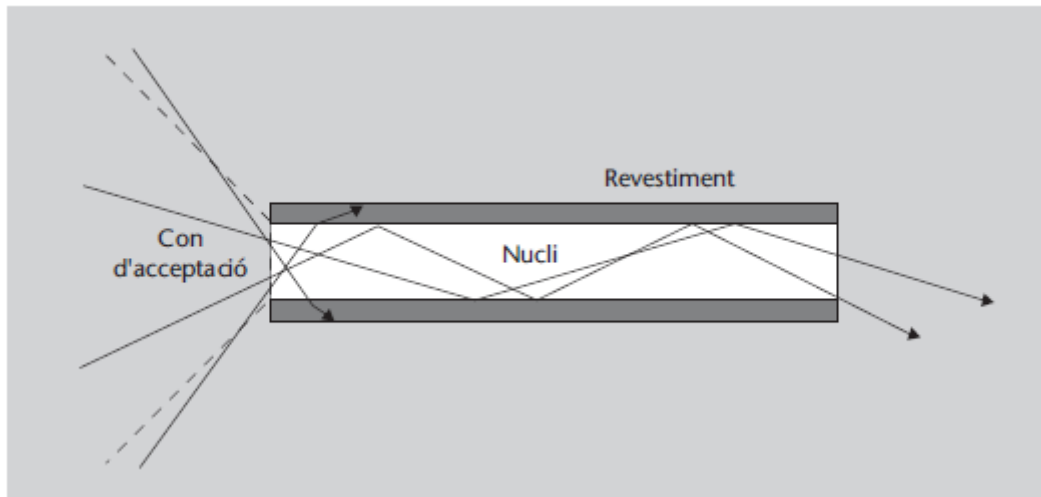


Figura 3: Principi de funcionament d'una fibra òptica [9]

Els rajos que es propaguin per la fibra en un angle inferior a l'angle crític es perdran per les parets de la fibra i no es transmetran més. El conjunt de rajos que sí es poden propagar per la fibra defineix el con d'acceptació. A la figura següent podem veure el que succeeix a l'interior d'una fibra òptica, quan el raig de llum que viatja a través del nucli incideix a la superfície de separació entre el nucli i el revestiment amb un angle inferior a l'angle crític (part de la potència es transmet cap al revestiment). Al contrari, si l'angle del raig incident és més gran que l'angle crític, llavors la llum queda confinada dins del nucli:

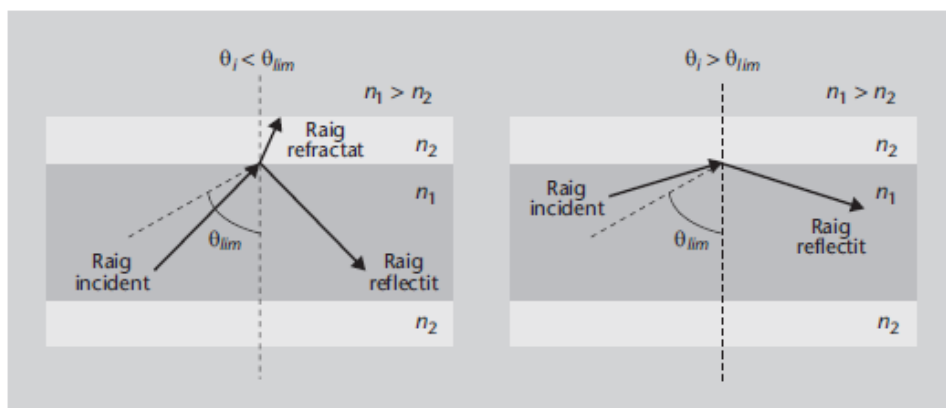


Figura 4: Reflexió interna total i angle límit [10]

A la següent figura es pot veure l'estructura detallada d'una fibra:

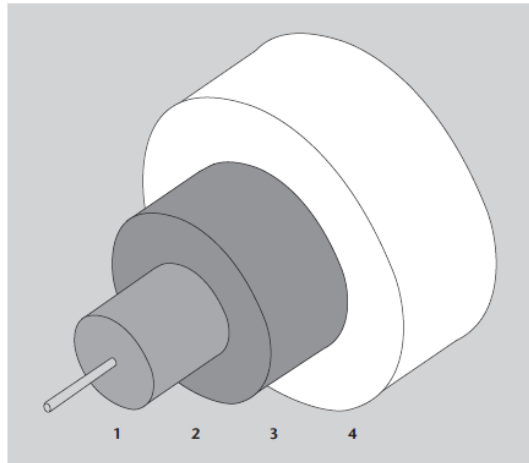


Figura 5: Estructura d'una fibra òptica [9]. 1. Nucli. 2. Revestiment. 3. Amortidor. 4. Camisa

Fins ara s'ha parlat de fibres genèricament, però el cert és que hi ha diversos tipus concrets de fibres, que bàsicament es poden agrupar en fibres multimode i fibres monomode:

- Multimode: presenten un nucli de diàmetre superior a $10\mu\text{m}$ i s'utilitzen només en connexions curtes, ja que a distàncies més llargues la dispersió es fa massa problemàtica ja que la seva atenuació típica oscil·la entre 0.3 i 1 dB/km. Permet guiar molts rajos per l'interior de la fibra, on cadascun segueix un camí diferent. Actualment, aquestes fibres poden transmetre informació de fins a 10 Gb/s i permet la utilització de dispositius amb un cost inferior.
- Monomode: presenten un nucli de diàmetre inferior a unes deu vegades la longitud d'ona de la llum que es propaga. Són fibres que presenten una dispersió molt menor i gran capacitat de transmissió, però tenen la dificultat de la instal·lació a causa del diminut diàmetre del nucli, que sempre ha de quedar ben alineat en qualsevol connexió ja que el seu con d'acceptació és bastant inferior que amb les fibres multimode. La seva atenuació típica oscil·la entre 0.1 i 0.4 dB/km.

2.2. Avantatges de la fibra òptica

La fibra òptica és el candidat perfecte com a mitjà de transmissió davant d'altres medis utilitzats actualment degut a la gran amplada de banda i la seva capacitat, per tant, anem a veure les principals avantatges que corroboren aquest fet:

- Gran capacitat de transmissió. Es poden arribar a velocitats superiors als 2Gbps, ja que la velocitat de transmissió augmenta amb la seva freqüència de transmissió.
- Permet distàncies més grans que altres tipus de cables, ja que l'atenuació augmenta més lentament degut a les baixes pèrdues que presenta.
- El seu pes és menor respecte a altres tipus de cables, degut a que és més prim i flexible, facilitant el seu desplegament.
- Presenta immunitat a interferències electromagnètiques i no es veu afectada per les radiacions. Tampoc posseeix risc de curtcircuit o elèctric, per tant, permet agrupar moltes fibres en un mateix cable.
- Presenta major resistència a ambients líquids i corrosius que els cables elèctrics, com també major suport a les temperatures mantenint així les seves característiques.
- Aporten molta seguretat en el trànsit de dades ja que és realment difícil intervenir una fibra i quasi impossible no ser detectat.

A la següent taula es detalla els diferents medis de transmissió cablejats per a comparar les seves prestacions tècniques:

	Parell trenat	Coaxial	Fibra òptica
Construcció	UTP: parell trenat sense apantallar. FTP: parell trenat amb apantallament global. STP: parell trenat apantallat amb apantallament global.	Conductor de coure amb vàries capes d'aïllament, una d'elles és una malla de coure.	Nucli transparent envoltat per un revestiment d'índex de refracció inferior al del nucli que fa rebotar el llum pel seu interior.
Velocitat	1 Gbps	Coaxial prim: 10 Mbps Coaxial gros: 1 Gbps	Multimode: 10 Gbps Monomode: 50 Gbps
Distància	100 metres	Entre 200 – 500 metres	Multimode: 2km Monomode: 100km
Immunitat	UTP i FTP: mitja STP: alta	Coaxial prim: alta Coaxial gros: molt alta	Total
Flexibilitat	UTP: molt alta FTP: alta STP: mitja	Coaxial prim: mitja Coaxial gros: baixa	Alta en tots els casos
Seguretat	Baixa en tots els casos	Mitja en tots els casos	Alta en tots els casos
Cost	Molt baix per UTP i FTP. Mig per STP	Coaxial prim: mig Coaxial gros: alta	Multimode: alta Monomode: molt alta

Taula 2: Taula comparativa dels diferents medis de transmissió cablejats

Com es pot veure són moltes les raons per a decantar-se per a aquest medi de transmissió dins de l'àmbit de les telecomunicacions. Òbviament també presenten inconvenients, com el cost d'instal·lació, preu de transmissors i receptors, dificultats tecnològiques, fenòmens associats a la transmissió del llum (com per exemple la dispersió), etc.

A continuació es veurà la situació actual que demostra com en els darrers anys s'ha incrementat la seva utilització.

2.3. Situació actual de desplegament

La fibra fins a la llar, de l'acrònim de l'anglès *Fiber To The Home* (FTTH), continua la seva escalada i en el darrer mes de juliol va assolir els 9.5 milions d'usuaris, segons es pot extreure a la darrera nota de premsa de la Comissió Nacional del Mercat de la Competència CNMC [11]. Si es compara respecte al juliol del 2018, destaca l'augment d'1.8 milions de línies FTTH davant la pèrdua d'1.2 milions de línies amb tecnologia DSL.

A la següent imatge es pot veure l'evolució de línies recollides aquest darrer any, on es desglossa la quantitat d'usuaris que naveguen a través d'Internet amb una tecnologia o una altra. Com es pot veure, el total de línies contractades amb fibra òptica augmenta i la resta de tecnologies van disminuint paulatinament, fet que demostra el perquè és tant important aquest medi de transmissió i perquè està en expansió al nostre territori:

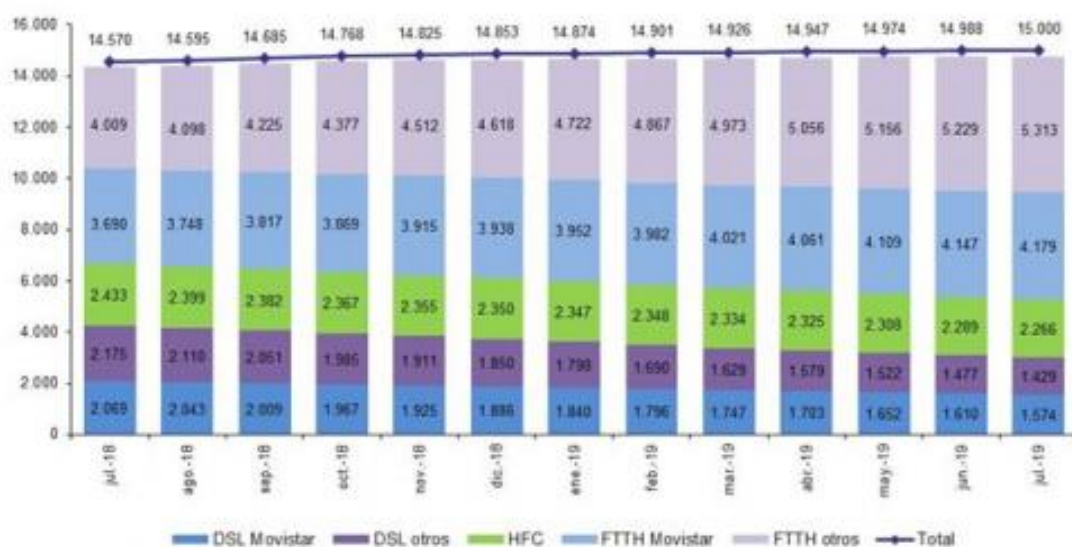


Figura 6: Evolució de línies de banda ampla fixa per tecnologia (milers) [11]

De fet, els tres principals operadors, Movistar, Orange (inclòs Jazztel) i Vodafone (inclòs Ono), aglutinen el 87.2% del total de les línies.

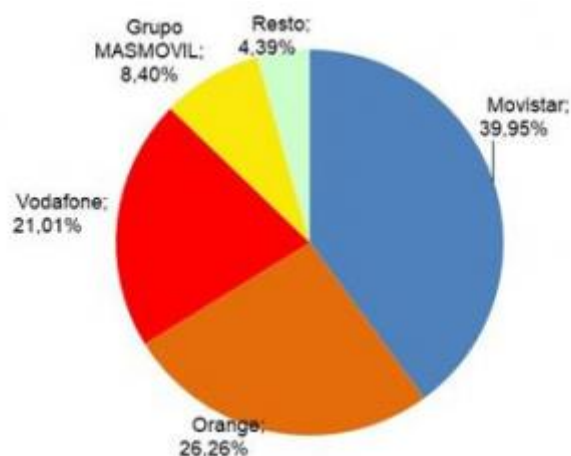


Figura 7: Quota de mercat de línies de banda ampla fixa (juliol 2019) [11]

També es pot extreure de la CNMC que la quota de mercat dels tres principals operadors (Movistar, Vodafone i Orange) van caure com a prestadors de serveis en banda ampla, donant un increment a operadores més petites [12]. Tot sembla indicar que aquestes operadores minoritàries estan guanyant terreny degut a que l'usuari se centra cada vegada més en buscar rapidesa i qualitat de les connexions, com el bon servei prestat [13].

Un altre motiu que afavoreix aquest increment d'operadores petites és el desplegament que estan realitzant a zones rurals, degut a que les principals operadores no volen prestar servei per a falta de rendibilitat (ni tan sols amb subvenció pública) com succeeix amb l'operadora MásMóvil. Altres operadores (com Adamo) sí que realitzen aquesta mena d'infraestructures a municipis rurals, tot sembla indicar que els afavoreix a l'hora d'oferir un servei per a un mercat lliure de competidors en fibra òptica [14] [15].

Al llarg d'aquesta memòria es desenvoluparà un projecte tècnic per al desplegament d'una xarxa de distribució de fibra òptica adoptant la posició d'un operador petit. El nostre tret diferenciador davant de la resta dels principals operadors serà pel servei prestat de cara als clients. Un bon atractiu a oferir (i que també es detallarà en aquest treball) serà en el disseny de la interconnexió sense fils de les dependències municipals amb només una quota de línia contractada.

Es poden trobar moltes referències de projectes tècnics, ja que aquests són de caràcter obligatori per a sol·licitar una llicència d'obres, en canvi, no s'ha trobat referències d'altres projectes tècnics que ofereixin la interconnexió de seus municipals amb el mètode que volem tractar en aquest treball.

3. Xarxes de fibra òptica

3.1. Topologies de xarxa

La topologia defineix el mapa físic que segueix la xarxa per a establir la comunicació entre els usuaris, és la forma en què els equips i nodes es connecten entre ells. Aquesta connexió es pot realitzar de dues maneres diferents: Punt a Punt (P2P) o Punt a Multipunt (P2MP).

3.1.1. Configuració punt a punt

S'utilitza un cable de fibra per cadascun dels usuaris de manera que aquests disposen de tot l'ample de banda sense necessitat de compartir-ho, és a dir, un enllaç directe entre la central i l'abonat. Això implica un cost elevat pel fet de tenir un enllaç independent per a cada usuari ja que el nombre de fibres necessàries augmenta amb el nombre de clients; per això només se sol utilitzar en entorns corporatius que necessiten un gran ample de banda o alts nivells de seguretat als seus serveis [16].

3.1.2. Configuració punt a multipunt

Per tal d'abaratir costos, el més habitual és utilitzar configuracions punt a multipunt en el desplegament d'una xarxa FTTH. A aquest tipus de configuració se li denomina PON (*Passive Optical Network* o xarxa òptica passiva) ja que es basa en la utilització de divisors òptics passius (*splitters*) que divideixen el senyal òptic d'una fibra d'entrada en diverses fibres de sortida, per tant, la quantitat de fibres necessàries és molt inferior en comparació amb la configuració punt a punt [17].

A més, depenent de les característiques de cadascuna i les necessitats de desplegament del servei que es pretén donar, les xarxes amb configuració punt a multipunt poden adoptar diferents topologies, sent les més comunes la d'estrella, arbre, bus i anell. A continuació s'entra en detall a les diferents topologies que es pot adoptar a una xarxa punt a multipunt.

3.1.2.1. Topologia en bus

Tot el conjunt de nodes que componen la xarxa estan connectats a un enllaç físic comú. No és una arquitectura costosa i sol ser bastant fiable ja que un node no depèn de la resta per a que la informació circuli. La seva senzillesa facilita la seva implementació i creixement. No obstant, presenta un límit de nodes dependent de la qualitat del senyal, a més, si hi ha una avaria física a l'enllaç comú sol afectar a tota la xarxa [16].

3.1.2.2. Topologia en estrella

Tot el conjunt de nodes s'uneixen només a una mateixa capçalera. La seva principal avantatge és la facilitat de gestió, la facilitat de detectar averies i la facilitat d'afegir-nous nodes (sempre i quan la capacitat de la capçalera ho permeti). No obstant, és una topologia fràgil ja que si falla el node o la capçalera tota la xarxa es veu afectada, a més que és més costosa ja que necessita més cablejat que altres topologies [16].

3.1.2.3. Topologia en anell

Aquesta topologia forma un bucle entre la capçalera i els nodes. Això genera un bucle continu on el senyal és enviat per un node i és vista per a tota la resta. No obstant, és difícil de diagnosticar i reparar els problemes que es poden ocasionar, un tall a l'anell afectaria a tota la xarxa. Per això, molts cops es recorre a un anell doble ja que proporciona redundància i permet continuar les comunicacions en cas que falli un enllaç [16].

3.1.2.4. Topologia en arbre

La principal característica és que la xarxa s'origina a la capçalera i, partir d'ella, es van creant diverses ramificacions. Presenta cablejat punt a punt per a segments individuals amb facilitat per a la resolució de problemes. Per altra banda, tota la xarxa depèn del segment principal, a més que cada ramificació depèn del bon funcionament del node superior del qual depenen [16].

Totes aquestes topologies bàsiques es poden combinar entre elles per a superar les limitacions que presenten de forma individual, millorant-ne la seva robustesa i/o fiabilitat.

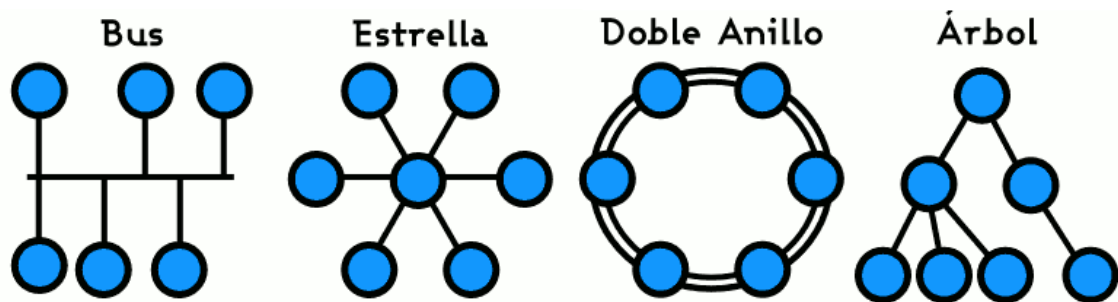


Figura 8: Tipus de topologies de xarxa [16]

3.2. Classificació de xarxes de fibra òptica

Per al desplegament de la fibra òptica es poden prendre diferents tecnologies, arquitectures i topologies segons l'abast i les característiques del servei que es vol oferir. Amb l'ús de la fibra òptica com a medi de transmissió existeixen diferents tipus d'arquitectures FTTx. Aquest concepte apareix amb l'objectiu de categoritzar les arquitectures de la xarxa en funció del grau d'apropament de la fibra òptica fins a l'usuari final.

3.2.1. FTTN (Fiber To The Node)

La *fibra fins al node* arriba dins al veïnat donant servei entre 500 i 1000 clients. Des de la central a l'edifici hi ha una distància entre 1,5 – 3 km. L'últim tram fins a l'usuari es realitza a través de cable coaxial o parell trenat de coure [18].

3.2.2. FTTC (Fiber To The Curb)

La *fibra fins a la vorera* arriba fins a una illa o àrea urbana d'extensió reduïda i finalitza a una plataforma a la que estaran connectats els usuaris a través de cable coaxial o parell trenat. La diferència respecte a l'FTTN és que la distància entre el node i l'usuari és menor. En canvi, la cobertura també és menor que en FTTN donant servei entre 200 i 500 clients [18].

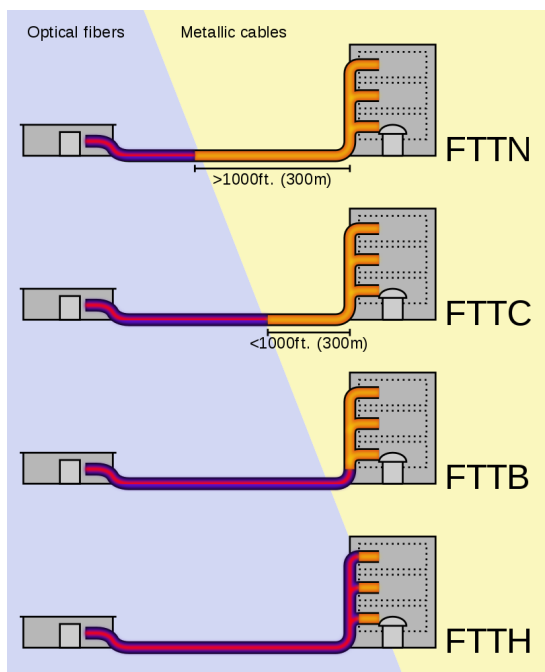
3.2.3. FTTB (Fiber To The Building)

La *fibra fins a l'edifici* arriba fins a l'interior de l'edifici on hi ha una terminació òptica per a tots els usuaris de l'edifici. Des d'aquesta terminació fins a la casa de cada client es realitza a través de cablejat de coure. Amb aquesta arquitectura es dona servei entre 35 i 50 clients [18].

3.2.4. FTTH (Fiber To The Home)

La fibra fins a la llar arriba fins a la casa de l'usuari final directament des del node de servei. La presència del cable de coure és pràcticament nul·la, per tant, permet oferir velocitats majors que en comparació a les arquitectures descrites anteriorment. De totes, és l'alternativa més cara ja que s'ha de cablejar fibra d'extrem a extrem, però també la més directa [18].

Dins d'aquesta família d'arquitectures FTTx és necessari diferenciar entre xarxes actives i passives. Les actives són les que contenen elements que necessiten alimentació, i les passives les que no necessiten alimentació. Per tant, es consideren xarxes actives les FTTN i FTTC i es consideren xarxes passives les FTTB i FTTH. El fet de ser una tecnologia passiva no necessita amplificador i fa ús de divisors passius per a optimitzar el desplegament. Per això, les xarxes FTTH són considerades com aquelles que millors prestacions permeten oferir a l'abonat en quan a serveis de banda ampla, així com les que posseeixen millors característiques per a la millora del servei en un futur.



Esquema que engloba les diferents arquitectures FTTx depenent de la distància entre la fibra òptica i l'usuari final.

L'edifici de l'esquerre és l'operador del servei i el de la dreta és l'edifici del client.

Figura 9: Arquitectures FTTx [18]

3.3. Parts d'una xarxa de fibra

Els diferents trams en què es divideix una xarxa FTTH són:

- Capçalera de xarxa (central): és la part de la xarxa encarregada d'agrupar i tractar els diferents serveis que es volen transmetre. Són els equips de l'operador que donen servei a tota la xarxa per a cobrir la demanda de trànsit i serveis, i es realitza les connexions de fibra necessàries a través de panells de connexions.
- Xarxa d'alimentació: és el tram de la xarxa d'accés comprès entre la capçalera i el primer nivell de divisió òptica (*splitter*) coneguts com a nodes primaris o nodes de distribució. Les caixes d'empalmament solen anar canalitzades a través de càmeres de registre o arquetes [19].
- Xarxa de distribució: és el tram de la xarxa d'accés comprès entre el primer nivell de divisió òptica i les caixes terminal òptica (CTO). Aquestes aniran dotades d'un segon nivell de divisió òptica on el nombre de sortides dependrà del nombre d'habitatges dins de cada edifici o agrupació d'edificis per a oferir el servei. Aquest tram de la xarxa pot ser canalitzada sota terra o bé aeri [19].
- Xarxa de dispersió: és l'últim tram de la xarxa entre la caixa terminal òptica (CTO) i la roseta òptica del client. Aquest tram sol variar en funció de la Infraestructura de Telecomunicacions (ICT) de l'edifici. Consisteix en la instal·lació vertical dins de l'edifici que facilita i apropa la xarxa de distribució fins a l'usuari final. Està formada generalment per la caixa terminal òptica (CTO) de l'edifici i caixes de derivació en planta. S'utilitza com enllaç entre la CTO de l'operador i el client [19].

A la següent figura es detalla l'estructura de xarxa FTTH:

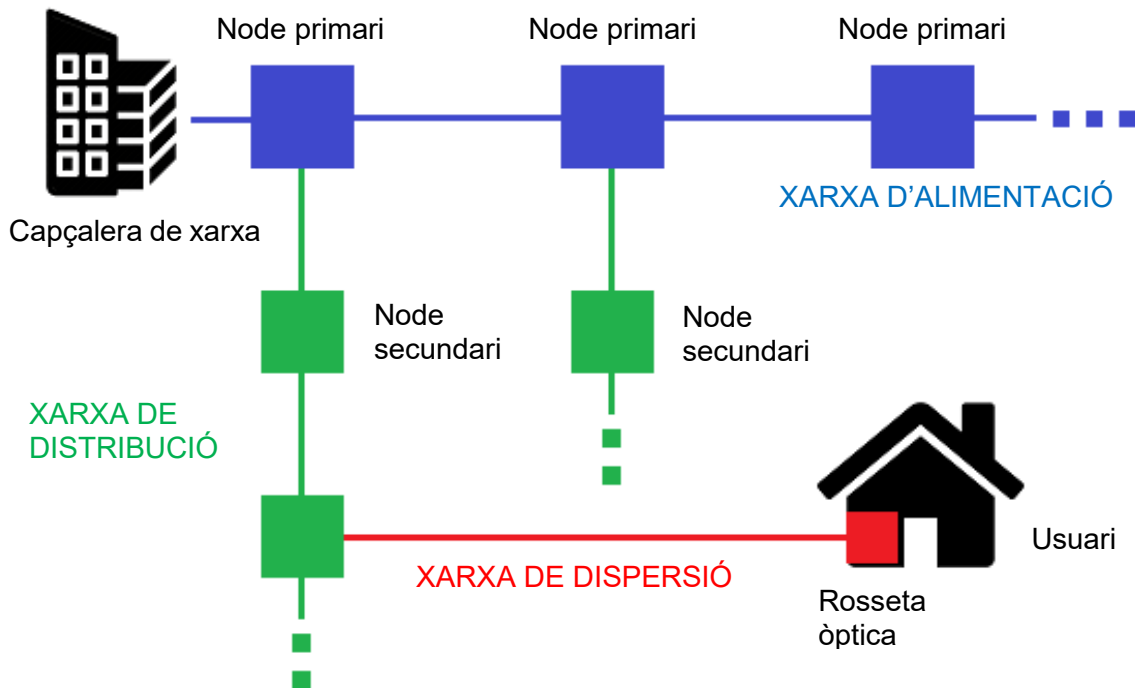


Figura 10: Estructura de xarxa FTTH. Font: elaboració pròpia

3.4. Elements principals d'una xarxa de fibra òptica

Divisors òptics (*Splitters*)

Un *splitter* bàsicament és un divisor de potència passiu que permet dividir el senyal òptic que arriba per una fibra en múltiples sortides d'una connexió punt a multipunt. Són bidireccionals, per tant, realitzen la seva funció tant a l'enllaç ascendent com descendent. Un avantatge a destacar és que al ser dispositius passius poden funcionar sense necessitat d'alimentació externa, abaratint el cost del desplegament. El seu principal desavantatge és que introdueixen pèrdues de potència òptica a través dels senyals que circulen a través d'ells.

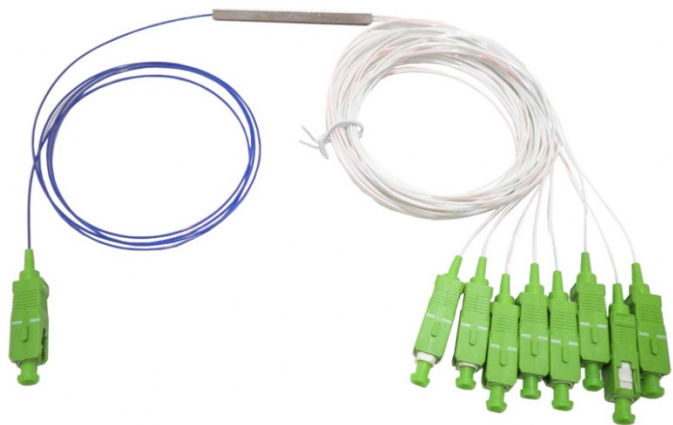


Figura 11: Exemple d'*splitter* òptic a vuit sortides [20]

Adaptador H/H

També coneguts com a afrontadors per a fibres monomode amb connectors SC/APC. Permet la unió de 2 cables SC/APC mascle per a integrar-lo en una caixa de fibra per a fer-ne les connexions i donar continuïtat de la senyal.



Figura 12: Adaptador H/H per a connectors SC/APC [20]

OLT (Optical Line Terminal)

Situat a la central de l'operador, és l'únic element actiu de la xarxa i és on comença el servei cap als usuaris. S'encarrega de gestionar el trànsit ascendent i descendent proporcionant servei a una gran quantitat d'usuaris. A més, realitza tasques de control de la xarxa per a evitar interferències entre els diferents serveis. La potència òptica emesa per la OLT no és la mateixa per a totes les ONTs sinó que varia en funció de la distància, fusions i divisions òptiques. Hi ha dos tipus principals d'OLT:

- OLT modulars: equips de gran tamany utilitzats per a grans desplegaments amb un nombre elevat d'abonats. Allotgen mòduls amb canals PON i P2P, a més de mòduls destinats a la gestió de la xarxa i a la connexió amb els equips d'agregació de serveis. En aquest cas presenta un nombre determinat de safates buides per a connectar mòduls addicionals en cas d'ampliació de la capçalera.
- OLT compactes: equips d'un tamany reduït que contenen un nombre més limitat de canals PON per a desplegaments on el nombre d'usuaris no és excessivament alt. Generalment no hi ha opció d'ampliació amb mòduls addicionals com el cas anterior.



Figura 13: OLT Huawei MA5683T 48V 16 PON C+ [20]

ONT (Optical Network Terminal)

És l'element situat a la casa de l'usuari que es connecta a la roseta òptica i que ofereix les interfícies per a diferents serveis. Consisteix en un convertidor òptico-elèctric que transforma el senyal de llum rebuda per la fibra òptica en senyal elèctric. Aquest equip s'encarrega de rebre i filtrar la informació procedent de l'OLT destinada a un usuari determinat. A més, també és l'encarregat d'encapsular la informació procedent d'un usuari i enviar-la en direcció a la OLT de capçalera, per a que aquest li redireccioni a la xarxa corresponent.



Figura 14: ONT NuCom GP624GV amb connector SC/APC, 4 ports de xarxa RJ45, 2 ports de telèfon RJ11 i antenes WiFi de 5dBi [20]

Roseta òptica

És el darrer element de la xarxa de fibra òptica i és on li arriba el cable de fibra al client final. Se situa a l'interior de la casa de l'usuari i és on connecta la ONT per a rebre servei.



Figura 15: Roseta òptica de 2 ports [20]

ODF (Optical Fiber Distribution)

També conegut com a ROM (Repartidor Òptic Modular). Es tracta de safates de connexió de 19" per a distribuir les fibres òptiques de la capçalera cap a l'exterior, facilitant-ne la centralització, interconnexió i derivacions dels cables. Generalment es troba junt a la OLT i permeten una ampliació escalada de la seva capacitat.



Figura 16: ROM de 120 ports de 3U [20]

Caixes d'empalmament

Són caixes on s'emmagatzema les fusions de les fibres dels diferents cables. Habitualment allotgen safates amb *splitters* per a protegir i mantenir les fusions per a fer-ne la distribució i, generalment es troben a arquetes o façanes al llarg de la xarxa de distribució o d'alimentació; per tant, solen ser estanques per a combatre les adversitats del clima i fenòmens meteorològics.

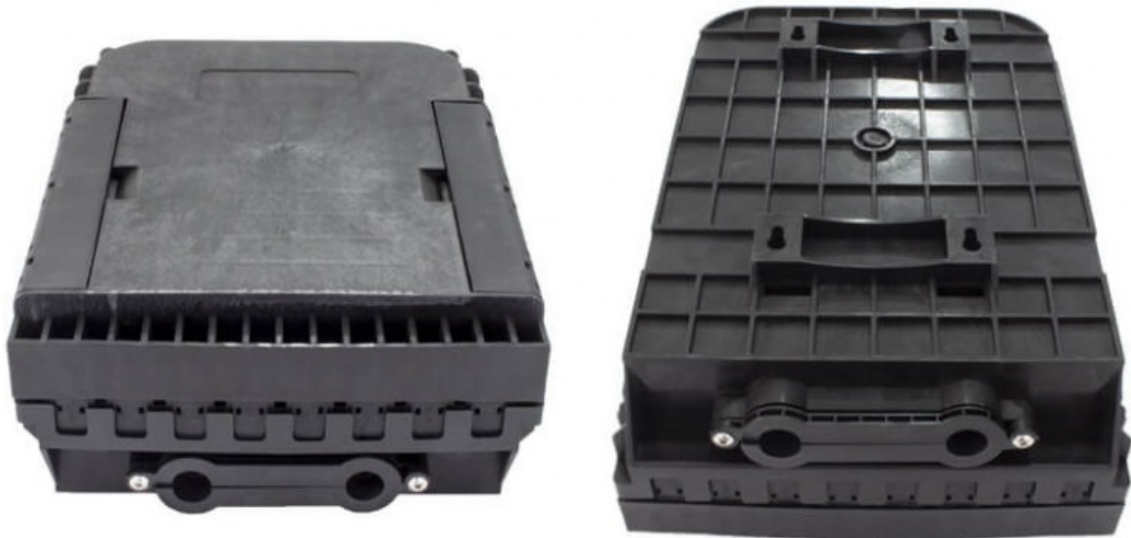


Figura 17: Caixa d'empalmament vertical amb 2 ports d'entrada i 16 ports de sortida [20]

Caixes terminals òptiques (CTO)

Són caixes molt similars a les anteriors i acostumen a presentar el darrer nivell de divisió òptica. Se solen instal·lar tot just a l'entrada dels edificis o en façanes en cas d'agrupar a varis residents. Aquestes caixes són l'últim element abans de la roseta òptica que dona servei a l'abonat i és on les fibres exteriors connecten amb l'interior de l'edifici per a arribar a les llars. S'acostuma a instal·lar en el Recinte Interior de Telecomunicacions (RITI) en cas que l'edifici estigui dotat amb ICT (Infraestructura Comú de Telecomunicacions).



Figura 18: Caixa Terminal Òptica (CTO) [20]

4. Estàndard GPON i comparació amb altres tecnologies

Des del principi del treball s'ha insistit en dissenyar i desplegar una xarxa de distribució de fibra òptica utilitzant la tecnologia GPON, però no s'ha concretat massa sobre aquest estàndard, tan sols s'ha donat alguna pinzellada a la secció 3.1.2. com a justificació del treball.

Per aquest motiu es dedicarà aquest apartat a tractar i detallar aquest estàndard en profunditat per tal de tenir una visió global d'aquesta tecnologia i d'altres de futur.

4.1. Estàndard PON

L'estàndard PON consisteix en la implementació d'una xarxa de fibra òptica amb elements passius, és a dir, no requereix d'alimentació externa al llarg de la seva distribució, tan sols als aparells de capçalera i als seus terminals. Els estàndards PON han sigut desenvolupats per la International Telecommunication Union (ITU-T) i tots ells han sigut recollits a les recomanacions G.983.x, G.984.x o G.987.x. Aquestes recomanacions són les següents:

- APON (ATM Passive Optical Network): recomanació G.983.1 [21]
- BPON (Broadband Passive Optical Network): recomanació G.983.2 [22]
- GPON (Gigabit Passive Optical Network): recomanació G.984 [23]
- NGPON (Next Generation Passive Optical Network): recomanació G.987 [24]

APON és el primer estàndard desenvolupat per a xarxes PON. Es caracteritza per utilitzar el protocol ATM com a portador i s'adequa a les diferents arquitectures d'accés que s'ha tractat a la secció 3.2. Els sistemes BPON es basen a l'estàndard anterior, però permeten donar suport a altres estàndards de banda ampla.

A la següent taula es mostra la relació de velocitats dels canals ascendents i descendents i la distància màxima entre l'operador i la ONT de l'usuari d'ambdós estàndards.

Tecnologia	Estàndard	Velocitat (Mbps)		Distància
		Baixada	Pujada	
APON	ITU-T G.983.1	155, 622	155, 622, 1244	20 km
BPON	ITU-T G.983.2	155, 622	155, 622, 1244	20 km

Taula 3: Velocitats ascendent i descendent de les tecnologies APON i BPON

4.2. Estàndard GPON

L'estàndard GPON resulta de la millora de les característiques de les xarxes amb tecnologia PON anteriors. L'augment d'ample de banda de transmissió i l'aportació d'una seguretat a la pròpia xarxa a nivell de protocol són només algunes de les millores que ofereix.

Aquest estàndard permet velocitats de transmissió de fins als 1.25Gbps en cas de connexió simètrica, i 2.5Gbps (en el canal descendent) i 1.25Gbps (en el canal ascendent) en el cas de connexió asimètrica [23].

La distància màxima lògica entre la ONT i la OLT (exceptuant el límit de la capa física) és de 60km. No obstant, tenint en compte el límit de la capa física, la seva distància màxima és de 10km per a altes velocitats (superior a 1.25 Gbps) i 20km per a la resta de casos [23].

Per a l'enllaç ascendent cada ONT transmet la seva informació cap a la OLT a una longitud d'ona de 1310nm a través de TDMA (Time Division Multiple Access) on arbitra i controla l'accés. La OLT assigna ranures de temps a cada ONT per a evitar col·lisions d'informació i distribuir l'ample de banda als usuaris. Com que l'*splitter* és un element passiu, és necessària la perfecta sincronització dels paquets que li arriben a la OLT per a que sigui capaç de formar la trama, ja que les trames TDMA són completament aleatòries i d'una longitud variable que depèn de les dades enviades per les diferents ONTs. Per aquest motiu és necessari que la OLT conegui la distància a la que es troben les ONTs, per a tenir en compte el temps d'arribada de cadascuna d'elles. A la següent imatge es mostra un esquema de com seria la transmissió de paquets en l'enllaç ascendent des de les ONTs fins a la OLT [25].

Datos de subida en GPON

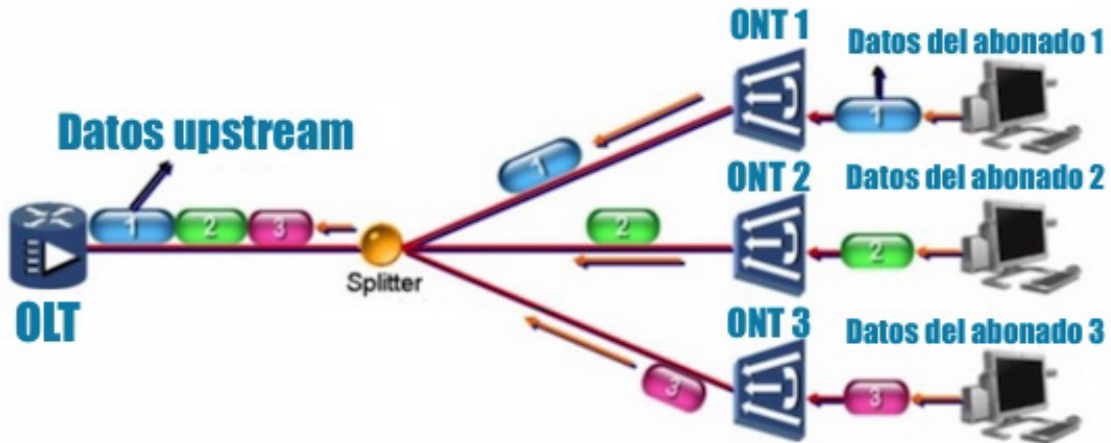


Figura 19: Transmissió de paquets GPON a l'enllaç ascendent [25]

Per a l'enllaç descendent, la OLT envia els senyals òptics en mode de difusió (broadcast) amb tecnologia TDM (Time Division Multiplexing) fins a les ONTs a una longitud d'ona de 1490nm. Cada ONT només processarà la trama que li correspon (i rebutjarà la resta de trames que anaven destinades a altres usuaris) gràcies a les tècniques de seguretat AES (Advanced Encryption Standard), per a pal·liar els problemes de seguretat d'altres estàndards PON anteriors degut a la transmissió d'informació de múltiples ONT a través de la mateixa fibra òptica [25].

Datos de bajada en GPON

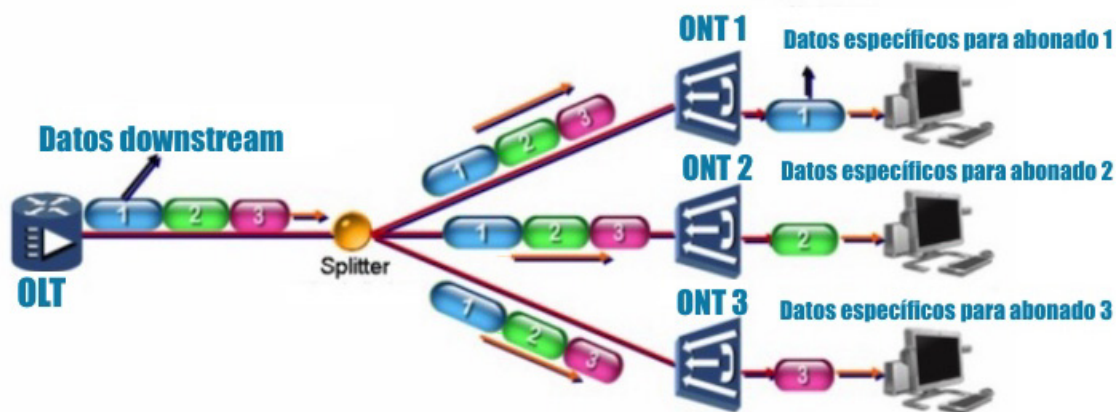


Figura 20: Transmissió de paquets GPON a l'enllaç descendent [25]

És important que la OLT pugui identificar a cadascú dels usuaris que té connectats a una mateixa fibra. La OLT ha de tenir registrats tots els números de sèrie d'ONT i a quin port pertanyen. Aquest número de sèrie està compost de 8 bytes (64 bits). Els 4 primers bytes identifiquen el fabricant i els darrers 4 bytes identifiquen a la ONT [23].

A més, a través de l'ús de WDM (Wavelength Division Multiplexing) s'assigna una tercera longitud d'ona de 1550nm dedicada al broadcast de vídeo RF. D'aquesta manera, el servei de vídeo pot ser ofert a través de dos mètodes diferents per part dels operadors: RF i IPTV, possibilitant-ne una migració gradual d'RF cap a IPTV. A la següent imatge es mostra una figura on es pot veure les diferents longituds d'ona en funció del servei ofert, tant pel canal de pujada com pel canal de baixada [26]:

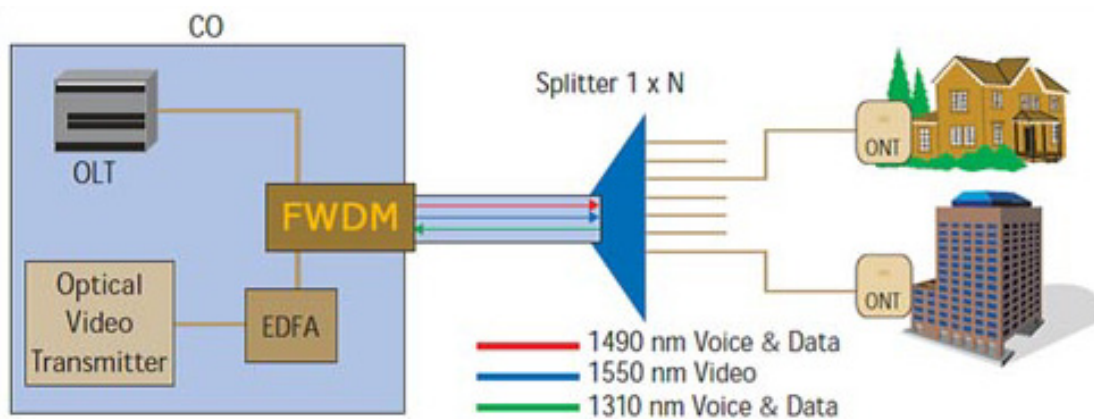


Figura 21: Captura de les diferents longituds d'ona per a una xarxa GPON [26]

Un dels protocols de major rellevància dins de l'estàndard GPON és l'OMCI (ONT Management and Control Interface). Aquest protocol permet la configuració remota dels equips de la xarxa, permet conèixer les estadístiques de rendiment de les ONTs o informar de forma automàtica els problemes o complicacions de la fibra. S'estableix un canal de gestió entre OLT i ONT per a cada terminal, tot i que una única OLT pot controlar múltiples ONTs [23].

Les xarxes GPON admeten una relació de 128 divisors per OLT, i l'estàndard defineix una divisió òptica teòrica de fins a 32, tot i que comercialment els nivells de divisió òptica habituals també contempnen 64 usuaris [23].

Un dels factors més importants a tenir en compte a l'hora de realitzar el disseny d'una xarxa de fibra GPON és l'atenuació total màxima que pot patir el senyal a través de la infraestructura de fibra des de l'OLT fins a la ONT per a mantenir el servei. Aquesta

atenuació vindrà donada per la potència màxima garantida per la OLT menys la potència mínima que és capaç de percebre la ONT. L'estàndard defineix diferents tipus de làsers i realitza una classificació segons el rang d'atenuació òptica (entenen "rang d'atenuació òptica" com la diferència entre la potència mitja de la OLT i la sensibilitat mínima a la ONT).

Classe	Rang d'atenuació òptica	Recomanació ITU-T
GPON Classe A	5 - 20 dB	G.984.2 [27]
GPON Classe B	10 - 25 dB	G.984.2 [27]
GPON Classe C	15 – 30 dB	G.984.2 [27]
GPON Classe B+	13 – 28 dB	G.984.2 Amendment 1 [27]
GPON Classe C+	17 – 32 dB	G.984.2 Amendment 2 [27]

Taula 4: Rangs d'atenuació òptica de les diferents classes de l'estàndard GPON

Els fabricants s'han decantat per la classe B+, per tant, l'atenuació màxima per a la que es pot garantir el servei serà, com a molt, d'uns 28 dB d'atenuació. Per a la classe B+ [27], les atenuacions dels elements principals de la xarxa són els següents:

Element	Atenuació
Divisió òptica 1:2	-3.01 dB
Divisió òptica 1:4	-6.02 dB
Divisió òptica 1:8	-9.03 dB
Divisió òptica 1:16	-12.04 dB
Divisió òptica 1:32	-15.04 dB
Divisió òptica 1:64	-18.07 dB
Fibra òptica 1310nm (Km)	-0.3 dB
Fibra òptica 1550nm (Km)	-0.4 dB
Empalmament per fusió	-0.1 ~ -0.2 dB
Empalmament mecànic	-0.5 dB
Pèrdues d'inserció (connector)	-0.3 ~ -0.5 dB
Marge de guarda	2 dB

Taula 5: Atenuacions del senyal òptic dels principals elements de la xarxa

Coneixent aquests valors, es podrà calcular l'atenuació total de cada tram del desplegament per garantir que no es sobrepassa el rang d'atenuació òptica:

$$\text{Atenuació total} = (\text{Atenuació splitter 1} + \text{Atenuació Splitter 2}) + (\text{Atenuació fibra/km} \cdot \text{Distància}) + (\text{Atenuació empalmament} \cdot n^{\circ}) + (\text{Atenuació connectors} \cdot n^{\circ})$$

Figura 22: Equació de càlcul d'atenuació total per a una xarxa de fibra òptica

4.3. Evolució a estàndards 10GPON

Al desembre del 2009 es va aprovar el protocol 10GPON (10Gbps Ethernet Passive Optical Network). Es tracta d'una millora del protocol GPON que permet velocitats de transmissió de fins a 10Gbps a l'enllaç descendent i 2.5Gbps o 10Gbps a l'enllaç ascendent.

Les principals organitzacions que han presentat estàndards a les xarxes de fibra òptica (ITU-T i IEEE) han estandarditzat també l'evolució dels seus respectius estàndards fins als 10Gbps. Per una banda, la ITU-T ha fet pública la recomanació G.897 [24], i per altra banda, l'IEEE ha presentat l'estàndard 802.3av [28]. La tecnologia 10GPON segueix la mateixa estructura i fonaments que els estàndards anteriors, sent completament compatibles, permet aprofitar la infraestructura i, per tant, una evolució tecnològica a un cost relativament baix. L'única diferència resideix en el repartiment de l'espectre òptic.

Algunes de les arquitectures de les xarxes òptiques existents permeten aconseguir la coexistència entre GPON i NGPON. Per aquesta raó, la banda de longituds d'ona utilitzades per NGPON és diferent a les de GPON, utilitzant una longitud d'ona entre 1260-1280nm per a l'enllaç ascendent i 1575-1580nm per a l'enllaç descendent.

Tot sembla indicar que aquest estàndard serà el següent pas, a curt termini, a les tecnologies PON. Tot i que encara no existeix cap desplegament comercial que utilitzi aquest tipus d'estàndard, algunes empreses han realitzat ja les primeres proves comercials i estan llestes per al desplegament d'aquesta nova tecnologia. A la següent taula es realitza una breu comparativa entre el servei que ofereix actualment GPON i el que previsiblement el substituirà en el futur, 10GPON.

Característiques	GPON	10GPON
Velocitat de transmissió	Baixada: 2.5Gbps Pujada: 1.25Gbps	Baixada: 10Gbps Pujada: 2.5Gbps
Longituds d'ona	Baixada: 1490nm Pujada: 1310nm RF: 1550nm	Baixada: 1575-1580nm Pujada: 1260-1280nm RF:1550nm
Nivell de divisió òptica	1:32 o 1:64	Igual o superior a 1:64
Distància màxima entre OLT i ONT	60km	Igual o superior a 60km
Màxima diferència entre ONTs	20km	40km

Taula 6: Comparació de característiques GPON i 10GPON

4.4. Estàndard WDM-PON

L'estàndard WDM-PON (Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network, també conegut com NGPON2) es troba definit a la recomanació ITU-T G.989.1 [29].

WDM-PON és més senzill que la resta de tecnologies PON ja que, encara que es conservi a nivell físic la mateixa infraestructura punt a multipunt, a nivell virtual a cada ONT se li assigna una longitud d'ona dedicada. Permet velocitats de transmissió de fins a 40Gbps a l'enllaç descendent i de 10Gbps a l'enllaç ascendent.

La distància màxima entre l'operador i l'usuari depèn de la velocitat que es vulgui obtenir. Per a una velocitat ascendent de 40Gbps i descendent de 10Gbps la distància màxima és de 20 km. No obstant, per a una velocitat ascendent de 10 Gbps la distància màxima augmenta fins als 40 km.

El nivell de divisió també depèn de la velocitat que es vulgui aconseguir i de la distància a la que es trobi l'usuari respecte l'operador. Per a una velocitat descendent de 40Gbps o ascendent de 10Gbps amb 20 km, la relació de divisió òptica és d'1:64. En canvi, per a una velocitat de 10Gbps amb 40 km, la relació és d'1:32.

Mentre que l'estàndard NGPON treballa sobre la xarxa òptica passiva de GPON i permet la coexistència entre tots dos estàndards sense fer canvis a l'arquitectura de la xarxa, WDM-PON necessita certs canvis. L'*splitter* utilitzat a GPON i NGPON es substitueix per un multiplexor/desmultiplexor de longituds d'ona o AWG (Arrayed Wavelength Grating). L'AWG és un component passiu que dirigeix cada longitud d'ona a la ONT corresponent amb unes pèrdues molt baixes (8dB davant dels 20dB del divisor

1:64). Mentre que l'*splitter* divideix el senyal entrant a un número determinat de senyals sortides, l'AWG dirigeix cada longitud d'ona d'entrada a una sortida determinada. Per tant, no és necessari transmetre les dades del canal descendent a través de difusió. Els usuaris que tenen una longitud d'ona dedicada (és a dir, un canal dedicat) no rebran la mateixa senyal.

Com ja s'ha comentat, l'arquitectura i el funcionament de l'estàndard GPON i NGPON és similar. No obstant, no ho és en el cas de l'estàndard WDM-PON. A la següent imatge es comparen dos escenaris: el primer correspon a una xarxa NGPON o GPON mentre que el segon correspon a una xarxa WDM-PON.

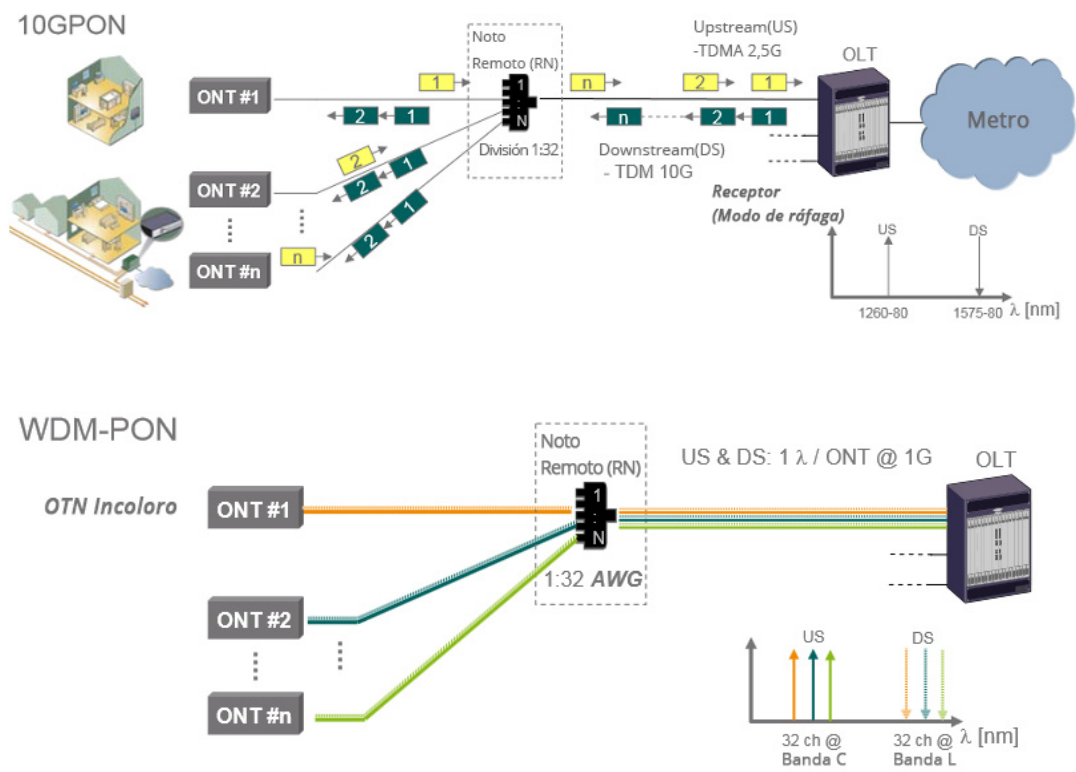


Figura 23: Comparació de funcionament xarxa GPON/NGPON amb WDM-PON [30]

5. Disseny de la xarxa de distribució

5.1. Escenari de desplegament. Situació geogràfica i estudi del terreny

Com s'ha comentat a l'inici d'aquest treball, la zona de desplegament de la xarxa de fibra òptica serà a Espinelves, un poble rural de 206 habitants i 17.43km² d'extensió [31] que es troba entre la comarca d'Osona i La Selva, dins de la demarcació de la província de Girona. El municipi es troba a plena muntanya, a la zona del Montseny-Guillerries a una altitud de 752m, situat a uns 84km de Barcelona, 21km de Vic i a peu de carretera de l'Eix Transversal direcció Vic-Girona. A la imatge que s'adjunta a continuació tracta de contextualitzar la ubicació geogràfica del municipi per a fer-ne una primera inspecció del perfil del terreny que serà objecte de la instal·lació.



Figura 24: Fotografia aèria del municipi d'Espinelves [32]

Nota: a l'annex II s'adjunta la imatge (en format DIN A4) de la fotografia per a millor apreciació de la imatge

Segons podem extreure del portal XIFRA de la Diputació de Girona [31] obtenim que el municipi conté 99 immobles, 86 dels quals constitueixen un habitatge, 11 constitueixen dos habitatges, 1 immoble de tres habitatges i 1 comunitat de veïns d'entre 10 a 19 habitatges (últim registre de dades: any 2011). D'aquesta manera, farem ús del servei WMS cadastral de l'Institut Geogràfic Nacional [33] a través de QGIS, ja que ens serà de força utilitat per a tenir una referència a l'hora de fer el disseny del projecte sobre plànol:

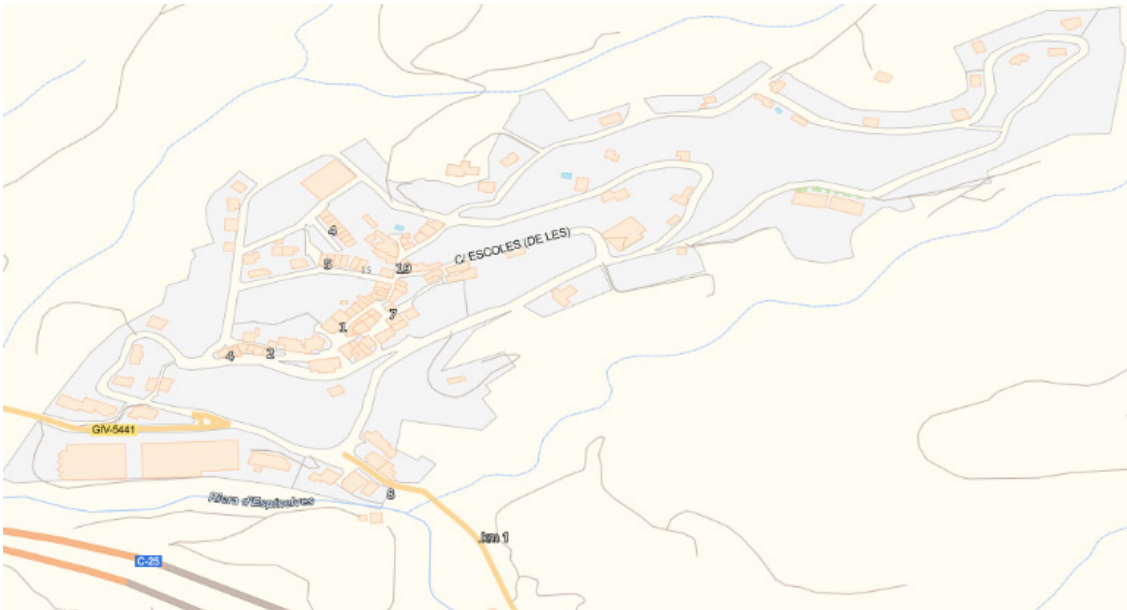


Figura 25: Cartografia cadastral del municipi d'Espinelves [33]

Nota: a l'annex III s'adjunta la imatge (en format DIN A4) de la cartografia per a millor apreciació de la imatge

5.2. Permisos d'instal·lació i normatives

Per a poder donar servei cal donar-se d'alta com a operador a la CNMC [1] ja que està prohibit instal·lar cablejat de telecomunicacions a la via pública sense autorització de l'òrgan pertinent i està considerat com infracció molt greu. En el cas que estem abordant en aquest treball caldrà donar-se d'alta a un dels serveis a prestar, en aquest cas com a "RED TERRESTRE – FIBRA OPTICA" per a rebre l'autorització i disposar dels títols que permeten l'explotació de les xarxes de telecomunicacions abans de l'inici de l'activitat. La inscripció a la CNMC no té cap cost, però sí una taxa anual d'1 per cada mil dels ingressos bruts d'explotació.

Un cop inscrits a la CNMC i complimentats tots els requisits, és l'actual Llei 9/2014, de 9 de maig General de Telecomunicacions (LGTel), la que indica els principals drets i obligacions dels operadors a l'hora de desplegar una xarxa. És important destacar-ne dos articles de dita llei, per exemple, a l'article 30 indica que "els titulars del domini públic garantirán a tots els operadors per igual a l'accés del propi domini públic en condicions neutrals, objectives, transparents, equitatives i no discriminatòries. En cap cas es pot establir preferència o dret exclusiu d'accés o d'ocupació al domini públic en benefici d'un operador determinat o d'una xarxa concreta".

També és de vital importància l'article 34 de dita Llei, on es manifesta que "no es pot establir restriccions absolutes o desproporcionades al dret d'ocupació del domini públic i privat als operadors ni imposar solucions tecnològiques concretes, itineraris o ubicacions concretes per a la instal·lació d'infraestructures de la xarxa de comunicacions. En cas que existeixi alguna impossibilitat per a dur a terme l'ocupació del domini públic s'haurà de justificar el motiu amb detalls d'alternatives necessàries per a garantir el dret d'ocupació dels operadors".

Amb aquests dos articles queda definit que el consistori no pot impossibilitar el desplegament de la instal·lació excepte en cas puntuals del disseny de la xarxa oferint-ne sempre una solució alternativa. D'aquesta manera, per a instal·lar xarxes públiques s'ha de presentar un pla de desplegament que reflecteixi la xarxa, equips a instal·lar i les ubicacions d'aquests, i serà aprovat per l'Ajuntament, on no pot ser discriminat donant-ne preferència a altres operadors. S'entendrà aprovat el pla de desplegament o instal·lació si, passat dos mesos des de la seva presentació, l'administració pública competent no ha dictat resolució expressa.

A l'hora de fer el desplegament de la xarxa és força habitual realitzar la instal·lació per canalització subterrània i, en els pitjors dels casos (degut a limitacions de la pròpia infraestructura del municipi) per canalització aèria. En aquest darrer cas, dita Llei contempla que no és necessari demanar autorització (article 29) a les comunitats de veïns, tan sols a les propietats unifamiliars, on habitualment es realitza el consentiment per autorització escrita. A l'**annex IV** s'adjunta un exemple d'autorització d'instal·lació de fibra òptica de l'operadora Orange i que és necessària quan s'hagi de realitzar canalització a través de les façanes dels edificis. Com s'ha pogut analitzar a l'apartat anterior, pràcticament tots els habitatges del municipi són cases unifamiliars, fent-ne quasi obligatori l'autorització escrita per part dels propietaris.

Per tant, per a poder realitzar el desplegament de la xarxa de fibra òptica, primerament cal donar-se d'alta com a operador a la CNMC, posteriorment presentar un pla de desplegament que reflecteixi la instal·lació i la ubicació dels elements a l'Ajuntament i, finalment, demanar autorització escrita a totes les edificacions unifamiliars en cas de realitzar canalització aèria o per façana.

5.3. Obtenció dels plànols i consideracions prèvies

El punt de partida per a començar amb el disseny de la infraestructura de la xarxa és l'obtenció dels plànols del municipi on reflecteixi totes les canalitzacions de telecomunicacions. És de vital importància obtenir aquests plànols ja que en cas de no disposar-ne, l'elaboració d'aquest projecte seria econòmicament inviable degut a falta de rendibilitat, en cas que s'hagués de contemplar l'obra civil dels carrers per a realitzar les canalitzacions subterrànies a un municipi amb tants pocs habitants. Per altra banda, amb la possessió d'aquests plànols es podria fer servir de base per a dissenyar la infraestructura amb la utilització de les canalitzacions ja existents. De fet, és una de les obligacions per part dels operadors i que queda contemplat a l'article 34 de la LGTel "la utilització de les canalitzacions subterrànies o a l'interior dels edificis que permetin el desplegament i explotació de les xarxes públiques. En cas que no existeixin dites canalitzacions o no sigui possible el seu ús per a raons tècniques o econòmiques, els operadors podran efectuar desplegaments aeris seguint els que existien prèviament".

Malauradament, només hi ha hagut una única manera per a obtenir els plànols d'Espinelves i és a través del portal Inkolan [34]. L'obtenció d'aquests plànols no és gratuïta i el preu d'aquests ve determinat per a l'extensió del terreny desitjat. Per sort, existeix un període gratuït d'un mes en cas que es demostrï que el sol·licitant sigui estudiant de projecte de final de grau, de tesis, o similar i permet descarregar una àrea màxima de 25 km² d'extensió. Per a realitzar el tràmit cal enviar a inkolan@inkolan.com una còpia del certificat de matriculació de l'estudiant i signar un compromís de confidencialitat (aquest compromís s'adjunta a l'**annex V** d'aquesta memòria).

A la descàrrega del plànol, Inkolan ofereix dos tipus de fitxers CAD de forma simultània. Per una banda, el plànol inicial (**plànol 1-1**) només amb una cartografia i la representació simplificada de totes les xarxes de canalitzacions publicades a la zona seleccionada i, per altra banda, el plànol complet (**plànol 1-2**) amb totes les cartografies i totes les xarxes de canalitzacions amb el màxim detall de característiques. A l'apartat de plànols queda adjuntada tots dos fitxers, tot i que durant el disseny de la xarxa d'aquest treball es farà ús només del plànol complet.

Per a donar veracitat als plànols s'ha realitzat una inspecció visual in-situ de tots els carrers del municipi, primerament per a veure la trajectòria dels cables existents en el cas de les canalitzacions aèries per a resseguir-los en aquest disseny que estem tractant i, també, per a comprovar-ne si el plànol està completament actualitzat. Cal destacar

que part del Passeig Avellaneda existeixen unes canalitzacions subterrànies i que aquestes no estan contemplades al plànol obtingut, és a dir, hi ha canalització subterrània amb sis arquetes (a més, part d'aquest carrer es troba tallat i no és transitable).

A la següent imatge queda reflectida aquesta peculiaritat:



Figura 26: Fotografia aèria del Passeig Avellaneda [33]. La **zona vermella** reflecteix la canalització subterrània i que no ha quedat contemplada al plànol d'Inkolan. La **zona negra** és part de carrer intransitable.

També s'ha trobat una altra peculiaritat al Carrer de les Escoles, on hi ha un pal i que al plànol no ha quedat constatat. Aquestes han sigut les úniques particularitats trobades a tot el municipi.

A la següent imatge queda reflectida la ubicació d'aquest pal.



Figura 27: Fotografia aèria del Carrer de les Escoles [33]. El punt vermell representa el pal existent i que no ha quedat contemplat al plànol.

5.4. Planificació i esquema general de traçabilitat

Com s'ha vist a apartats anteriors, Espinelves és un municipi amb poc més d'un centenar d'habitatges i això fa considerar seriosament com arribarà la fibra òptica al municipi. Una primera opció és instal·lar els equips de capçalera al propi municipi, però no cal anar gaire lluny per veure que l'adquisició de la OLT no surt rentable si només s'utilitza a Espinelves. És a dir, amb tan sols dos ports de la OLT amb una relació de divisió òptica d'1:64 (o un port de la OLT amb una relació 1:128) ja es cobreix completament el municipi, fins i tot considerant que el 100% de la població migrés a la fibra òptica.

Una segona opció que s'ha valorat per a fer el disseny és que la OLT es troba a una altra localitat propera a Espinelves i que aquesta capçalera ja es troba donant servei a altres municipis. Aquest serà l'escenari que es desenvoluparà a partir d'ara i es dissenyarà la infraestructura considerant aquesta situació, ja que com s'ha vist amb anterioritat, Espinelves es troba a peu de carretera de l'Eix Transversal (C-25) direcció Vic-Girona. Això és molt important, ja que la pròpia C-25 està dotada de fibra òptica i està gestionada per Xarxa Oberta de Catalunya (XOC) [35], una concessió de la Generalitat que proporciona infraestructura de fibra òptica per als operadors de Telecomunicacions, sent aquesta la via d'accés a Espinelves (no entrarem en detall sobre com donar-se d'alta a la XOC ni les seves condicions ja que van més enllà dels

objectius d'aquest treball). Per tant, la via d'entrada al municipi serà de forma aèria a través del Carrer Vic, tal com es pot veure a la següent imatge de forma orientativa:

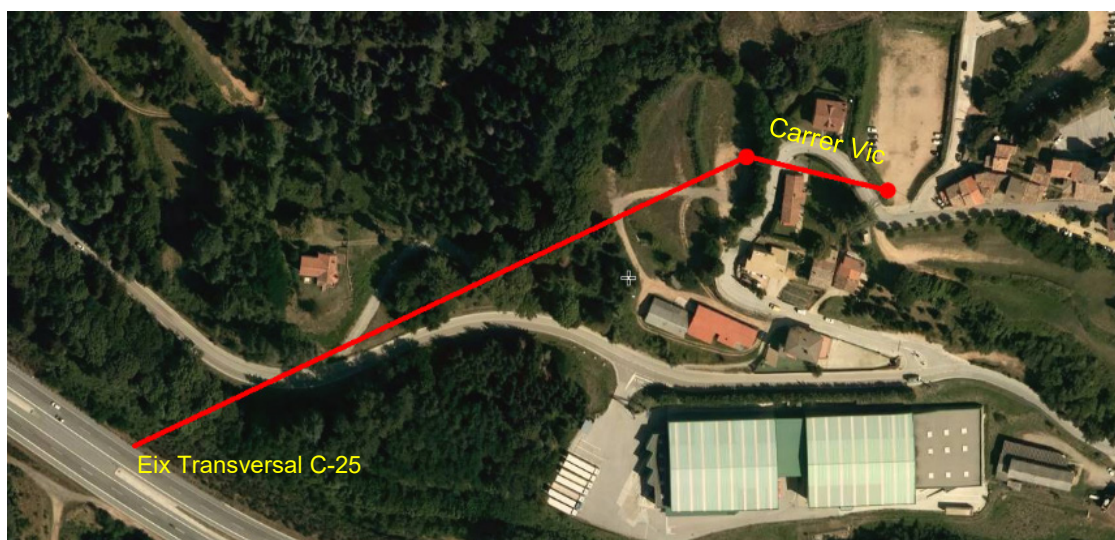


Figura 28: Fotografia aèria de l'Eix Transversal (C-25) i Espinelves [33]

Amb aquestes consideracions ja es pot començar amb el disseny de la infraestructura. Abans d'entrar de ple amb els plànols per a senyalar la ubicació dels elements de la xarxa i per on transcorreran els cables, començarem a esquematitzar de manera resumida el disseny de la xarxa.

Partirem que la OLT es troba a una altra localitat propera a Espinelves i que la OLT està configurada per a fer la divisió òptica a 1:128, per tant, tan sols s'utilitzarà un port PON de la capçalera. La primera divisió òptica es realitzarà a la pròpia capçalera de la xarxa, al repartidor òptic modular (ROM) amb una relació 1:16. Aquesta relació és important, ja que les vuit primeres fibres constituïran la primera mànega de fibra, i les vuit darreres fibres serà la segona mànega. D'aquesta manera, a Espinelves arribaran dos cables, amb vuit fibres cadascuna, on la primera quedarà situada a un pal de fusta del Carrer Vic (on s'instal·larà la primera caixa d'empalmament) i la segona es situarà a la façana d'una casa al Carrer de Sant Hilari (on s'instal·larà la segona caixa d'empalmament), dita casa ja presenta caixes de cablejat de coure propietat de Telefónica.

D'aquesta manera, es divideix el municipi en dos, on una mànega de fibra cobrirà la part oest i l'altra mànega cobrirà la part est. A la següent imatge es contempla aquesta divisió lògica:

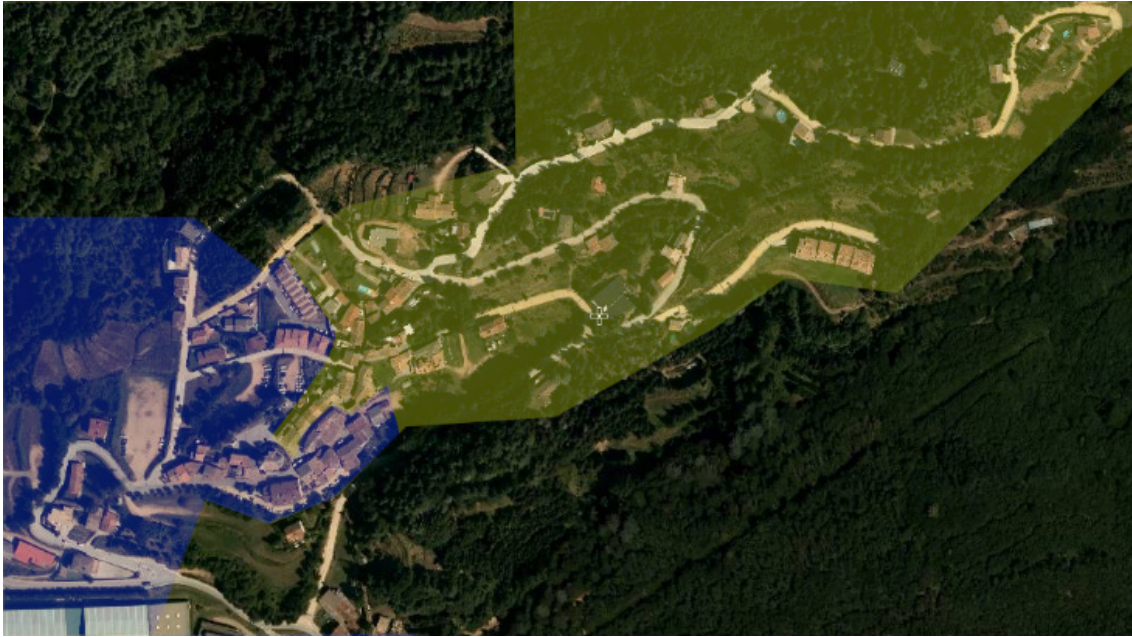


Figura 29: Fotografia aèria de la divisió lògica d'Espinelves. La **zona blava** representa l'extensió que cobrirà la **mànega 1** i la **zona groga** representa l'extensió que cobrirà la **mànega 2**. [33]

En el desplegament de la infraestructura és molt important tenir totes les caixes i cables etiquetats i tenir documentada aquesta informació per a la correcta localització i reparació en cas d'averia. Per tant, és necessari declarar una nomenclatura que ajudi a identificar i situar tots els elements. La nomenclatura varia en funció de com ho defineixi l'operador i no hi ha una forma estàndard, per tant, en el cas que estem tractant anomenarem els dos cables que entren a Espinelves com a mànega 1 i mànega 2 i les caixes d'empalmament seguiran la següent nomenclatura:

TORAAA|# - OPERADOR

TOR: torpedo

AAA: les tres primeres lletres del carrer on es troba la caixa

#: número de la mànega que li arriba

OPERADOR: nom de l'operador que gestionarà la xarxa

Per tant, la caixa d'empalmament situada al Carrer Vic s'anomenarà: TORVIC|1-OPERADOR i la caixa d'empalmament situada al Carrer de Sant Hilari s'anomenarà TORHIL|2-OPERADOR.

En el cas que la caixa sigui un CTO la nomenclatura serà:

CTOBBB# - X|Y:n

BBB: les tres primeres lletres del carrer on es troba la caixa

#: número de caixa per a diferenciar-la en cas que n'hi hagi varies a un mateix carrer

X: inicial del color de la fibra a utilitzar en cas de divisió òptica. Els colors seran Lila, Naranja, Verde, Amarillo, Gris, Marrón, Azul, Rojo.

Y: ubicació de la caixa. **P** en cas que es trobi a un pal, **F** en cas que es trobi a una façana, **M** en cas que es trobi a un pedestal, **S** en cas que estigui soterrada i **I** si es troba a l'interior d'una edificació.

n: nivell de divisió òptica. En cas que no hi hagi divisió òptica, es marcarà amb un 0

Ara és el torn de definir els cables de la xarxa de distribució. Els dos extrems dels cables aniran etiquetats i, en funció de si entren o surten de les caixes contindran una informació o una altra. Per exemple, en el cas que surti un cable de la caixa la nomenclatura serà:

OCCC-XXXXXXXX

O: Output

CCC: nom de la caixa a on anirà el cable amb la nomenclatura CTOBBB#

XXXXXXXX: inicials dels colors de fibra útils per a donar continuïtat la xarxa. Els colors seran Lila, Naranja, Verde, Amarillo, Gris, Marrón, Azul, Rojo.

I en el cas dels cables que entren a les caixes seguiran la següent estructura:

IDDD-XXXXXXXX

I: Input

DDD: nom de la caixa d'on rep el cable amb la nomenclatura CTOBBB#

XXXXXXXX: inicials dels colors de fibra útils per a donar continuïtat la xarxa. Els colors seran Lila, Naranja, Verde, Amarillo, Gris, Marrón, Azul, Rojo.

En el cas que hi hagi empalmaments de fibra per a donar continuïtat a la xarxa de distribució, es marcarà a la pròpia caixa una etiqueta amb la següent nomenclatura:

E-XXXXXXXX

E: Empalmament

XXXXXXXX: inicials dels colors de fibra a empalmar. Els colors seran Lila, Naranja, Verde, Amarillo, Gris, Marrón, Azul, Rojo.

Finalment, la nomenclatura que es farà servir a la xarxa de dispersió per a l'usuari final, ja sigui als dos extrems del cable com a la pròpia roseta serà:

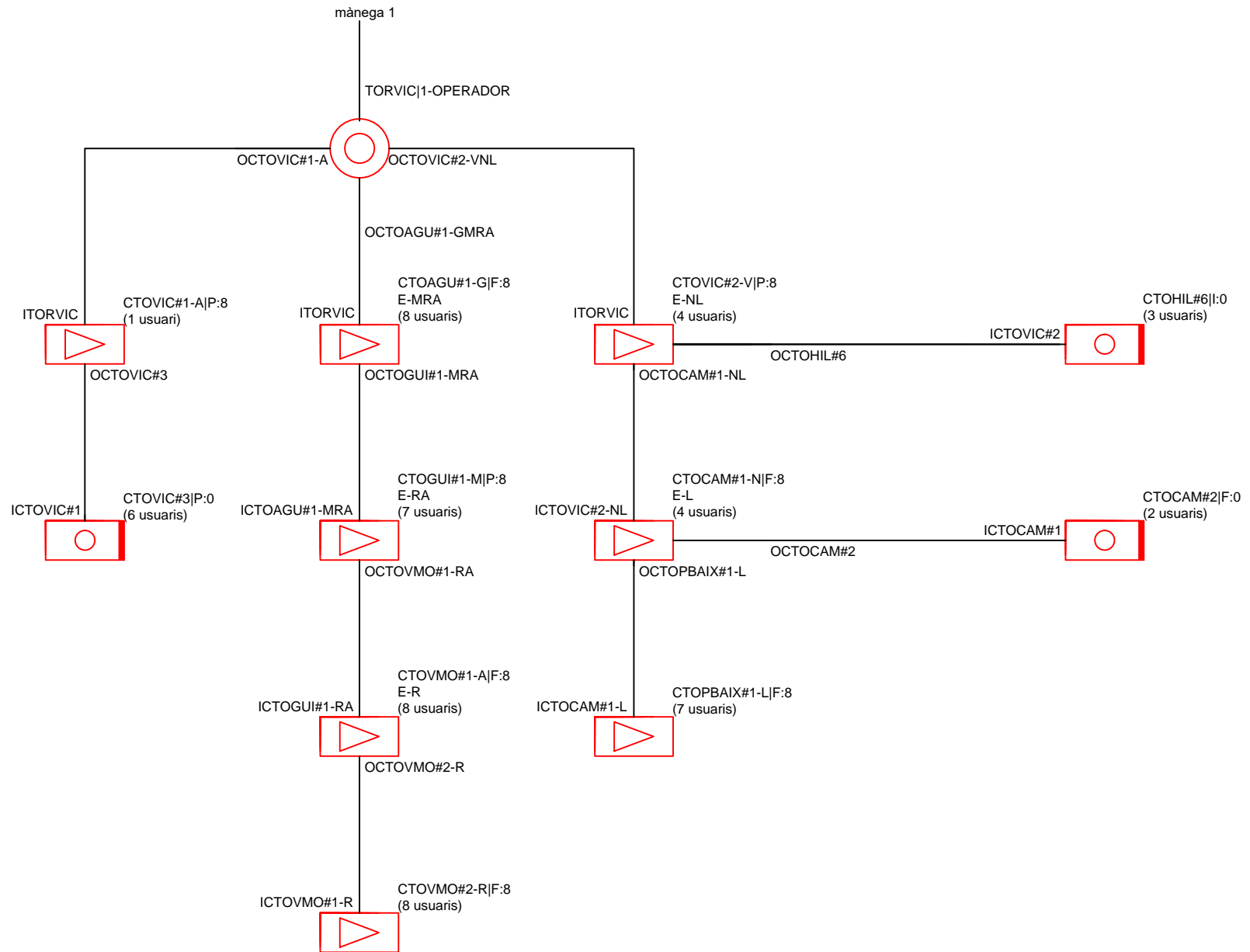
FFF-Z

FFF: nom de la caixa d'on rep el cable amb la nomenclatura CTOBBB#

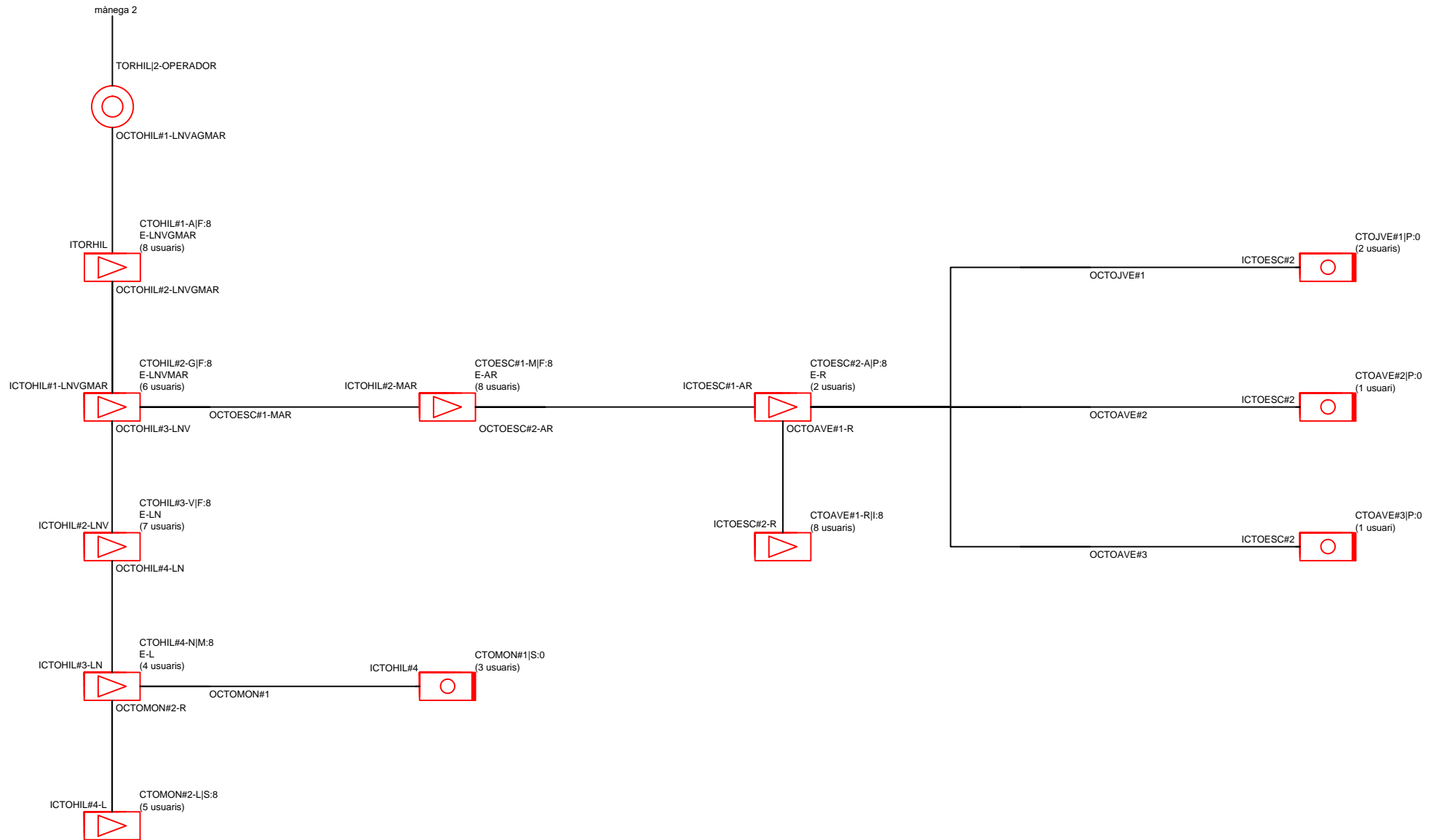
Z: Codi de client

En un principi pot resultar complicat utilitzar totes aquestes nomenclatures, per això s'ha dissenyat un esquema general de traçabilitat on queda contemplada tot el disseny de la xarxa amb la seva nomenclatura per a cada cable i caixa:


ESQUEMA GENERAL DE TRAÇABILITAT OEST





ESQUEMA GENERAL DE TRAÇABILITAT EST






D'aquesta manera, a continuació es recull totes les taules que identifiquen les caixes i la seva respectiva informació de la [zona oest](#) d'Espinelves.



Caixa	CTOVIC#1								
Ubicació de la caixa	Carrer Vic								
Pal	Si	Façana		Pedestal		Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	ITORVIC								
Color de fibra d'entrada									
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8		
Identificació cable sortida	OCTOVIC#3								
Colors de fibres de sortida	És indiferent. Va a una altra caixa de dispersió.								
Informació addicional	Es troba al descampat de sorra.								


Caixa	CTOVIC#2								
Ubicació de la caixa	Carrer Vic – Inici Carrer Sant Hilari								
Pal	Si	Façana		Pedestal		Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	ITORVIC								
Color de fibra d'entrada									
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8		
Identificació cable sortida	OCTOCAM#1, OCTOHIL#6								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional	Sortirà un cable de dispersió soterrat per a donar servei a una comunitat de tres veïns a OCTOHIL#6.								

Caixa	CTOVIC#3								
Ubicació de la caixa	Davant del Carrer Vic, 21-23								
Pal	Si	Façana		Pedestal		Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	ICTOVIC#1								
Color de fibra d'entrada	Qualsevol. És una caixa de dispersió sense continuïtat.								
Divisió òptica	No			Nivell de divisió òptica			0		
Identificació cable sortida	No en té								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional									



Caixa	CTOAGU#1							
Ubicació de la caixa	Carrer de les Agudes							
Pal		Façana	Si	Pedestal		Subterrani		Interior
Identificació cable d'entrada	ITORVIC							
Color de fibra d'entrada								
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8	
Identificació cable sortida	OCTOGUI#1							
Colors de fibres de sortida								
Informació addicional	Es troba a la façana d'un carreró, entre dues cases. Una part és a través de les façanes, fins que entra per un tub; allà comença la canalització subterrània.							

Caixa	CTOGUI#1							
Ubicació de la caixa	Passeig de les Guilleries, 13							
Pal	Si	Façana		Pedestal		Subterrani		Interior
Identificació cable d'entrada	ICTOAGU#1							
Color de fibra d'entrada								
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8	
Identificació cable sortida	OCTOVMO#1							
Colors de fibres de sortida								
Informació addicional								


Caixa	CTOVMO#1							
Ubicació de la caixa	Carrer Verge de Montserrat							
Pal		Façana	Si	Pedestal		Subterrani		Interior
Identificació cable d'entrada	ICTOGUI#1							
Color de fibra d'entrada								
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8	
Identificació cable sortida	OCTOVMO#2							
Colors de fibres de sortida								
Informació addicional	Es troba a l'inici del carrer.							

Caixa	CTOVMO#2							
Ubicació de la caixa	Carrer Verge de Montserrat							
Pal		Façana	Si	Pedestal		Subterrani		Interior
Identificació cable d'entrada	ICTOVMO#1							
Color de fibra d'entrada								
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8	
Identificació cable sortida	No en té.							
Colors de fibres de sortida								
Informació addicional	Es troba al final del carrer.							



Caixa	CTOHIL#6								
Ubicació de la caixa	Carrer Sant Hilari								
Pal		Façana		Pedestal		Subterrani		Interior	Si
Identificació cable d'entrada	ICTOVIC#2								
Color de fibra d'entrada	Qualsevol. És una caixa de dispersió sense continuïtat.								
Divisió òptica	No			Nivell de divisió òptica			0		
Identificació cable sortida	No en té								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional									



Caixa	CTOCAM#1							
Ubicació de la caixa	Carrer Cal Campaner							
Pal		Façana	Si	Pedestal		Subterrani		Interior
Identificació cable d'entrada	ICTOVIC#2							
Color de fibra d'entrada								
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8	
Identificació cable sortida	OCTOCAM#2				OCTOPBAIX#1			
Colors de fibres de sortida	No en té.							
Informació addicional	Es troba a la façana de l'Ajuntament, a la part de les escales del Carrer Cal Campaner.							



Caixa	CTOCAM#2								
Ubicació de la caixa	Carrer Cal Campaner								
Pal	Si	Façana		Pedestal		Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	ICTOCAM#1								
Color de fibra d'entrada	Qualsevol. És una caixa de dispersió sense continuïtat								
Divisió òptica	No			Nivell de divisió òptica	0				
Identificació cable sortida	No en té.								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional	A la façana de l'edifici, al costat del parc.								



Caixa	CTOPBAIX#1								
Ubicació de la caixa	Plaça de Baix								
Pal		Façana	Sí	Pedestal		Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	ICTOCAM#1								
Color de fibra d'entrada									
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica	1:8				
Identificació cable sortida	No en té.								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional									

A continuació es recull totes les taules que identifiquen les caixes i la seva respectiva informació de la **zona est** d'Espinelves.


Caixa	CTOHIL#1								
Ubicació de la caixa	Carrer Sant Hilari, 13								
Pal		Façana	Si	Pedestal		Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	ITORHIL								
Color de fibra d'entrada									
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8		
Identificació cable sortida	OCTOHIL#2								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional									



Caixa	CTOHIL#2								
Ubicació de la caixa	Carrer Sant Hilari								
Pal		Façana	Si	Pedestal		Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	ICTOHIL#1								
Color de fibra d'entrada									
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8		
Identificació cable sortida	OCTOHIL#3					OCTOESC#1			
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional	Davant Carrer de les Escoles								



Caixa	CTOHIL#3								
Ubicació de la caixa	Cruïlla Carrer Sant Hilari amb Carrer Verge de Montserrat								
Pal		Façana	Si	Pedestal		Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	OCTOHIL#2								
Color de fibra d'entrada									
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8		
Identificació cable sortida	OCTOHIL#4								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional	Una part és a través de les façanes, fins que entra per un tub; allà comença la canalització subterrània.								

Caixa	CTOHIL#4								
Ubicació de la caixa	Carrer Sant Hilari								
Pal		Façana		Pedestal	Si	Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	ICTOHIL#3								
Color de fibra d'entrada									
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica		1:8			
Identificació cable sortida	OCTOMON#1				OCTOMON#2				
Colors de fibres de sortida	No en té								
Informació addicional									


Caixa	CTOMON#1								
Ubicació de la caixa	Carrer Montseny								
Pal		Façana		Pedestal		Subterrani	Si	Interior	
Identificació cable d'entrada	ICTOHIL#4								
Color de fibra d'entrada	No en té								
Divisió òptica	No			Nivell de divisió òptica		0			
Identificació cable sortida	No en té								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional	Es troba dins d'una arqueta tipus H, davant de la caseta de Movistar.								

Caixa	CTOMON#2								
Ubicació de la caixa	Carrer Montseny								
Pal		Façana		Pedestal		Subterrani	Si	Interior	
Identificació cable d'entrada	ICTOHIL#4								
Color de fibra d'entrada									
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica		1:8			
Identificació cable sortida	No en té								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional	Es troba dins d'una arqueta tipus H, a l'inici de la part intransitable del C/Montseny (veure figura 25).								

Caixa	CTOESC#1							
Ubicació de la caixa	Carrer de les Escoles, 6							
Pal		Façana	Si	Pedestal		Subterrani		Interior
Identificació cable d'entrada	ICTOHIL#2							
Color de fibra d'entrada								
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8	
Identificació cable sortida	OCTOESC#2							
Colors de fibres de sortida								
Informació addicional								

Caixa	CTOESC#2							
Ubicació de la caixa	Carrer de les Escoles							
Pal	Si	Façana		Pedestal		Subterrani		Interior
Identificació cable d'entrada	ICTOESC#1							
Color de fibra d'entrada								
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica			1:8	
Identificació cable sortida	OCTOAVE#1				OCTOAVE#2 OCTOAVE#3 OCTOJVE#1			
Colors de fibres de sortida					No en té			
Informació addicional	Es troba a prop de la sala polivalent							

Caixa	CTOJVE#1							
Ubicació de la caixa	Carrer Jacint Verdaguer, 17							
Pal	Si	Façana		Pedestal		Subterrani		Interior
Identificació cable d'entrada	ICTOESC#2							
Color de fibra d'entrada	Qualsevol. És una caixa de dispersió sense continuïtat							
Divisió òptica	No			Nivell de divisió òptica			0	
Identificació cable sortida	No en té							
Colors de fibres de sortida								
Informació addicional								

Caixa	CTOAVE#1								
Ubicació de la caixa	Passeig Avellaneda								
Pal		Façana		Pedestal		Subterrani		Interior	Si
Identificació cable d'entrada	ICTOESC#2								
Color de fibra d'entrada									
Divisió òptica	Si			Nivell de divisió òptica		1:8			
Identificació cable sortida	No en té								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional	Veure figura 25								

Caixa	CTOAVE#2								
Ubicació de la caixa	Passeig Avellaneda								
Pal	Si	Façana		Pedestal		Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	ICTOESC#2								
Color de fibra d'entrada	Qualsevol. És una caixa de dispersió sense continuïtat								
Divisió òptica	No			Nivell de divisió òptica		0			
Identificació cable sortida	No en té								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional									

Caixa	CTOAVE#3								
Ubicació de la caixa	Passeig Avellaneda								
Pal	Si	Façana		Pedestal		Subterrani		Interior	
Identificació cable d'entrada	ICTOESC#2								
Color de fibra d'entrada	Qualsevol. És una caixa de dispersió sense continuïtat								
Divisió òptica	No			Nivell de divisió òptica		0			
Identificació cable sortida	No en té								
Colors de fibres de sortida									
Informació addicional									

5.5. Càlculs òptics

Un cop dissenyada la xarxa de distribució fent ús de les canalitzacions subterrànies i dels pals de fusta que es troben al municipi resseguint els cables existents de core de Telefónica, és el moment de realitzar els càlculs teòrics de recepció del sistema a cada caixa de terminació òptica (CTO). No s'entrarà en detall del nivell de recepció de cada casa, ja que la variació és baixa degut al nivell d'apropament de cada caixa amb l'usuari final.

D'aquesta manera és farà ús de l'expressió de la figura 22 que es torna a plasmar a continuació per a facilitar-ne la lectura d'aquesta memòria:

$$\text{Atenuació total} = (\text{Atenuació splitter 1} + \text{Atenuació Splitter 2}) + (\text{Atenuació fibra/km} \cdot \text{Distància}) + (\text{Atenuació empalmament} \cdot n^{\circ}) + (\text{Atenuació connectors} \cdot n^{\circ})$$

Com s'ha comentat a l'apartat anterior, la primera divisió òptica es realitza a la pròpia capçalera de la xarxa, al repartidor òptic modular (ROM) amb una relació 1:16. Fent-ne ús de la taula 5 es pot veure que l'atenuació del primer *splitter* és de 12.04dB i que va augmentant amb una relació de 0.3dB/Km pel cable de fibra fins a arribar a les seves respectives caixes d'empalmaments. Cada empalmament es farà per fusió, on la seva atenuació pot arribar fins a 0.2dB i, arrel d'aquesta fusió, ja es realitza la xarxa de distribució fins a cada caixa (CTO). Cal recordar que cada caixa amb *splitter* es realitza amb una relació d'1:8 aportant una atenuació de 9.03dB. Per al cas de les caixes sense *splitter* l'empalmament de les fibres d'aquestes caixes és farà per fusió directa, sense connectors intermedis, evitant-ne així una inserció de pèrdua de 0.5dB per connector.

L'obstacle més gran que es pot trobar en aquests càlculs és la variació de la longitud de les mànegues que entren al municipi. Com s'ha comentat anteriorment, es parteix de la base que la capçalera es troba a una altra localitat donant servei a altres usuaris, per tant, es desconeix realment la distància d'aquests cables degut a que el portal Inkolan limita l'extensió del mapa a 25 km², per tant, tan sols es podrà saber amb certesa la longitud dels cables de la xarxa de dispersió i una part de la xarxa d'alimentació segons el plànol obtingut, sent per tant la longitud de la mànega 1 de 110 metres i de 293 metres per a la mànega 2.

Amb aquesta informació i fent-ne ús de l'expressió anteriorment descrita, a la següent taula es procedeix al càlcul teòric de potència de cada caixa instal·lada, de tal manera que l'expressió del càlcul d'atenuació adopta els següents canvis, on tan sols caldrà modificar els valors en funció de les dades recollides a la taula.

$$\text{Atenuació} = (12.04\text{dB} + 9.03\text{dB}) + (0.3\text{dB/km} \cdot \text{Distància}) + (0.2\text{dB} \cdot n^{\circ}) + (0.5 \cdot n^{\circ})$$

#	Caixa	Distància (m)	Nº empalmes	Nº connectors	Atenuació (dB)
1	CTOVIC#1	170	2	2	22.52
2	CTOVIC#2	157	2	2	22.51
3	CTOVIC#3	250	3	3	23.24
4	CTOAGU#1	132	2	2	22.51
5	CTOGUI#1	244	3	2	22.74
6	CTOVMO#1	323	4	2	22.97
7	CTOVMO#2	360	5	2	23.18
8	CTOHIL#6	181	3	3	23.22
9	CTOCAM#1	321	3	2	22.76
10	CTOCAM#2	388	4	2	22.98
11	CTOPBAIX#1	496	4	2	23.01
12	CTOHIL#1	293	2	2	22.56
13	CTOHIL#2	323	3	2	22.77
14	CTOHIL#3	397	4	2	22.99
15	CTOHIL#4	547	5	2	23.23
16	CTOMON#1	575	6	3	23.94
17	CTOMON#2	1046	6	2	23.58
18	CTOESC#1	385	4	2	22.98
19	CTOESC#2	483	5	2	23.21
20	CTOJVE#1	612	6	3	23.95
21	CTOAVE#1	882	8	2	23.93
22	CTOAVE#2	612	7	3	24.15
23	CTOAVE#3	546	6	3	23.93

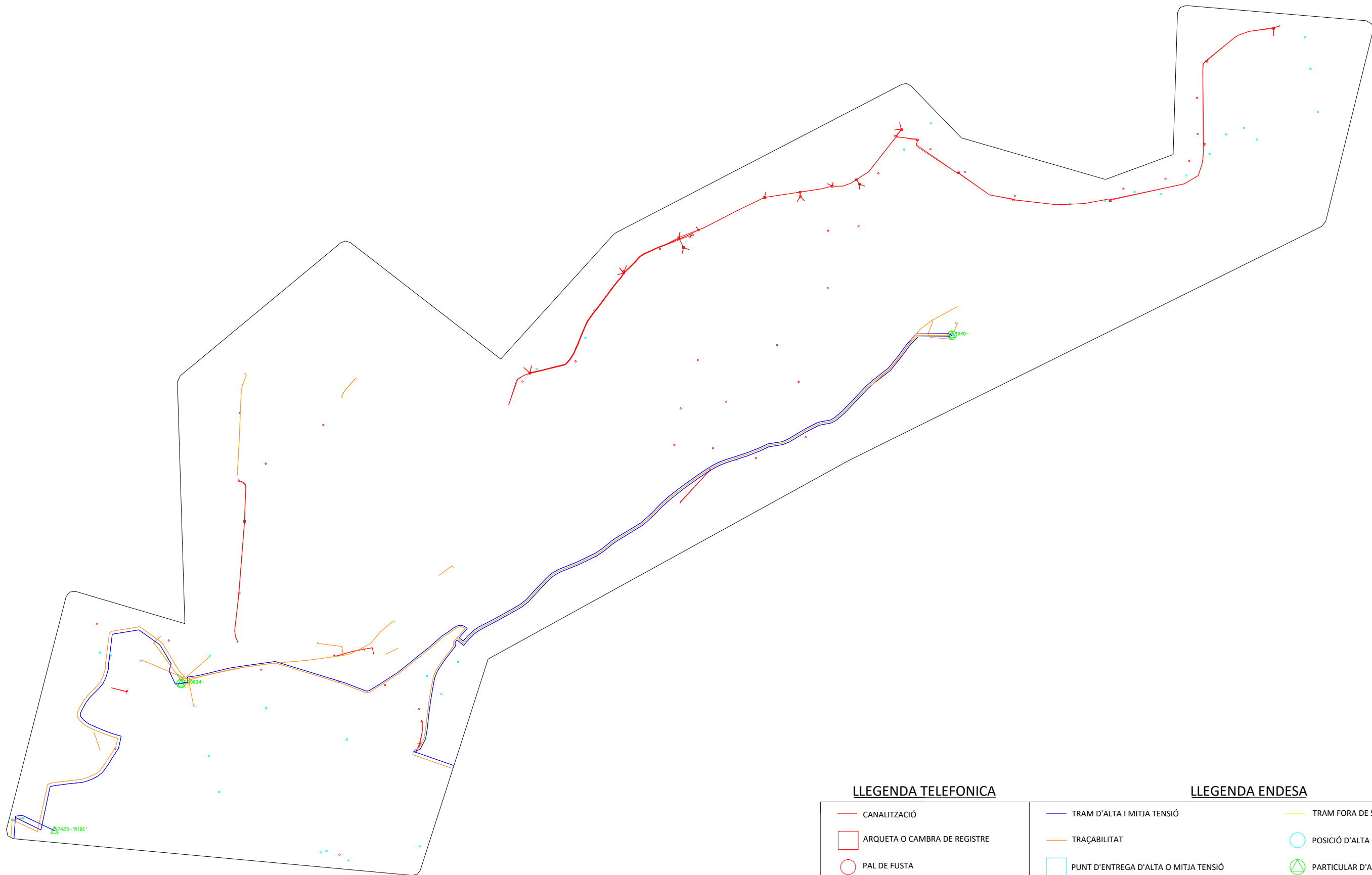
Taula 7: Càlcul de potència òptica de cada caixa

Nota: cada longitud del cable s'ha arrodonit a un metre superior. Per exemple, si la longitud total del cable d'una caixa és 254.21 metres s'ha arrodonit a l'alça a 255 metres.

Tanmateix, un cop trobada l'atenuació de cada caixa caldrà sumar-li un guany òptic de fins a 5dB degut a la potència òptica màxima de la capçalera, considerant que s'utilitza una OLT com el de la figura 13 (Huawei MA5683T) i fent-ne ús de la classe B+. Cal recordar que el rang de funcionament de les ONTs per a la classe B+ es troba entre 13 i 28 dB i en tots els càlculs realitzats els valors es troben compresos entre 22 i 24 dB. En cas de considerar el guany òptic de la capçalera, el valor final de recepció oscil·larà entre els 17 i 19 dB: dins del marge de recepció òptim per a la classe B+ GPON.

Finalment, al **plànol 3-1** queden reflectits els metres de cable i les atenuacions finals al costat de cada caixa.

6. Plànols

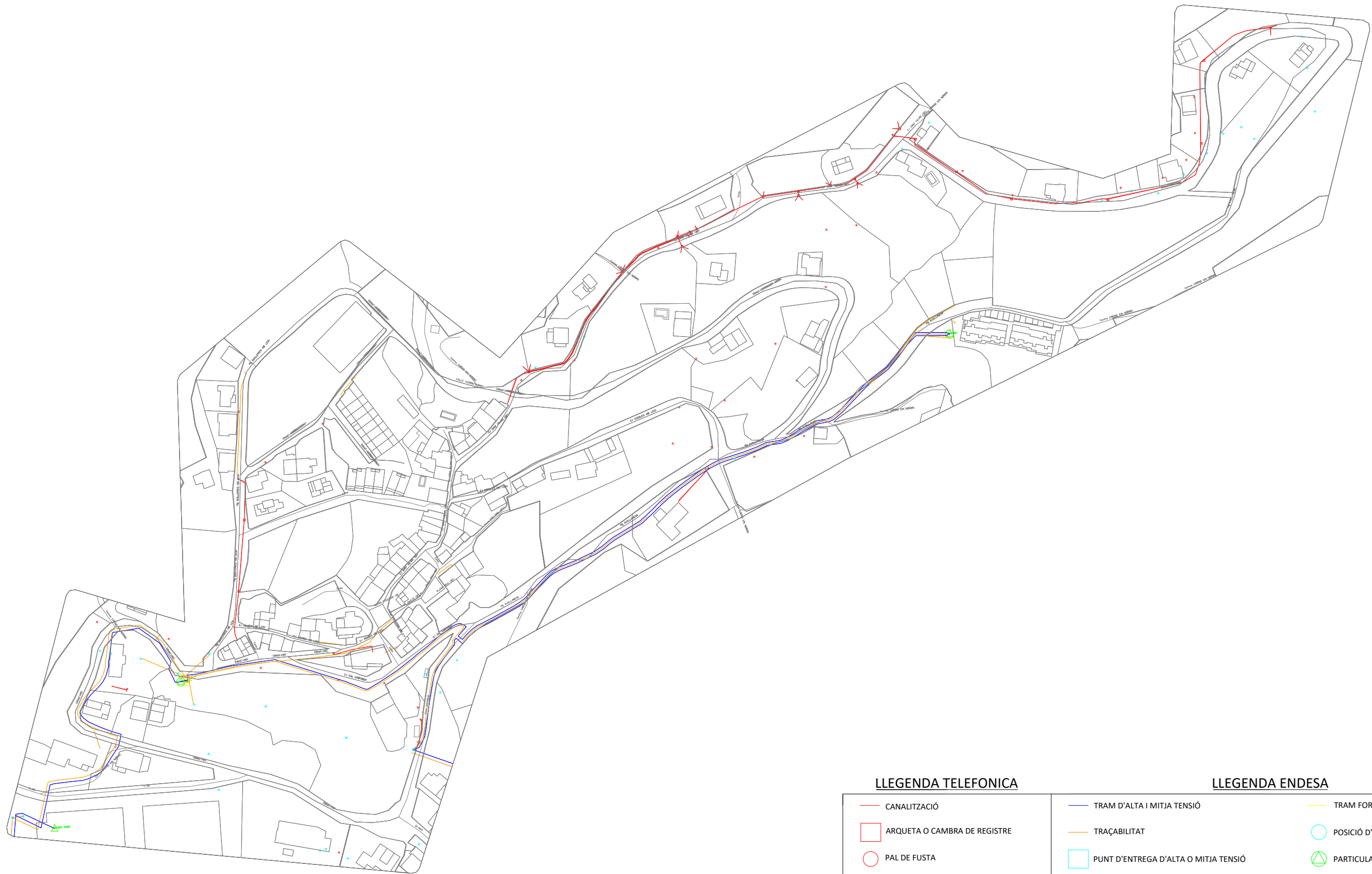


LLEGENDA TELEFONICA

- CANALITZACIÓ
- ARQUETA O CAMBRA DE REGISTRE
- PAL DE FUSTA

LLEGENDA ENDESA

- TRAM D'ALTA I MITJA TENSIO
- TRAÇABILITAT
- PUNT D'ENTREGA D'ALTA O MITJA TENSIO
- △ INTEMPÈRIE PARTICULAR D'ALTA O MITJA TENSIO
- TRAM FORA DE SERVEI
- POSICIÓ D'ALTA O MITJA TENSIO
- △ PARTICULAR D'ALTA O MITJA TENSIO



LLEGENDA TELEFONICA

- CANALITZACIÓ
- ARQUETA O CAMBRA DE REGISTRE
- PAL DE FUSTA
- M PEDESTAL

LLEGENDA ENDESA

- TRAM D'ALTA I MITJA TENSIO
- TRAÇABILITAT
- PUNT D'ENTREGA D'ALTA O MITJA TENSIO
- △ INTEMPÈRIE PARTICULAR D'ALTA O MITJA TENSIO
- TRAM FORA DE SERVEI
- POSICIÓ D'ALTA O MITJA TENSIO
- △ PARTICULAR D'ALTA O MITJA TENSIO
- CANALITZACIÓ AÈRIA O SUBTERRÀNIA

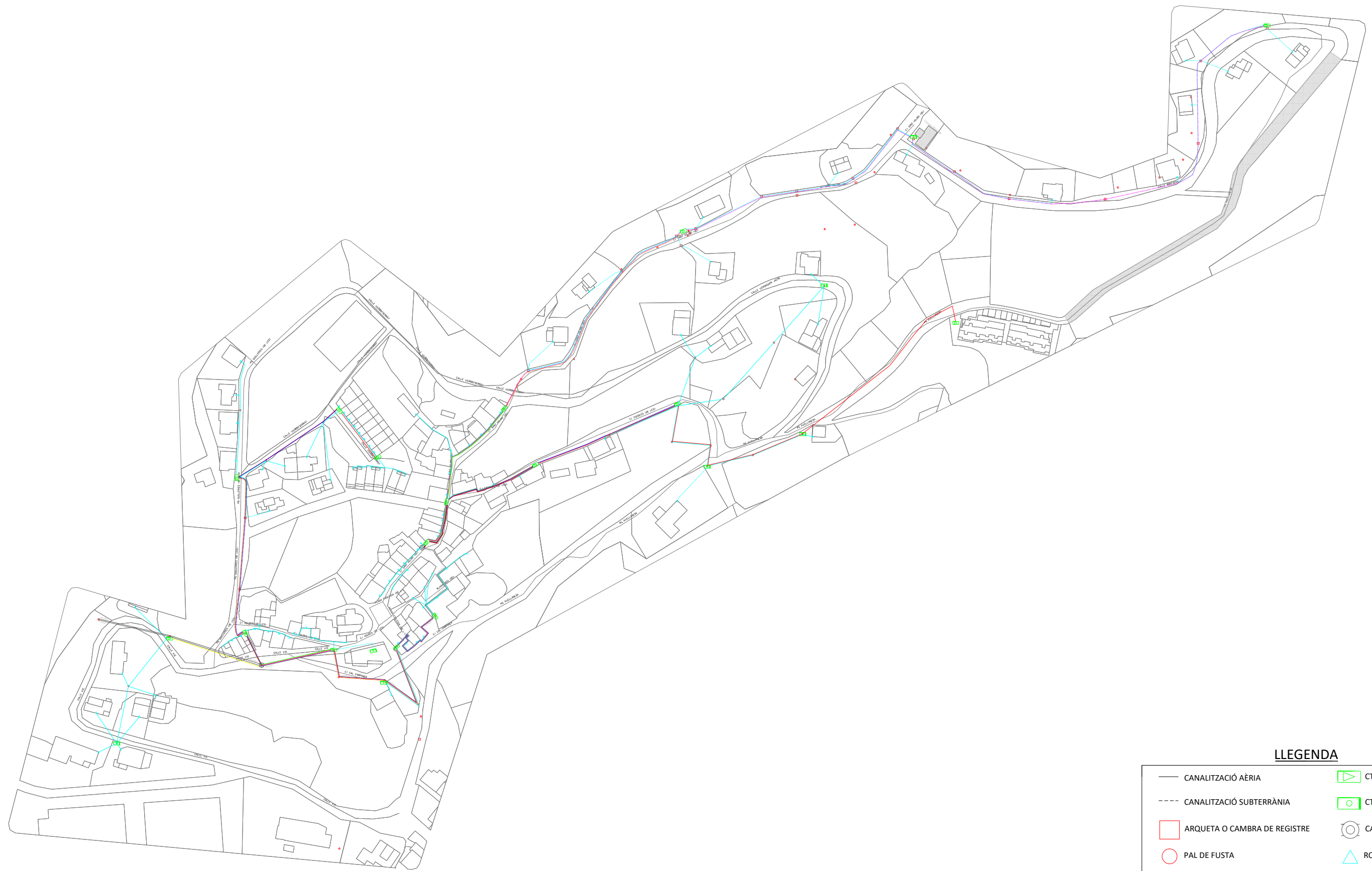




LLEGENDA TELEFONICA

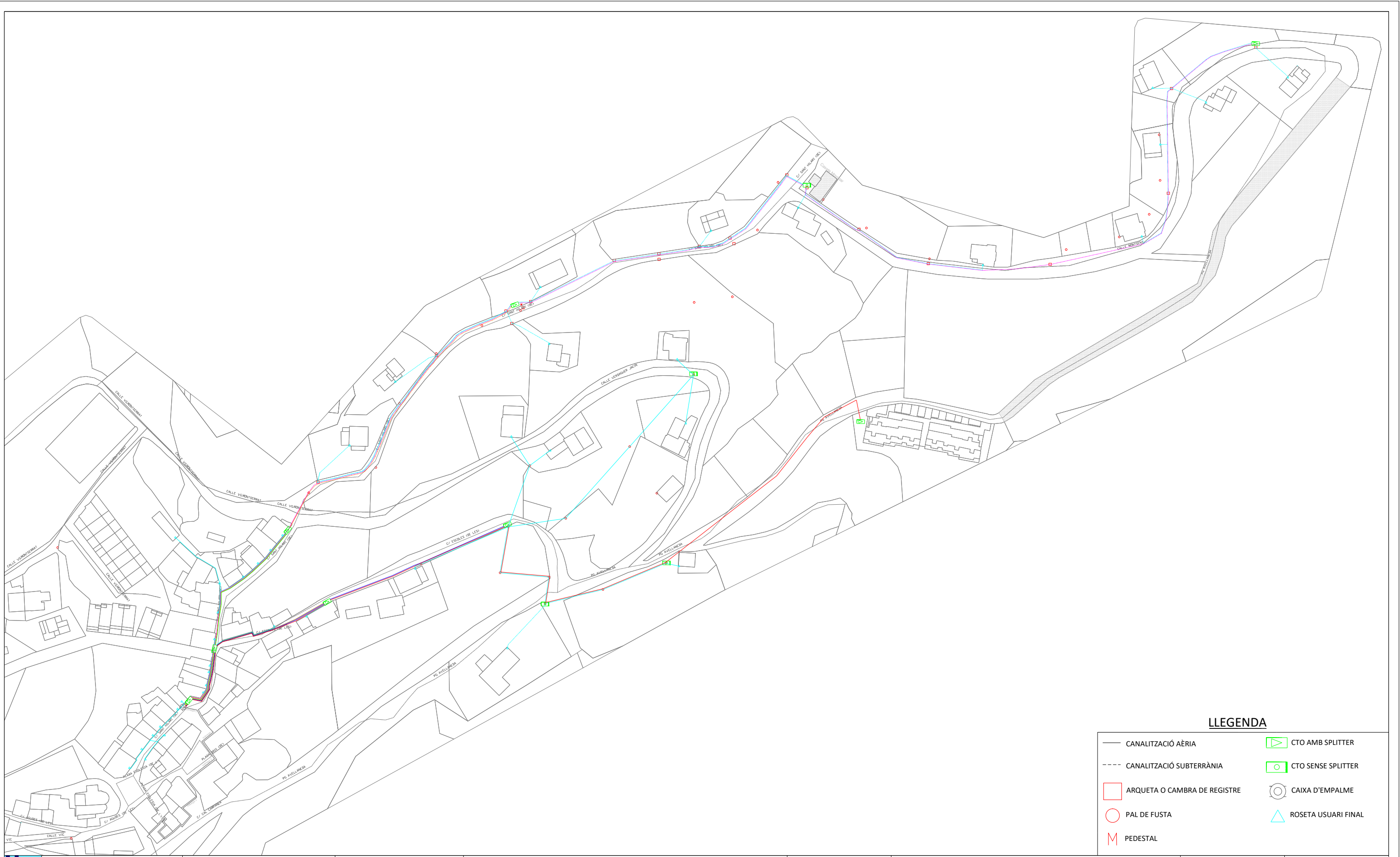
- CANALITZACIÓ
- ARQUETA O CAMBRA DE REGISTRE
- PAL DE FUSTA
- M PEDESTAL





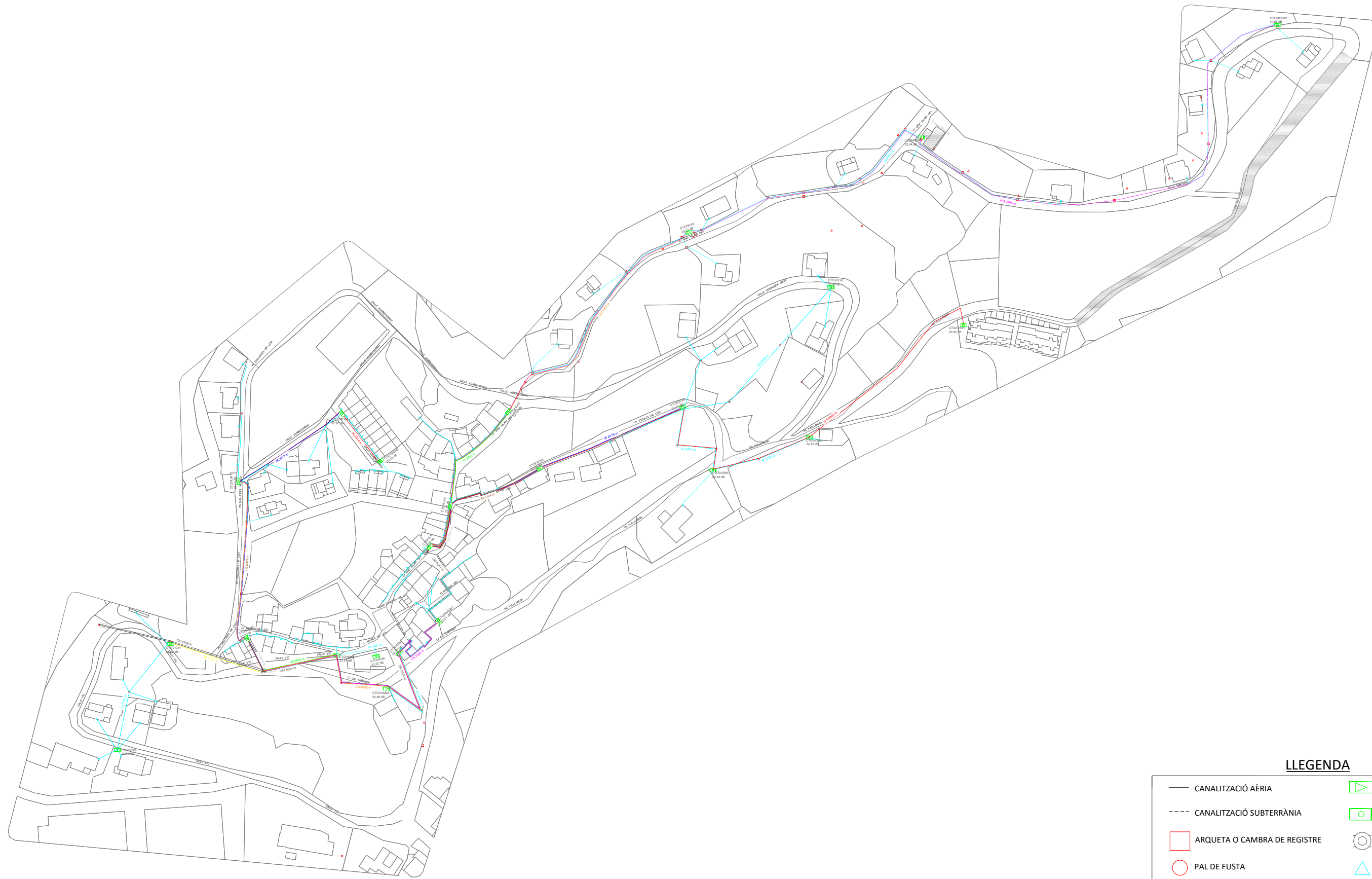
LLEGENDA

—	CANALITZACIÓ ÀÈRIA	▶	CTO AMB SPLITTER
- - -	CANALITZACIÓ SUBTERRÀNIA	◻	CTO SENSE SPLITTER
◻	ARQUETA O CAMBRA DE REGISTRE	⊙	CAIXA D'EMPALME
○	PAL DE FUSTA	△	ROSETA USUARI FINAL
M	PEDESTAL		



LLEGENDA

—	CANALITZACIÓ AÈRIA	◻▶	CTO AMB SPLITTER
- - -	CANALITZACIÓ SUBTERRÀNIA	◻○	CTO SENSE SPLITTER
◻	ARQUETA O CAMBRA DE REGISTRE	⊗	CAIXA D'EMPALME
○	PAL DE FUSTA	◻▶	ROSETA USUARI FINAL
M	PEDESTAL		



LLEGENDA

— CANALITZACIÓ ÀERIA	▶ CTO AMB SPLITTER
- - - CANALITZACIÓ SUBTERRÀNIA	◻ CTO SENSE SPLITTER
□ ARQUETA O CAMBRA DE REGISTRE	⊙ CAIXA D'EMPALME
○ PAL DE FUSTA	△ ROSETA USUARI FINAL
M PEDESTAL	

7. Radioenllaç de seus municipals

7.1. Introducció

Una de les finalitats d'aquest treball és la interconnexió de totes les dependències municipals a través de radioenllaços com a alternativa de sistemes de comunicacions. Per a fer-ho possible, tan sols és necessari contractar una quota d'accés a Internet (en aquest cas, i del qual hem estat tractant al llarg del treball, de fibra òptica), evitant-ne d'aquesta manera la necessitat de contractar una línia de fibra òptica per a cada seu. Aquest punt serà el tret diferenciador respecte a la resta d'operadors: oferir un atractiu al municipi i equiparar-lo a nivell tecnològic amb un estalvi econòmic. Cal destacar que tan sols estudiarem la viabilitat de fer-ne aquesta interconnexió, no entrarem en profunditat sobre els equips a emprar a l'interior de cada edifici ni del rendiment de la xarxa, ja que aquests aspectes van més enllà del propi projecte.

El mètode de propagació del senyal ha de complir una de les condicions més importants a les comunicacions sense fils: la visió directa entre les antenes receptores i transmissores. De fet, les ones emeses poden ser difractades, refractades, reflectides o absorbides per l'atmosfera i dels diferents obstacles que es trobin en el recorregut emissor-receptor, per tant, és necessari que es compleixin una sèrie d'especificacions mínimes per a la propagació del senyal. Les ones de ràdio no viatgen en línia recta entre un punt i l'altre, sinó en una espiral anomenada Fresnel i, que qualsevol obstacle dins d'aquesta àrea farà empitjorar la qualitat de la comunicació entre les seus.



Figura 30: Obstacle que envaeix la zona de Fresnel i que pot provocar interferència del senyal [36]

Per tant, els passos a seguir per a definir un radioenllaç de forma òptima són:

- Selecció del lloc d'instal·lació dels elements, sobretot la ubicació de les antenes transmissores i receptores.
- Verificar el perfil del terreny on es realitzarà el radioenllaç, ja que ha de complir la línia de visió entre les dues antenes.
- Càlculs de potències del radioenllaç tenint en compte la trajectòria de les ones i el lloc d'exposició, tenint present els efectes naturals o produïts per elements interferents.
- Proves que verifiquin la correcta instal·lació del sistema.

Per aquesta raó, en aquest apartat començarem a identificar quines són les seus municipals, que ens servirà de base més endavant per a fer-ne l'estudi i viabilitat de la instal·lació de les antenes.

7.2. Identificació de les seus i dependències municipals

Un radioenllaç com el que es tractarà en aquesta part del treball suposa una instal·lació ràpida, senzilla i de cost baix, a més que, en cas que falli la comunicació, és fàcil detectar i localitzar l'averia ja que únicament hi ha dues seus a tot el municipi. Per una banda l'Ajuntament que es troba a la Plaça de l'Església 1 i, per altra banda, el camp de futbol municipal i la sala polivalent (que es troba dins del mateix recinte, la sala polivalent es troba sota la pista esportiva) al Carrer de les Escoles.

Per aquesta raó, a la següent imatge s'identifica les seus sobre el mapa, ja que serà de força utilitat per a tenir una referència a l'hora de fer el disseny del projecte sobre plànol:



Figura 31: Identificació de l'Ajuntament i de la Pista Esportiva [33]

Tenint present que tots dos edificis tenen una alçada d'aproximadament 6 metres, que els edificis adjacents a l'Ajuntament tenen una alçada inferior i que la pista esportiva es troba a una alçada superior degut al relleu del terreny, trobem que serà suficient amb un pal de 2 metres per a la col·locació de les antenes i tenir una visió correcta entre totes dues antenes.

Amb l'ús d'aplicacions com Google Earth podem simular de forma orientativa la visibilitat del radioenllaç de manera més real. Es pot extreure de la següent imatge que entre aquests dos edificis hi ha una distància d'aproximadament 270 metres, trobant-se l'Ajuntament a una alçada de 747 metres respecte el nivell del mar davant dels 760 metres de la pista esportiva.

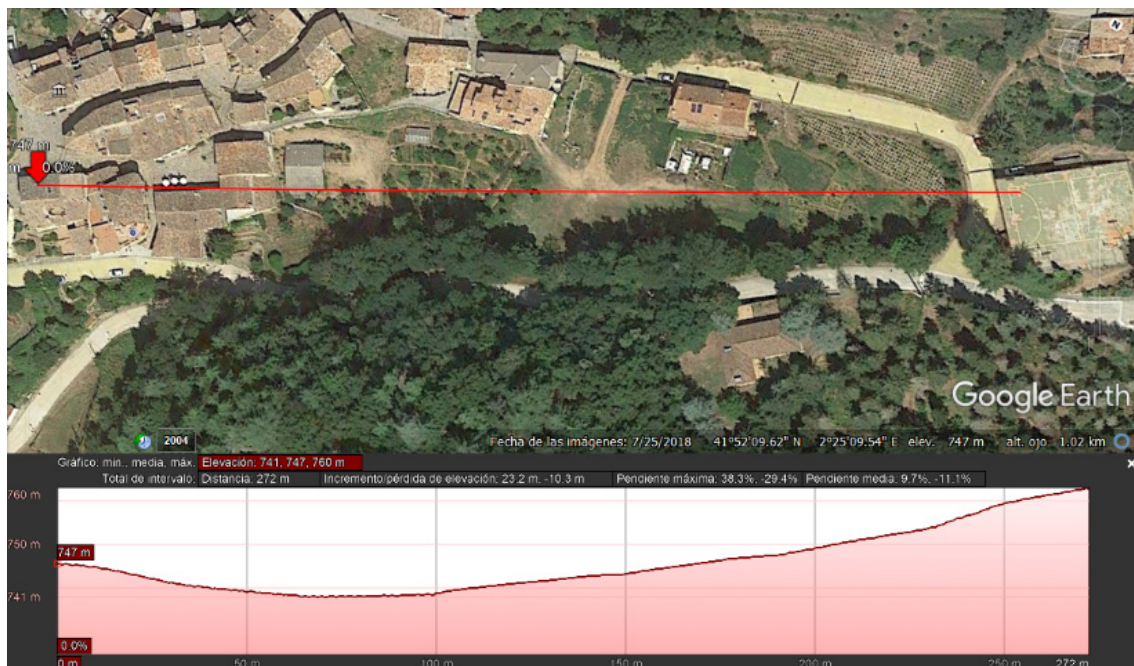


Figura 32: Perfil d'elevació Ajuntament - Pista Esportiva. Extret de Google Earth

A les següents imatges realitzades des de la pròpia pista esportiva es pot veure la visibilitat del consistori, primer punt favorable per a la realització d'aquest sistema:



Figura 33: Fotografia des de la pista esportiva per a valorar la viabilitat del sistema. Font: elaboració pròpia



Figura 34: La teulada marcada de color vermell a l'esquerra de la imatge mostra la ubicació de l'Ajuntament.
Font: elaboració pròpia.

Descripció	Ajuntament d'Espinelves
Altitud	747 metres
Latitud	41° 52' 7.48" N
Longitud	2° 25' 3.83" E
Distància enllaç	270 metres
Detall de la instal·lació	S'instal·larà l'electrònica de la xarxa als armaris habilitats per aquest ús. L'antena serà ubicada a la teulada de l'edifici i serà el punt central de la xarxa, on es troba el Centre de Processament de Dades (CPD).



Taula 8: Dades i característiques de l'Ajuntament

Descripció	Pista poliesportiva
Altitud	760 metres
Latitud	41° 52' 11.72" N
Longitud	2° 25' 13.70" E
Distància enllaç	270 metres
Detall de la instal·lació	S'ubicarà l'antena a la part superior de la façana de l'edifici, fent entrar el cable de l'antena per un forat de la façana fins a l'habitació on s'ubicarà l'electrònica.



Taula 9: Dades i característiques del Pavelló municipal

7.3. Normativa i comparació amb altres tecnologies

Abans de començar amb la simulació per a analitzar-ne la viabilitat del radioenllaç és important decidir quina freqüència treballarà el sistema, ja que l'elecció de la freqüència va directament lligada amb la distància, com també amb la qualitat del senyal. Tenint aquesta referència i sabent que la instal·lació es realitza a Espanya, cal consultar la llei que regula l'espectre radioelèctric.

El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) [37] és l'organisme encarregat a la distribució de l'espectre a Espanya, definint la reserva de l'ús de diferents bandes per a radiocomunicacions entre 8kHz i 3000GHz. Algunes d'aquestes freqüències són d'ús lliure però hi ha d'altres que no i requereixen llicències per a la seva utilització.

Degut a la necessitat d'interconnectar només dues seus s'intenta evitar la utilització de bandes de freqüències que requereixin llicències, per tal d'evitar un cost extra a la configuració del radioenllaç i dels tràmits administratius per a l'obtenció dels permisos. Per aquest motiu es tria la banda lliure dels 5GHz per a comunicacions sense fils de banda ampla [38]. Aquestes bandes lliures són tres: 5150-5350MHz per a comunicacions a interiors i les bandes 5470-5725MHz i 5725-5875MHz per a comunicacions a exteriors.

Les bandes 5150-5350MHz i 5470-5725MHz es troben regulades a Espanya per la norma d'utilització nacional UN-128. Pel que fa a la banda 5725-5875MHz està regulada per la norma UN-143. Un dels inconvenients en treballar a freqüències lliures és la delimitació per part del Govern sobre la potència de transmissió, que es troba regulada a través del valor P.I.R.E. (potència isotròpica radiada equivalent). Els valors de P.I.R.E. varien segon la freqüència d'ús per a una connexió punt a punt, sent de 20dBm per a freqüències de 5GHz i de 36dBm per als 5.8GHz. Un dels altres inconvenients respecte a les llicències privatives són les interferències, ja que al tractar-se d'una banda lliure no hi ha una regulació per a la saturació de l'espectre radioelèctric.

Segons el document del Col·legi Oficial d'Enginyers de Telecomunicacions [38] les tecnologies sense fils utilitzades en aplicacions d'accés de ràdio de banda ampla es poden agrupar en l'estàndard 802.11 (Wi-Fi), en l'estàndard 802.16 (WiMAX) i altres solucions propietàries no basades en cap estàndard.

D'aquesta manera, a la següent taula es realitza una ràpida comparativa entre aquests estàndards:

	Estàndard 802.11 (Wi-Fi)	Estàndard 802.16 (WiMAX)
Capa física	OFDM dissenyada per a propagació a interior	OFDM dissenyada per a propagació a exterior
Capa MAC	CSMA/CD, no determinista. No permet conèixer el trànsit net del sistema	TDMA/OFDMA totalment determinista i centralitzada
Ús de canals	20MHz (estàndard 802.11a) 40MHz (estàndard 802.11n)	10MHz
Interferències	Absència de transmissió de trames, alt nivell d'interferències	Transmissió estructurada de trames, baix nivell d'interferències
Qualitat de servei (QoS)	No en suporta	Suport de nivell 2
Eficiència espectral	Baix, inferior a 1bps/Hz	Alta, superior a 3.5bps/Hz
Distància	240m	1800m

Taula 10: Comparació entre l'estàndard 802.11 i l'estàndard 802.16

7.4. Elecció de l'antena i simulació del sistema

En aquest punt del treball es pren la decisió del tipus d'antena a utilitzar. Com s'ha dit, la intencionalitat és interconnectar dues seus, per tant, la comunicació ha de ser bidireccional. D'aquesta manera, és convenient utilitzar dues antenes de les mateixes característiques per a un radioenllaç punt a punt amb un abast petit. L'elecció de l'antena és el model LBE-5AC-Gen2 d'Ubiquiti que cobreix totes les bandes dels 5GHz, d'alt guany (23dB) i molt directiva (a l'**annex VI** s'adjunta la fitxa tècnica de l'antena).



Figura 35: Antena LBE-5AC-Gen2 [39]

De la fitxa tècnica es pot extreure que per una connexió punt a punt l'ample de banda pot ser de 10/20/30/40/50/60/80MHz i la seva potència de transmissió i la sensibilitat de recepció són:

LBE-5AC-Gen2 Output Power: 25 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (1/2)	25 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (1/2)	-96 dBm Min.	± 2 dB
	2x QPSK (1/2)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (1/2)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (3/4)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (3/4)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1/2)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (1/2)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (3/4)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (3/4)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (2/5)	25 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (2/5)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (3/4)	24 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (3/4)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (5/6)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (5/6)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (3/4)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (3/4)	-69 dBm	± 2 dB
8x 256QAM (5/6)	21 dBm	± 2 dB	8x 256QAM (5/6)	-65 dBm	± 2 dB		

Figura 36: Taula de potència transmissora i sensibilitat receptora [39]

Per a comprovar el rendiment del radioenllaç s'utilitza el simulador Radio Mobile per a veure si realment s'aconseguiria la comunicació. Per tant, es configura el radioenllaç on es defineix la banda de freqüència a utilitzar, així com les diferents característiques de l'antena.

Abans d'abordar amb la simulació dels sistema cal recordar que per llei no es pot excedir dels 36dBm P.I.R.E. (4 watts) per a freqüències de 5.8GHz i, per a saber si es sobrepassa el límit establert, es pot calcular amb la següent expressió:

$$P.I.R.E = P_T - A_{cable} + G_A$$

On,

- P_T (dBm): potència transmesa
- A_{cable} (dB): pèrdua del cable
- G_A (dBi): guany de l'antena

Figura 37: Equació del càlcul del valor P.I.R.E.

Sabent que el valor P.I.R.E. no pot excedir dels 36dBm, que la potència transmesa serà de 25dBm i que es considera que no hi ha atenuacions pel cable, s'obté que el guany de l'antena no podrà excedir dels 11dBi.

Per començar, es defineix la ubicació de les antenes a Radio Mobile amb les coordenades que s'ha extret de Google Earth, el rang de freqüències a la que treballarà l'antena, sent la freqüència mínima 5725MHz i la freqüència màxima 5875MHz i per a la topologia es marcarà "red de datos (master/esclavo)". Seguidament, es defineix les antenes, marcant la potència d'operació (25dBm), la sensibilitat de recepció de -83dBm i el guany de l'antena d'11dBi (tota aquesta informació es pot extreure de la fitxa tècnica de l'antena).

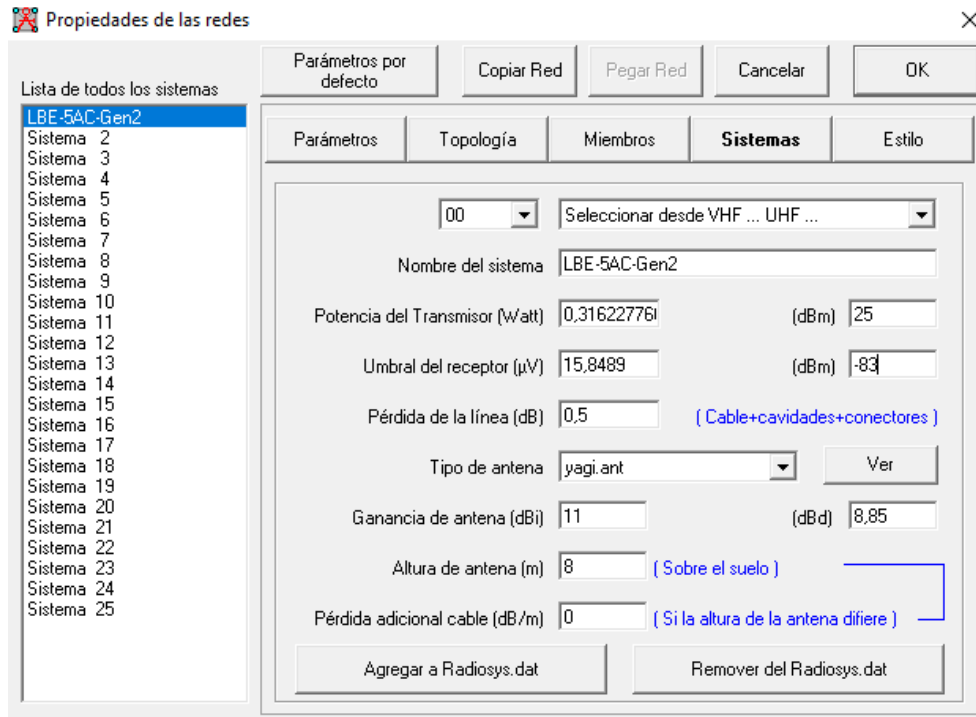


Figura 38: Definició de les antenes - Radio Mobile

El tipus d'antena serà tipus Yagi, ja que presenta un diagrama de radiació més semblant al diagrama que es pot extreure de la fitxa tècnica de l'antena:

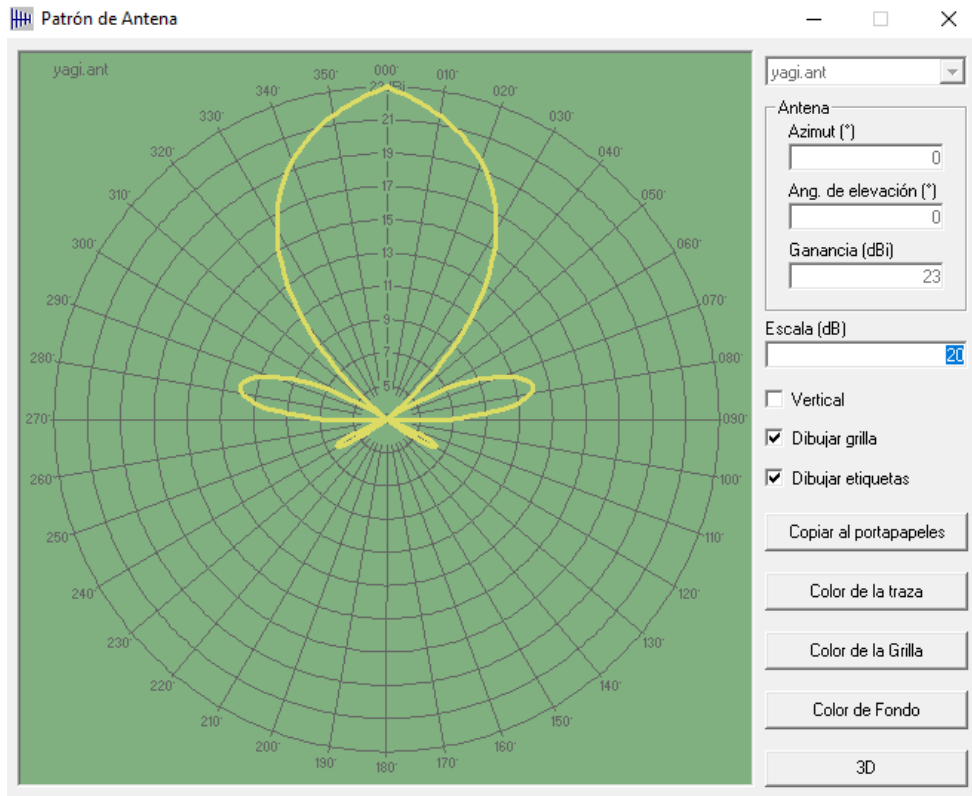


Figura 39: Patrón de las antenas - Radio Mobile

Finalment, es defineix les direccions de les antenes on el programa ja realitza el càlcul d'Azimut de forma automàtica:

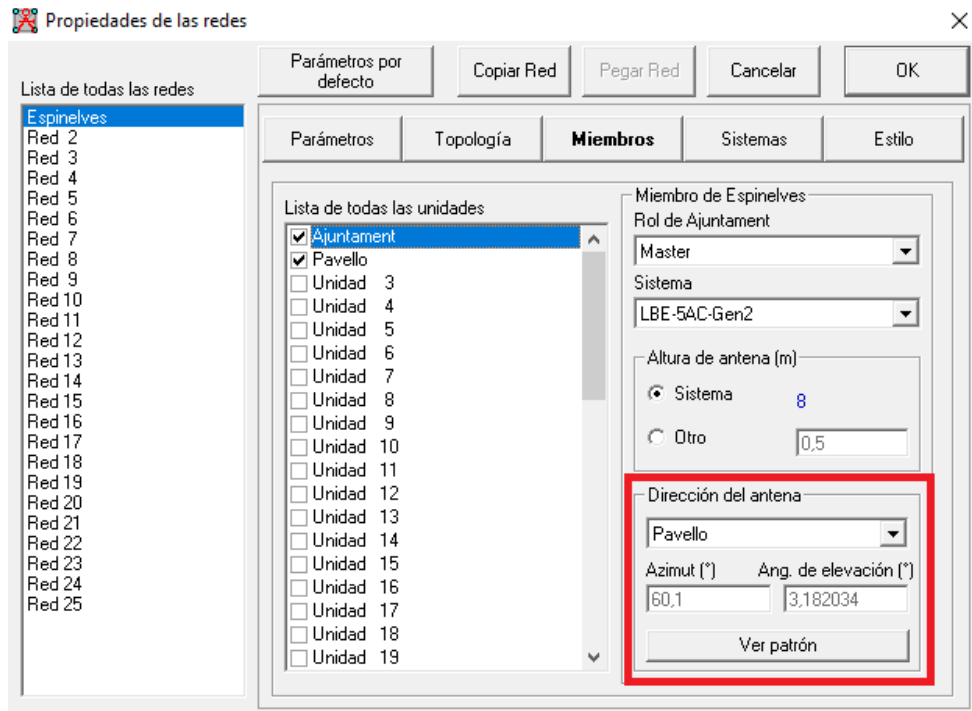


Figura 40: Propietats de la xarxa - Radio Mobile

Amb totes les configuracions detallades, el programa realitza la simulació de la comunicació entre les antenes. Totes dues antenes, tant a la transmissió com a la recepció del senyal obtenen valors adequats. A les següents gràfiques es proporciona molta informació sobre la connexió que es realitza entre les dues antenes.

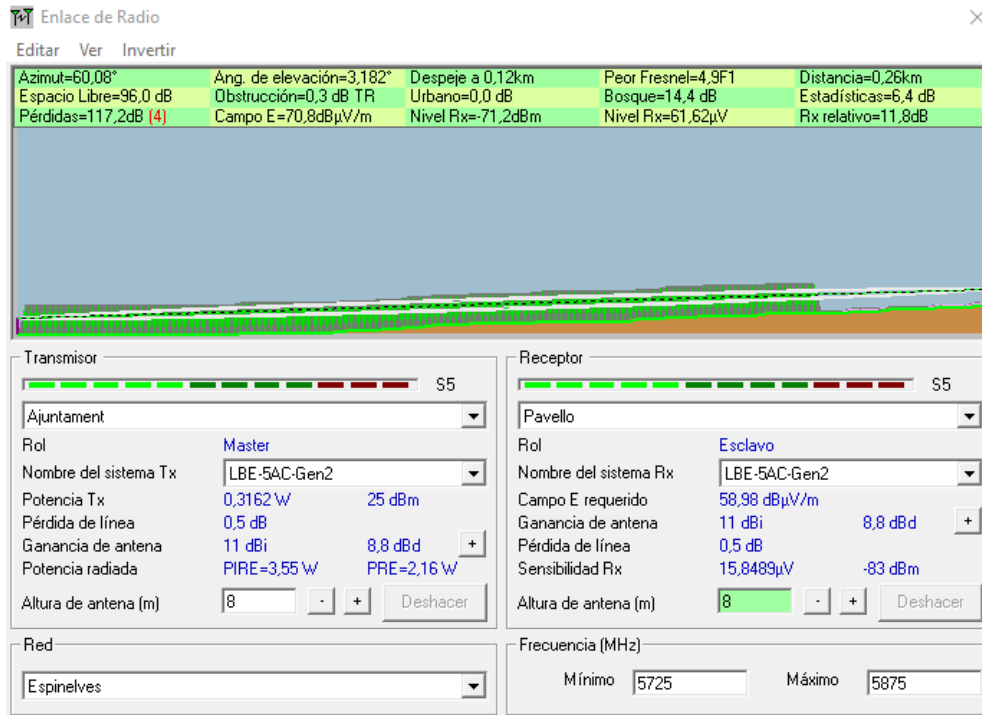


Figura 41: Gràfica de simulació Ajuntament - Pista Esportiva

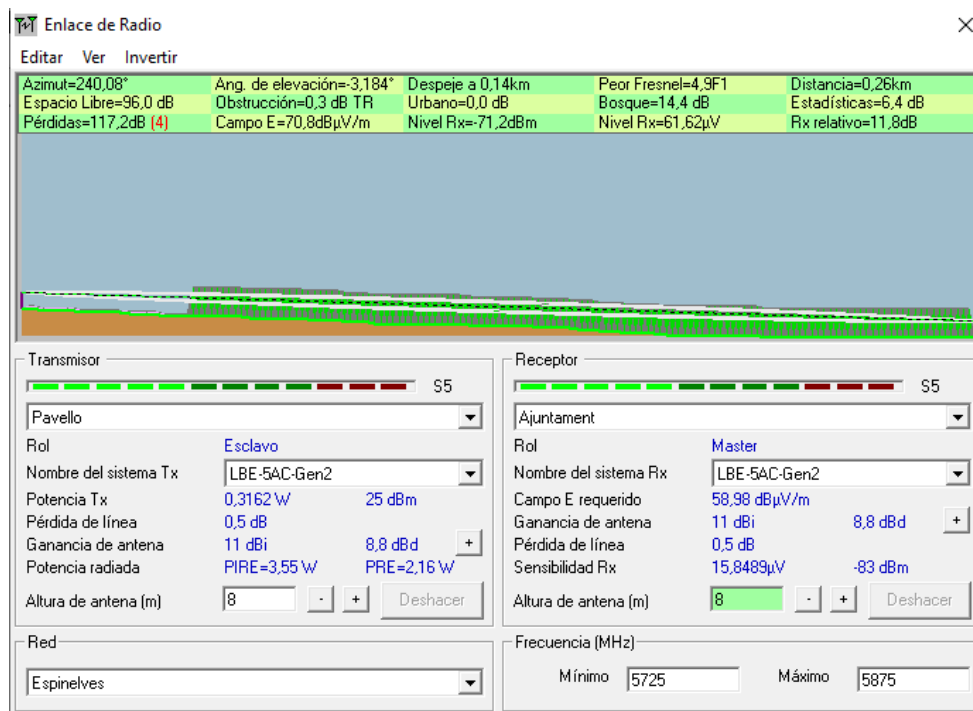


Figura 42: Gràfica de simulació Pista Esportiva - Ajuntament

Es pot veure que el sistema és completament vàlid ja que en cap cas no es supera al valor P.I.R.E. marcat per llei (3.55W davant del límit de 4W establert) i, que el nivell de recepció de totes dues antenes és de -71.2dBm, superior als nivells de sensibilitats marcat al *datasheet* del producte. Es conclou, per tant, que es pot realitzar sense problemes la instal·lació del radioenllaç.

8. Conclusions

En aquest treball fi de grau s'ha realitzat el disseny i desplegament d'una xarxa de distribució de fibra òptica a un poble rural. Aquest escenari de desplegament presentava certs obstacles tècnics, per una banda perquè actualment en aquest municipi només hi ha servei d'Internet a través d'ADSL (amb moltes desconexions quan hi ha pluja o tempesta) i, per altra banda, gran part de les canalitzacions del municipi són aèries.

L'obtenció dels plànols de les canalitzacions de Telefónica eren de vital importància, ja que d'aquesta manera han servit de base per al disseny de la infraestructura. En cas de no haver disposat d'aquests plànols, la viabilitat econòmica del projecte no hagués estat rentable degut a les possibles obres de les canalitzacions subterrànies del municipi. De fet, com s'ha vist a l'apartat 2.3 certes operadores no realitzen aquesta mena de desplegaments a municipis amb pocs habitants degut a la falta de rendibilitat de la instal·lació. Com que s'ha pogut obtenir els plànols del municipi i, a més, per normativa es pot fer ús de les canalitzacions de Telefónica, aquesta mena de projectes són factibles per als operadors.

Tanmateix, s'ha pogut demostrar que amb tan sols un port de la capçalera amb una relació d'1:128 seria suficient per a abastir a tot el municipi. Això ha permès considerar on ubicar la capçalera de la xarxa, ja que si s'adquireix una OLT instal·lada i dedicada exclusivament a proveir Espinelves la rendibilitat de la capçalera seria a molt llarg termini. Per això, s'ha partit de la premissa que l'operador de la xarxa és un proveïdor actiu, que es troba a una altra localitat propera i que ja està oferint servei a altres localitats.

Respecte al radioenllaç de les seus municipals s'ha presentat només dues seus, les úniques a tot el municipi, sent d'aquesta manera una instal·lació fàcil i ràpida. S'ha pogut demostrar degut a simulacions per ordinador que el sistema és viable i es pot realitzar sense problemes degut al baix cost de l'antena proposada (al voltant de 100€/u). Aquesta antena és molt directiva però ofereix la possibilitat de realitzar connexions punt a multipunt. Per tant, si en un futur hi hagués una altra seu propera dins del rang de visió de l'antena principal l'ampliació de la xarxa seria mínima. En cas que es volgués donar servei a una altra seu a un altre emplaçament més distant, llavors s'hauria de valorar de realitzar un altre sistema punt a punt com el que s'ha tractat per a la nova seu, o bé, canviar l'antena principal (la de l'Ajuntament) per a una més omnidireccional.

Amb aquestes consideracions i amb tot el que s'ha tractat al llarg d'aquest treball, es dóna per entès i vàlid totes dues propostes, formulant d'aquesta manera una proposta atractiva per al municipi si s'adopta la posició d'un operador petit, on la rivalitat del mercat d'altres operadors de fibra òptica és inexistent actualment a Espinelves.

9. Glossari

10GPON: *10Gbps Ethernet Passive Optical Network*.

ADSL: *asymmetric digital subscriber loop* (bucle d'abonat digital asimètric). El sistema està concebut per a suportar un trànsit asimètric, transmetent a més velocitat en sentit descendent (de la xarxa a l'usuari) que en sentit ascendent (de l'usuari a la xarxa).

AES: *Advanced Encryption Standard*.

APON: *ATM passive optical network*.

BPON: *Broadband passive Optical network*.

CNMC: Comissió Nacional dels Mercats i la Competència.

CNAF: El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.

CPD: Centre de Processament de Dades.

CTO: Caixa Terminal Òptica.

Facsimil: procediment de transmissió a distància, mitjançant ones electromagnètiques o línies telegràfiques de documents en blanc i negre.

FTTB: *fiber-to-the-building*.

FTTC: *fiber-to-the-curb*.

FTTH: *fiber-to-the-home*.

FTTN: *fiber-to-the-node*.

GPON: *gigabit-capable passive optical network*.

HFC: *hybrid fiber-coaxial* (híbrid de fibra-coaxial). Es tracta d'una xarxa de banda ampla que incorpora fibra òptica i cable coaxial.

ICT: Infraestructura Comú de Telecomunicacions.

ITU-T: *International Telecommunication Union*.

LGTel: Ley 9/2014 del 9 de mayo, General de Telecomunicaciones.

NGPON: *Next Generation passive optical network*.

ODF: *Optical fiber distribution*.

OLT: *Optical line terminal*.

OMCI: *ONT Management and Control Interface*.

ONT: *Optical network terminal*.

P2P: xarxes *peer-to-peer* (xarxes punt a punt).

P2MP: xarxes *peer-to-multipoint* (punt a multipunt).

P.I.R.E.: potència isotròpica radiada equivalent.

PON: *passive optical network* (xarxa òptica passiva).

RITI: Recinte Interior de Telecomunicacions Inferior.

ROM: Repartidor òptic modular.

Splitter: divisor òptic.

TDM: *Time Division Multiplexing*.

TDMA: *Time Division Multiple Access*.

WDM: *Wavelength Division Multiplexing*

XOC: Xarxa Oberta de Catalunya.

10. Bibliografia

- [1] Comissió Nacional del Mercat de la Competència. [En línia] <https://www.cnmc.es/> [darrer accés: octubre 2019]
- [2] Bell, A. G. (1880). «Selenium and the Photophone», Nature, pàg. 500-503.
- [3] ThoughtCo. [En línia] <https://www.thoughtco.com/alexander-graham-bells-photophone-1992318> [darrer accés: octubre 2019]
- [4] Srinivasan, A. (2005). «Biographies: Modern Inventors», Sura Books, pàg. 50-51.
- [5] Hecht, J. (1999). «City Of Light: The Story of Fiber Optics», Oxford University Press.
- [6] [En línia] https://es.wikipedia.org/wiki/Corning_Inc. [darrer accés: octubre 2019].
- [7] Buckner, J. *History of Fiber Optics* [En línia] https://people.sunyit.edu/~whitej2/nettran210/History_Fiber_Optics.pdf [darrer accés: octubre 2019].
- [8] Tudhope, Christine. (Darrera actualització: 7 de març del 2019) *New research could revolutionise fiber-optic communications* [En línia] <https://phys.org/news/2019-03-revolutionise-fiber-optic.html> [darrer accés: octubre 2019].
- [9] Figueras Atienza, M. «Òptica geomètrica: l'òptica sense ones» de *Física II*, Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya, pàg. 21-25.
- [10] Spadaro S. «Xarxes de fibra òptica» Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya, pàg. 12.
- [11] Comissió Nacional del Mercat de la Competència (Darrera actualització: 27 setembre del 2019). *Las líneas de banda ancha fija superaron en julio los 15 millones en España* [En línia] <https://www.cnmc.es/prensa/cnmc-lineas-banda-ancha-superan-15-millones-julio> [darrer accés: octubre 2019].
- [12] Comissió Nacional del Mercat de la Competència (Darrera actualització: 11 octubre del 2019). *La CNMC publica los datos estadísticos de telecomunicaciones y audiovisual correspondientes al primer trimestre de 2019* [En línia] <https://www.cnmc.es/prensa/CNMC/telecomunicaciones-audiovisual-I-trimestre-2019-20191011> [darrer accés: 14 octubre 2019].
- [13] Oniscom (Darrera actualització: 7 d'abril del 2015). *Las operadoras locales ganan terreno a las grandes compañías* [En línia] <https://www.oniscom.es/las->

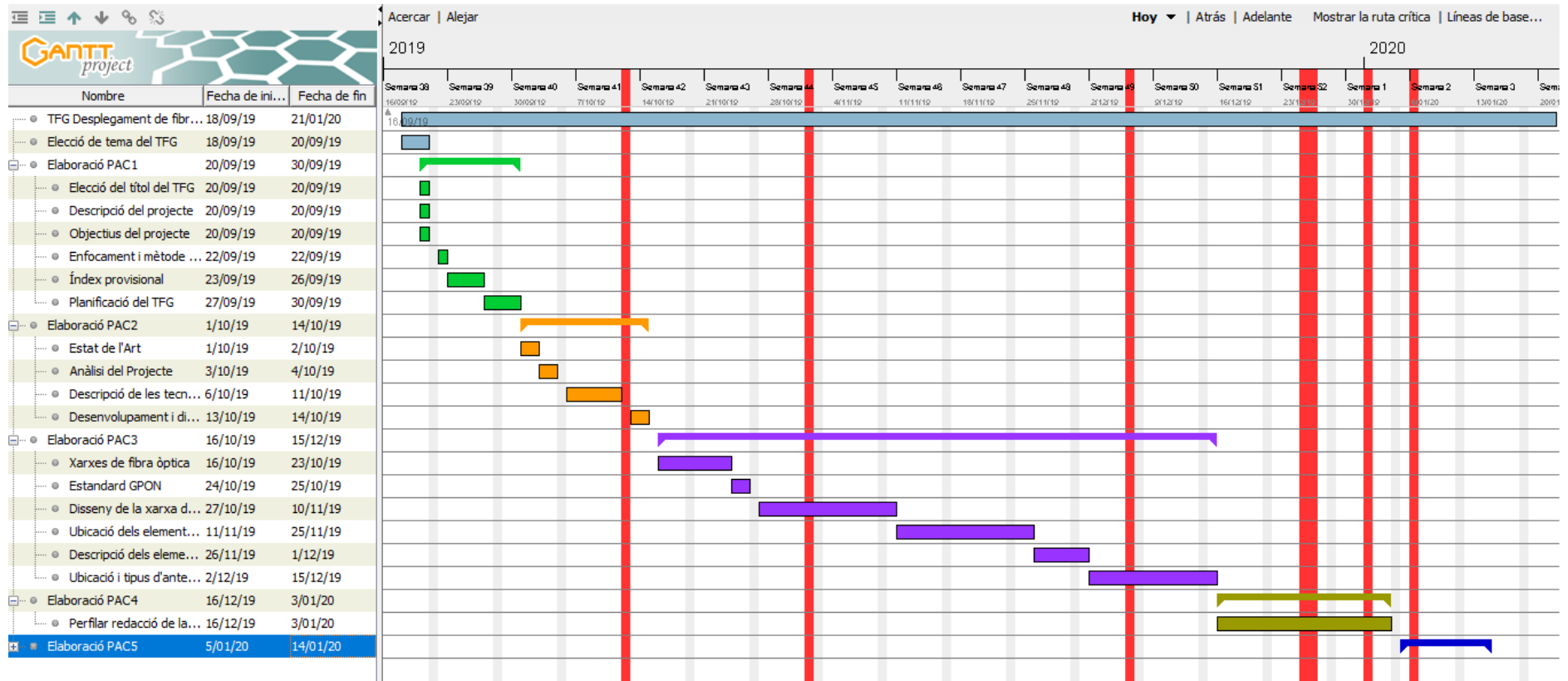
- [operadoras-locales-ganan-terreno-a-las-grandes-companias](#) [darrer accés: 10 octubre 2019].
- [14] Crespo A. (Darrera actualització: 30 de març del 2018) *Adamo, la esperanza de los usuarios de zonas rurales para disponer de fibra óptica* [En línia] <https://www.redeszone.net/2018/03/30/adamo-despliegue-ftth-zonas-rurales/> [darrer accés: 10 octubre 2019].
- [15] del Castillo, I. (Darrera actualització: 29 de març del 2018) *MásMóvil cancela el 66% de sus proyectos de fibra con ayuda pública* [En línia] <https://www.expansion.com/empresas/tecnologia/2018/03/29/5abfb2dce2704e736f8b460a.html> [darrer accés: 10 octubre 2019].
- [16] [En línia] https://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa_de_red [darrer accés: octubre 2019].
- [17] [En línia] https://en.wikipedia.org/wiki/Passive_optical_network [darrer accés: novembre 2019].
- [18] [En línia] https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x [darrer accés: novembre 2019].
- [19] Blog del CIFP Tartanga (Darrera actualització: 17 de gener 2015) *Dónde están los splitters ópticos en la red FTTH de Movistar* [En línia] <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/2015/01/17/donde-estan-los-splitter-opticos-en-la-red-ftth-de-movistar/> [darrer accés: 1 de novembre 2019].
- [20] [En línia] <https://www.anvimur.com/es/> [darrer accés: 6 de novembre 2019].
- [21] ITU-T. G.983.1: *Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas* [En línia] <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1/es> [darrer accés: 19 de novembre 2019].
- [22] ITU-T. G.983.2: *Especificación de la interfaz de control y gestión de terminales de red óptica para redes ópticas pasivas de banda ancha* [En línia] <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.2-200507-l/es> [Darrer accés: 19 de novembre 2019].
- [23] ITU-T. G.984.1: *Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales* [En línia] <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es> [darrer accés: 19 de novembre 2019].
- [24] ITU-T. G.987.1: *Redes ópticas pasivas con capacidad de 10 Gigabit (XG-PON): Requisitos generales* [En línia] <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.1/es> [darrer accés: 19 de novembre 2019].

- [25] NASeros (Darrera actualització: 13 de març del 2017) *Cómo funciona una conexión de fibra* [En línia] <https://naseros.com/2017/03/13/como-funciona-una-conexion-de-fibra-gpon-y-ftth/> [darrer accés: 22 de novembre 2019].
- [26] B. Danilopy (Darrera actualització: 8 d'abril del 2017) *Capacitate!! el internet la herramienta de hoy* [En línia] <https://danilopy.wordpress.com/2017/04/08/gpon-gigabit-passive-optical-network/> [darrer accés: 22 de novembre 2019].
- [27] ITU-T. *Recomendación G.984.2* [En línia] <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/es> [darrer accés: 24 de novembre 2019].
- [28] IEEE. *802.3av-2009 Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks* [En línia] https://standards.ieee.org/standard/802_3av-2009.html [darrer accés: 25 de novembre 2019].
- [29] ITU-T. *G.989.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gigabits (NG-PON2): Requisitos generales* [En línia] <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.1/es> [darrer accés: 28 de novembre 2019].
- [30] ADSLZON. *WDM-PON vs GPON vs XG-PON* [En línia] <https://www.adslzone.net/foro/fibra-optica.94/wdm-pon-vs-gpon-vs-xg-pon.461066/> [darrer accés: 26 de novembre 2019].
- [31] XIFRA informació estadística local. *Municipi Espinelves* [En línia] http://www.ddqi.cat/xifra/menu_mun.asp [darrer accés: 28 de novembre 2019].
- [32] Visor SigPac [En línia] <http://sigpac.mapa.es/feqa/visor/> [darrer accés: 28 de novembre 2019].
- [33] Instituto Geográfico Nacional [En línia] <http://www.ign.es/wms-inspire/ign-base> (Servei WMS)
- [34] Inkolan [En línia] <https://www.inkolan.com/>
- [35] Xarxa Oberta de Catalunya, [En línia] <https://www.xarxaoberta.cat/>
- [36] Cursos CPT *Comunicación Wireless Zona de Fresnel* [En línia] <https://www.cpt.com.br/cursos-informatica-redesdecomputadores/artigos/comunicacao-wireless-zona-de-fresnel> [darrer accés: 6 de desembre 2019].
- [37] Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias [En línia] <https://avancedigital.gob.es/espectro/Paginas/cnaf.aspx> [darrer accés: 7 de desembre 2019].

- [38] Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación *Uso de las Bandas Libres de 5470-5725 MHz y 5725-5875 MHz en España* [En línia] [https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/uso de las bandas libres de 5470-5725 mhz y 5725-5875 mhz en espana.pdf](https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/uso_de_las_bandas_libres_de_5470-5725_mhz_y_5725-5875_mhz_en_espana.pdf) [darrer accés: 7 de desembre 2019].
- [39] Fitxa tècnica Ubiquiti LiteBeam AC Gen2 [En línia] <https://dl.ubnt.com/datasheets/LiteBeam/LiteBeam AC Gen2 DS.pdf> [darrer accés: 12 de desembre 2019].

11. Annexos

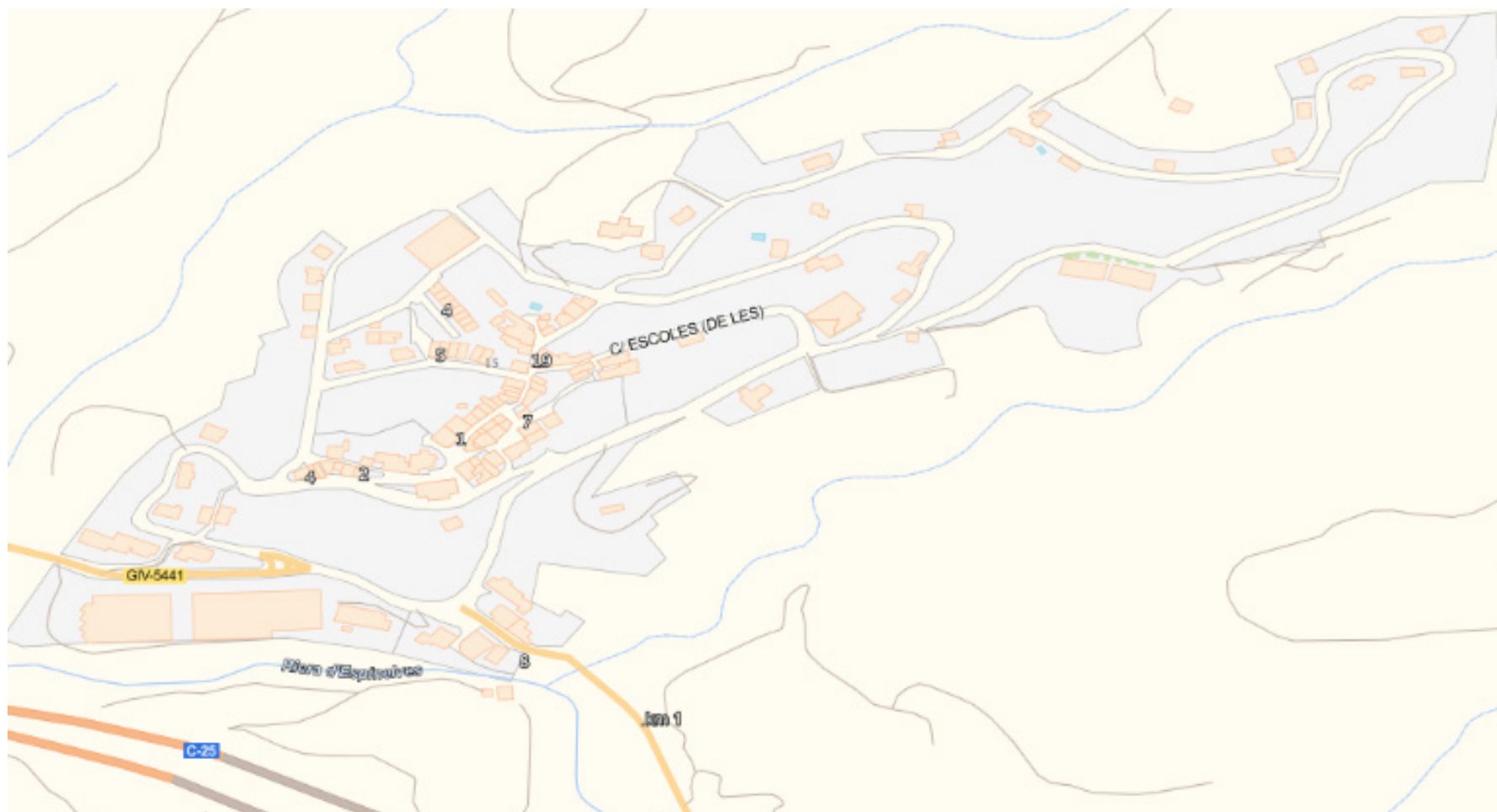
Annex I: Diagrama de Gantt de planificació de treball



Annex II: Ortofoto del municipi d'Espinelves



Annex III: Cartografia cadastral del municipi d'Espinelves



ANNEX IV: Consentiment d'instal·lació de cablejat de fibra òptica per a propietaris de cases unifamiliars o comunitats de veïns (Orange)



PERMISO DE INSTALACIÓN

D./Doña _____, con D.N.I. nº: _____,
actuando en nombre propio (único propietario) /en representación de la comunidad de propietarios (propiedad horizontal) del inmueble ubicado en _____
nº _____ CP _____ de _____ (_____),

AUTORIZA

A ORANGE ESPAÑA COMUNICACIONES FIJAS S.L.U. para que proceda a la instalación, modificación, mantenimiento reparación y en su caso, retirada de cables y equipos de distribución de fibra óptica, necesarios para tener acceso a las redes de telecomunicaciones de banda ancha. Todo ello se realizará de forma gratuita para su comunidad y sin afectar a los servicios existentes. La instalación será realizada por el operador ORANGE ESPAÑA COMUNICACIONES FIJAS S.L.U., quedando esta entidad autorizada para realizar los accesos, reparaciones, intervenciones posteriores y labores de mantenimiento que fueran necesarias para el funcionamiento de la instalación. En caso de producirse algún daño durante la instalación o como consecuencia de su realización ORANGE ESPAÑA COMUNICACIONES FIJAS S.L.U. se hará cargo de su reparación. Se adjunta croquis-tipo de la instalación y eventuales mejoras a realizar por ORANGE ESPAÑA COMUNICACIONES FIJAS S.L.U. para prestar sus servicios a los vecinos del inmueble.

Cualquier inquietud, solicitud o reclamación relacionada con esta autorización puede dirigirse al teléfono 900834073 o a través de email: atencion.fibra@orange.com

Dando conformidad a lo anteriormente expuesto y para que así conste, firmo el presente documento de autorización.

En _____, a _____ de _____ de _____

POR LA COMUNIDAD

ORANGE ESPAÑA COMUNICACIONES FIJAS S.L.U.
B-87706305
Mónica Sala Gomez
CTO

ANNEX V: Compromís de confidencialitat dels plànols descarregats a través del portal Inkolan

COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD Y OTROS COMPROMISOS

"Don ,con DNI, domicilio en la calle.....del municipio de....., estudiante de en la Universidad de"

CERTIFICA Y ACEPTA

1.-Que los datos aportados en el formulario de suscripción son ciertos y que la persona que figura en el mismo como "Usuario" mantiene una relación educativa con dicha entidad.

2.-INKOLAN ofrece a los estudiantes, para poder realizar proyectos de fin de carrera, tesis o proyectos similares, un acceso gratuito a nuestra página www.inkolan.com, **por un periodo de 1 mes desde la fecha de alta de registro.**

3.- Que el solicitante se obliga a no facilitar a otras personas los datos de identificación de USUARIO Y CLAVE proporcionados por INKOLAN para acceder a las funcionalidades del Portal de Internet por ser considerados personales, confidenciales e intransferibles.

3.-Que conoce que la información suministrada por INKOLAN es de carácter confidencial y está destinada, única y exclusivamente, al fin indicado en cada una de las solicitudes que se cursen al amparo de la citada suscripción.

4.- Que cualquier violación de la prohibición de la entrega de la información a terceros, así como su utilización para fines distintos, harán responsable al infractor de las acciones legales pertinentes y de la responsabilidad de indemnizar los daños y perjuicios ocasionados.

5.- Que conoce y acepta los Condicionantes Técnicos Generales de INKOLAN y Particulares de los Socios y Colaboradores.

Ena (día).....de(mes)de...(año)

Firmado:

Nombre:

INKOLAN garantiza la confidencialidad de las informaciones y datos personales facilitados y en cumplimiento de la LOPD 15/1999, le informa que los datos, son necesarios para gestionar la solicitud planteada, serán tratados en ficheros de INKOLAN, para la gestión integral de los servicios de publicación de los ficheros digitalizados de las redes de infraestructuras de los servicios públicos ofrecidos por la organización, gestión de clientes contable, fiscal y administrativa, publicidad, incluso por medios electrónicos, y encuestas de satisfacción, los socios y colaboradores, pueden tener acceso a la información asociada a la descarga de redes realizadas por el Usuario, se compromete a su veracidad y actualización. Puede acceder, rectificar, cancelar y oponerse en C/ Rodríguez Arias 5, 5ª dcha., 48008, Bilbao (Bizkaia) o bien en inkolan@inkolan.com / info@redesdeservicios.es

Nota: Complimentar el texto sobre documento con membrete oficial de la entidad solicitante, remitiéndolo a INKOLAN vía fax al nº 94-479 38 78 o por correo electrónico a la dirección: inkolan@inkolan.com

ANNEX VI: Fitxa tècnica de l'antena UBIQUITI LBE-5AC-Gen2

Specifications

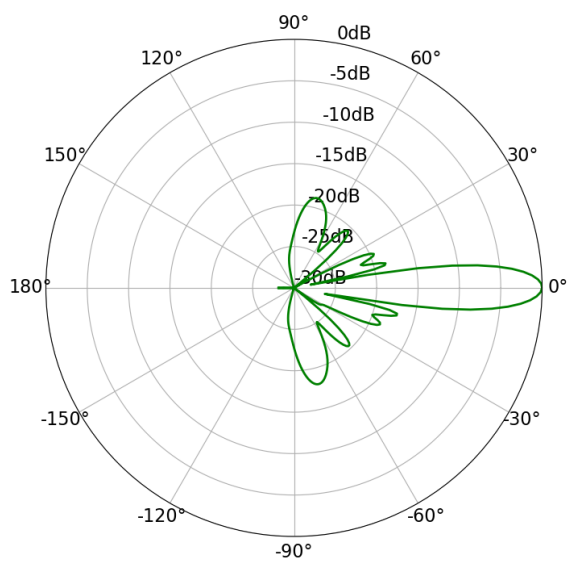
LBE-5AC-Gen2		
Dimensions	358 x 271.95 x 272.5 mm (14.09 x 10.71 x 10.73")	
Weight	800 g (1.76 lb)	
Without Mount		
With Mount	980 g (2.16 lb)	
Power Supply	24V, 0.3A Gigabit PoE Adapter (Included)	
Max. Power Consumption	7W	
Power Method	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)	
Supported Voltage Range	24V ± 10%	
Gain	23 dBi	
Networking Interface	(1) 10/100/1000 Ethernet Port	
Processor Specs	MIPS 74Kc	
Memory	64 MB DDR2	
LEDs	Power, Ethernet	
Channel Sizes	PtP Mode	PtMP Mode
	10/20/30/40/50/60/80 MHz	10/20/30/40 MHz
Enclosure Characteristics	Reflector (SGCC 0.6T) / Plastic: PC	
Mounting	Pole-Mounting Kit (Included)	
Wind Loading	275 N @ 200 km/h (61.8 lbf @ 125 mph)	
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)	
ESD/EMP Protection	± 24 kV Contact / Air	
Operating Temperature	-40 to 70° C (-40 to 158° F)	
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing	
Certifications	CE, FCC, IC	

Operating Frequency (MHz)				
Worldwide	5150 - 5875			
US/CA	U-NII-1: 5150 - 5250	U-NII-2A: 5250 - 5350 MHz	U-NII-2C: 5470 - 5725 MHz	U-NII-3: 5725 - 5850

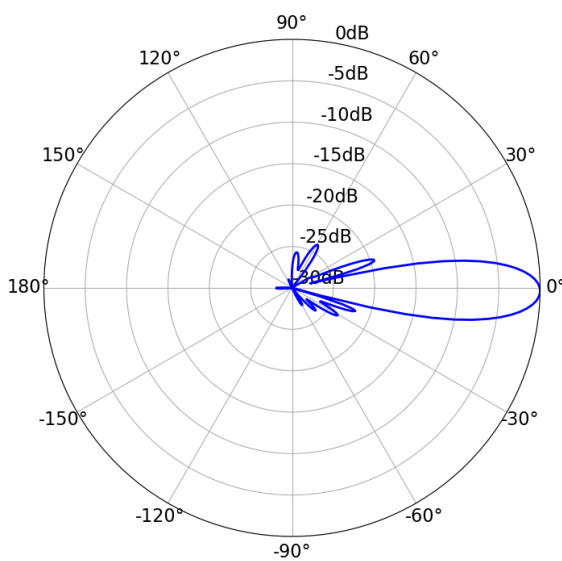
Management Radio (MHz)	
Worldwide	2412 - 2472
US/CA	2412 - 2462

LBE-5AC-Gen2 Output Power: 25 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (½)	25 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (½)	-96 dBm Min.	± 2 dB
	2x QPSK (½)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (½)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (¾)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (¾)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (½)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (½)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (¾)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (¾)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¾)	25 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¾)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¾)	24 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¾)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (¾)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (¾)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (¾)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (¾)	-69 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (¾)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (¾)	-65 dBm	± 2 dB

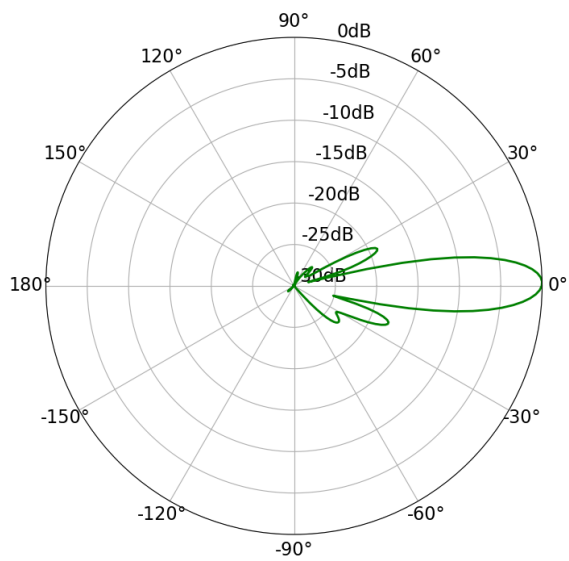
Vertical Azimuth



Vertical Elevation



Horizontal Azimuth



Horizontal Elevation

