Desenvolupament d’una xarxa telemàtica per proveir accés a Internet al municipi de Sant Pol de Mar

Ferran Serra Martí
Grau de Tecnologies de la Telecomunicació
Integració de xarxes telemàtiques

José López Vicario
Pere Tuset Peiró

06/2018

Aquesta obra està subjecte a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	*Desenvolupament d'una xarxa telemàtica per proveir accés a Internet al municipi de Sant Pol de Mar.*
Nom de l'autor:	*Ferran Serra Martí*
Nom del consultor/a:	*José López Vicario*
Nom del PRA:	*Pere Tuset Peiró*
Data de lliurament:	*06/2018*
Titulació o programa:	*Grau de Tecnologies de la Telecomunicació*
Àrea del Treball Final:	*Integració de xarxes telemàtiques*
Idioma del treball:	*Català*
Paraules clau	*WiFi, WiMAX, Sant Pol de Mar*

Resum del Treball:

Actualment, és gairebé imprescindible garantir que tothom pugui disposar d'accés permanent Internet així com intentar que ningú pugui quedar exclòs de la societat de la informació, almenys per falta de recursos o facilitats, tal i com ho reafirmen diferents polítiques de la Unió Europea al respecte, com l'abolició del *Roaming* o la iniciativa WIFI4EU.

En aquest sentit, el present projecte pretén, d'una banda desenvolupar una xarxa telemàtica que ofereixi accés lliure i gratuït a Internet als habitants i visitants de Sant Pol de Mar i, de l'altre, exemplificar que qualsevol petita població similar pot, per un reduït cost, oferir una solució anàloga, donant una imatge de municipi tecnològicament avançat i preocupat pels seus ciutadans i el seu turisme.

Per fer-ho, es realitza en primer terme un estudi acurat i individualitzat del municipi així com dels requeriments particulars del projecte, ja siguin tècnics o legals. Posteriorment, s'ofereix una visió de les tecnologies aplicables i es conclou que el més adient és optar per una solució sense fils que combini WiMAX com a tecnologia troncal de distribució i Wi-Fi com a tecnologia d'accés. D'altre banda, s'analitza la seguretat en aquest tipus de xarxes, es

realitza una proposta precisa d'implementació i fa una simulació per validar el seu funcionament teòric. També, s'ofereix una memòria econòmica i es contemplen diferents possibilitats de finançament i futura ampliació.

Finalment, es conclou que aquest projecte és tècnica i econòmicament viable per Sant Pol de Mar i, a més, que pot ser beneficiós en termes d'imatge i qualitat de vida.

Abstract:

Nowadays, it is almost indispensable to guarantee that everyone is able to have permanent access to Internet, as well as try that anyone could be out of the information society, at least for missing resources or facilities, as it is reaffirmed on different European Union policies about it, like *Roaming* abolition or WIFI4EU initiative.

For this reason, the present project pretends, on the one hand, to develop a telematics network to offer free Internet access to neighbours and visitors of Sant Pol de Mar and, on the other hand, exemplify that any small similar town like this can, for a low cost, offer an analogous solution, showing an image of technological advanced village worried for its citizens and its tourism.

To do it, it is done in the first term an accurate and individual study about the town, just as the particular requirements of the project, as technical as legal. Next, a vision of applicable technologies is offered and it concludes that the most suitable option is a wireless solution that combines WiMAX as a backbone distribution technology and Wi-Fi as an access technology. On the other side, we analyse the security in this kind of networks, we do a precise proposal of implementation and we practise a simulation to validate its theoretical operation. Also, we offer an economical memory and we consider different financing possibilities and future extensions.

Finally, we conclude that this project is technically and economically viable for Sant Pol de Mar and, moreover, it can be beneficial in image and life quality terms.

Agraïments:

Als meus pares, per creure sempre amb mi.

A la Laura, pel seu suport incondicional.

A la resta de la família, amics i, en definitiva, a totes aquelles persones que m'han recolzat en algun moment.

A tots els consultors i companys de la UOC que han compartit amb mi aquesta etapa i, especialment, a en José López Vicario per guiar-me en la realització d'aquest treball.

Índex

1. Introducció 1
1.1 Context i justificació del Treball 1
1.2 Objectius del Treball 1
1.3 Enfocament i mètode seguit 2
1.4 Planificació del Treball 3
1.5 Breu sumari de productes obtinguts 4
1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria 4
2. Estudi del municipi 5
2.1 Ubicació 5
2.2 Orografia 7
2.3 Clima 8
2.4 Activitat econòmica i demografia 8
2.5 Urbanisme i punts d'interès 10
2.6 Conclusions 11
3. Aspectes legals 12
3.1 Competències en matèria de telecomunicacions 12
3.2 Principals organismes reguladors 12
3.3 Llei general de telecomunicacions 13
3.4 Altres normatives rellevants 15
3.5 Resum dels punts més importants de la normativa aplicable 16
3.6 Conclusions 17
4. Anàlisi previ del projecte 18
4.1 Ús del servei i limitacions 18
4.2 Avaluació de la utilitat 18
4.3 Avaluació de la usabilitat 20
4.4 Zona de cobertura 20
4.5 Estudi de l'ample de banda requerit 21
4.6 Conclusions 22
5. Xarxes sense fils 24
5.1 Introducció a les xarxes sense fils 24
5.2 Classificació de les xarxes sense fils segons el seu abast 24
5.3 Topologies de xarxes i modes d'operació 25

5.4 Conclusions 27
6. Tecnologies utilitzades 28
6.1 WiFi 29
6.2 WiMAX 30
6.3 Conclusions 32
7. Seguretat de xarxa 33
7.1 Seguretat en xarxes WiMAX 33
7.2 Seguretat en xarxes Wi-Fi 34
7.3 Seguretat addicional 35
7.4 Conclusions 35
8. Disseny de la xarxa 37
8.1 Infraestructura necessària 37
8.2 Ubicació dels nodes 38
8.3 Diagrama de xarxa 39
8.4 Equipament utilitzat 40
8.5 Adreçament IP 45
8.6 Conclusions 46
9. Simulació 47
9.1 *Software* de simulació: RadioMobile 47
9.2 Consideracions prèvies a la simulació 48
9.3 Simulació dels enllaços WiMAX i la cobertura Wi-Fi 50
9.4 Conclusions 55
10. Memòria econòmica 56
10.1 Pressupost 57
10.2 Proposta d'opcions de finançament 58
10.3 Conclusions i anàlisi de la viabilitat econòmica del projecte 58
11. Avaluació de la necessitat i possibilitat d'ampliació del projecte 59
11.1 Avaluació de la necessitat d'ampliació del projecte 59
11.2 Avaluació de la possibilitat d'ampliació del projecte 60
11.3 Conclusió 60
12. Conclusions finals 61
13. Glossari 62
14. Bibliografia 64

Llista de figures

Figura 1. Diagrama de Gantt 4
Figura 2. Ubicació del municipi dins la península ibèrica i sud d'Europa 6
Figura 3. Ubicació del municipi dins del Maresme i respecte Barcelona 6
Figura 4. Terme municipal de Sant Pol de Mar 6
Figura 5. Mapa topogràfic de Sant Pol de Mar 7
Figura 6. Captura en 3D de la vila Sant Pol de Mar 7
Figura 7. Climograma de Sant Pol de Mar 8
Figura 8. Població segons grans grups de Sant Pol de Mar 9
Figura 9. Padró municipal d'habitants de Sant Pol de Mar 10
Figura 10. Punts d'interès de Sant Pol de Mar 10
Figura 11. Patrimoni arquitectònic de Sant Pol de Mar 11
Figura 12. Usos d'Internet 2017 19
Figura 13. Zona de cobertura 20
Figura 14. Xarxes sense fils 25
Figura 15. Topologies de xarxes 26
Figura 16. Modes bàsics d'operació de les xarxes 27
Figura 17. Logotips Wi-Fi i WiMAX 28
Figura 18. Exemple Wi-Fi i WiMAX 32
Figura 19. Infraestructura i requisits de xarxa 37
Figura 20. Diagrama de xarxa 39
Figura 21: Conjunt complet BreezeACCESS VL 40
Figura 22: Conjunt AP BreezeACCESS Wi^2 i CRTL-10 41
Figura 23: AP Tp-link CPE 210 42
Figura 24: *Firewall* Cisco ASA5506-K9 43
Figura 25: *Switch* Cisco Catalyst WS-C3560C-8PC-S 43
Figura 26: Exemple de *Router* d'Orange a l'esquerra i de Movistar a la dreta 43
Figura 27: Servidor i perifèrics 44
Figura 28: *Rack* 19" 12U 44
Figura 29. Radio Mobile: Versió 47
Figura 30. Radio Mobile: Obtenció mapa d'altituds 50
Figura 31. Radio Mobile: Combinació mapa d'altituds amb mapa urbà 50
Figura 32. Radio Mobile: Creació de la xarxa WiMAX 51
Figura 33. Radio Mobile: Creació de la xarxa Wi-Fi 51
Figura 34. Radio Mobile: Mapa d'ubicacions 51
Figura 35. Radio Mobile: Creació dels sistemes WiMAX 52

Figura 36. Radio Mobile: Creació dels sistemes Wi-Fi 52
Figura 37. Radio Mobile: Configuració membres xarxa WiMAX 52
Figura 38. Radio Mobile: Simulació xarxa WiMAX 53
Figura 39. Radio Mobile: Detall enllaços WiMAX Ajuntament – Estació i Ajuntament – EUHT-stPOL 53
Figura 40. Radio Mobile: Detall enllaços WiMAX Ajuntament – Pl. Anselm Clavé i Ajuntament – Av. Dels Garrofers 54
Figura 41. Radio Mobile: Detall enllaços WiMAX Ajuntament – Urbanització i Ajuntament – EP Sant Pau 54
Figura 42. Radio Mobile: Detall enllaços WiMAX Ajuntament – Poliesportiu i Ajuntament – Parc del Litoral 55
Figura 43. Radio Mobile: Configuració membres xarxa Wi-Fi 55
Figura 44. Radio Mobile: Simulació cobertura xarxa Wi-Fi 56
Figura 45. Distribució canals Wi-Fi a la banda 2,4GHz a Europa 57
Figura 46. Imatge de Sant Pol de Mar 61

Llista de Taules

Taula 1. Tasques del projecte 3
Taula 2. Taula climàtica de Sant Pol de Mar 8
Taula 3. Evolució demogràfica de Sant Pol de Mar 9
Taula 4. Relació entre els usos principals d'Internet i velocitats 19
Taula 5. Equipament i ús de les noves tecnologies 21
Taula 6. Càlcul ample de banda requerit 22
Taula 7. Resum perfils d'usuaris potencials 23
Taula 8. Resum requisits inicials de la xarxa 23
Taula 9. Avantatges i inconvenients tecnologies sense fils 27
Taula 10. Taula-resum estàndards 802.11 30
Taula 11. Taula-resum estàndards 802.16 32
Taula 12. Ubicació dels nodes de xarxa 38
Taula 13. Proposta d'adreçament IP 45
Taula 14. Taula resum requisits-valors 46
Taula 15. Descripció nivells *S-meter* 49
Taula 16. Taula resum mètriques de simulació 50
Taula 17. Distribució de canals Wi-Fi 57
Taula 18. Pressupost 58

1. Introducció

1.1 Context i justificació del Treball

Internet, a dia d'avui, és un dels principals mitjans de comunicació globals, un mitjà essencial que elimina qualsevol tipus de barrera, ja sigui física, temporal o social i, que permet satisfer no només les necessitats informatives i comunicatives de les persones, sinó que ha permès i seguirà permetent una revolució que ha iniciat un canvi (basat en la informació) en la nostra forma de viure en tots els àmbits. De fet, és realista afirmar que a hores d'ara qualsevol de nosaltres ja no pot imaginar un món sense Internet, igual que no el podem imaginar sense electricitat. Per aquest motiu, Internet ja es pot considerar un servei bàsic en la societat actual i, per tant, tothom hi ha de poder tenir un accés permanent, lliure i segur.

Dit això, a més, és gairebé imprescindible que aquest servei es pugui gaudir a qualsevol lloc i en qualsevol instant, ja sigui en la ciutat més tecnològica o en el poble més petit, a casa o al carrer. És per aquest fet, que es pretén desenvolupar l'estudi d'aquesta xarxa telemàtica, per tal de mostrar que qualsevol vila, en aquest cas Sant Pol de Mar, amb un cost assumible té la possibilitat de disposar d'una infraestructura de comunicacions que permeti que cap dels seus habitants pugui quedar enrere en aquesta revolució, des del més jove al més gran, des del de més poder adquisitiu al de menys i des del ciutadà de tota la vida al nouvingut o el que simplement hi és de pas.

Certament, a l'actualitat Sant Pol de Mar ja disposa d'un servei de connexió a Internet amb els principals proveïdors. No obstant, la xarxa que es presentarà en aquest projecte serà completament sense fils per tal que permeti, com s'ha avançat, un accés permanent, segur i gratuït per a tothom i a qualsevol lloc de la vila.

Finalment, el resultat que es vol obtenir amb aquest treball, és no tant sols un projecte complet de la realització de la xarxa en qüestió sinó també un exemple de com moltes altres viles similars poden incloure aquesta tecnologia en el seu dia a dia, sent més modernes i millorant la qualitat de vida i la integració tecnològica de la seva gent.

1.2 Objectius del Treball

L'**objectiu principal** d'aquest projecte és desenvolupar un estudi concret i realista d'una xarxa telemàtica que permeti proveir accés gratuït a Internet als veïns del municipi de Sant Pol de Mar. Concretament, es pretén oferir un servei bàsic, és a dir, navegació web i correu electrònic principalment, que permeti que tots els veïns d'aquesta localitat puguin disposar d'un accés permanent, segur i gratuït a Internet, servei essencial dels temps actuals.

D'altre banda, com a **objectius específics** tindríem els vinculats a cada un dels apartats que composen el projecte i que serien:

- Realitzar un estudi del municipi de Sant Pol de Mar a diferents nivells (d'ubicació, de patrimoni, demogràfic, físic, climàtic i econòmic) per tal de planificar l'actuació i també definir una zona de cobertura del servei basant-nos en les dades obtingudes.

- Realitzar un estudi sobre la legislació actual aplicable a la implementació de xarxes sense fils de propietat municipal.

- Realitzar un estudi sobre els possibles usos i limitacions del servei així com l'ample de banda requerit per tal de garantir-ne un bon funcionament.

- Realitzar un estudi sobre la utilitat i usabilitat del projecte.

- Realitzar un estudi sobre les xarxes sense fils, així com les seves topologies i classificacions més habituals.

- Realitzar un estudi sobre les tecnologies sense fils més adients per aquest tipus de projectes i extreure'n conclusions precises.

- Realitzar un estudi acurat que ofereixi una visió global sobre seguretat en les xarxes sense fils i prendre les decisions oportunes en aquest camp.

- Dissenyar la xarxa objecte del projecte i oferir una proposta d'implementació amb les infraestructures necessàries, els equips més adients del mercat i minimitzant l'impacte mediambiental en la mesura del possible.

- Realitzar una simulació del funcionament de la xarxa per validar el seu disseny.

- Realitzar una memòria econòmica acurada que contingui tant un pressupost del cost del projecte com opcions de finançament i un anàlisis de la seva viabilitat.

- Realitzar un estudi sobre la necessitat i/o la possibilitat d'ampliació de la xarxa en un futur.

1.3 Enfocament i mètode seguit

L'**enfocament** per tal de dur a terme aquest projecte i poder obtenir un resultat precís, realista i de qualitat serà:

En primer terme, oferir un anàlisi detallat de tots els requeriments particulars del municipi sobre el qual es treballa, ja siguin derivats de la seva orografia, característiques pròpies de qualsevol tipus, utilitat, usabilitat o legislació aplicable.

En segon terme, oferir una visió comprensible dels continguts i tecnologies que s'hi presenten.

Posteriorment, oferir un disseny tècnic del projecte partint d'un estudi de mercat sobre quins són els millors elements per realitzar-lo així com les tecnologies i configuracions més adients per fer-ho.

Finalment, oferir una validació del disseny tècnic a través de simulacions mitjançant programari especialitzat, així com un anàlisi de la viabilitat econòmica del projecte.

D'aquesta forma, per dur a terme aquest treball es seguiran els següents **mètodes**:

D'una banda, i referent a l'elaboració de tots els estudis, es seguirà un mètode d'investigació documental.

De l'altre, i referent al disseny de la xarxa i realització de la valoració econòmica, es seguirà un mètode analític basat en les dades resultants dels estudis duts a terme.

Per últim, i fent referència a la validació i comprovació de funcionament del disseny presentat, es seguirà un mètode de simulació assistida per ordinador.

1.4 Planificació del Treball

Per dur a terme aquest projecte, com a recurs específic, només serà necessari disposar del *software* que ens permetrà realitzar les simulacions per tal de verificar el disseny, en aquest cas Radio Mobile.

D'altre banda, les tasques a realitzar i la seva planificació temporal són les que s'exposen a la següent taula:

Nom de la tasca	Inici	Final	Durada
TFG – Integració de xarxes telemàtiques	**21/02/18**	**24/06/18**	124d
Decisió del projecte i comunicació al consultor	**21/02/18**	**28/02/18**	**8d**
Planificació (PAC 1)	**01/03/18**	**07/03/18**	**7d**
1er lliurament (PAC 2)	**08/03/18**	**18/04/18**	**42d**
Introducció	08/03/18	14/03/18	5d
Estudi del municipi	15/03/18	19/03/18	4d
Aspectes legals	20/03/18	25/03/18	5d
Anàlisi previ del projecte	26/03/18	07/04/18	12d
Xarxes sense fils	07/04/18	12/04/18	5d
Tecnologies utilitzades	13/04/18	18/04/18	5d
Seguretat xarxes sense fils	19/04/18	24/04/18	6d
2on lliurament (PAC 3)	**19/04/18**	**23/05/18**	**35d**
Disseny de la xarxa	25/04/18	06/05/18	14d
Simulació	07/05/18	16/05/18	14d
Memòria econòmica	17/05/18	19/05/18	3d
Anàlisis necessitat i possibilitat d'ampliació del projecte	20/05/18	20/05/18	1d
Conclusions finals	21/05/18	21/05/18	1d
Glossari, bibliografia i annexos	22/05/18	23/05/18	2d
Elaboració i entrega memòria final	**24/05/18**	**10/06/18**	**18d**
Elaboració i entrega de la presentació	**11/06/18**	**17/06/18**	**7d**
Tribunal d'avaluació	**18/06/18**	**24/06/18**	**7d**

Taula 1. Tasques del projecte

I de forma més gràfica, en el següent **diagrama de Gantt**:

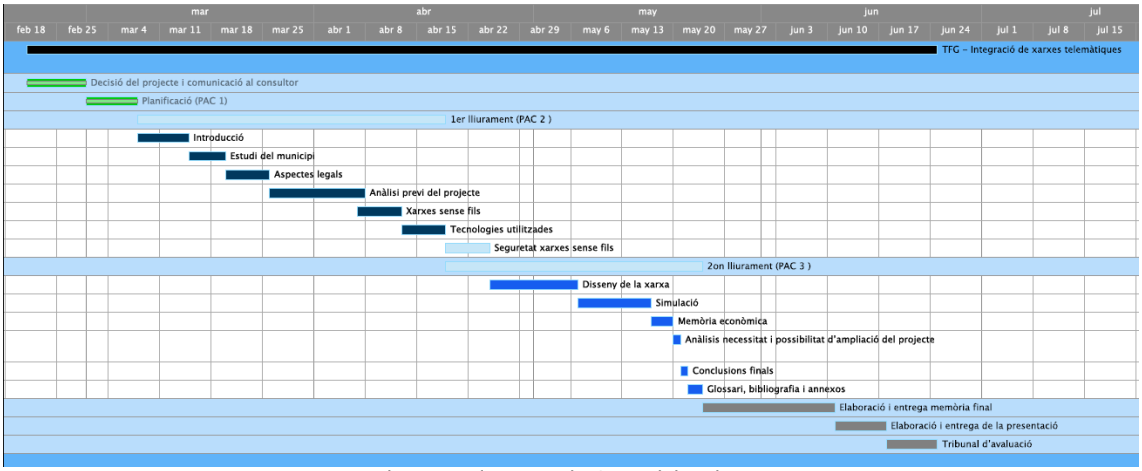


Figura 1. Diagrama de Gantt del projecte

1.5 Breu sumari de productes obtinguts

Aquest projecte està compost per la present memòria tècnica i una presentació on es poden apreciar de forma resumida les idees i elements més representatius.

1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria

Els diferents capítols que composen la memòria i conformen el projecte són :

- **Estudi del municipi:** En aquest apartat s'ofereix un estudi acurat del municipi en diferents àmbits.

- **Aspectes legals**: En aquest apartat s'ofereix un estudi de les lleis i normatives aplicables i les conclusions al seu respecte.

- **Anàlisi previ del projecte**: En aquest apartat s'ofereix un estudi sobre l'ús del servei i les seves limitacions, la zona de cobertura, l'ample de banda requerit així com una avaluació precisa de la utilitat i la usabilitat del projecte.

- **Xarxes sense fils:** En aquest apartat s'ofereix una visió global i introductòria de les xarxes sense fils així com les diferents topologies que poden adoptar i la seva classificació segons el seu abast.

- **Tecnologies utilitzades:** En aquest apartat es presenten les tecnologies WiFi i WiMAX respectivament i, s'ofereix una conclusió sobre quina és més adient pel projecte que es duu a terme.

- **Seguretat de xarxa:** En aquest apartat s'ofereix un estudi sobre la seguretat en les xarxes WiFi i WiMAX així com les mesures addicionals que cal adoptar per garantir una solució segura.

- **Disseny de la xarxa:** En aquest apartat s'ofereix un estudi sobre la infraestructura i equips necessaris per desenvolupar la xarxa en qüestió així com la seva ubicació, tot complementat per un apartat sobre adreçament IP i un altre de conclusions en aquesta àrea.

- **Simulació:** En aquest apartat s'ofereix una descripció del recurs de simulació (Radio Mobile), una simulació utilitzant aquest programari i unes conclusions sobre aquesta.

- **Memòria econòmica:** En aquest apartat s'ofereix un estudi sobre la viabilitat del projecte i s'aporta un pressupost detallat i diferents opcions de finançament.

- **Avaluació de la necessitat i possibilitat d'ampliació del projecte:** En aquest apartat s'avalua, entre altres, si és necessari ampliar el projecte, ja sigui en termes de velocitat o abast, o bé si és recomanable oferir un servei de pagament destinat a turistes i, en el cas que ho sigui, les possibilitats i conseqüències reals de fer-ho.

2. Estudi del municipi

En aquest apartat, es pretén donar una visió del municipi de Sant Pol de Mar des de diferents variants que poden afectar d'una forma o altre el projecte que es pretén desenvolupar així com una millor comprensió de la seva localització.

2.1 Ubicació

Sant Pol de Mar [1] és un municipi del litoral de la província de Barcelona, situat a la comarca del Maresme entre els municipis de Calella (NE) i Canet de Mar (SW) i a uns 50km aproximadament de Barcelona. Per la seva vessant interior limita amb el terme municipal de Sant Cebrià de Vallalta.

Figura 2. Ubicació del municipi dins la península ibèrica i sud d'Europa (Font: Google Earth).

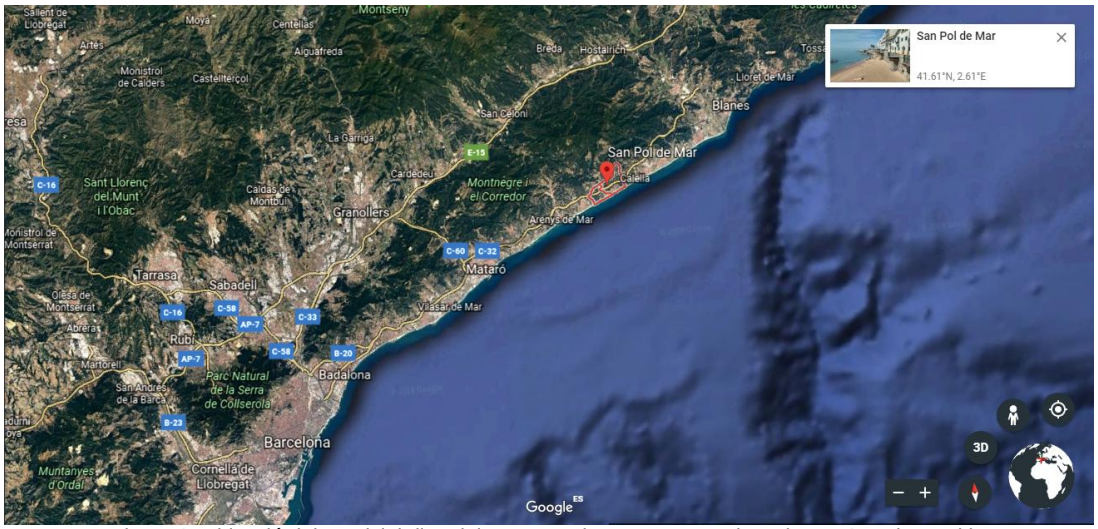


Figura 3. Ubicació del municipi dins del Maresme i respecte Barcelona (Font: Google Earth).

El terme municipal de Sant Pol de Mar comprèn a part de la vila que en duu el nom i que és el cap de municipi, diverses urbanitzacions residencials (El Farrell, Urbapol, Can Vallmanya, Can Pi, Can Villar i els Garrofers, entre d'altres), caseries i l'antic monestir benedictí i cartoixa de Sant Pol del Maresme, fent un total de 14 nuclis de població repartits en una superfície de 7,49km^2. No obstant, aquest projecte únicament pretén donar cobertura a la pròpia vila de Sant Pol de Mar i el seu entorn més immediat.

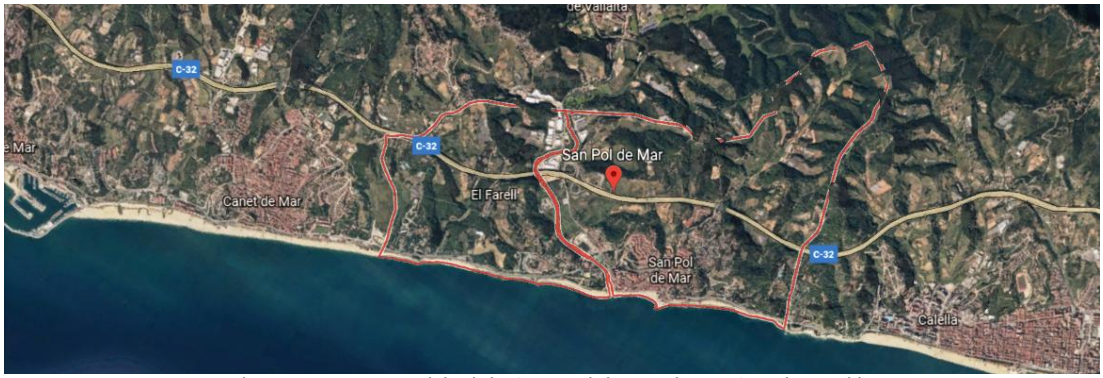


Figura 4. Terme municipal de Sant Pol de Mar (Font: Google Earth).

2.2 Orografia

Referent a les característiques orogràfiques, l'altitud de la vila de Sant Pol de Mar és de només 15m sobre el nivell del mar. No obstant, es troba situada en un terme municipal molt accidentat ja que és rodejat per una sèrie de muntanyes o turons que constitueixen els contraforts del massís del Montnegre ja tocant al mar.

De tota manera, aquest projecte com s'ha avançat es centrarà únicament en la vila de Sant Pol de Mar i voltants immediats, motiu pel qual cal tenir present una orografia amb certs desnivells però en cap cas intensos. Concretament al voltant dels 35-40m com a màxim en els punts més elevats.

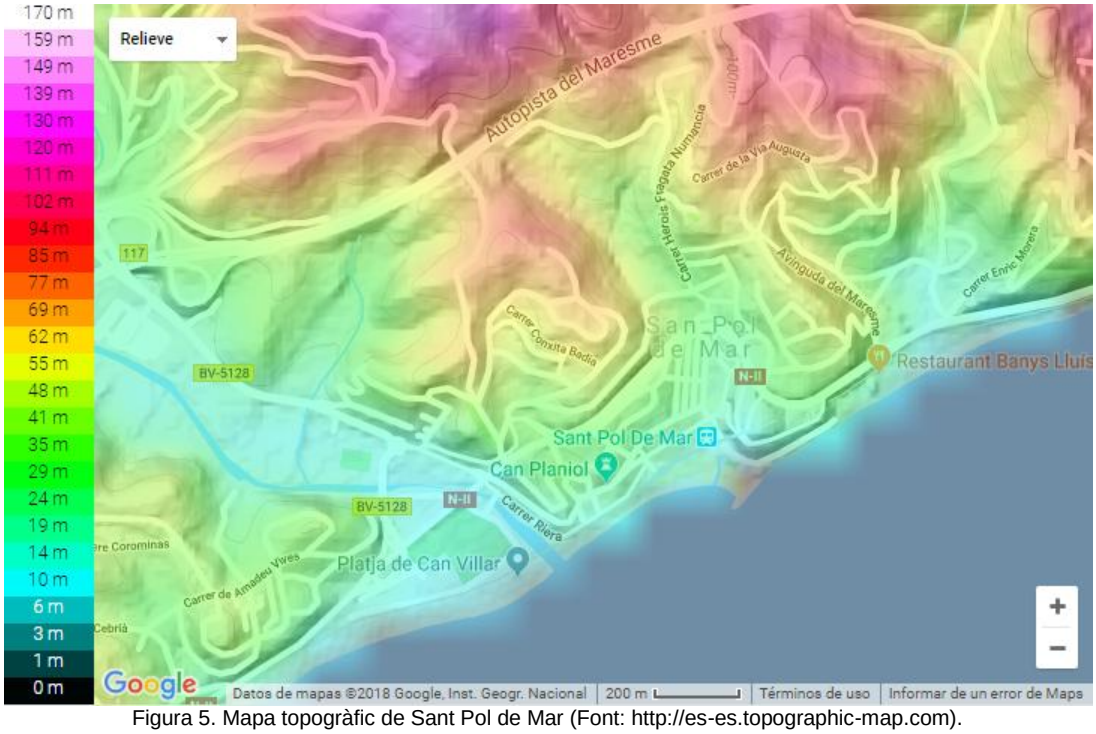


Figura 5. Mapa topogràfic de Sant Pol de Mar (Font: http://es-es.topographic-map.com).

Figura 6. Captura en 3D de la vila Sant Pol de Mar (Font: Google Earth).

2.3 Clima

El clima de Sant Pol de Mar [2] és suau i generalment càlid i temperat. Durant l'any les pluges són escasses, especialment a l'estiu, sent més freqüents a la tardor i, fent un volum mitjà de precipitació anual de 686mm. Referent a la temperatura, aquesta varia uns 15º durant l'any, sent d'uns 23.9º de mitjana a l'estiu (Juliol) i uns 8,9º a l'hivern (Gener).

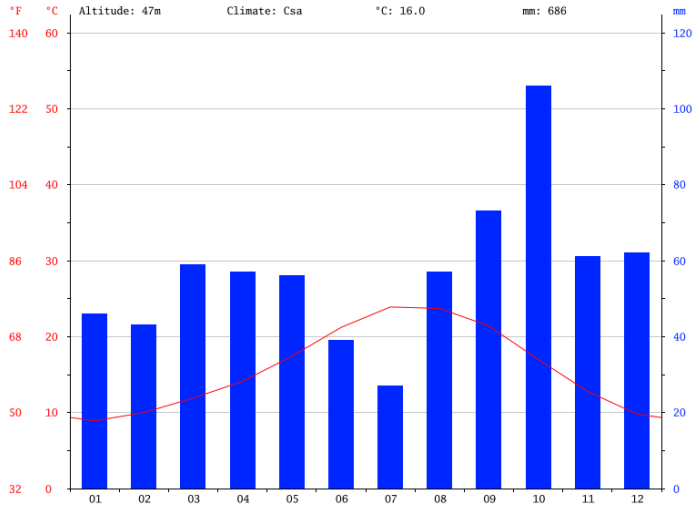


Figura 7. Climograma de Sant Pol de Mar (Font: https://es.climate-data.org).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	8.9	10	11.9	14.1	17.4	21.2	23.9	23.7	21.4	17	12.8	9.8
Temperatura min. (°C)	5.7	6.7	8.6	10.4	13.7	17.3	20	19.9	18	13.8	9.6	6.8
Temperatura máx. (°C)	12.1	13.3	15.3	17.8	21.2	25.1	27.8	27.5	24.8	20.3	16	12.9
Temperatura media (°F)	48.0	50.0	53.4	57.4	63.3	70.2	75.0	74.7	70.5	62.6	55.0	49.6
Temperatura min. (°F)	42.3	44.1	47.5	50.7	56.7	63.1	68.0	67.8	64.4	56.8	49.3	44.2
Temperatura máx. (°F)	53.8	55.9	59.5	64.0	70.2	77.2	82.0	81.5	76.6	68.5	60.8	55.2
Precipitación (mm)	46	43	59	57	56	39	27	57	73	106	61	62

Taula 2. Taula climàtica de Sant Pol de Mar (Font: https://es.climate-data.org).

2.4 Activitat econòmica i demografia

Sant Pol de Mar [3], degut a la seva localització, sempre ha estat un poble de gran activitat econòmica dedicat principalment a l'agricultura i la pesca. Antigament es conreava vinya, ametllers i oliveres. Aquestes darreres però, van deixar pas als garrofers i, actualment, se centra en l'agricultura del maduixot i també dels gerds, però en molt menor mesura. Aquesta gran activitat econòmica va provocar un augment

continuat de població des del s.XVIII on hi havia 375 habitants fins als 1249h de l'any 1900.

A partir de l'any 1920 i amb l'arribada de la línia de ferrocarril del Maresme, Sant Pol de Mar va ser descoberta per les classes benestants de Barcelona i degut al seu encant i proximitat amb la ciutat, es va començar a consolidar com un destí turístic, passant de ser un poble d'humils pescadors a un destí de moda de l'època.

Aquest fet, va provocar que Sant Pol de Mar continués en creixement fins a la dècada dels 60 on l'arribada del turisme de masses li va donar un nou impuls per seguir aquesta tendència fins al voltant de l'any 2007 on va arribar als 5000 habitants aproximadament. No obstant, cal tenir present que aquesta localitat, tot i ser beneficiada pel turisme de masses, mai l'ha promocionat i sempre ha mantingut la seva essència tradicional i de poble pesquer. Per aquest motiu, el seu turisme, és d'una altíssima qualitat i ha esdevingut un destí selecte per famílies de mig-alt poder adquisitiu. A més, la seva Escola Universitària d'Hoteleria i Turisme de Sant Pol juntament amb el Restaurant Sant Pau, regentat per Carme Ruscalleda, han contribuït a fer d'aquesta vila l'excel·lent destí turístic que és a dia d'avui.

Finalment, des del 2007 fins al 2018 l'augment de població s'ha vist estancat quedant al voltant dels 5000 habitants. Concretament l'any 2017, Sant Pol de Mar tenia 5062 habitants i una densitat de població de 675.83 hab/km^2. Aquest fet, suposadament és degut a la seva consolidació com a destí turístic familiar de qualitat i la seva resistència al turisme de masses. Cal destacar però, que degut a aquest estancament s'està provocant un envelliment de la població. Tot i així, a l'actualitat aquesta població en època estival pot ascendir fins als 8000 habitants.

Evolució demogràfica de Sant Pol de Mar									
s.XVIII	**1900**	**1930**	**1950**	**1970**	**1981**	**1986**	**2007**	**2009**	**2017**
375	1249	1658	1723	2041	2275	2401	4904	5102	5062

Taula 3. Evolució demogràfica de Sant Pol de Mar

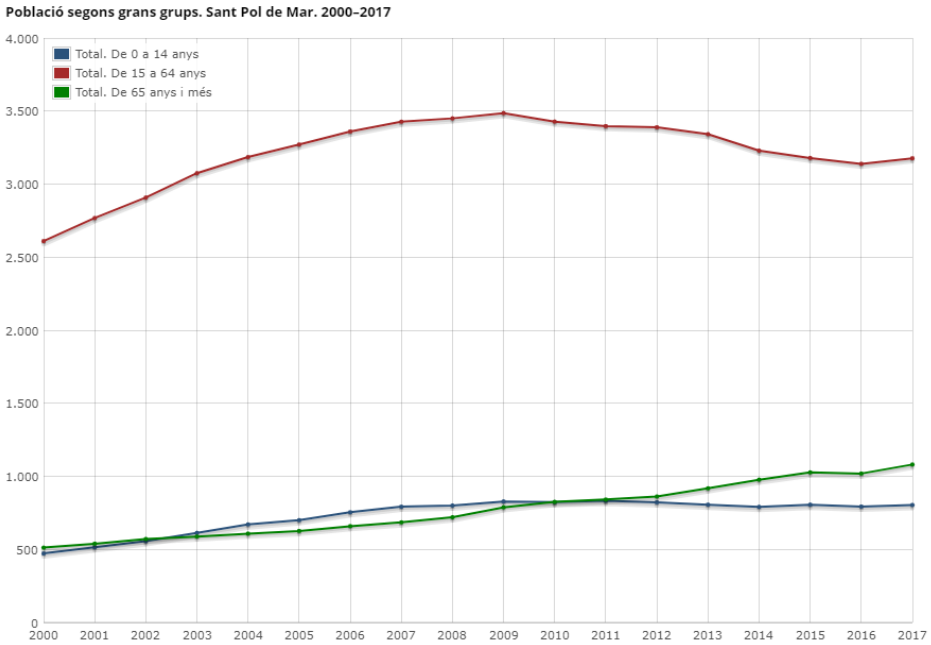


Figura 8. Població segons grans grups de Sant Pol de Mar (Font: Idescat).

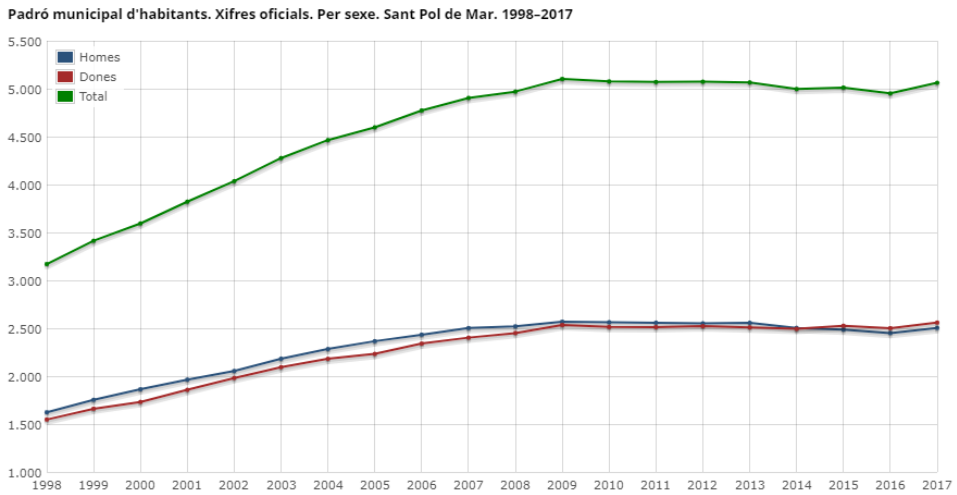


Figura 9. Padró municipal d'habitants de Sant Pol de Mar (Font: Idescat).

2.5 Urbanisme i punts d'interès

En l'àmbit urbanístic, i gràcies a l'excel·lent gestió del turisme de masses que ha dut a terme la població, segueix tenint en gran mesura una configuració de tradicional poble mariner, és a dir, sense grans edificis de més de 4 plantes, especialment a la línia de costa. Si és ben cert que hi ha alguns edificis de més altura però són concentrats a la part més interior de la vila.

D'altre banda, referent als punts d'interès [4 i 5], tenim d'un costat els punts que conformen equipaments i serveis de la vila, platges i punts d'esbarjo i, de l'altre, els punts d'interès arquitectònic i patrimonial.

En la primera classificació trobem principalment: Poliesportiu Municipal, IES Sant Pol, Escola pública Sant Pau, Ajuntament, Club Nàutic, Biblioteca Municipal, Ca l'Arturo, Centre Cultural, Consultori Municipal de Sant Pol, Policia Local, Llar d'avis Sant Pol, Escola Universitària d'Hoteleria i Turisme de Sant Pol, Parc del Litoral, Platja de Can Villar, Platja del Morer, Platja de les Barques, Club de Tennis la Riera i el Restaurant Sant Pau, distribuïts tal i com es pot apreciar a continuació:

Figura 10. Punts d'interès de Sant Pol de Mar (Font: Google Maps).

I en la segona, els diferents elements d'interès històrico-artístic que conformen el patrimoni arquitectònic de la vila i entre els que destaquen: L'església de Sant Jaume, Can Planiol, l'Ermita de Sant Pau i un ventall de cases modernistes, principalment. La distribució d'aquests edificis es pot apreciar a continuació:

Figura 11. Patrimoni arquitectònic de Sant Pol de Mar (Font: www.poblesdecatalunya.cat).

2.6 Conclusions

Les conclusions que es poden extreure de l'estudi del municipi són les següents:

- Degut a la orografia i a la configuració urbanística que té la vila de Sant de Pol de Mar, el disseny de la xarxa telemàtica no presenta a priori complicacions rellevants, és més, disposa de punts elevats en gairebé totes les localitzacions que poden evitar la necessitat de construcció de noves infraestructures civils.

- L'envelliment que comença a presentar la població de Sant Pol de Mar és un motiu rellevant per tal de fomentar i facilitar l'accés a les noves tecnologies i a la societat de la informació dels seus habitants.

- L'anàlisi demogràfic realitzat, ens permet començar a fer una estimació de les necessitats en volum d'usuaris de la xarxa.

- L'implementació de la xarxa telemàtica no presenta complicacions per incidències meteorològiques adverses.

- La concentració dels diferents punts d'interès ens marca la zona principal d'actuació i aquesta està degudament acotada, fet que pot facilitar el disseny de la xarxa. No obstant, cal valorar si és adient ampliar l'abast de la xarxa a les diferents urbanitzacions del terme municipal.

- Degut a que l'activitat econòmica principal de la població és actualment el turisme, es pot valorar la possibilitat d'oferir Internet de pagament als turistes.

3. Aspectes legals

En aquest apartat, s'analitzaran les diferents lleis i normatives que cal tenir presents per realitzar el projecte dins la legalitat vigent i que estan regulades per les autoritats competents en matèria de telecomunicacions.

3.1 Competències en matèria de telecomunicacions

La competència en matèria de telecomunicacions correspon única i exclusivament a l'Estat Espanyol, tal i com es recull en l'article 149 de la Constitució Espanyola (art. 149.1.21ª CE) [6], on afirma que l'Estat té competència exclusiva en matèria de:

"Ferrocarriles y transportes terrestres que transcurran por el territorio de más de una Comunidad Autónoma; régimen general de comunicaciones; tráfico y circulación de vehículos a motor; correos y telecomunicaciones; cables aéreos, submarinos y radiocomunicación."

3.2 Principals organismes reguladors

Els organismes reguladors més rellevants en matèria de telecomunicacions i dels quals cal considerar les seves normatives o recomanacions són, principalment:

- **CNMC** (Comisión Nacional de los Mercados y Competencia)[1], antigament CMT (Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones), és l'organisme que vetlla per aconseguir un bon funcionament del mercat de les telecomunicacions en benefici tant de les empreses com dels consumidors i, per tant, és responsable d'assumir-ne les activitats reguladores, de control i supervisió així com garantir-ne la lliure competència.

- **ITU** (Intenational Telecommunication Union)[2]: És l'organització més important de les Nacions Unides pel que fa a les tecnologies de la informació i la responsable de regular i estandarditzar les telecomunicacions a nivell internacional.

- **ISO** (International Organization for Standardization)[3]: És una organització que treballa per la creació d'estàndards internacionals en diversos camps, entre els quals les telecomunicacions.

- **IEEE** (Institute of Electrical and Electronic Engineers)[4]: És una associació mundial d'enginyers dedicada a la estandardització i desenvolupament en telecomunicacions i altres àrees tècniques.

1. www.cnmc.es/
2. www.itu.int/
3. www.iso.org
4. www.ieee.org

- **IETF** (Internet Engineering Task Force)[5]: És una organització internacional oberta de normalització l'objectiu principal de la qual és contribuir a millorar Internet. El seu àmbit d'acció comprèn un gran ventall de camps entre els quals trobem l'encaminament, la seguretat o el transport. A part, és l'encarregada de regular les propostes i estàndards d'Internet, RFC (*Request For Comments*).

- **ETSI** (European Telecommunications Standards Institute)[6]: És una organització Europea (amb projecció mundial) d'estandardització independent i sense ànim de lucre de la indústria de les telecomunicacions.

3.3 Llei General de Telecomunicacions

La normativa principal que cal aplicar per dur a terme el projecte és la Llei 9/2014, de 9 de maig, General de Telecomunicacions [7], que substitueix l'anterior Llei 32/2003, de 3 de novembre. Aquesta llei està formada per vuitanta quatre articles agrupats en vuit títols, dinou disposicions addicionals, dotze disposicions transitòries, una disposició derogatòria, onze disposicions finals i dos annexos.

Cal destacar que aquesta llei té el doble objectiu, d'una banda de regular estrictament el sector de les telecomunicacions i, de l'altre, i tal i com s'exposa al seu 3er preàmbul, garantir el compliment dels objectius de l'Agenda Digital Europea, principal instrument per el compliment dels objectius de l'Estratègia Europa 2020 (que persegueix que aquest any tots els europeus tinguin la possibilitat d'accedir a connexions de banda ampla a una velocitat com a mínim de 30Mbps, i que, al menys, la meitat de les llars europees estiguin abonades a connexions de banda ampla amb velocitat superior als 100Mbps).

A grans trets, el resum del contingut dels diferents títols de la Llei General de Telecomunicacions és:

- TÍTOL I. Disposicions generals.

Estableix l'objecte de la Llei, que a part de la regulació de les comunicacions electròniques (que al seu temps inclou aspectes com l'habilitació per actuar com operador, els drets i obligacions d'operadors i usuaris o el servei universal), inclou també altres qüestions com ara la instal·lació d'equips i sistemes, la interceptació legal de les telecomunicacions, la conservació de dades o l'avaluació de conformitat d'equips i aparells.

A més especifica que la llei contempla la regulació de les xarxes utilitzades com a suport dels serveis de radiodifusió sonora i televisiva i els seus recursos associats però exclou la regulació dels continguts difosos, mitjançant els serveis de comunicació audiovisual, a través seu. En aquest sentit, també exclou la regulació de la prestació de serveis sobre les xarxes de telecomunicacions que no consisteixin principalment en el transport de senyal a través seu.

Finalment, en aquest títol, també es reordenen els objectius i principis de la Llei, incidint en la importància d'arribar a un equilibri entre el foment de la innovació, el desplegament de noves xarxes, la prestació de nous serveis i la garantia d'una competència efectiva en el mercat de les telecomunicacions.

5. www.ietf.org 6. www.etsi.org/

- TÍTOL II. Explotació de xarxes i prestació de serveis de comunicacions electròniques en règim de lliure competència.

En relació al règim general d'explotació de xarxes i prestació de serveis, aquest títol, reflecteix la plena liberalització del sector.

Dit això, s'indica que l'habilitació per la prestació i explotació de xarxes ve concedida amb caràcter general i immediat per la Llei, però ha de ser notificada al Registre d'Operadors, depenent del Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme. També és necessari que es notifiquin els casos d'autoprestació per operadors controlats directa o indirectament per administracions públiques. En aquest sentit, la Llei estableix limitacions concretes per a la instal·lació i explotació de xarxes i la prestació de serveis per part les administracions públiques, amb la finalitat d'evitar distorsions en la competència.

Finalment, per garantir una competència efectiva en el mercat de les telecomunicacions, s'indica que la CNMC (Comissió Nacional dels Mercats i la Competència), és l'autoritat nacional de regulació independent encarregada de supervisar i regular aquest mercat.

- TÍTOL III. Obligacions de servei públic i drets i obligacions de caràcter públic en l'explotació de xarxes i en la prestació de serveis de comunicacions electròniques.

Aquest títol inclou els preceptes relatius al servei universal, les obligacions d'integritat i seguretat de les xarxes i, l'ampliació dels drets dels usuaris finals. També inclou els drets del operadors referents a la ocupació del domini tant públic com privat, al desplegament de xarxes i l'accés a infraestructures d'altres sectors.

A més, també inclou aspectes sobre simplificació administrativa (declaracions responsables davant llicències) en el desplegament o actualització de xarxes privades i descriu tots els mecanismes de cooperació i resolució de conflictes que incorpora la Llei per tal de garantir la unitat de mercat, facilitar la instal·lació i desplegament de xarxes, així com la prestació de nous serveis. També garanteix l'accés als operadors a infraestructures d'administracions públiques i infraestructures lineals per la previsió d'infraestructures de comunicacions electròniques en zones d'urbanització.

Finalment, també clarifica els drets dels usuaris, especialment en matèria de protecció de dades de caràcter personal i privacitat, per tal de reforçar-los.

- TÍTOL IV. Avaluació de la conformitat d'equips i aparells.

En aquest títol es regulen la normalització tècnica, l'avaluació de conformitat d'equips i aparells i les condicions que han de complir les instal·lacions, entre altres aspectes.

- TÍTOL V. Domini públic radioelèctric.

El cinquè títol, procedeix a una clarificació dels principis aplicables en relació a l'administració del domini públic radioelèctric, de les actuacions que engloba aquesta administració, dels tipus d'ús i dels diferents títols que habiliten per l'ús del espectre i la seva gestió, així com una simplificació administrativa per l'accés a determinades bandes de freqüència.

- TÍTOL VI. L'administració de les telecomunicacions.

Aquest títol, determina les competències que tenen atribuïdes les diferents Autoritats Nacionals de Reglamentació i, destaca la funció de la CNMC en relació a l'administració de les telecomunicacions.

- TÍTOL VII. Taxes en matèria de telecomunicacions.

Juntament amb l'annex I, aquest títol ofereix la regulació referent a les taxes en matèria de telecomunicacions.

- TÍTOL VIII. Inspecció i règim sancionador.

En aquest darrer títol, es reforcen les potestats inspectores, es millora la tipificació d'infraccions, es revisa la classificació i quantia de les sancions, es proporcionen criteris per la determinació de la quantia de les sancions i es facilita l'adopció de mesures cautelars.

3.4 Altres normatives rellevants

Altres normatives rellevants que tenen una afectació directa en el projecte són:

- **Circular 1/2010 de 18 de juny** [8] **de la CMT** (Comissió del Mercat de les Telecomunicacions), per la que es regulen les condicions d'explotació de xarxes i la prestació de serveis de comunicacions electròniques per les Administracions Públiques. Cal prestar especial a atenció al seu annex on es descriuen els casos sota els quals no s'afecta a la competència, i també a tots els punts referents a les obligacions en l'explotació de xarxes públiques i prestació de serveis.

- **Reial Decret 1066/2001 de 28 de setembre** [9] pel qual s'aprova el Reglament que estableix condicions de protecció del domini públic radioelèctric, restriccions a les emissions radioelèctriques i mesures de protecció sanitària davant emissions radioelèctriques. És important tenir present les limitacions d'exposició a camps electromagnètics que s'hi descriuen.

- **Ordre CTE/23/2002 de 11 de gener** [10] per la qual s'estableixen condicions per la presentació de determinats estudis i certificacions per operadors de serveis de radiocomunicacions. La seva rellevància rau en el fet que especifica de forma detallada els formats per la presentació d'estudis tècnics sobre els nivells d'exposició així com de les certificacions anuals de les instal·lacions.

- **Notes UN-85 i UN-128** [11] **del CNAF** (Quadre Nacional d'Atribució de Freqüències). Aquestes dues notes reflecteixen, entre altres, les potències isotròpiques radiades equivalents (p.i.r.e) màximes per les bandes freqüencials de 2400 a 2483.5MHz (WiFi) i 5GHz (WiMAX), respectivament. Recordem que, el CNAF és l'element bàsic de l'ordenament de l'espectre radioelèctric a Espanya, depèn del Ministeri d'Indústria, Energia i Turisme i, conté l'atribució o ús al qual es reserva cada una de les bandes de freqüència en les que es divideix l'espectre, entre 8,3KHz i 3000GHz, disponible per a radiocomunicacions.

- **Article 53 de l'Estatut d'Autonomia de Catalunya** [12], Accés a les tecnologies de la informació i la comunicació, que ens indica "*Els poders públics han de facilitar el coneixement de la societat de la informació i han d'impulsar l'accés a la comunicació i a les tecnologies de la informació, en condicions d'igualtat, en tots els àmbits de la vida social, inclòs el laboral*" i, per tant, reforça la justificació per dur a terme el projecte.

3.5 Resum dels punts més importants de la normativa aplicable

A continuació trobem una descripció dels punts més importants extrets de la normativa aplicable i que tenen una major incidència en el projecte a realitzar:

- Cal distingir dos tipus de serveis, privat o públic, que provocaran l'aplicació d'unes normatives o altres. Com a servei privat, entenem que el servei es presta en règim d'autoprestació (per ús únic i exclusiu del propi operador, en aquest cas l'Ajuntament) o com a servei públic, és a dir, pel públic en general.

- Cal distingir entre una prestació gratuïta del servei o si es pretén obtenir beneficis econòmics derivats de la seva explotació. En el primer cas, i tractant-se d'una xarxa pública, si es dóna un servei gratuït, l'Ajuntament simplement ha de notificar la prestació d'aquest servei a la CNMC però, en canvi, si es pretén obtenir beneficis econòmics, llavors cal donar-se d'alta com a operador en el mateix organisme, fet que comporta estar subjecte a totes les obligacions dels operadors (realitzar comptabilitats separades, complir amb certes qualitats de servei, etc.) i dur a terme l'activitat en les mateixes condicions que aquests.

- Únicament es pot proporcionar un servei gratuït si no afecta a la competència respecte altres operador privats. En aquest sentit, es considerarà que no existeix una competència deslleial en els següents casos:

  - El servei d'accés a Internet està limitat a les pàgines web corporatives del propi Ajuntament.
  - S'ofereix un servei general d'accés a Internet únicament en biblioteques públiques (o certs centres de foment d'activitats docents o educatius i culturals) i sempre a usuaris acreditats i vinculats amb el servei.
  - La explotació de xarxes sense fils que utilitzin bandes d'ús comú i la prestació de serveis de comunicacions electròniques disponibles pel públic a través de les mateixes sempre que la cobertura de la xarxa exclogui els edificis i conjunts d'edificis d'ús residencial o mixt i es limiti la velocitat xarxa-usuari a 256Kbps.

- Cal regular i limitar la potència isotròpica radiada equivalent (p.i.r.e) dels equips utilitzats en cada banda freqüencial segons la normativa vigent.

  - La p.i.r.e màxima en la banda freqüencial de 2400 a 2483,5 MHz (WiFi) és de 100mW o 20 dBm.
  - La p.i.r.e màxima en la banda freqüencial de 5150 a 5350 MHz (WiMAX destinada a interiors) és de 200mW o 23 dBm.
  - La p.i.r.e màxima en la banda freqüencial de 5470 a 5725 MHz (WiMAX destinada a exteriors) és de 1W o 30 dBm.

Recordem que la p.i.r.e [13] es defineix com la quantitat de potència que emetria una antena isotròpica teòrica (aquella que distribueix la potència exactament igual en totes direccions) per a produir la densitat de potència observada en la direcció de màxim guany de l'antena. D'aquesta forma, la p.i.r.e permet comparar diferents emissors independentment del seu tipus, mida i forma i, es fa servir per estimar l'àrea a la qual pot donar servei una antena. A més, coneixent la p.i.r.e i el guany de l'antena real es possible calcular la potència real i els valors del camp electromagnètic. Per acabar, pel càlcul de la p.i.r.e es tenen en compte les pèrdues de línia de transmissió i en els connectors i inclou el guany de la antena. Es calcula mitjançant la següent formula:

$$p.i.r.e\ (dB) = P_T\ (dBm) + G_a(dBi) - L_c(dB)$$

on: $P_T = Potència\ transmesa,$ $G_a = Guany\ antena$ i $L_c = Pèrdues\ línia\ de\ transmissió$

- És responsabilitat de l'operador mesurar les exposicions de les emissions radioelèctriques i prendre les mesures de protecció oportunes si són excessives, així com assegurar que els equips i aparells que s'utilitzin compleixin amb les normatives vigents.

- Cal realitzar totes les accions o prendre les mesures tècniques necessàries per a protegir els drets dels usuaris del servei, especialment els referents a protecció de dades de caràcter personal i garantia del secret de les comunicacions, per exemple, mitjançant tècniques de xifratge.

- Cal realitzar una identificació dels usuaris de la xarxa (per exemple mitjançant un portal captiu) i complir amb la legalitat en matèria de conservació de registres relacionats amb comunicacions.

- Cal actuar sempre sota els principis de neutralitat, transparència i no discriminació.

3.6 Conclusions

Les conclusions extretes dels apartats anteriors, són:

El projecte pretén donar un servei de tipus públic i gratuït, motiu pel qual caldrà, d'una banda, notificar-ne la seva execució a la CNMC i, de l'altre, i amb la voluntat d'evitar realitzar una competència deslleial amb els operadors que donen servei actualment al municipi, s'utilitzaran bandes d'ús comú sense llicenciar (concretament les bandes de 2400 a 2483,5 MHz (WiFi) i de 5470 a 5725 MHz (WiMAX destinada a exteriors) amb valors de p.i.r.e màxims de 20dBm i 30dBm, respectivament) i, es limitarà la velocitat xarxa-usuari a 256Kbps, oferint una qualitat de servei molt inferior (i amb grans limitacions) a la de qualsevol operador. També caldrà complir, lògicament, amb tota la resta de normatives aplicables.

4. Anàlisi previ del projecte

En aquest apartat, es realitza un anàlisi de diferents aspectes que es considera rellevant especificar i previs a la creació del projecte.

4.1 Ús del servei i limitacions

La xarxa telemàtica d'accés gratuït a Internet que es pretén desenvolupar oferirà un ús bàsic del servei, el sostre del qual seran les limitacions tècniques degudes a la velocitat i les limitacions de contingut que imposi el propi Ajuntament.

No obstant, quan ens referim a un ús bàsic, ens referim principalment a que permetrà, entre altres, els següents serveis: navegació web, correu electrònic, tràmits i compres en línia i xarxes socials.

D'altre banda, i com s'ha avançat, les limitacions de la xarxa vindran donades principalment per dos factors:

- Limitacions tècniques degudes a la velocitat xarxa-usuari de 256Kbps: Aquesta limitació de velocitat (imposada per la normativa vigent, tal i com s'especifica a l'apartat sobre aspectes legals), impedirà la utilització del servei per aplicacions en temps real com ara: *streaming* de vídeos, videoconferències, TV, jocs en línia o descàrrega de grans fitxers.

- Limitacions de contingut: L'accés al servei per part de l'usuari comportarà l'acceptació d'uns termes i condicions creats a voluntat del propi Ajuntament el qual podrà impedir l'accés a intercanvis d'arxius *peer-to-peer* o a certs continguts, ja sigui utilitzant eines tècniques o legals.

4.2 Avaluació de la utilitat

Les limitacions que s'han descrit en l'apartat anterior, certament no permeten la utilització de la xarxa per alguns dels serveis més usats a l'actualitat, no obstant, si ens fixem amb les dades de la "*Infografía de la 20ª Encuesta AIMC a usuarios de Internet – Navegantes en la Red*" [14] publicada el 8 de març de 2018 sobre els usos que donem els espanyols actualment a Internet, tal i com es pot apreciar a la figura inclosa a continuació:

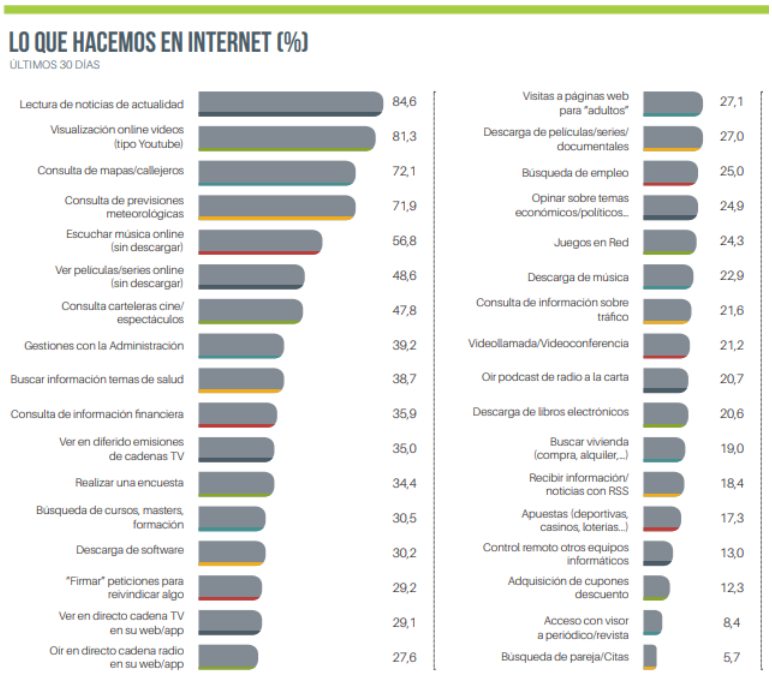


Figura 12. Usos d'Internet 2017 (Font: www.aimc.es).

I les velocitats que s'estimen òptimes genèricament per a cada un dels serveis [15]:

ús	velocitat òptima	suficient amb 256Kbps?
Correu electrònic	0,5Mbps	**Sí**
Navegació estàndard	0,5Mbps	**Sí**
Navegació interactiva	1Mbps	**Molt difícil**
***Streaming* de ràdio**	Inferior a 0,5Mbps	**Sí**
Telefonia (VoIP)	Inferior a 0,5Mbps	**Sí**
***Streaming* de vídeo bàsic**	0,7Mbps	**Molt difícil**
***Streaming* de vídeo HD**	Superior a 4Mbps	**No**
Videoconferència bàsica	1Mbps	**Molt difícil**
Videoconferència HD	Superior a 4Mbps	**No**
Jocs *online* bàsics	1Mbps	**Molt difícil**
Jocs *online* HD	Superior a 4Mbps	**No**

Taula 4. Relació entre usos principals d'Internet i velocitats

Podem observar que, inclús amb les limitacions imposades per la xarxa, és possible dur a terme gran part de les activitats que realitzem habitualment a Internet. A més, aquestes són les de caire més pràctic i necessari, tals com les informatives, culturals, de cerca de feina, referents a relacions socials, o bé realització de gestions administratives o compres, entre d'altres.

Aquest fet, juntament a la possibilitat d'acostament de les noves tecnologies a usuaris majors de 65 anys (edat on hi ha una davallada important en la utilització d'Internet [16]), l'oferiment del servei i, per tant, la garantia d'accés a Internet a gent amb pocs recursos econòmics (al febrer 2018, Sant Pol de Mar presenta una taxa d'atur del 11,21% i amb tendència a l'alça [17]) la millora dels serveis i imatge municipals i la facilitat de realització de tràmits administratius, així com el foment de la utilització de la via telemàtica, per fer-los, fa d'aquesta xarxa una eina amb moltes possibilitats pel municipi i, en conseqüència, de gran utilitat.

4.3 Avaluació de la usabilitat

Podem definir la usabilitat [18] com la facilitat amb què la gent pot usar una eina o un giny, per aconseguir un objectiu concret. Dit això, és lògic fer l'avaluació encarada a cada un dels possibles col·lectius usuaris:

- Veïns majors de 65 anys: La usabilitat de la xarxa per aquest col·lectiu, hauria de ser complementada amb polítiques socials per part de l'Ajuntament per mostrar-los els seus beneficis i oferir-los suport pedagògic.

- Veïns menors de 65 anys, negocis, institucions, associacions o entitats de la vila: La usabilitat de la xarxa per aquests col·lectius no presenta o hauria de presentar cap dificultat rellevant.

- Turistes: La usabilitat de la xarxa per aquest col·lectiu, a priori tampoc presenta o hauria de presentar cap dificultat rellevant, més enllà de la contemplació d'oferir la política de termes i condicions i la interfície del portal captiu en diferents idiomes, a criteri de l'Ajuntament.

Per tant, es pot afirmar que la xarxa tindria una alta usabilitat.

4.4 Zona de cobertura

La zona de cobertura, tal i com s'ha anticipat en l'estudi del municipi, englobarà la zona d'actuació principal descrita, composta per la pròpia vila de Sant Pol de Mar, les platges de les Barques, la part més propera de la del Morer i la de Can Villar, les instal·lacions esportives, el parc del Litoral i els diferents equipaments educatius. A més, s'oferirà cobertura a part de les urbanitzacions situades a tocar d'aquesta zona principal, tot i no ser l'objectiu principal del projecte. Així doncs, aquesta zona de cobertura es pot apreciar a continuació:

Figura 13. Zona de cobertura (Font: Google Maps).

4.5 Estudi de l'ample de banda requerit

Tal i com s'ha descrit en l'estudi demogràfic sobre la població de Sant Pol de Mar, l'any 2017 hi havia una població de 5062 habitants, però que podia ascendir a unes 8000 persones en època estival.

Dit això, i segons dades de l'Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT) [19], l'any 2017 va tancar amb que un 83,7% de les llars disposava de connexió a Internet, motiu pel qual, es considera que la majoria dels seus habitants disposen també de connexió d'Internet mòbil.

Indicadors anuals → Recerca · Tecnologia

Equipament i ús de les noves tecnologies

Sèries | En Excel

Catalunya. 2017 Altres anys

	2015	2016	2017
Equipament a l'habitatge (1)			
ordinador	79,4	80,9	81,2
Internet	80,7	82,9	83,7
mòbil	96,2	96,7	96,9
Ús alguna vegada (2)			
ordinador	85,8	:	84,2
Internet	84,4	85,1	87,3
compres	55,7	56,2	59,8
Ús en els darrers tres mesos (2)			
ordinador	79,5	:	77,4
Internet	83,1	82,8	85,7
compres	38,8	41,4	45,5

Unitats: Tant per cent.

Font: Idescat, a partir de l'Enquesta sobre equipament i ús de tecnologies de la informació i la comunicació a les llars de l'INE.

Taula 5. Equipament i ús de les noves tecnologies (Font: Idescat).

Per aquest motiu, es considera que aquesta xarxa ha de ser dimensionada per a donar servei habitualment al 20% de la població del municipi, principalment degut a que una part dels habitants ja resideixen fora de la zona de cobertura en urbanitzacions distants o cases aïllades, un 10% aproximadament no farà ús d'Internet i una gran part (al voltant de la meitat) disposa de millors connexions en els seus terminals mòbils que la oferta (al municipi actualment hi ha cobertura 3G per part de varis operadors i s'està implementant cobertura 4G per part de Orange [20]). Dit això, recordem que aquesta xarxa tracta d'oferir un servei bàsic, destinat a joves, gent amb pocs recursos, visitants o gent que faci un ús reduït o que es vulgui iniciar en l'ús de Internet, com ara gent gran. A més, es contempla que aquest volum d'usuaris potencials, com a màxim, podria estar connectat simultàniament en un 70% (valor que es considera més elevat del estrictament necessari, però útil per a donar un servei amb garanties).

D'altre banda, i considerant que tradicionalment gran part del turisme de Sant Pol de Mar és nacional i, que l'Europeu, des de l'abolició del *roaming* pot utilitzar les seves pròpies connexions a Internet (de major qualitat que la oferta en aquest projecte, com s'ha mencionat), es realitza aproximadament el mateix càlcul en època estival que la resta de l'any però amb diferent volum d'usuaris.

	Població del municipi	Volum d'usuaris potencials del servei	Nombre d'usuaris potencials del servei	Taxa prevista d'ús simultani del servei	Nombre de connexions necessàries	Velocitat connexió	Ample de banda requerit
Temporada baixa (de novembre a maig)	5062h	20%	1013	70%	709	256Kbps	**181.5Mbps**
Temporada alta (de juny a setembre)	8000h	20%	1600	70%	1120	256Kbps	**286.7Mbps**

Taula 6. Càlcul ample de banda requerit

Així doncs, en la taula anterior, podem apreciar que l'ample de banda requerit per tal que la xarxa telemàtica funcioni amb total garanties donat els nombre d'usuaris potencials establert i la velocitat xarxa-usuari màxima que ens permet proporcionar la normativa vigent, ha de fluctuar entre els 181.5Mbps i els 286.7Mbps, motiu pel qual s'optarà per contractar un proveïdor de serveis que ens ofereixi un ample de banda de 300Mbps com a mínim.

Per acabar és important remarcar que, actualment, hi ha previst (final estiu 2018) al municipi un desplegament de fibra òptica per part de Orange i Movistar que pretén oferir amples de banda de entre 300Mbps i 500Mbps, motiu pel qual la creació d'aquesta xarxa estarà subjecte a aquest desplegament [20].

4.6 Conclusions

Les conclusions més rellevants d'aquest apartat són:

- La utilitat i usabilitat de la xarxa telemàtica justifiquen la seva creació.
- Respecte la limitació de velocitat imposada a 256Kbps, cal tenir present que a part de que permet cobrir els usos més habituals d'Internet, actualment les companyies telefòniques, al consumir les tarifes de dades mòbils contractades, ofereixen velocitats per dur a terme un ús bàsic de la connexió que oscil·len entre els 16Kbps i els 128Kbps [21] sent, en el millor dels casos, la meitat de ràpides que la velocitat proposada i, en conseqüència, aquest fet es pot veure com una justificació més de la utilitat del projecte.
- La zona de cobertura permet donar servei a tota la zona d'actuació principal a més de parts d'urbanitzacions properes, fet que deriva en que es pugui donar servei a una bona part de la població del terme municipal, així com als turistes.
- Es preveu una concentració d'usuaris uniforme dins tota l'àrea de cobertura, motivada pel fet que es tracta d'una vila de dimensions reduïdes i que conté repartits de forma uniforme els potencials nuclis de connexió on s'espera una concentració major d'usuaris en un moment determinat.

- És necessari disposar d'un ample de banda de mínim 300Mbps. Més enllà de l'estimació realitzada aquest ample de banda garantirà un volum de 1171 usuaris simultanis de la xarxa ($BW = \frac{300Mbps}{256Kbps} = 1171\, usuaris$), que es creu suficient per un municipi com Sant Pol de Mar.

- L'estimació del volum potencial d'usuaris, degut a la seva complexitat, s'ha fet partint de les dades a les quals s'ha pogut tenir accés i considerant sempre una situació desfavorable per tal de dimensionar la xarxa amb les majors garanties possibles.

- Resum dels perfils d'usuaris potencials:

Perfils d'usuaris potencials	
Gent gran (Majors de 65 anys)	Persones que pretenguin iniciar-se i integrar-se en l'ús de les noves tecnologies o bé, que en facin un ús bàsic i/o esporàdic.
Gent mitjana edat	Gent que tingui un baix coneixement de les noves tecnologies, que en faci un ús bàsic i/o esporàdic o bé, que pretengui únicament utilitzar-les fer gestions administratives o compres per via telemàtica.
Joves	Joves que tinguin connexions limitades en volum de dades.
Gent amb pocs recursos	Persones a les quals els suposi un perjudici econòmic el pagament d'una quota d'accés a Internet.
Turistes i visitants	Persones que no disposin de connexió a Internet durant la seva estada a la vila o, que es puguin incloure en algun dels col·lectius anteriors.
Entitats, associacions o comerços	Entitats, associacions o comerços del municipi que només requereixin un ús esporàdic o molt bàsic d'Internet.

Taula 7. Resum perfils d'usuaris potencials

- Resum requisits inicials de xarxa:

Requisit	Valor
Velocitat xarxa-usuari	256Kbps
Marge d'usuaris potencials	Entre 709 i 1120 usuaris.
Volum màxim teòric d'usuaris simultanis	1171 usuaris
Marge d'ample de banda requerit	Entre 181,5Mbps i 286,7Mbps
Ample de banda a contractar	300Mbps
Àrea de cobertura prevista	Vila completa, equipaments educatius i platges, excloent les urbanitzacions o edificacions distants

Taula 8. Resum requisits inicials de xarxa

5. Xarxes sense fils

En aquest apartat, es pretén oferir una visió global i introductòria a les xarxes sense fils i el motiu principal pel qual s'ha optat per aquest tipus de tecnologia.

5.1 Introducció a les xarxes sense fils

Les xarxes sense fils (*Wireless Networks*) [22], tal i com el seu nom indica, són connexions entre varis terminals o nodes (ordinadors, tauletes, *smartphones*, etc.), els quals conformen la pròpia xarxa i es poden comunicar entre ells sense necessitat de cablejat, permetent així la mobilitat d'aquests nodes dins d'una determinada àrea geogràfica. Per a fer-ho, aquest tipus de xarxes, basen la seva comunicació en ones electromagnètiques i es diferencien entre elles principalment per la freqüència de transmissió que utilitzen, el seu abast o la velocitat de la seves transmissions.
El gran avantatge d'aquest tipus de xarxes respecte les xarxes que fan servir cablejat és la seva facilitat d'instal·lació i el seu baix cost. Altres avantatges, són la seva escalabilitat i accessibilitat. No obstant, com a contrapartida, són molt més vulnerables degut a que les dades es transmeten per un medi fàcilment interceptable (aire) i, en conseqüència, requereixen d'una major seguretat, tal i s'exposa en l'apartat corresponent d'aquest treball.

5.2 Classificació de les xarxes sense fils segons el seu abast

Segons el seu abast (de menys a més) les xarxes sense fils es poden classificar en:

- **WBAN** (*Wireless Body Area Network*) o xarxa d'àrea corporal. És una xarxa de comunicació sense fils entre dispositius de baixa potència utilitzats en el cos i amb abast inferior al metre. La seva velocitat de transmissió està al voltant d'un Mbps. Les tecnologies més representatives en aquest tipus de xarxes són RFID (*Radio Frequency ID*) i NFC (*Near Field Communication*).

- **WPAN** (*Wireless Personal Area Network*) o xarxa d'àrea personal. És una xarxa de comunicació sense fils entre diferents dispositius que es troben propers al punt d'accés. Normalment, tal i com el seu nom indica, són per a ús personal i tenen un abast de pocs metres (10m aproximadament). Les tecnologies més representatives en aquest tipus de xarxes són Bluetooth (Basat en l'especificació IEEE 802.15.1), Zigbee (Basat en l'especificació IEEE 802.15.4) i HomeRF.

- **WLAN** (*Wireless Local Area Network*) o xarxa d'àrea local. És una xarxa de comunicació sense fils la qual permet connectar diferents dispositius i té un abast al voltant dels 100m típicament (tot i que pot variar entre 10m i 1000m). Les seves velocitats varien àmpliament segons l'estàndard utilitzat. Les tecnologies més representatives en aquest tipus de xarxes són basades en

HiperLAN (*High Performace Radio LAN*) i, sobretot, en Wi-Fi (*Wireless-Fidelity*) basat en l'especificació IEEE 802.11.

- **WMAN** (*Wireless Metropolitan Area Network*) o xarxa d'àrea metropolitana. És una xarxa de comunicació sense fils similar a les WLAN però amb una amplada i cobertura molt majors. Concretament, té un abast al voltant dels 100km. Les tecnologies més representatives en aquest tipus de xarxes són principalment el WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) basat en l'especificació IEEE 802.16 i, en molt menor mesura, el LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*).

- **WWAN** (*Wireless Wide Area Network*) o xarxa d'àrea estesa. És una xarxa de comunicació sense fils la qual permet cobrir distàncies entre els 100km i els 1000km i fa servir tecnologies cel·lulars de comunicacions mòbils. Les tecnologies més representatives en aquest tipus de xarxes són, actualment, UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), LTE (*Long Term Evolution*) i LTE-A (*Long Term Evolution Advanced*), entre d'altres.

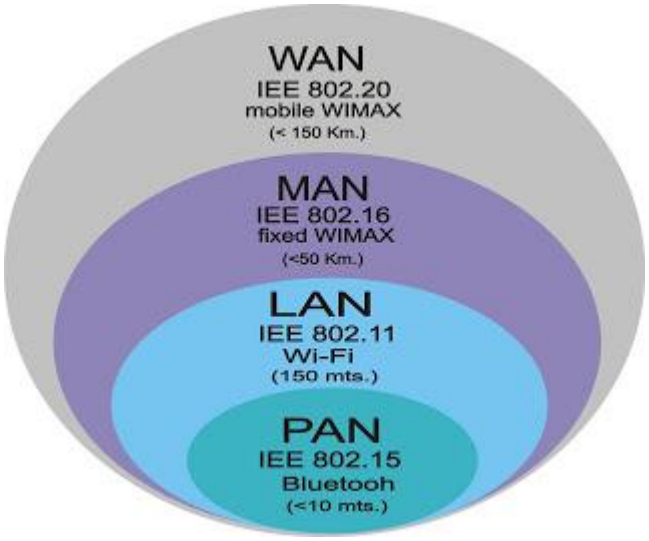


Figura 14. Xarxes sense fils (Font: informaikta.blogspot.com.es/p/redes.html).

5.3 Topologies de xarxa i modes bàsics d'operació

La topologia de xarxa [23] es defineix com el mapa físic o lògic d'una xarxa.

En aquest sentit, la topologia més bàsica que podem trobar és la Punt a Punt (PtP) i consisteix en un enllaç entre dos únics nodes.

D'altra banda, com a topologies més complexes, en podem trobar amb un grandíssim ventall de configuracions o combinacions d'aquestes. No obstant, les més habituals són:

- Estrella: És una configuració del tipus Punt a Multipunt (PMP). En ella trobem un conjunt de nodes connectat a un node principal. Te l'avantatge que si cau

un dels nodes no afecta al funcionament de la xarxa però, al mateix temps, te l'inconvenient que si cau el node central cau tota la xarxa.

- Bus: És una configuració que es basa en un canal central al que es troben connectats els diferents nodes. Té el mateix avantatge que la topologia en estrella a més de la seva simplicitat i facilitat d'implementació. No obstant, la seva escalabilitat és limitada degut al repartiment de l'ample de banda.

- Anell: En aquesta configuració cada node té una connexió d'entrada i una de sortida dins el cercle de tal forma que la informació ha de ser processada a cada un dels nodes intermedis per arribar al seu destí. Té una arquitectura molt sòlida i no presenta problemes de rendiment. No obstant, si cau un node, cau tota la xarxa. En el doble anell, hi ha un enllaç redundant per augmentar la seva tolerància a fallades.

- Malla: En aquesta configuració cada equip està connectat a varis equips de forma que hi ha una gran redundància i una alta tolerància a fallades.

- Arbre: És una configuració jeràrquica, tal i com es pot apreciar a la següent imatge.

- Totalment connexa: És una topologia mallada en la qual tots els nodes estan connectats amb tots els altres. És una configuració molt robusta.

- Mixta: Combinació d'algunes de les topologies descrites o altres.

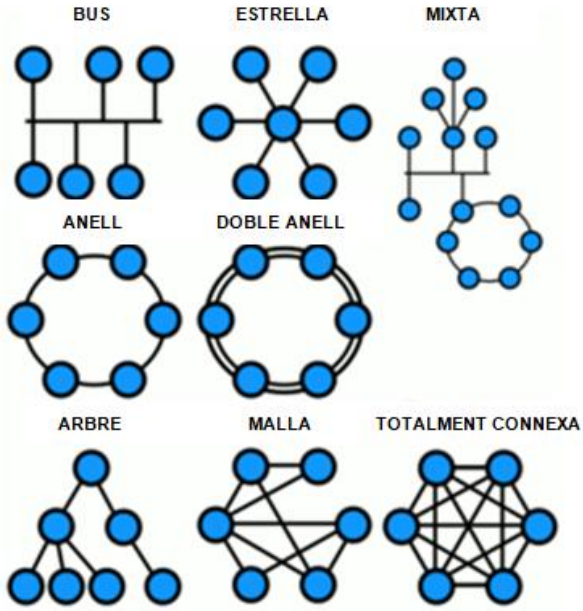


Figura 15. Topologies de xarxa (Font: Wikipedia).

Per acabar, referent als modes bàsics d'operació de les xarxes, en trobem dos:

- Mode d'operació *ad-hoc*: En aquest mode d'operació els terminals es comuniquen lliurement entre sí. És habitual trobar-lo en entorns militars, xarxes de sensors o operacions d'emergència, entre d'altres.

- Mode d'operació infraestructura: En aquest mode d'operació, els terminals estan connectats a un o més punts d'accés que s'encarreguen del control d'accés al medi. És habitual trobar-lo en llars, empreses o institucions públiques entre d'altres.

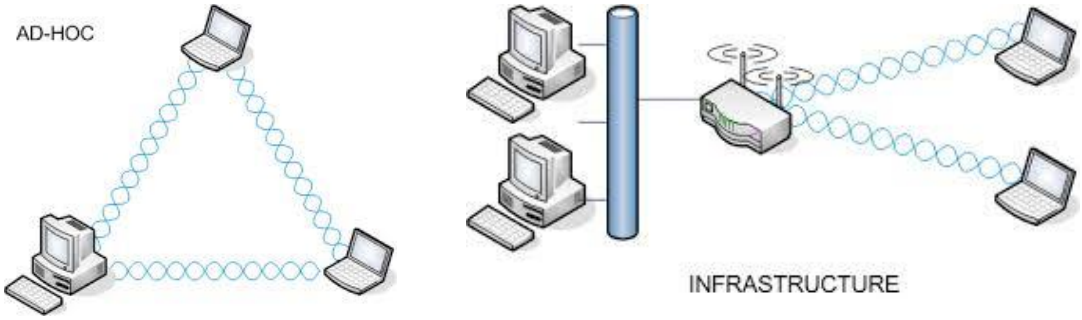


Figura 16. Modes bàsics d'operació de les xarxes (Font: sobretodoredes.wordpress.com).

5.4 Conclusions

Les conclusions que s'extreuen d'aquest apartat són:

- Per la creació de la xarxa que es pretén projectar, s'utilitzarà un model sense fils degut, entre altres, a la seva facilitat de instal·lació, baix cost, escalabilitat, i, lògicament, capacitat de mobilitat, parlant respecte les tecnologies amb fils. A continuació, tenim una taula que recull els avantatges i els inconvenients de les tecnologies sense fils respecte les tecnologies amb fils [24]:

Avantatges tecnologies sense fils	Inconvenients tecnologies sense fils
Mobilitat i accessibilitat: possibilitat de connexió a diferents llocs i també en moviment.	Normalment tenen menys ample de banda degut a que es veu limitat per l'espai radioelèctric. No obstant, per aquest projecte és suficient.
Escalabilitat i flexibilitat: Es poden afegir nodes sense modificar la configuració de la xarxa.	Més interferències, especialment en bandes d'ús lliure, tot i que no es preveu cap problema rellevant en aquest sentit.
Baix cost i estalvi: D'instal·lació i manteniment.	Àrea de cobertura limitada per obstacles, orografia, etc.
Facilitat d'instal·lació: No requereix obres. A més, són més estètiques.	Menys seguretat ja que un atacant no ha d'estar connectat físicament a la xarxa. No obstant, tal i com es veurà, hi ha mesures per evitar-ho i equiparar la seguretat a la de les tecnologies amb fils.
Més immunitat davant talls, robatoris, sabotatges o actes vandàlics.	Més exposició electromagnètica. Tot i que si es compleixen les normatives no es considera un problema.
Temps d'instal·lació menor.	Un volum d'usuaris superior al previst pot afectar al rendiment de la xarxa.

Taula 9. Avantatges i inconvenients tecnologies sense fils

- Les tecnologies que s'utilitzaran, degut al abast que ha de tenir la xarxa, seran Wi-Fi i WiMAX, ja que són les més populars en la seves respectives classificacions i, per tant, les que tenen més ventall d'equips al mercat i més compatibilitat d'aquests (tant per la infraestructura de xarxa com pels terminals

dels usuaris). En aquest sentit, es crearà una solució híbrida entre ambdues tecnologies, Wi-Fi i WiMAX, utilitzant la primera com a xarxa d'accés pels usuaris, degut a la compatibilitat dels seus terminals (per WiMAX calen adaptadors de xarxa específics) i, la segona, com a xarxa troncal de distribució entre Internet i els diferents AP (*Access Point*) Wi-Fi degut al seu major abast i capacitat. Dit això, per la xarxa troncal, es descarta la opció de utilitzar tecnologies per satèl·lit degut, d'una banda, a la inferior relació cost-prestacions que tenen i els grans retards que pateixen i, de l'altre, que al poble hi ha operadors que ofereixen, o en el moment de crear aquesta xarxa està previst que ofereixin l'ample de banda requerit a través de fibra òptica i, per tant, la distribució a través de WiMAX sigui molt més senzilla, ràpida i efectiva.

- La topologia de xarxa que s'adoptarà serà la d'estrella en la xarxa troncal WiMAX i, en les subxarxes Wi-Fi, cada un dels usuaris es connectarà a un AP que li proporcionarà la connectivitat a la xarxa i controlarà el seu accés al medi. D'aquesta forma, i pel mateix motiu, el mode d'operació de les xarxes serà el mode infraestructura. Cal destacar que amb l'adopció d'aquesta topologia, si cau una subxarxa o un node d'aquesta no es paralitzarà el servei i en conseqüència s'augmentarà la robustesa del sistema.

6. Tecnologies utilitzades

Tal i com s'ha definit en cinquè apartat, per a dur a terme el projecte, es proposa utilitzar una solució híbrida entre Wi-Fi i WiMAX, motiu pel qual en aquest apartat s'ofereix una visió global d'aquestes tecnologies.

Figura 17. Logotips Wi-Fi i WiMAX (Fonts: www.islabit.com i digimodes.wordpress.com)

6.1 Tecnologia Wi-Fi

Wi-Fi [25] és l'acrònim de *wireless fidelity* o fidelitat sense fils, i és una tecnologia de xarxa local basada en l'estàndard IEEE 802.11[7] en qualsevol de les seves variants i que permet a diferents dispositius electrònics intercanviar-se dades o connectar-se a Internet. No obstant, el nom de Wi-Fi també és una marca registrada que engloba qualsevol producte de xarxa de local basat en alguna de les variants de l'estàndard mencionat. Cal destacar però, que per tal que un producte tingui una interoperabilitat garantida ha d'estar certificat per la Wi-Fi Alliance[8], organització que promou aquesta tecnologia i en certifica els productes. Dit això, entre els dispositius més populars que utilitzen aquesta tecnologia trobem ordinadors, impressores, càmeres, *smartphones*, o tauletes entre altres i, tal com s'ha anticipat, es poden connectar entre sí o bé a un recurs de xarxa com Internet mitjançant un punt d'accés. També és important mencionar que Wi-Fi opera en dues freqüències d'ús comú diferents (varis usuaris o operadors poden utilitzar-les simultàniament sense llicència), una a 2,4GHz que ofereix més abast i, una altre a 5GHz que ofereix més velocitat i, que alguns dispositius tenen la opció de triar segons les possibilitats de cada moment (també hi ha un estàndard per ara menys utilitzat que fa servir la banda de 60GHz). A més, també cal remarcar que, com es veurà, les velocitats canvien molt segons l'estàndard utilitzat i, que les cobertures típiques són de uns 10-20m en interiors i uns centenars en exteriors. Per acabar especificar que, igual que la resta de tecnologies sense fils, Wi-Fi, pot ser menys segur que les tecnologies amb fils ja que l'atacant no ha d'estar físicament connectat a la xarxa.

Per altre costat, a banda del terminal d'usuari compatible (ja sigui a través d'un adaptador de xarxa o d'un adaptador intern), els altres components que típicament formen una xarxa Wi-Fi són:

- AP o punt d'accés: és un dispositiu de xarxa que permet la connexió a través seu de varis dispositius mòbils per tal de permetre'ls l'accés a aquesta, és a dir, actua a mode de concentrador o *HUB* sense fils i fa la funció d'unió entre xarxes. A més, disposa d'una o més antenes incorporades que permeten la recepció i la transmissió dels senyals.

- Extensor de xarxa: és un dispositiu de xarxa que permet augmentar la cobertura o abast que proporciona un determinat AP.

Per acabar, s'ofereix un resum dels estàndards Wi-Fi [26] més rellevants:

- 802.11: Introduït l'any 1997 va ser el primer estàndard de transmissió Wi-Fi que, tot i no funcionar degudament per la majoria d'aplicacions a causa de la seva baixa velocitat (2Mbps teòrics que es quedaven a la meitat), va ser el fonament d'un dels millors estàndards de la indústria.

- 802.11a: Aquest estàndard feia servir senyals de radio de la banda dels 5GHz i, tot que oferia una bona velocitat de transferència (fins a 54Mbps), la seva cobertura era molt reduïda, motiu pel qual va tenir més èxit l'estàndard 802.11b, que es desenvolupava al mateix moment i utilitzava la banda de 2,4GHz.

7. IEEE 802.11 és un conjunt d'especificacions que defineixen l'ús de les capes física i d'enllaç del model OSI per a xarxes d'àrea local sense fils, disponibles a www.ieee.org.
8. www.wi-fi.org

- 802.11b: Tal i com s'ha dit, aquest estàndard va tenir força èxit l'any 1999 degut a la seva millora de velocitat respecte el 802.11 (11Mbps) i la seva millora d'abast respecte el 802.11a. No obstant, hi havia forces problemes d'interferències a la banda de 2.4GHz ja que no estava regulada i hi havia equips que en generaven.

- 802.11g: Publicat l'any 2003, combinava el millor dels seus dos predecessors, l'abast del 802.11b i la velocitat del 802.11a i, a més, oferia compatibilitat amb els dispositius 802.11b.

- 802.11n: L'any 2009, amb la introducció d'aquest estàndard, es va produir un gran canvi en la història del 802.11, introduint la tecnologia MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), que fa ús de varies antenes en un mateix equip per tal d'enviar i rebre més dades, millorant la cobertura (120m en interior i 300m en exterior), la velocitat (fins 600Mbps) i tornant a incorporar la utilització de la banda de 5GHz. Compatible amb 802.11b/g.

- 802.11ac: Introduït al 2013, és el més estès a l'actualitat. Fa servir tecnologia *"beamforcing"* que focalitza els senyals de radio per tal que arribin més lluny i puguin creuar parets. A més, fa servir bandes duals que permeten connexions simultànies en 2,4GHz i 5GHz, en les quals aconsegueix amples de banda de 450Mbps i 1,3Gbps, respectivament. Aquestes prestacions però, són superades amb la versió *"Wave 2"* la qual aconsegueix velocitats de 2.34Gbps i incorpora la tecnologia MU-MIMO (*Multipe User - MIMO*), que permet connexions simultànies entre diferents usuaris, tants com antenes. Compatible amb 802.11b/g/n.

- 802.11ad: Aquest és el darrer estàndard, molt poc conegut i utilitzat a l'actualitat degut al seu menor abast que el 802.11ac i a que els usuaris tenen suficient velocitat amb aquest darrer. No obstant, incorpora la banda de 60GHz i permet velocitats de 4.6Gbps. Compatible amb 802.11b/g/n/ac.

Standard	Maximum Speed	Frequency	Backwards Compatible
802.11a	54 Mbps	5 GHz	No
802.11b	11 Mbps	2.4 GHz	No
802.11g	54 Mbps	2.4 GHz	802.11b
802.11n	600 Mbps	2.4 GHz or 5 GHz	802.11b/g
802.11ac	1.3 Gbps (1300 Mbps)	2.4 GHz and 5.5 GHz	802.11b/g/n
802.11ad	7 Gbps (7000 Mbps)	2.4 GHz, 5 GHz and 60 GHz	802.11b/g/n/ac

Taula 10. Taula-resum estàndards 802.11 (Font: www.clooster.cl)

6.2 Tecnologia WiMAX

Worldwide Interoperability for Microwave Access o WiMAX [27], és una norma de transmissió de dades mitjançant ones de radio amb cobertura de fins a 70km i que opera en el rang freqüencial comprès entre 2.5 i 5.8GHz.

Dit això, WiMAX és una tecnologia d'última milla, que permet la recepció de dades per microones i la retransmissió per ones de radio i, un dels seus grans avantatges, és que ofereix la possibilitat de proporcionar serveis de banda ample a llocs on resulta molt car o difícil proporcionar-los a través de cable.

Aquesta tecnologia, està basada en l'estàndard IEEE 802.16[9], del qual existeixen diferents versions i, igual que en el Wi-Fi i la Wi-Fi Alliance, WiMAX també és una marca comercial, de forma que la interoperabilitat dels equips de diferents fabricants i el compliment de l'estàndard només serà garantit si és certificat pel WiMAX Forum[10], únic organisme habilitat per a fer-ho. No obstant, és important remarcar que hi ha un conjunt d'equipament no estandarditzat que fa servir la banda de freqüència lliure de llicència dels 5.4GHz per a accés fix i que en certs casos també és interoperatiu entre alguns fabricants.

Els usos més habituals del WiMAX són, a part de proporcionar accés a Internet com ja s'ha avançat, la tramesa de continguts i serveis *Triple Play* (veu, banda ample i TV) i l'ús com a xarxa *Backhaul* o de retorn. Una xarxa *Backhaul* [28], és pot definir com la porció d'una xarxa jeràrquica que comprèn els enllaços intermedis entre el nucli (*Backbone*) y les subxarxes en els seus límits. Aquest darrer ús és, precisament, el que se li pretén donar a la xarxa WiMAX d'aquest projecte.

Referent als components bàsics [29] d'una xarxa WiMAX, tenim:

- CPE (*Customer Premises Equipment*) o equip d'usuari: Aquest equip incorpora les funcions de les SS (*Subscriber Station*) identificades en el funcionament de les xarxes BWA (*Broadband Wireless Access*). Aquest equip proporciona connectivitat via radio amb l'estació Base (BS).

- BS (*Base Station*) o estació base: A més de proporcionar connectivitat amb les SS també proporciona els mecanismes de control i gestió dels equips SS. A part, també inclou els elements necessaris per a connectar-se amb el sistema de distribució.

- Antena: Pot ser de panell, sectorial (una direcció) o omnidireccional (totes direccions), segons les necessitats particulars de cada projecte.

Finalment, dins l'especificació IEEE 802.16, es recullen les variants:

- 802.16d: Aquest estàndard ofereix accés fix i estableix un enllaç radioelèctric entre l'estació base (BS) i l'equip d'usuari (CPE). Per aquest entorn sense mobilitat, les velocitats teòriques màximes se situen al voltant dels 70Mbps amb una freqüència de 20MHz. No obstant, en certs entorns reals s'han assolit velocitats de 20Mbps amb radis de cèl·lula de fins a 6km, ample de banda compartit per tots els usuaris d'aquesta. Aquest estàndard, és una revisió del 802.16 (fa servir espectre llicenciat en el rang de 10 a 66GHz, necessita línia de visió directa, té una capacitat de fins a 134Mbps en cel·les de 3 a 7,5km i suporta qualitat de servei. Publicat al 2002) i del 802.16a (Ampliació de l'anterior cap a bandes de 2 a 11GHz, amb sistemes NLOS i LOS i, protocol PTP i PTMP. Publicat 2003) per incloure els perfils aprovats pel Wimax Forum

9. IEEE 802.16 és un conjunt d'especificacions que defineixen l'ús de les capes física i d'enllaç del model OSI per a xarxes d'àrea metropolitanes de banda ample sense fils, disponibles a www.ieee.org.
10. www.wimaxforum.org/

y posterior al 802.16c (Ampliació del 802.16 per definir les característiques i especificacions en la banda de 10 a 66GHz. També publicat al 2003). Va ser aprovat com a 802.16-2004 al juny de 2004.

- 802.16e: Aquest estàndard ofereix un escenari de mobilitat completa que permet el desplaçament de l'usuari de forma similar a GSM/UMTS. És una extensió del 802.16 i, inclou la connexió de banda ample nòmada per elements portàtils. Va ser publicat al desembre de 2005.

- 802.16m: Aquest estàndard és una extensió del 802.16 que entrega dades a velocitat de 1Gbps en repòs i 100Mbps en moviment. A més, hi ha una segona versió millorada (802.16m-2011) coneguda com a WiMAX Release 2.

ESTÀNDARD	DESCRIPCIÓ
IEEE 802.16	Fa servir espectre llicenciat en el rang de 10 a 66GHz, necessita línia de visió directa i té una capacitat de fins a 134Mbps en cel·les de a 3 a 7,5km. Suporta QoS. Publicat l'any 2002.
IEEE 802.16a	Ampliació de l'estàndard 802.16 cap a bandes de 2 a 11GHz, amb sistemes LOS i NLOS y protocol PTP i PTMP. Publicat l'abril de 2003.
IEEE 802.16c	Ampliació de l'estàndard 802.16 per definir les característiques i especificacions de la banda de 10-66GHz. Publicat al gener de 2003.
IEEE 802.16d	Revisió del 802.16 i 802.16a per afegir els perfils aprovats pel WiMAX fòrum. Aprovat com a 802.16-2004 al juny de 2004 (darrera versió).
IEEE 802.16e	Extensió del 802.16 que inclou la connexió de banda ample nòmada per a elements portàtils de l'estil dels *notebooks*. Publicat l'any 2005.
IEEE 802.16m	Extensió del 802.16 que entrega dades a velocitat de 1Gbps en repòs i 100Mbps en moviment. La darrera versió 802.16m-2011, coneguda com a *Mobile* WiMAX *Release2*, incorpora una interfície d'aire avançada, i modulació OFDMA. Publicat l'any 2011.

Taula 11. Taula-resum estàndards 802.16 (Font: Wikipedia.com)

6.3 Conclusions

Les conclusions que s'extreuen d'aquest apartat són:

- Referent la tecnologia Wi-Fi ens cal disposar d'equips compatibles amb l'estàndard IEEE 802.11g, que ofereix els requisits de velocitats que es preveu necessitar (54Mbps), o superior (802.11n/ac/ad).

- Referent la tecnologia WiMAX ens cal disposar d'equips compatibles amb l'estàndard IEEE 802.16d o 802.16-2004 i que operin en la banda freqüencial lliure de llicència dels 5,4GHz.

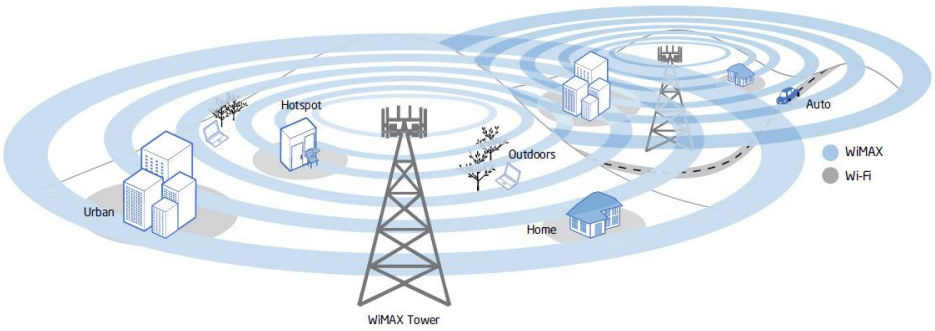


Figura 18. Exemple Wi-Fi i WiMAX (Font: www.oxfordconsultech.com)

7. Seguretat de xarxa

En aquest apartat, s'ofereix una descripció dels mecanismes que permeten assolir un nivell de seguretat adient en les xarxes sense fils en general i, en la del projecte en particular, tant pels seus usuaris pels quals preval la seva privacitat, com pel propi operador pel qual preval l'autenticació dels usuaris que es connecten a la xarxa. En aquest sentit, és imprescindible garantir en tot moment tres conceptes essencials: integritat, confidencialitat i autenticació.

7.1 Seguretat en xarxes WiMAX

La tecnologia WiMAX, és una de les tecnologies sense fils més segures [30] que hi ha a l'actualitat degut a la seva naturalesa de xarxa WMAN/WWAN que comporta que en la seva pila de protocols hi hagi definida una subcapa de seguretat dedicada exclusivament a proporcionar privacitat, confidencialitat i autenticació als seus usuaris. Per a fer-ho, aquesta tecnologia utilitza mecanismes d'autenticació i xifratge i, a més, possibilita que l'accés al medi sigui controlat i, en conseqüència, molt més segur.

- **Autenticació WiMAX**

Amb la finalitat d'evitar un ús indegut de la xarxa per part d'usuaris no autoritzats, WiMAX, garanteix un accés segur als seus usuaris legítims mitjançant l'autenticació i, ho fa a través de dos sistemes:

- OSA (*Open System Authentication*): En aquest sistema, el client realitza una sol·licitud d'autenticació a l'estació base (BS), a la qual associa l'adreça MAC d'aquesta i, ella li respon amb l'acceptació o denegació.

- SKA (*Shared Key Authentication*): Es tracta d'un sistema d'autenticació basat en claus compartides, les quals hauran de ser conegudes per ambdós extrems per tal de garantir l'autenticació. Per aconseguir-ho, WiMAX defineix el protocol PKM (*Privacy Key Management*), mitjançant el qual una estació subscriptora (SS o CPE) pot intercanviar aquestes claus amb l'estació base (BS) i, així, obtenir-ne la seva autenticació. A grans trets, el protocol PKM és basa en que l'estació subscriptora envia un missatge que inclou el certificat digital X.509[11] de la BS a aquesta, la qual l'autentica i en verifica la signatura digital. Un cop acceptat el certificat X.509, la BS genera un clau d'autenticació (AK) i la xifra mitjançant la clau pública de 1024bits inclosa en el certificat.

- **Xifratge WiMAX**

Després del procés d'autenticació, i una vegada l'estació base ha autoritzat a l'estació subscriptora, calen mecanismes de xifratge per tal de vetllar per la confidencialitat i integritat de les dades a transmetre.

11. Certificat digital X.509: https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=X.509

En aquest sentit, i per a realitzar aquest procés de xifratge, l'estació subscriptora envia a l'estació base una sol·licitud de claus de xifratge o TEKs (*Traffic Encryption Keys*) i, aquesta, les hi transmet en la seva resposta. A més, aquests missatges de sol·licitud de claus, també són xifrats amb una clau coneguda per ambdues parts.

Per últim, destacar que l'algoritme de xifratge de les TEKs acostuma a ser RSA (*Rivest, Shamir i Adleman*)[12], 3DES (*Triple Data Encryption Standard*)[13] o AES (*Advanced Encryption Standard*)[14] i, l'algoritme de xifratge de les dades, acostuma a realitzar-se mitjançant les tècniques: CBC(DES), CBC (AES), CTR(AES) o CCM(AES).

7.2 Seguretat en xarxes Wi-Fi

Les xarxes Wi-Fi [30, 31], contemplen els mateixos mecanismes d'autenticació (OSA i SKA) del WiMAX per autenticar un usuari en el moment de connectar-se en un punt d'accés (AP). No obstant, per garantir també la confidencialitat i integritat de les dades, s'incorporen a aquests mecanismes els mecanismes de xifratge, donant com a resultat diferents sistemes combinats d'autenticació i xifratge. Aquests sistemes són:

- WEP (*Wired Equivalent Privacy*): Aquest sistema d'autenticació i xifratge per a xarxes sense fils, abans de transmetre les dades, les codifica mitjançant una clau compartida estàtica de 64, 128 o 256 bits, comuna entre tots els nodes i el punt d'accés, fet que, juntament amb la utilització d'un vector d'inicialització que es repeteix sense xifrar, fan que sigui un sistema amb una alta vulnerabilitat i per tant, que la protecció WEP sigui resulti insuficient a l'actualitat.

- WPA (*WiFi Protected Access*): Aquest sistema, gràcies entre altres a la generació dinàmica de la clau d'accés, presenta importants millores respecte la protecció WEP. Dit això, hi ha dues versions d'aquest mecanisme de protecció, una primera i més simple anomenada WPA-PSK (*Pre-Shared Key*), que fa servir la mateixa clau compartida entre tots els dispositius de la xarxa i, una més complexa que utilitza l'algoritme RC4[15] pel xifratge i l'algoritme TKIP (*Temporary Key Integrity Protocol*)[16] per a la gestió de claus. No obstant, actualment el protocol TKIP presenta algunes vulnerabilitats com permetre l'accés a certs paquets que van dels nodes terminals a l'AP, fet que provoca que es desaconselli el seu ús en la mesura del possible.

- WPA2: Aquest sistema, millora relativament el seu predecessor i, actualment, és el mecanisme de seguretat més fiable per a xarxes Wi-Fi gràcies a la utilització, com a algoritme de xifratge, de l'algoritme CCMP[17] (AES) (*Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol + Advanced Encription Standard*). A més, igual que en WPA, hi ha una versió més senzilla anomenada WPA2-Personal, que no requereix cap tipus de servidor d'autenticació i, una més complexa anomenada WPA2-Enterprise, que utilitza un servidor RADIUS[18] (*Remote Authentication Dial-In User Service*) per dur a terme l'autenticació i autorització.

12. Algoritme RSA: https://es.wikipedia.org/wiki/RSA
13. Algoritme 3DES: https://es.wikipedia.org/wiki/Triple_DES
14. Algoritme AES: https://es.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard
15. Algoritme RC4: https://es.wikipedia.org/wiki/RC4
16. Algoritme TKIP: https://es.wikipedia.org/wiki/Temporal_Key_Integrity_Protocol
17. Algoritme CCMP: https://en.wikipedia.org/wiki/CCMP_(cryptography)
18. RADIUS: https://es.wikipedia.org/wiki/RADIUS

D'altre banda, i degut a que es contempla (com s'ha vist en el sisè apartat) la possibilitat d'utilització de l'estàndard IEEE 802.11g, cal tenir present que l'accés al medi és realitza basant-se en el protocol CSMA/CA (*Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance*) en el qual, quan un node o terminal creu que el medi està lliure, transmet lliurement fet que, contràriament al que passa en la tecnologia WiMAX, provoca l'existència d'un accés al medi aleatori i incontrolat propici tant per obtenir informació de la xarxa com per realitzar atacs de tipus DoS (*Denial of Service*).

Finalment, per concloure aquest apartat, és important remarcar el concepte de portal captiu [32]. Un portal captiu és una aplicació que s'executa en un servidor web i que proporciona accés als diferents serveis de la xarxa. La seva particularitat però, és que obliga a l'usuari a passar per la pàgina del portal abans de poder accedir a qualsevol altre enllaç. Això és així amb la finalitat de garantir que es donen certes condicions (com el prepagament de la connexió, l'acceptació de termes i condicions o la introducció d'un nom d'usuari i contrasenya) abans de permetre l'accés a la xarxa.

7.3 Seguretat addicional

Per completar la seguretat de la xarxa telemàtica que es pretén desenvolupar amb el present projecte, és rellevant exposar els conceptes de tallafocs o *firewall* i el de zona desmilitaritzada o DMZ (*Demilitarized Zone*).

Un tallafocs o *firewall* [33], és un dispositiu de seguretat de xarxa, implementat mitjançant *hardware, software* o una combinació d'ambdós, que monitoritza el trànsit entrant i sortint de la xarxa i, decideix si permet o denega trànsit específic en funció d'un conjunt predefinit i específic de normes de seguretat establertes a voluntat. És a dir, forma una barrera entre les xarxes internes protegides i controlades en les quals es pot confiar i les xarxes externes que no són de confiança, com ara Internet.

I una zona DMZ [34], és una zona aïllada que allotja aplicacions a disposició del públic i, que és accessible tant, des de la xarxa interna (en el nostre cas la xarxa d'accés) com des de la xarxa externa (Internet), reduint el risc de comprometre la seguretat dels equips continguts en ella. Les formes més habituals de crear-la són mitjançant un tallafocs en trípode (*three-legged firewall*) o dos tallafocs.

7.4 Conclusions

Les conclusions que s'extreuen sobre seguretat en les xarxes WiMAX, són:

- La utilització de certificats digitals X.509 evita atacs per suplantació d'adreça MAC degut a que aquest tipus de certificats són exclusius i infalsificables per a cada equip.

- Els algoritmes que fa servir per al xifratge de dades són molt robusts, suporten generació de claus dinàmiques amb temps de vida variables i permeten realitzar un xifratge independent per a cada flux de dades.

- L'accés al medi és determinista i controlat per l'estació base de forma que permet evitar atacs de tipus de DoS (*Denial of Service*) mitjançant, per exemple, tècniques d'*IP Flooding.*

- La tecnologia WiMAX garanteix perfectament per si mateixa els principis d'integritat, confidencialitat i autenticació i no requereix de cap seguretat addicional per altres mitjans, com ara a través de protocols específics de nivell superior o de servidors i equipament addicional.

D'altre banda, les conclusions referents a seguretat en les xarxes Wi-Fi, són:

- Per garantir una alta seguretat en la xarxa Wi-Fi, caldrà optar per l'elecció d'equipament xarxa que suporti el sistema d'autenticació WPA2 amb xifratge AES (*Advanced Encryption Standard*).

- Per una autenticació més eficient i segura s'optarà per utilitzar la versió "*WPA2-Enterprise*" que utilitza un mecanisme d'autenticació a través d'un servidor RADIUS i, a més, s'afegirà un portal captiu implementat mitjançant *software* específic.

- La utilització del portal captiu permetrà a l'Ajuntament definir una política de termes i condicions que tot usuari haurà d'acceptar obligatòriament abans d'accedir a la xarxa.

- Degut a que els sistemes WPA i WPA2 ha quedat demostrat que presenten vulnerabilitats a través del mecanisme WPS[19] (*WiFi Protected Setup*), caldrà desactivar aquesta opció a la xarxa.

- Degut a la vulnerabilitat que presenta l'accés al medi en les xarxes Wi-Fi caldrà garantir una configuració adient mitjançant *software* que redueixi la possibilitat d'atacs de tipus DoS (*Denial of Service*) o DDoS (*Distributed Denial of Service*).

Finalment, respecte a la seguretat addicional, les conclusions que s'extreuen són:

- Tal i com s'ha avançant en el quart apartat, es pretén efectuar un bloqueig dels serveis *peer-to-peer* i, segons el criteri de l'ajuntament, un possible bloqueig a altres serveis de la seva elecció, fet que justifica la inclusió a la xarxa de dispositius tallafocs configurats convenientment segons les necessitats, a part de per protecció.

- Precisament fent referència a la protecció, concretament del centre de control on es trobaran situats els diferents equips de xarxa, mitjançant dos tallafocs es crearà una zona DMZ per aïllar-lo tant de la xarxa d'accés com d'Internet, aconseguint així un augment de la seva protecció vers atacs.

- No obstant, cal esmentar que aquesta zona DMZ té un nivell de seguretat, suficient per l'ús que se li pretén donar a aquest projecte però, insuficient per emmagatzemar informació crítica o compromesa de l'Ajuntament, de forma que se n'exclou la intranet de l'Ajuntament.

19. WPS: https://es.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi_Protected_Setup

8. Disseny de la xarxa

L'objectiu d'aquest apartat és oferir el disseny complet de la xarxa telemàtica, tenint present totes les consideracions que s'han anat detallant en els apartats precedents i, incloent tot l'equipament necessari per a fer-ho així com la seva ubicació concreta. Finalment, també s'oferirà l'adreçament IP dels diferents components.

8.1 Infraestructura necessària

Per tal de determinar la infraestructura necessària cal tenir present una sèrie de consideracions que són, d'una banda la ubicació del centre de control i, de l'altre, el nombre de APs Wi-Fi i enllaços WiMAX necessaris, així com la seva velocitat, per tal d'oferir tant la cobertura desitjada dins l'àrea prevista com la capacitat de connexió, a un volum mínim de 1125 usuaris i, fer-ho a una velocitat xarxa-usuari de 256kbps.

En aquest sentit, cal pensar que el centre de control és el node on s'ubica tota la infraestructura que permet gestionar la xarxa telemàtica així com la connexió física amb el ISP (*Internet Service Provider*) i, per tant, i tal com s'ha avançat breument en el setè apartat, la seva ubicació més lògica és en el propi Ajuntament, degut a la facilitat d'accés pels tècnics de comunicacions (que possiblement seran del propi Ajuntament), com per la connexió amb el ISP i, el fet de no tenir de necessitar cap local addicional.

Per altre costat, referent al nombre de APs necessaris, podem fer una aproximació teòrica desfavorable pensant que cada un d'ells permetrà oferir cobertura a un radi de menys de 200m al seu voltant de forma que, tenint present l'àrea de cobertura a la que es pretén donar servei (descrita al quart apartat), ens caldran un total de nou APs i vuit enllaços (ja que un AP es pot situar directament al centre de control), els quals permetran connectar, cada un, 125 usuaris (1125 en total) a la velocitat xarxa-usuari prevista. Dit això, per aconseguir-ho, caldrà garantir doncs una velocitat mínima de 31Mbps per AP i enllaç de manera que, serà imprescindible fer una elecció d'equips que ho pugui complir. Per últim, una distribució aproximada dels nodes és la següent:

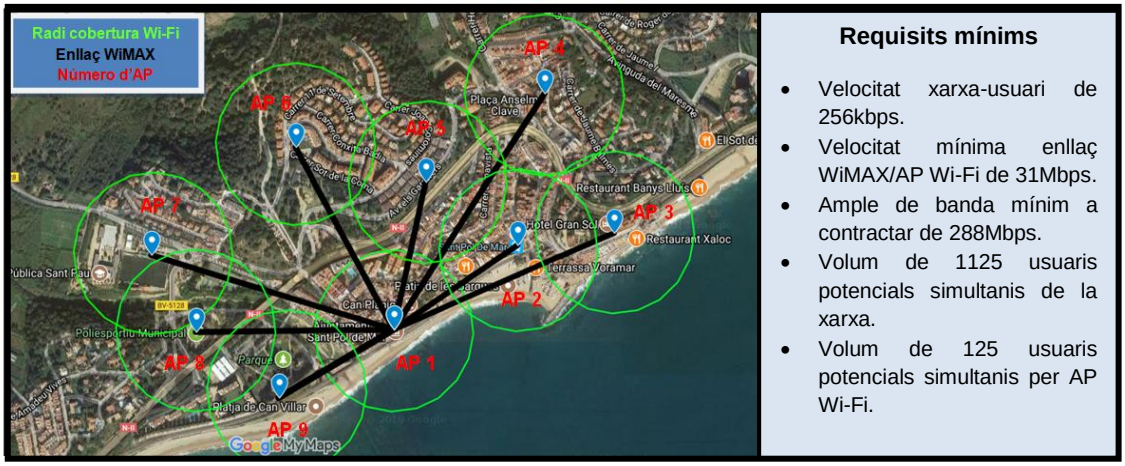


Figura 19. Infraestructura i requisits de xarxa (Font gràfica: Google Maps)

D'aquesta forma, es conclou que la infraestructura necessària correspondrà als següents elements:

- Un centre de control on es realitzarà la gestió de la pròpia de xarxa.

- Vuit enllaços WiMAX que conformaran la xarxa troncal de distribució, distribuïts segons la figura 18 i en topologia d'estrella. Cal tenir present que un AP s'ubicarà directament a l'Ajuntament, motiu que ens permet reduir un enllaç. En aquest sentit, caldrà una estació base (BS) que es situarà al propi Ajuntament i vuit estacions subscriptores o d'usuari (SS o CPE) que s'ubicaran en cada un dels nodes, enllaçant les dues components de xarxa. En aquest sentit, és important garantir una velocitat mínima per enllaç de 31Mbps.

- Nou punts d'accés Wi-Fi que conformaran la xarxa secundària d'accés, distribuïts segons la figura 19 i que són els que permetran oferir la cobertura prevista. A més, per simplicitat, caldrà buscar punts d'accés mixtes Wi-Fi – WiMAX per tal reduir la infraestructura necessària i, en conseqüència, el cost. També, caldrà que aquest punts d'accés siguin capaços de donar servei a 125 usuaris i oferir una velocitat mínima de 31Mbps.

8.2 Ubicació dels nodes

Seguint els requeriments d'infraestructura descrits al punt precedent, la ubicació concreta dels nodes serà a les ubicacions, coordenades i alçades que es descriuen a la taula següent:

Node	Coordenades	Alçada	Ubicació
AP 1	41.600130, 2.621139	25m	Node principal Ajuntament: Ubicat en punt més alt coberta edifici residencial annex (Baixos + 5 plantes + sortida coberta) en màstil de 4m. Caldrà negociar permís d'instal·lació.
AP 2	41.601746, 2.624596	15m	Node Estació: Ubicat a la coberta de l'edifici en màstil de 4m. Caldrà negociar permís d'instal·lació.
AP 3	41.602211, 2.627498	22m	Node EUHT-stPOL: Ubicat a la coberta de l'edifici del davant (baixos + 4 plantes) en màstil de 4m. Caldrà negociar permís instal·lació.
AP 4	41.604799, 2.625257	24m	Node Plaça Anselm Clavé: Ubicat en coberta edifici residencial (Baixos + 5 plantes) en màstil de 4m. Caldrà negociar permís d'instal·lació.
AP5	41.603030, 2.622041	12m	Node Avinguda dels Garrofers: Ubicat en màstil de 12m. Requereix alimentació elèctrica.
AP 6	41.603896, 2.618612	21m	Node Urbanització: Ubicat en coberta edifici residencial (Baixos + 4 plantes + coberta alta) en màstil de 4m. Caldrà negociar permís d'instal·lació.
AP 7	41.600915, 2.613249	14m	Node Escola pública Sant Pau: Ubicat en màstil de 14m. Requereix alimentació elèctrica.
AP 8	41.600088, 2.615972	16m	Node Poliesportiu Municipal: Ubicat en punt més alt coberta edifici en màstil de 4m.
AP 9	41.598881, 2.618192	12m	Node Parc del Litoral: Ubicat en màstil de 12m. Requereix alimentació elèctrica.

Taula 12. Ubicació dels nodes de xarxa

Cal tenir present que alguns nodes requereixen alimentació elèctrica i/o negociació de permisos d'instal·lació amb comunitats de propietaris o institucions i, aquests dos fets, quedaran fora del pressupost d'aquest projecte i correspondrà a l'Ajuntament proporcionar la alimentació elèctrica necessària o realitzar les negociacions pertinents i quantificar-ho.

8.3 Diagrama de xarxa

Partint de tot el que s'ha anat exposant fins al present punt, el diagrama de xarxa serà:

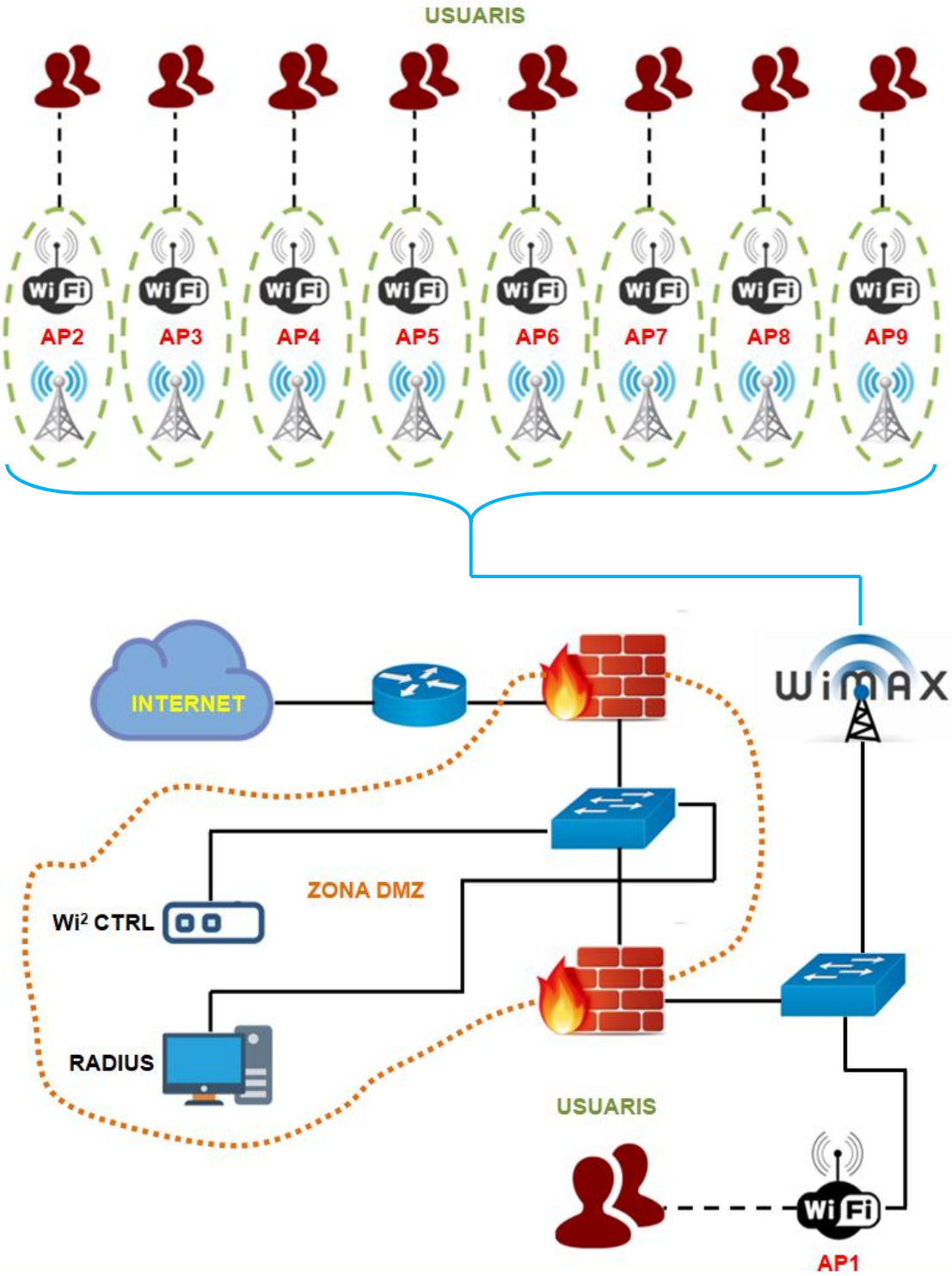


Figura 20. Diagrama de xarxa

(Fonts icones: Radius: DinosoftLabs – www.flaticon.es, Núvol: Smashicons – www.flaticon.es, Controller: freepik – www.flaticon.es, Router i Switch: www.conceptdraw.com, Firewall: www.codejobs.biz, BS WiMAX: www.adslzone.net, Antena WiMAX: www.avezzanoinforma.it i AP Wi-Fi: www.techworks-consulting.com).

8.4 Equipament utilitzat

L'equipament que s'ha utilitzat per dur a terme el disseny de la xarxa ha estat:

- **Equipament xarxa troncal WiMAX:**

Per a la xarxa troncal WiMAX, s'opta per un conjunt de productes Alvarion de la gamma BreezeACCESS VL[20], compost per:

- Una estació base (BS) Breeze ACCESS VL sobre xassís: BS-SH-VL.
- Una unitat d'accés (AU) Breeze ACCESS VL: AU-D-BS.
- Una font d'alimentació: BS-PS-AC.
- 3 antenes sectorials horitzontals de 120º.
- Vuit unitats d'abonat (SU) o CPEs: SU-A-ff-54-BD-VL.

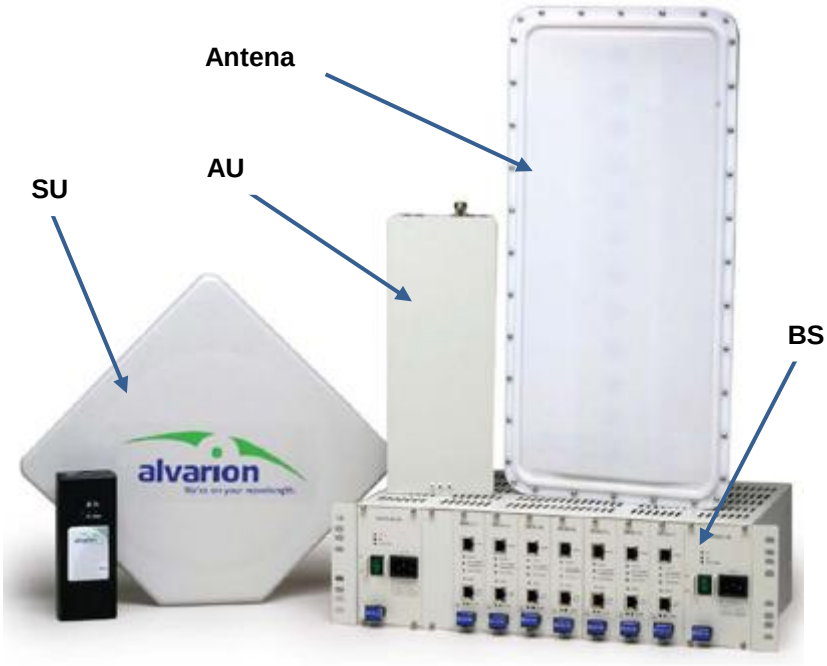


Figura 21: Conjunt complet BreezeACCESS VL (Font: www.sourcesecurity.com)

La solució BreezeACCESS VL d'Alvarion, és una solució del tipus Punt a Multipunt (PMP) altament provada, reconeguda i que ofereix una gran flexibilitat degut a la multitud d'opcions que pot incorporar. Aquesta solució, està especialment dissenyada per a proveir connectivitat exterior de banda ampla sense fils en aplicacions de desplegaments urbans i rurals, com el cas d'aquest projecte, oferint enllaços d'alta fiabilitat, segurs, amb capacitat millorada i QoS per a veu, dades i vídeo.

El conjunt en qüestió, està compost pels elements que s'han mencionat a l'inici, del qual cal destacar que la unitat d'accés (AU), suporta una àmplia de gamma de SUs per adequar-les a qualsevol necessitat (des de 3Mbps fins a 54Mbps com les que s'utilitzaran en aquest projecte).

Dit això, les seves prestacions més destacades són: Abast de fins a 30km en LOS (i també molt destacable amb NLOS), capacitat de 100Mbps per sector, tecnologia TDD OFDM, MIR/CIR configurable per SU per direcció, xifratge AES 128, connexions segures i fàcil instal·lació complementada amb barra de leds, unitat d'accés autònoma o per a xassís de 19" (com és el cas) amb 6 sectors, antena integrada de 16dBi o externa (en el projecte s'utilitzen 3 panells sectorials de 120º que formen una antena omnidireccional amb guany de 15dBi), 512 SU per sector (configurable), alta escalabilitat, banda de 5.4Ghz (sense llicència i que és la que es farà servir) i 4.9GHz i, per últim, canalització de 10 i 20MHz, respectivament.

Pel muntatge, es munta el xassís que conforma la BS en un armari rack de 19" ocupant 3U on s'incorpora la font d'alimentació i la targeta de xarxa de la unitat d'accés. Aquesta targeta de xarxa, conforma la unitat interna de la AU, i es connecta a la xarxa mitjançant cablejat UTP i connectors RJ45. D'altre banda, també es connecta a la unitat exterior de l'AU i a l'antena, mitjançant el mateix cablejat.

A més, el conjunt anterior es complementa amb els següents productes, també d'Alvarion, inclosos en la seva gamma BreezeACCESS/BreezeMAX Wi^2[20][21]:

- Vuit APs exteriors BreezeACCESS/BreezeMAX Wi^2.
- Un controlador Wi^2-CTRL-10.

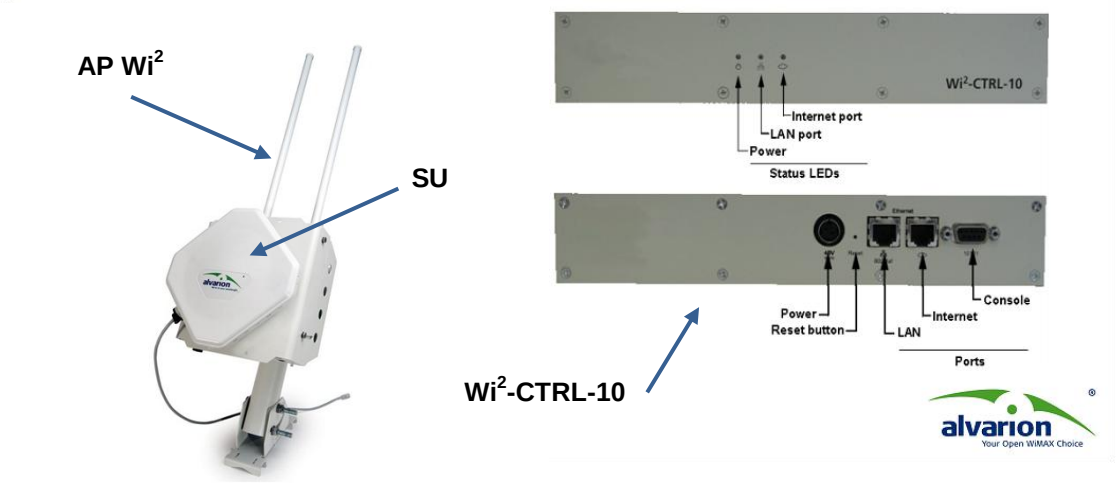


Figura 22: Conjunt AP BreezeACCESS Wi^2 i CRTL-10 (Font: www.gictronics.com).

20. DATASHEET: http://www.ralco-networks.com/downloads/AlvarionBA.pdf
21. DATASHEET: http://www.ralco-networks.com/downloads/AlvarionWi2.pdf

Concretament, els dispositius que es faran servir de la gamma Alvarion BreezeACCESS/BreezeMAX Wi^2 són els APs exteriors Wi^2, que proporcionen cobertura Wi-Fi i, als quals es poden connectar directament les diferents SUs o CPEs de la gamma BreezeACCESS conformant, d'aquesta forma, un solució integrada Wi-Fi/WiMAX que permet rebre el senyal de la xarxa troncal i distribuir-lo a través de la xarxa d'accés on es connectaran els diferents usuaris. Un gran avantatge d'aquesta solució és que aconsegueix que la CPE WiMAX i el AP Wi-Fi, comparteixin alimentació elèctrica i instal·lació, a més de no necessitar de cablejat intermedi. L'única consideració rellevant que cal tenir present durant la seva instal·lació, és que la CPE ha d'estar alineada amb la BS per a una millor recepció del senyal.

Referent a les seves característiques, es destaca la utilització de tecnologia MIMO, la seva flexibilitat, la incorporació de QoS extrem a extrem o la possibilitat de creació de VLANs.

Finalment, per completar l'equipament de la xarxa WiMAX, s'inclou també un controlador Wi^2-CTRL-10 que permet configurar remotament els diferents APs (fins a 10) des del centre de control, sense tenir d'accedir físicament als dispositius. A més, Alvarion ofereix una solució d'administració de xarxes anomenada "AlvariSTAR" que permet obtenir múltiples serveis, entre els quals: limitacions de velocitat als usuaris, control d'accés, gestió de trànsit, etc. Per últim, també cal destacar que aquest controlador incorpora un servidor RADIUS i un portal captiu, tot i que per aquest projecte, es farà servir un servidor dedicat.

- **Equipament xarxa d'accés Wi-Fi:**

D'altre banda, per a la xarxa d'accés Wi-Fi, s'utilitzen els punts d'accés exteriors Alvarion BreezeACCESS Wi^2 (descrits a l'apartat anterior) i, s'hi suma un AP exterior Tp-Link[22] addicional, per el node de l'Ajuntament:

- AP exterior Tp-Link CPE210.

Figura 23: AP Tp-link CPE 210 (Font: www.amazon.es).

22. DATASHEET: https://static.tp-link.com/res/down/doc/CPE_Series_Datasheet_V1.1.pdf

- **Equipament Centre de control:**

Finalment, per a completar el Centre de control, s'opta pels següents productes:

- Dos *Firewalls* Cisco ASA5506-K9[23]:

Tal i com s'ha exposat en el setè apartat d'aquest projecte i es pot apreciar al diagrama de xarxa d'aquest mateix apartat, es crearà una zona DMZ a partir de la incorporació de dos tallafocs que, a més, controlaran el trànsit de xarxa evitant-ne certs tipus (per exemple d'intercanvi P2P) o certs continguts.

Figura 24: *Firewall* Cisco ASA5506-K9 (Font: www.senetic.es)

- Dos *Switch* Cisco Catalyst WS-C3560C-8PC-S[24]:

Aquests commutadors, són dispositius digitals lògics d'interconnexió d'equips en la capa d'enllaç que tenen com a finalitat interconnectar dos o més segments de xarxa. Aquest model concret és de 8 ports, suficient tal i com es pot apreciar al diagrama de xarxa exposat prèviament.

Figura 25: *Switch* Cisco Catalyst WS-C3560C-8PC-S (Font: www.senetic.es)

- Un *Router* o encaminador (proporcionat per el ISP):

L'encaminador, és un dispositiu que proporciona connectivitat a la capa de xarxa i té la funció principal d'encaminar paquets de dades entre diferents xarxes. El model i característiques concretes d'aquest equip no es poden aportar ja que s'ha optat per utilitzar el que proporciona el ISP de forma gratuïta i, que es considera suficient.

Figura 26: Exemple de *Router* d'Orange a l'esquerra i de Movistar a la dreta. (Font: www.adslzone.net)

23. DATASHEET: https://www.cisco.com/c/en/us/support/security/asa-5506-x-firepower-services/model.html
24. DATASHEET: https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-2960-c-series-switches/data_sheet_c78-639705.pdf

- Un Ordinador que actuarà com a servidor. A tall d'exemple s'ha triat un PC propi de "PC Componentes" (PcCom Basic Enterprise Ultra Intel Core i7-7700/8GB/1TB/GT730[25]), complementat amb un conjunt teclat-ratolí (Logitech Desktop MK120[26]) i un monitor (Acer V226HQL 21.5" LED[27]):

Aquest ordinador, es pretén que utilitzi com a sistema operatiu Linux i que implementi tant el servidor Radius i el portal captiu descrits a l'apartat anterior, com el servidor DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*)[28] i la resta de programari que els tècnics informàtics de l'Ajuntament considerin oportú, tal com antivirus, eines de seguretat, o eines de control i gestió de xarxa.

Figura 27: Servidor i perifèrics (Font: www.pccomponentes.com)

Les seves característiques més rellevants (per si es volen considerar alternatives) són: Processador Intel Core i7-7700 3.6GHz, Placa base MSI B250M Bazooka, Disc dur de 1TB, 8GB DDR4 2400MHz de Memòria RAM, Targeta gràfica GeForce GT730 2GB i Targeta de xarxa 10/100/1000 integrada.

- Un Armari *Rack* 19" I700 12U 600 X 800[29]:

Aquest armari serà l'encarregat d'allotjar i protegir tot l'equipament de xarxa.

Figura 28: *Rack* 19" 12U (Font: www.rackonline.es)

25. Característiques PC: https://www.pccomponentes.com/pccom-basic-enterprise-ultra-intel-i7-7700-8gb-1tb-gt-730
26. Característiques Teclat i Ratolí: https://www.pccomponentes.com/logitech-desktop-mk120
27. Característiques Monitor: https://www.pccomponentes.com/acer-v226hql-215-led
28. Servidor DHCP: https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_configuraci%C3%B3n_din%C3%A1mica_de_host
29. Característiques *Rack*: https://www.rackonline.es/armario-rack-i700-12u/rack-19-i700-12u-600-x-800.html

8.5 Adreçament IP

Tal i com s'ha avançat a la introducció d'aquest apartat, un cop definida l'arquitectura de la xarxa i l'equipament necessari per crear-la, cal fer una configuració a nivell de xarxa assignant les corresponents adreces privades a cada un dels equips de xarxa i deixant les restants per tal de ser assignades als usuaris a través del servidor DHCP.

Segons s'ha estipulat al quart apartat del projecte (quan s'ha realitzat l'anàlisi previ), la xarxa a priori permet donar servei a 1171 usuaris, de forma que necessitarem disposar com a mínim de: 1171 adreces d'usuari + 7 d'equips de xarxa (encaminador, tallafocs, commutadors, servidor i controlador Wi^2) + 9 de punts d'accés = 1187 adreces IP.

Dit això, a més, en qualsevol xarxa hi ha dues adreces reservades que serveixen per identificar la xarxa i pel *broadcast* que, són la primera i la darrera del rang assignable, respectivament.

D'altre banda, si el nombre d'equips que pot contenir la xarxa és igual a: $2^{\text{bits destinats a } hosts} - 2$ (xarxa i *broadcast*), es necessiten 10,21 bits, és a dir 11 bits, per codificar els 1187 *hosts* o equips.

D'aquesta forma, si es parteix de l'adreça 192.168.0.0, que correspon als següents 4 octets en binari: 11000000.10101000.0000000.00000000, on els bits en blau (20 bits, per tant té màscara /20) són la porció de xarxa i els bits en vermell (11 restants) la porció de *hosts,* es pot veure que:

L'adreça reservada per identificar la xarxa serà: 192.168.0.0 (11000000.10101000. 0000000.00000000) i, l'adreça reservada per al *broadcast*: 192.168.7.255 (11000000.10101000. 0000111.11111111), de manera que:

Les 16 adreces assignables a *hosts* necessàries podran ser qualsevol compresa dins aquest marge (quedant la resta per assignar als diferents usuaris via DHCP), com ara:

Equip o *host*	Adreça IP
Adreça de xarxa	192.168.0.0
Encaminador o Router	192.168.0.1
Tallafocs o Firewall 1	192.168.0.2
Tallafocs o Firewall 2	192.168.0.3
Commutador o Switch 1	192.168.0.4
Commutador o Switch 2	192.168.0.5
Servidor (Radius/DHCP)	192.168.0.6
Controlador Wi^2	192.168.0.7
AP 1	192.168.0.8
AP 2	192.168.0.9
AP 3	192.168.0.10
AP 4	192.168.0.11
AP 5	192.168.0.12
AP 6	192.168.0.13
AP 7	192.168.0.14
AP 8	192.168.0.15
AP 9	192.168.0.16
Adreça de *broadcast*	192.168.7.255

Taula 13. Proposta d'adreçament IP

8.6 Conclusions

Les conclusions que es poden extreure d'aquest apartat són:

- A falta d'una validació a través de simulació, el disseny tècnic de la xarxa és, a priori, perfectament viable en termes tècnics.

- Es preveu que cada enllaç WiMAX i l'AP de l'Ajuntament disposin d'una velocitat al voltant dels 33Mbps teòrics (limitats per l'ample de banda i, resultants de dividir 300Mbps entre 9 punts d'accés). D'aquesta forma, en cada punt d'accés es podran connectar simultàniament 128 usuaris (limitats pels AP Wi[2]) a una velocitat xarxa-usuari de 256Kbps, fent el total de 1152 usuaris simultanis descrits inicialment al quart apartat.

- En conseqüència de la conclusió anterior, és estrictament necessari dur a terme una validació precisa a través de programari de simulació per tal de validar de forma definitiva el disseny. Es realitzarà al següent apartat.

- En cas que el resultat de la simulació sigui positiu, segons les mètriques que es defineixin, caldrà realitzar una separació entre els canals Wi-Fi per tal d'evitar interferències en la mesura del possible. Es durà a terme en aquell mateix apartat.

- Després de realitzar un estudi de mercat s'ha optat per triar equips d'Alvarion, Tp-Link i Cisco degut a l'ampli prestigi d'aquestes marques, la seva fiabilitat demostrada, el seu suport tècnic i el cost contingut de que disposen. A més, s'ha procurat que s'ajustin al màxim a la seva funció objectiu sense excessos ni defectes rellevants per mantenir el cost el més ajustat possible.

- La xarxa, tal i com està configurada, és fàcilment escalable mitjançant l'adquisició de més unitats dels equips proposats i/o la contractació d'un ample de banda major a 300Mbps, si s'ofereix.

- L'adreçament IP que s'ha proposat, com s'ha comentat, és a tall d'exemple no obstant, s'ha inclòs l'explicació concreta del seu desenvolupament per tal d'oferir la possibilitat de variar-lo si es creu oportú.

- No s'ha entrat en detall en termes de programari ja que es deixa a criteri de l'Ajuntament i els seus tècnics informàtics per tal d'ajustar-lo a les seves necessitats.

- A la següent taula, es recull un resum dels requisits inicials i els valors aconseguits:

Requisit	Valor teòric previst	Valor mínim	Valor calculat
Velocitat enllaços	54 Mbps	31 Mbps	33 Mbps
Velocitat xarxa-usuari	256 Kbps	256 Kbps	256 Kbps
Ample de banda	300 Mbps	288 Mbps	300 Mbps
Usuaris potencials simultanis per AP	130 Usuaris	125 Usuaris	128 Usuaris
Usuaris potencials simultanis xarxa	1171 Usuaris	1125 Usuaris	1152 Usuaris

Taula 14. Taula resum requisits-valors

9. Simulació

En aquest apartat, s'ofereix una simulació acurada per il·lustrar la viabilitat tant dels enllaços WiMAX que componen la xarxa troncal del projecte com de la cobertura que pot oferir la xarxa d'accés Wi-Fi d'aquest.

9.1 *Software* de simulació: RadioMobile

Per dur a terme aquesta simulació s'utilitzarà el *Software* gratuït de simulació desenvolupat per Roger Coudé, Radio Mobile[1] [35], que permet analitzar i planificar el funcionament d'un sistema de radiocomunicacions fix o mòbil en el marge de freqüències comprès entre els 20MHz i els 40GHz i amb longituds de trajecte entre 1 i 2000Km. Concretament es farà servir la versió 11.6.6 per a Windows i en espanyol.

Figura 29. Radio Mobile: Versió

Radio Mobile, permet realitzar càlculs de radioenllaços de llarga distància sobre terrenys irregulars a través de la utilització de perfils geogràfics combinats amb la informació dels equips (potència, sensibilitat, pèrdues o característiques de les antenes, entre altres) que es pretén simular. Concretament, ho fa a través de la implementació del model de predicció troposfèrica per a transmissió radio sobre terreny irregular en enllaços de mig-llarg abast, Longley-Rice[2]. D'altre banda, els perfils geogràfics que s'han comentat que es fan servir per a l'avaluació dels enllaços radioelèctrics, es poden obtenir directament des d'una opció del programa que permet descarregar-los directament d'Internet en qualsevol dels tipus: SRTM[3] (*Shuttle Radar Topography Mission*), GTOPO30[4] (*Global 30 Arc-Second Elevation*) o DTED[5] (*Digital Terrain Elevation Data*).

Finalment, l'elecció d'aquest *software* ha estat deguda al seu ampli reconeixement i efectivitat, i que és equiparable a altres programes de pagament. A més, inclou múltiples utilitats de recolzament al disseny i simulació dels enllaços i les xarxes de telecomunicacions i, el ventall de paràmetres que permet introduir per a realitzar les simulacions dóna la possibilitat de reflectir fidelment els equips reals que es pensa fer servir en la instal·lació que es simula.

30. Manual d'ús de Radio Mobile: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6989/Anexo%2016.pdf.
31. Model Longley-Rice: https://en.wikipedia.org/wiki/Longley%E2%80%93Rice_model.
32. SRTM de la NASA: https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/.
33. GTOPO30: https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30.
34. DTED: https://www.nga.mil/ProductsServices/TopographicalTerrestrial/Pages/DigitalTerrainElevationData.aspx.

9.2 Consideracions prèvies a la simulació

Per a dur a terme la simulació cal tenir presents una sèrie de paràmetres que ens permetran, d'una banda, realitzar-la de forma acurada i realista i, de l'altre, poder analitzar-ne de forma precisa els resultats obtinguts. Aquests paràmetres són:

- Potència transmesa (P_{TX}): Es mesura en dBm i ens indica la potència que transmeten els diferents equips. Aquesta, segons s'extreu dels *datasheets* dels equips, és de 21dBm en la BS i les CPEs, de 18dBm en els APs Wi^2 i de 27dBm en el AP TP-Link. Cal destacar que en tots els casos és ajustable en passos de 1dB.

- Guany (G_{TX} i G_{RX}): Es mesura en dBi i ens indica els guanys de les antenes de l'emissor i del receptor, respectivament. Segons s'extreu dels *datasheets* dels equips, en la BS el guany és de 15dB, en les CPEs de 21dB, en els APs Wi^2 de 8dB i en el AP TP-Link de 9dB.

- Sensibilitat (S_{RX}): Es mesura en dBm i ens indica quantitat de senyal que hauria de rebre el receptor per tal de poder treballar correctament a una certa velocitat. Segons s'extreu dels *datasheets* dels equips, per obtenir una taxa de 54Mbps en cal una sensibilitat de -71dBm en els equips WiMAX mentre que els punts d'accés Wi-Fi la tenen de -70dBm (Nota: en el *datasheet* del AP TP-Link no s'especifica, per tant assumim que és igual que en la resta d'APs).

- Pèrdues de la línia de transmissió (L_c): Es mesuren en dB i especifiquen les pèrdues que es produeixen degut a cablejat o connectors. En tots els casos es prendrà el valor per defecte de 0,5dB.

- Atenuació per espai lliure (L_{FS}): Es mesura en dB i ens indica l'atenuació que pateix el senyal entre antenes.

- Potència rebuda (P_{RX}): Es mesura en dBm i ens indica la potència que rep el receptor. El seu càlcul es realitza com:

$$P_{RX}\,(dBm) = P_{TX}\,(dBm) + G_{TX}\,(dBi) + G_{RX}\,(dBi) - L_{C(TX+RX)}(dB) - L_{FS}\,(dB)$$

- Marge de *fading* (*M*): Es mesura en dBm i és el valor a partir del qual es garanteix una recepció òptima del senyal (normalment 10dB) ja que contempla possibles afectacions no previstes (per exemple climatològiques). Al RadioMobile s'especifica com a "R_X *Relatiu*" i, el seu càlcul es realitza com:

$$M(dBm) = P_{RX}\,(dBm) - S_{RX}\,(dBm)$$

- Alçada antenes: Es mesura en metres i ens indica l'alçada de l'antena. En la simulació se suposa que totes les antenes mesuren 2 metres per defecte, de forma que, al introduir aquesta dada, com es veurà, se suposarà que són 2 metres més baixes que el que s'ha descrit en el vuitè apartat.

- Tipus d'antenes: Com s'ha vist en el vuitè apartat treballarem amb antenes omnidireccionals (radien la mateixa quantitat de potència en totes direccions) i direccionals (ho fan en una direcció concreta). En aquest sentit, totes les antenes són omnidireccionals excepte les de les CPEs que són direccionals i encarades a la BS.

- Distància enllaços: Distància en metres entre emissor i receptor.

- Banda de freqüència (*f*): Ens indica el marge de freqüències entre el qual es treballa. En WiMAX és: 5.47-5.725GHZ i, en Wi-Fi: 2.4-2.483GHz.

- *S-meter*[6]: El *S-meter* és un instrument de mesura que indica el nivell relatiu d'un senyal rebut per un receptor de radio. La seva escala típica està compresa entre els nivells S1 i S9, no obstant també existeixen el nivell S0 per indicar que no es rep el senyal i els nivells S9+10, S9+20... per indicar un senyal extremadament fort (nivell màxim + 10, 20... dB). Així doncs, per tal de oferir una lectura altament comprensible d'aquest indicador, podem definir els nivells de la següent forma:

Nivell de senyal (*S-meter*)	Descripció
S1	Senyal extremadament dèbil
S2	Senyal molt dèbil
S3	Senyal dèbil
S4	Senyal acceptable
S5	Senyal bo
S6	Senyal bastant bo
S7	Senyal moderadament fort
S8	Senyal fort
S9	Senyal molt fort

Taula 15. Descripció nivells *S-meter*

D'aquesta forma, veiem que ens cal garantir un nivell mínim de S4 (recomanable S5) en qualsevol dels enllaços de la xarxa troncal WiMAX.

D'altre banda, una altre consideració molt rellevant, és el compliment de les normatives descrites en el quart apartat, concretament les referents a la limitació de la potència isotròpica radiada equivalent:

$$p.i.r.e\ (dB) = P_{TX}\ (dBm) + G_{TX}(dBi) - L_c(dB)$$

La qual, segons les dades descrites i extretes dels diferents *datasheets* ens obliga a regular la potència transmesa dels diferents equips per tal d'ajustar-los a la normativa vigent quedant la P_{TX} de la BS en 15dBm (ja que si es manté a 21dB la p.i.r.e s'excedeix 5,5dBm dels 30dBm permesos), la P_{TX} de les CPEs en 9dBm (ja que si es manté a 21dB la p.i.r.e s'excedeix 11,5dBm dels 30dBm permesos), la P_{TX} dels AP Wi[2] en 12dBm (ja que si es manté a 18dB la p.i.r.e s'excedeix 5,5dBm dels 20dBm permesos) i, la P_{TX} de l'AP TP-Link en 11dBm (ja que si es manté a 27dB la p.i.r.e s'excedeix 15,5dBm dels 20dBm permesos).

A més, si la simulació resulta positiva, caldrà establir una separació entre canals per la xarxa Wi-Fi seguint el patró europeu amb la voluntat d'evitar possibles interferències entre els diferents nodes degut al solapament de senyals.

Per acabar, i com a resum de l'objectiu d'aquesta simulació, s'espera, d'una banda, obtenir uns enllaços WiMAX efectius segons els paràmetres descrits i, de l'altre, una cobertura Wi-Fi comprovada sobre cartografia i mitjançant una simulació de cobertura polar, que cobreixi, com a mínim, la zona plantejada al segon i vuitè apartat del present treball.

35. Més informació sobre el *S-meter*: https://hk3eu.com/2015/02/08/s-meter/ i https://es.wikipedia.org/wiki/S-meter.

Mètriques de simulació			
Mètrica d'avaluació	**Xarxa**	**Tipus de simulació**	**Valor mínim/desitjable a obtenir**
Color de l'enllaç	WiMAX	Simulació de radioenllaç	Verd
Nivell de senyal (S-*meter*)	WiMAX	Simulació de radioenllaç	S4, desitjable S5
Marge de *fading*	WiMAX	Simulació de radioenllaç	>10dB
Potència rebuda	WiMAX	Simulació de radioenllaç	>-61dBm
Cobertura gràfica	Wi-Fi	Simulació de cobertura polar simple per a cada un dels nodes i superposada sobre un mateix mapa.	Cobertura gràfica sobre tota l'àrea de cobertura objectiu.

Taula 16. Taula resum mètriques de simulació

9.3 Simulació dels enllaços WiMAX i la cobertura Wi-Fi

1. Introducció de les coordenades de Sant Pol de Mar al *Radio Mobile* i obtenció del mapa d'altituds.

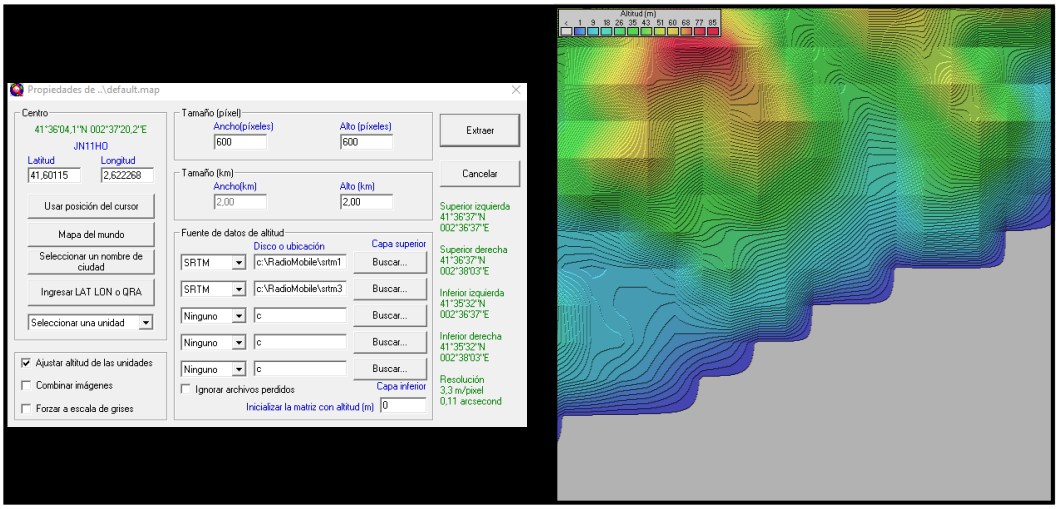


Figura 30. Radio Mobile: Obtenció mapa d'altituds

2. Combinació del mapa anterior amb Internet *OpenStreetMap* i obtenció d'un mapa d'altituds combinat amb el mapa urbà de Sant Pol de Mar.

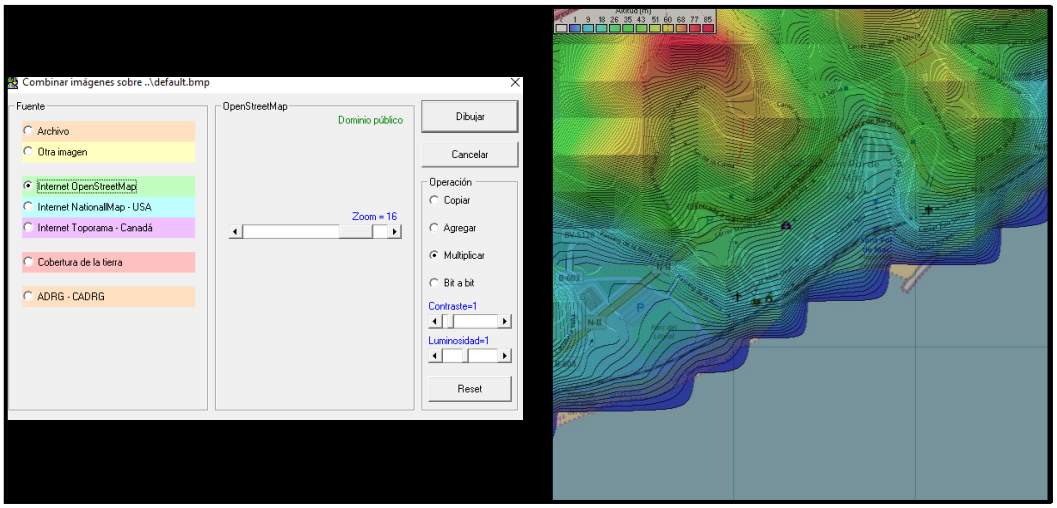


Figura 31. Radio Mobile: Combinació mapa d'altituds amb mapa urbà

3. Creació de les xarxes WiMAX i Wi-Fi partint de la indicació de les seves respectives freqüències màxima i mínima (WiMAX: 5470-5725MHz i Wi-Fi: 2400 – 2483MHz), clima (continental temperat), mode estadístic (intent ambdós casos) i topologies de xarxa (Per a WiMAX: xarxa de dades, topologia estrella, configuració mestre/esclau i, per a Wi-Fi: xarxa de dades, clúster, node/terminal). En la topologia WiMAX, la BS de l'ajuntament és el mestre i les diferents CPEs els esclaus.

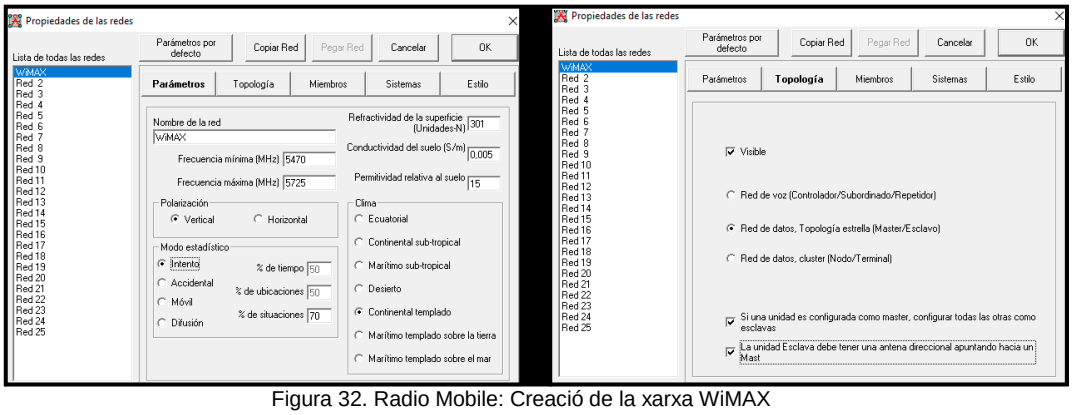


Figura 32. Radio Mobile: Creació de la xarxa WiMAX

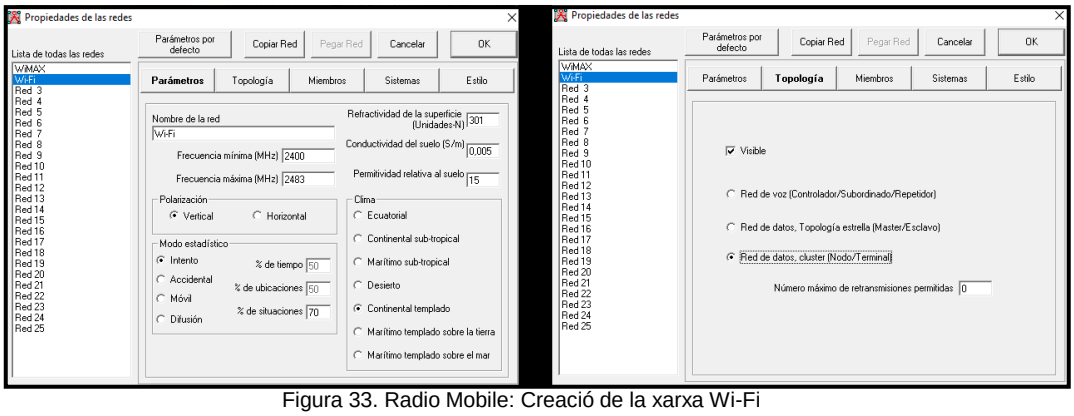


Figura 33. Radio Mobile: Creació de la xarxa Wi-Fi

4. Introducció de les localitzacions dels diferents nodes que componen el projecte a través de les seves coordenades i obtenció de les ubicacions sobre el mapa.

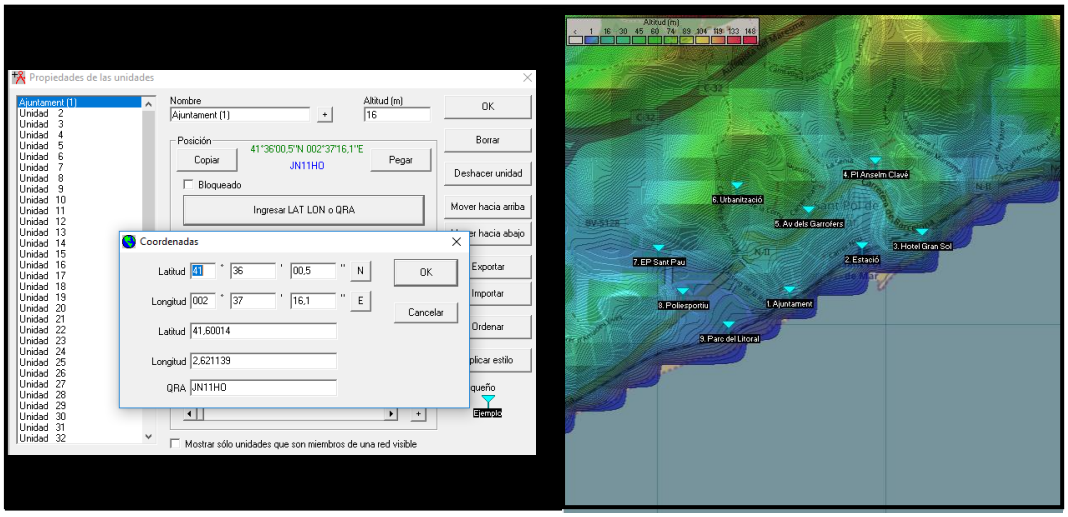


Figura 34. Radio Mobile: Mapa d'ubicacions

5. Creació dels sistemes que componen les xarxes seguint les especificacions pròpies de cada un d'ells i recollides als seus respectius *datasheets* així, com tenint en compte les consideracions prèvies establertes al principi d'aquest apartat i en el vuitè apartat corresponent al disseny de la xarxa. Concretament es realitza la creació de dos sistemes per a la xarxa WiMAX (BS i CPE) i dos per a la xarxa Wi-FI (AP WI^2 i AP TP-Link). Tots ells inclouen: nom, potència (ajustada a normativa), sensibilitat, tipus d'antena i guany d'aquesta i, pèrdues de la línia de transmissió.

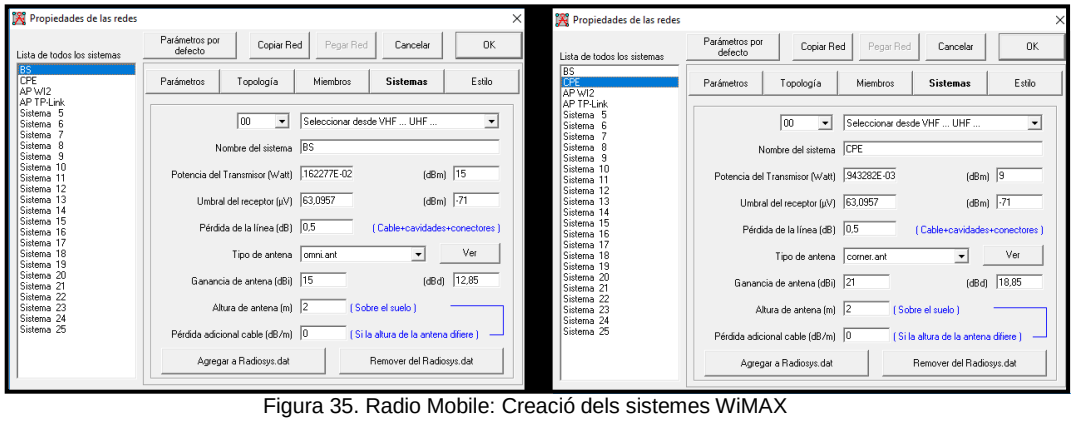


Figura 35. Radio Mobile: Creació dels sistemes WiMAX

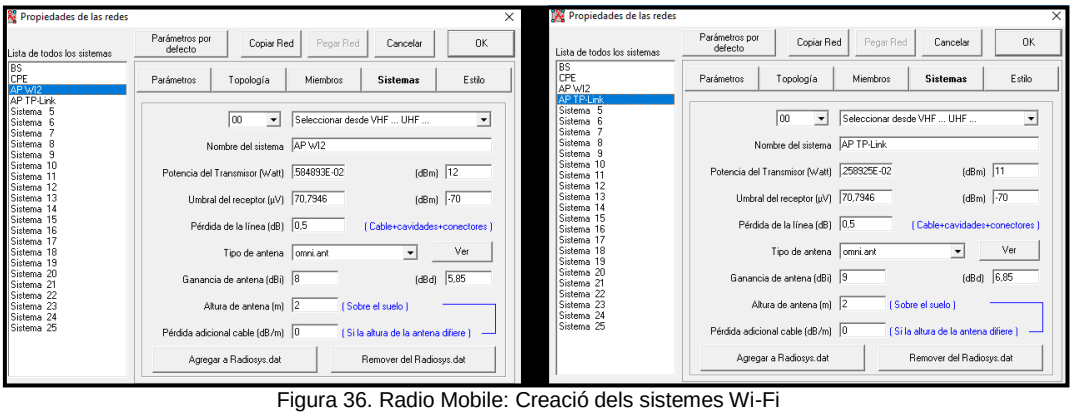


Figura 36. Radio Mobile: Creació dels sistemes Wi-Fi

6. Configuració de les unitats de xarxa (membres) per realitzar la simulació de la xarxa WiMAX, especificant el seu rol (mestre o esclau), el tipus de sistema (BS o CPE), l'alçada de l'antena de cada unitat i, per les CPEs, al tenir antenes direccionals, la direcció d'aquestes.

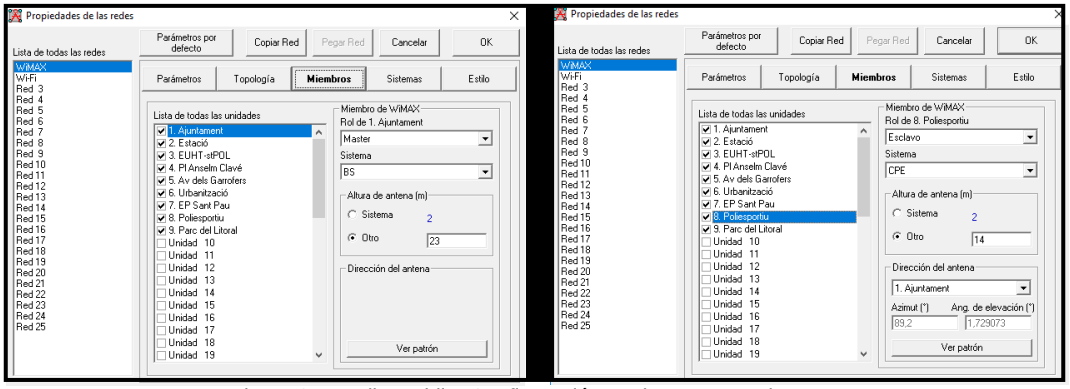


Figura 37. Radio Mobile: Configuració membres xarxa WiMAX

7. Realització de la simulació dels radioenllaços que componen la xarxa troncal WiMAX:

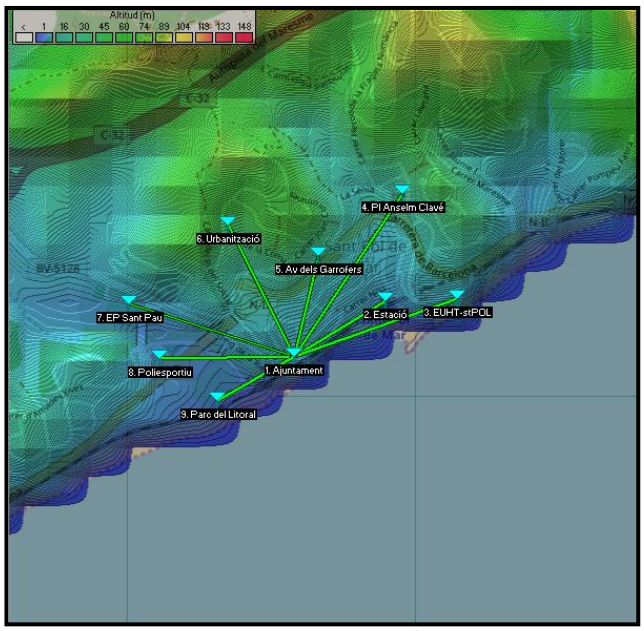


Figura 38. Radio Mobile: Simulació xarxa WiMAX

Com a resultat de la simulació, tots enllaços són senyalitzats en color verd, fet que indica la seva viabilitat i, que es disposa d'una cobertura adient en tots els nodes vers l'estació base.

Detall de la simulació de cada un dels enllaços i resultats obtinguts:

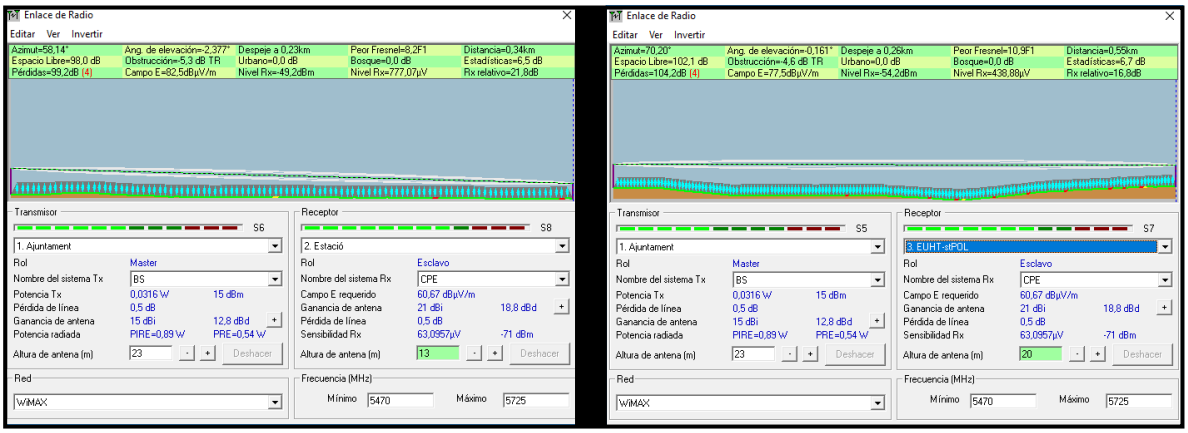


Figura 39. Radio Mobile: Detall enllaços WiMAX Ajuntament – Estació i Ajuntament – EUHT-stPOL

Enllaç Ajuntament – Estació:

- Nivell de senyal transmissor = S6
- Nivell de senyal Receptor = S8
- Potència rebuda = -49.2dBm
- Marge de fading = 21.8dB
- Resultat = **Positiu**

Enllaç Ajuntament – EUHT-stPOL:

- Nivell de senyal transmissor = S5
- Nivell de senyal Receptor = S7
- Potència rebuda = -54.2dBm
- Marge de fading = 16.8dB
- Resultat = **Positiu**

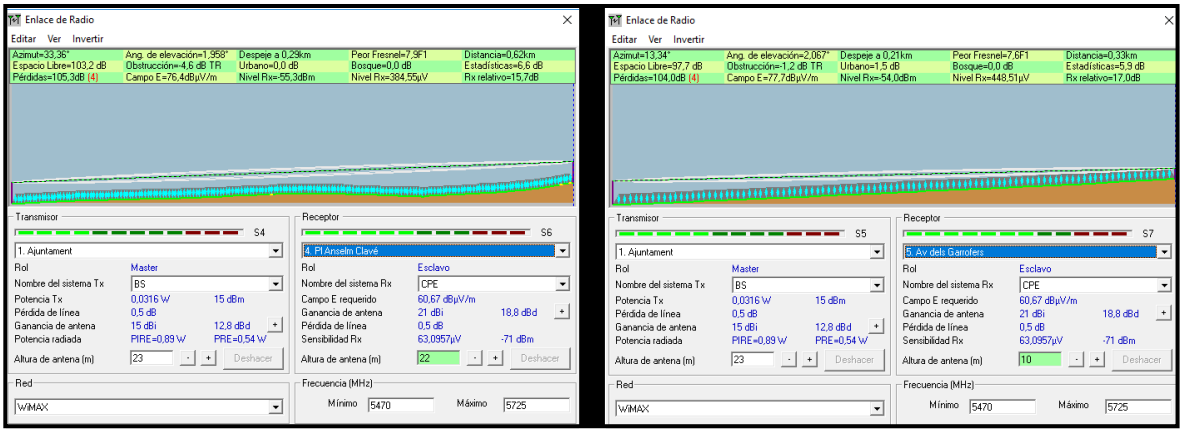


Figura 40. Radio Mobile: Detall enllaços WiMAX Ajuntament – Pl. Anselm Clavé i Ajuntament – Av. dels Garrofers

Enllaç Ajuntament – Pl. Anselm Clavé:

- Nivell de senyal transmissor = S4
- Nivell de senyal Receptor = S6
- Potència rebuda = -55.3dBm
- Marge de fading = 15.7dB
- Resultat = **Positiu**

Enllaç Ajuntament – Av. dels Garrofers:

- Nivell de senyal transmissor = S5
- Nivell de senyal Receptor = S7
- Potència rebuda = -54.0dBm
- Marge de fading = 17.0dB
- Resultat = **Positiu**

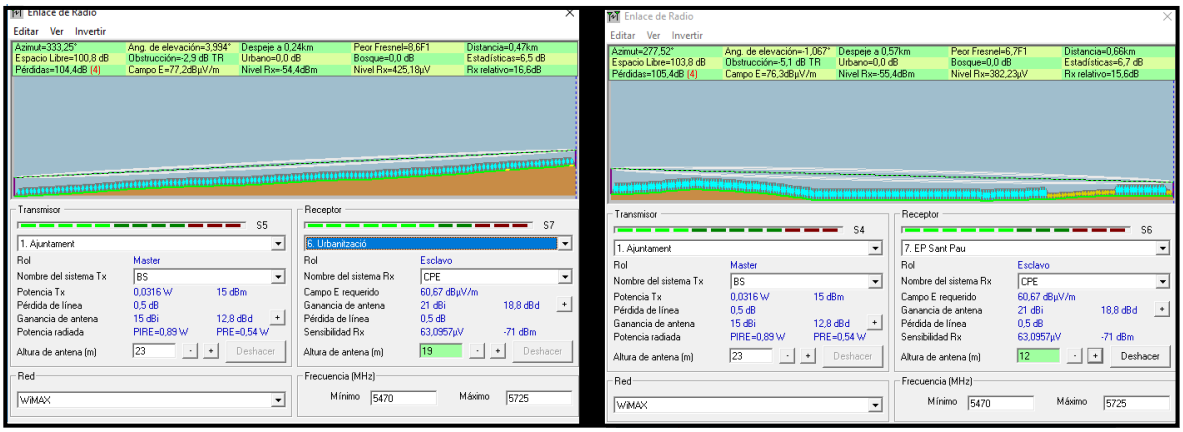


Figura 41. Radio Mobile: Detall enllaços WiMAX Ajuntament – Urbanització i Ajuntament – EP Sant Pau

Enllaç Ajuntament – Urbanització:

- Nivell de senyal transmissor = S5
- Nivell de senyal Receptor = S7
- Potència rebuda = -54.4dBm
- Marge de fading = 16.8dB
- Resultat = **Positiu**

Enllaç Ajuntament – EP Sant Pau:

- Nivell de senyal transmissor = S4
- Nivell de senyal Receptor = S6
- Potència rebuda = -55.4dBm
- Marge de fading = 15.6dB
- Resultat = **Positiu**

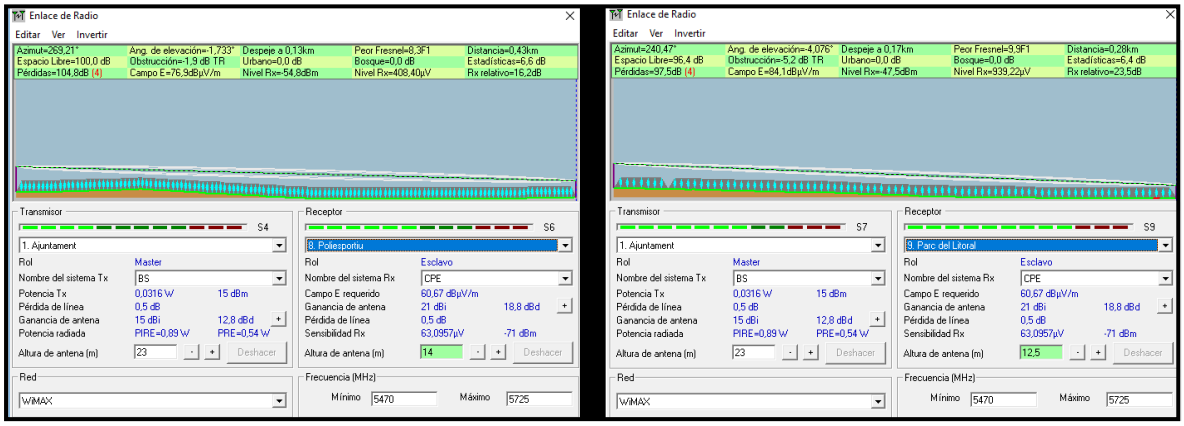


Figura 42. Radio Mobile: Detall enllaços WiMAX Ajuntament – Poliesportiu i Ajuntament – Parc del Litoral

Enllaç Ajuntament – Poliesportiu:

- Nivell de senyal transmissor = S4
- Nivell de senyal Receptor = S6
- Potència rebuda = -54.8dBm
- Marge de fading = 16.2dB
- Resultat = **Positiu**

Enllaç Ajuntament – Parc del Litoral:

- Nivell de senyal transmissor = S7
- Nivell de senyal Receptor = S9
- Potència rebuda = -47.5dBm
- Marge de fading = 23.5dB
- Resultat = **Positiu**

8. Configuració de les unitats de xarxa (membres) per la simulació de la xarxa Wi-Fi, a través de l'especificació del seu rol (node en tots els casos), tipus de sistema (AP Wi^2 o AP TP-link) i, alçada de l'antena de cada unitat (en aquest cas, totes són omnidireccionals).

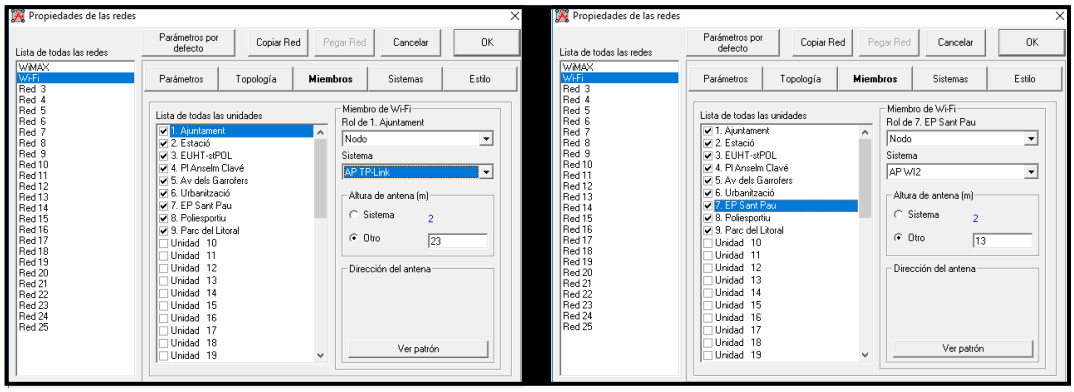


Figura 43. Radio Mobile: Configuració membres xarxa Wi-Fi

9. Realització de la simulació de la cobertura de la xarxa Wi-Fi mitjançant una simulació de cobertura polar simple per a cada un dels nodes que componen la xarxa vers un terminal situat en el punt més llunyà possible i la superposició de totes elles sobre un mateix mapa i en un mateix color per observar el resultat global de forma gràfica.

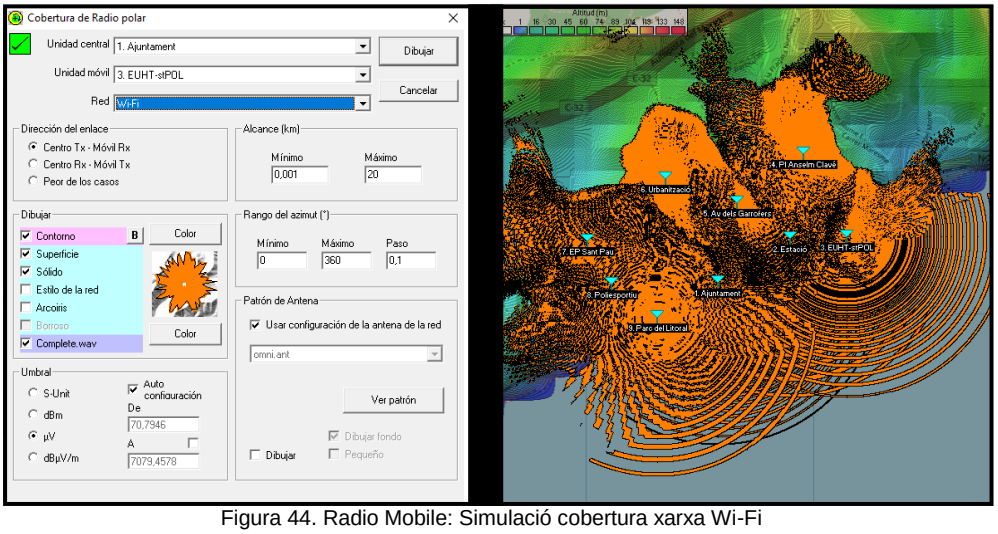


Figura 44. Radio Mobile: Simulació cobertura xarxa Wi-Fi

La simulació de la xarxa Wi-Fi és positiva ja que la cobertura gràfica obtinguda a través de la superposició de les diferents simulacions per cobertura polar simple de cada un dels nodes respecte un terminal cobreix tota la zona de cobertura plantejada com a objectiu, sense zones d'ombra rellevants.

9.4 Conclusions

Les conclusions que es poden extreure de la simulació realitzada són les següents:

- El projecte és tècnicament viable i compleix amb tots els requeriments plantejats inicialment a tots els nivells.

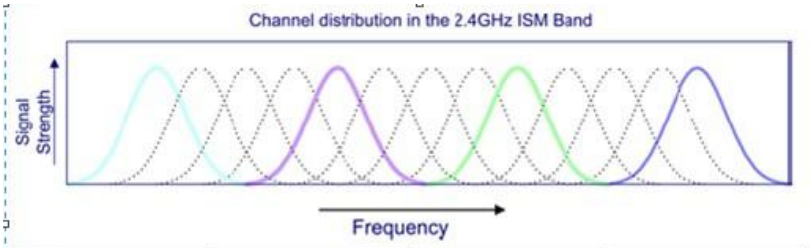
- Tots els enllaços que componen la xarxa troncal WiMAX són plenament operatius i ofereixen la cobertura desitjada. En aquest sentit, els seus nivells de senyal als transmissors i receptors es troben entre S4 (acceptable) i S9 (senyal molt fort) sent la majoria en nivells intermedis. A més, els seus marges de *fading* superen àmpliament el llindar dels 10dB desitjats, prenent valors compresos entre 15,6dB i 23,5dB. Finalment, les seves potències rebudes es troben majoritàriament al voltant dels -54dBm sent, el seu límit superior de -47,5dBm i, el seu límit inferior de -55,4dBm, lluny de la sensibilitat de -71dBm requerida per obtenir la velocitat de 54 Mbps desitjada.

- Referent a la xarxa d'accés Wi-Fi, es pot apreciar que proporciona cobertura al 99% de la zona principal d'actuació descrita en el segon i vuitè apartats i, a més, a bona part addicional del terme municipal. És important observar en el resultat de la simulació d'aquesta xarxa l'efecte de l'altitud en la cobertura i l'atenuació que pateix degut a les elevacions properes al municipi.

- Per últim, i tal com s'ha avançat en el segon punt d'aquest apartat, és de gran importància establir una assignació de canals en la xarxa Wi-Fi amb la voluntat d'evitar interferències produïdes pel solapament de senyals entre els diferents nodes. Aquesta distribució, la farem seguint una de les distribucions més recomanades en l'àmbit europeu [36], la distribució 1-5-9-13 i tenint en compte la màxima separació física entre els APs que treballin en el mateix canal, per tant, distribució de canals per la xarxa Wi-Fi pot quedar de la següent forma:

Node Wi-Fi	Canal	Freqüència
Ajuntament	1	2412 MHz
Estació	9	2452 MHz
EUHT-stPOL	13	2472 MHz
Pl. Anselm Clavé	1	2412 MHz
Av. dels Garrofers	5	2432 MHz
Urbanització	13	2472 MHz
EP Sant Pau	9	2452 MHz
Poliesportiu	13	2472 MHz
Parc del Litoral	5	2432 MHz

Taula 17. Distribució de canals Wi-Fi



Channel	Start Frequency	Mid Frequency	End Frequency
1	2399.5 MHz	2412 MHz	2424.5 MHz
5	2419.5 MHz	2432 MHz	2444.5 MHz
9	2439.5 MHz	2452 MHz	2464.5 MHz
13	2459.5 MHz	2472 MHz	2484.5 MHz

Figura 45. Distribució canals Wi-Fi a la banda 2,4GHz a Europa (Font: supportforums.cisco.com)

10. Memòria econòmica

Un cop afirmada la viabilitat tècnica teòrica del projecte a través del seu disseny i validació mitjançant Radio Mobile i, abans de la seva implementació, que lògicament queda fora de l'abast del present treball, cal valorar de forma concisa la seva viabilitat econòmica. Per a fer-ho, en aquest apartat s'oferirà un pressupost detallat del cost del projecte així com algunes de les possibles opcions de finançament de que pot disposar.

10.1 Pressupost

El pressupost[36] detallat del projecte realitzat és el següent:

Concepte	Unitats	Preu (IVA inclòs)	Total (IVA inclòs)
Equipament de xarxa			
Kit Estació base (BS) Alvarion Breeze Access VL. Inclou xassís (BS-SH-VL), unitat externa (AU-D-BS) i una antena sectorial de 120º (AU-Ant-5G-15-120).	1	3.774€	3.774€
Font d'alimentació de corrent alterna per a BS Alvarion Breeze Access VL: BS-PS AC.	1	873€	873€
Antena sectorial de 120º addicional per a BS Alvarion Breeze Access VL: AU-Ant-5G-15-120.	2	325€	650€
Unitat d'abonat (SU) o CPE Alvarion Breeze Access VL 54Mbps i antena integrada: SU-A-5.4-54-BD-VL.	8	532€	4.256€
Punt d'accés (AP) combinat Wi-Fi-WiMAX: Alvarion BreezeAccess/BreezeMAX Wi^2 amb antena integrada.	8	1.210€	9.680€
Controlador per a 10 AP's: Alvarion Controller BreezeAccess/BreezeMAX Wi^2-CTRL10.	1	1.926€	1.926€
Punt d'accés exterior Wi-Fi TP-Link: CPE210	1	69€	69€
Subtotal equipament de xarxa			**21.228€**
Equipament Centre de control			
Armari rack 19 I700 12U 600 X 800	1	447€	447€
Switch Cisco Catalyst WS-C3560C-8PC-S	2	621€	1.242€
Firewall Cisco ASA5506-K9	2	300€	600€
Router (Proporcionat per el ISP)	1	0€	0€
Servidor: PcCom Basic Enterprise Ultra Intel Core i7-7700/8GB/1TB/GT 730	1	603€	603€
Teclat i ratolí: Logitech Desktop MK120	1	19€	19€
Monitor servidor: Acer V226HQL 21.5" LED	1	90€	90€
Subtotal equipament Centre de control			**3.001€**
Elements d'instal·lació			
Màstil telescòpic de 12/15m	3	63€	189€
Màstil fix 4m	6	35€	210€
Cables vents, cargols i altres elements d'instal·lació (aproximat)	1	300€	300€
Cable de xarxa Ethernet rígid RJ45 Cat.6 UTP AWG24, 100% coure, gris, bobina de 100mts €	1	39€	39
Connectors i altres elements de xarxa (aproximat)	1	200€	200€
Cable elèctric, regletes i altres elements elèctrics (aproximat)	1	350€	350€
Subtotal Elements d'instal·lació			**1.288€**
Disseny, instal·lació i configuració			
Disseny i realització del projecte	75	60€	4.500€
Instal·lació i configuració (mà d'obra)	110	45€	4.950€
Subtotal Disseny, instal·lació i configuració			**9.450€**
TOTAL PROJECTE			**34.967€**

Taula 18. Pressupost

36. Tots els preus per confeccionar aquest pressupost han extrets de les següents webs de referència: www.amazon.es, www.wirelessguys.com, www.gictronics.com, www.pccomponentes.com, www.senetic.es i www.diesl.es.

10.2 Proposta d'opcions de finançament

Bàsicament, es proposen dues opcions de finançament per tal de dur a terme amb major facilitat la implementació del projecte.

La primera opció és a través de la inclusió de publicitat. Aquesta publicitat, ja sigui de grans empreses o bé de petits comerços del municipi, es podria incloure en el portal captiu pel qual cadascun dels diferents usuaris de la xarxa haurà de passar obligatòriament abans d'accedir a ella i, per tant, visionar-la.

La segona opció, és intentar optar a una subvenció Europea de 15.000€ a través de la iniciativa "*WIFI4EU*"[31] que intenta afavorir que els diferents municipis de la Unió instal·lin punts d'accés Wi-Fi en els seus espais públics, per tal d'oferir accés a Internet gratuït als seus habitants i visitants. Aquesta subvenció, té la finalitat d'ajudar a adquirir i instal·lar l'equipament necessari per a fer-ho (no el seu manteniment) i, segons ha informat la Comissió Europea en un comunicat de premsa del 20 de març de 2018 [37], podrà ser sol·licitada en 8 convocatòries diferents durant els propers 2 anys.

10.3 Conclusions i anàlisi de la viabilitat econòmica del projecte

Les conclusions que s'extreuen de la memòria econòmica són:

- El pressupost total de projecte ascendeix a un total de 34.967€.
- Aquest pressupost inclou tot l'equipament necessari per dur a terme el projecte així com la mà d'obra i l'IVA. Exclou tant sols la quota de servei de l'operador (que oscil·la al voltant dels 50€ mensuals[32], i no s'ha inclòs per tal que l'Ajuntament l'esculli lliurement segons preferència) i, costos addicionals en concepte d'instal·lació en ubicacions privades, si s'escau.
- Referent al manteniment de la xarxa, probablement podrà ser realitzat per tècnics del propi Ajuntament degut a la seva baixa complexitat, motiu pel qual no s'afegeix cap cost addicional en aquest sentit, sinó caldria comptabilitzar-lo.
- Les dues opcions de finançament proposades són únicament propostes il·lustratives, però rellevants, de les diferents fonts de finançament existents. No obstant, l'Ajuntament possiblement pugui accedir a altres tipus de subvencions.
- La opció de finançament a través de publicitat, si s'aposta per tal que sigui de proximitat en comptes de grans companyies, pot ajudar a fomentar la utilització del teixit comercial de la vila i, per tant, afavorir-lo.
- Cal destacar, que les dues opcions de finançament presentades no són compatibles entre sí, ja que un dels requisits per optar a la subvenció "*WIFI4EU*" és que la xarxa finançada sigui gratuïta, no contingui publicitat i no es recullin dades personals a través seu.

31. Programa "*WIFI4EU*": www.wifi4eu.eu
32. Orange i Movistar (operadors disponibles a St. Pol de Mar) ofereixen a 30/5/18 la connexió de fibra òptica simètrica de 300Mbps per empreses a 37,95€ i 37,19€ (promocions i quota de línia excloses, IVA inclòs), respectivament.

- La subvenció "*WIFI4EU*" i per tant, la voluntat clara d'oferir connexió a Internet permanent i gratuïta a tothom, reafirma un cop més la utilitat d'aquest projecte.

- L'Ajuntament de Sant Pol de Mar, en els seus pressupostos de 2018 [38], preveu inversions al municipi per valor de 1.812.410€, motiu pel qual aquest projecte, excloent subvencions i ingressos per publicitat, només representaria un 1.92% del total d'aquestes inversions, reduint-se en cas d'obtenir la subvenció "*WIFI4EU*" a únicament un 1.10%.

Així doncs, per tot el que s'ha comentat i especialment pel darrer punt referent a les dades econòmiques del Municipi, es conclou que:

Aquest projecte és tècnica i econòmicament viable pel municipi de Sant Pol de Mar i, a més, per un mòdic cost, permet posicionar-lo com un municipi tecnològicament avançat i que es preocupa per la qualitat de vida i inclusió a la societat de la informació tant dels seus veïns com dels seus potencials visitants.

11. Avaluació de la necessitat i possibilitat d'ampliació del projecte

En aquest apartat, tal i com el seu títol indica, s'analitzaran d'una banda la necessitat i de l'altre la possibilitat d'ampliació del projecte, principalment i seguint els objectius inicials del projecte, en termes d'abast, velocitat i possibilitat de cobrament del servei a turistes.

11.1 Avaluació de la necessitat d'ampliació del projecte

Atenent als resultats obtinguts al llarg de l'elaboració de projecte, no és considera necessari augmentar l'abast de la cobertura ja que en les simulacions s'ha pogut apreciar que aquesta va més enllà de les primeres estimacions i cobreix gran part del terme municipal de Sant Pol de Mar, exceptuant tant sols algunes urbanitzacions o parts més llunyanes d'aquestes, que no en justificarien l'ampliació en termes econòmics.

D'altre banda, en termes de velocitat xarxa-usuari i capacitat, es cobreix perfectament l'objectiu del projecte. No obstant, sempre es pot tenir present la possibilitat d'augmentar-la per millorar el servei, tot i que llavors l'objectiu ja seria diferent.

Finalment, i referent al cobrament a turistes comentat al primer apartat del projecte, tot i que podria ser una bona opció de finançament, no seria estrictament necessari degut al cost econòmic contingut que s'ha aconseguit i, que la utilització de la xarxa per part d'aquest col·lectiu ja ha estat contemplada.

11.2 Avaluació de la possibilitat d'ampliació del projecte

Un punt important a tenir en compte en aquesta avaluació, i tal com i ja s'ha introduït en el corresponent apartat sobre aspectes legals del projecte, si es pretén donar un servei públic de pagament destinat a turistes com es detallava a la introducció del present treball, l'Ajuntament caldrà que es doni d'alta a la CNMC com a operador de telecomunicacions, fet que li comportarà estar d'una banda subjecte a totes les obligacions d'aquests operadors i de l'altre dur a terme l'activitat en les mateixes condicions que ho fan ells. En aquest sentit, degut a les inversions necessàries que caldria realitzar, la complexitat del procés i la dificultat de gestió que comportaria i, els beneficis (econòmics i no econòmics tals com imatge del municipi o satisfacció dels turistes) que se'n podrien derivar, no és aconsellable realitzar aquesta inversió en un municipi de les característiques de Sant Pol de Mar, ja que probablement provocaria pèrdues econòmiques a canvi de beneficis irrellevants.

D'altre banda, si es pretén donar un servei de més qualitat, és a dir, oferint una velocitat xarxa-usuari superior a 256Kbps, ens trobem amb el mateix inconvenient de que l'Ajuntament s'hauria de donar d'alta com a operador, per tant, també és desaconsellable a priori. A més, actualment, s'està treballant amb l'ample màxim que ofereixen els diferents operadors al municipi i, en conseqüència, si es pretén ampliar la xarxa, caldrà adquirir noves connexions i nous equipaments.

11.3 Conclusió

La conclusió principal que s'arriba en aquest apartat és que, ara per ara, i partint de les limitacions imposades per la legalitat vigent, es considera que l'abast del projecte és ajustat i suficient per la finalitat per la qual ha estat creat i en conseqüència, no es preveu necessari un augment de les seves capacitats en cap sentit. No obstant, si en un futur es pogués oferir una velocitat xarxa-usuari major dins la legalitat vigent, es podria avaluar de nou la necessitat d'ampliació del projecte. També, si en un futur es pretén desenvolupar sistemes telemàtics basats en xarxes de sensors, com els que conformen moltes de les *Smart Cities* que s'estan començant a crear en aquests moments, caldrà realitzar novament una avaluació de la capacitat d'aquesta xarxa i la seva necessitat d'ampliació.

Figura 46. Imatge de Sant Pol de Mar (Font: thecup.es)

12. Conclusions finals

L'objectiu d'aquest treball era desenvolupar el disseny i simulació d'una xarxa telemàtica que proporcionés accés gratuït a Internet als habitants i visitants del municipi de Sant Pol de Mar, millorant-ne així la seva qualitat de vida i la seva integració a la societat de la informació i, també, oferir una imatge de municipi modern i conscienciat de que cal apostar perquè tothom pugui disposar d'un accés lliure i permanent a Internet i, certament, aquest objectiu s'ha vist satisfet donant com a resultat un treball amb un alt nivell de contingut tècnic però sense oblidar que cal que pugui ser comprès per a qualsevol lector.

Per assolir aquest objectiu, ha calgut realitzar en primer terme un acurat estudi del municipi, tenint present tots els aspectes que podien afectar al disseny de la xarxa. Després, ha calgut estudiar detalladament les normatives legals aplicables per tal de no vulnerar-ne cap. Un cop vista la seva viabilitat inicial i, les seves limitacions imposades per les normatives vigents que tenien una afectació directa o indirecta sobre el projecte, s'ha procedit a realitzar un estudi inicial de requeriments concrets, com ara l'ample de banda requerit o el volum d'usuaris potencials. Posteriorment, s'ha entrat en la part més teòrica, repassant els diferents conceptes principals de les xarxes sense fils i els seus avantatges davant les xarxes amb fils, així com les tecnologies més adients a utilitzar i les consideracions de seguretat més rellevants oferint, sempre, una justificació de l'elecció realitzada. Fet això, ha tocat el torn del disseny en el seu estat més pur, des de la determinació dels equips necessaris i la seva ubicació física fins als models concrets triats a través d'un estudi de mercat en el qual s'ha optat per les marques més fiables i conegudes. Després, ha calgut validar aquest disseny mitjançant programari especialitzat i, posteriorment, s'ha ofert un pressupost del projecte així com diferents opcions de finançament per dur-lo a terme amb major facilitat. Finalment, s'ha avaluat la necessitat i la possibilitat d'ampliació del projecte.

Degut a tot aquest procés, s'ha après l'enorme volum de consideracions que cal tenir presents per dur a terme un projecte d'aquestes característiques així com el gran ventall de parts implicades i l'alt nivell de rigor que s'espera en un treball tècnic d'aquestes característiques, fets que han comportat que hagi estat una gran experiència personal i una bona base per afrontar el futur professional després d'aquesta etapa acadèmica.

Referent a la planificació inicial que es va dur a terme, aquesta ha pogut ser seguida amb certa comoditat i inclús s'ha vist anticipada per la necessitat d'incloure més contingut en el primer lliurament a petició del consultor i que, certament, va ser un gran encert de cara a l'alt volum de feina que comportava el segon lliurament, molt més tècnic que el primer. D'altre banda, la metodologia emprada ha resultat efectiva i no ha calgut introduir canvis rellevants per assolir l'èxit en el treball.

Per últim, al haver aconseguit assolir tots els objectius inicials amb un bon nivell de satisfacció personal, no han quedat tasques pendents de realitzar. No obstant, en cas de voler escalar la xarxa, s'ha descrit com fer-ho i, bàsicament, consisteix en realitzar més radioenllaços seguint la mateixa metodologia i utilitzar més unitats del mateixos equips, per tal d'oferir una cobertura més extensa. Dit això, i per concloure aquest apartat, com a línia de treball futura que no s'ha pogut explorar, ja que lògicament quedava fora de l'abast del present projecte, només restaria la implementació del disseny efectuat.

13. Glossari

Els termes i acrònims més rellevants utilitzats són:

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line). Línia d'Abonat Digital Asimètrica.

AP (Access Point). Punt d'Accés.

BS (Base Station). Estació Base

BWA (Broadband Wireless Access). Internet de banda ample sense fils.

CMT (Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones de España). Comissió del Mercat de les Telecomunicacions d'Espanya.

CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias). Quadre Nacional d'Atribució de Freqüències.

CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia). Comissió Nacional dels Mercats i la Competència.

CPE (Customer Premises Equipment). Equip local de client.

CSMA/CA (Carrier Sense, Multiple Access, Collision Avoidance). Accés múltiple per detecció de portadora i prevenció de col·lisions.

DDoS (Distributed Denial of Service). Denegació de Servei Distribuïda.

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol). Protocol de Configuració Dinàmica de Host.

DMZ (Demilitarized Zone). Zona Desmilitaritzada.

DoS (Denial of Service). Denegació de Servei.

ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Instituit Europeu de Normes de Telecomunicacions.

HiperLAN (High Performace Radio LAN). LAN d'alt rendiment.

IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Institut d'Enginyers Elèctrics i Electrònics.

IETF (Internet Engineering Task Force). Grup de Treball d'Enginyeria d'Internet.

ISO (International Organization for Standardization). Organització Internacional de Normalització.

ISP (Internet Service Provider). Proveïdor de Serveis d'Internet.

ITU (Intenational Telecommunication Union). Unió Internacional de Telecomunicacions.

LAN (Local Area Network). Xarxa d'Àrea Local.

LMDS (Local Multipoint Distribution Service). Sistema de Distribució Local Multipunt.

LOS (Line Of Sight). Línia de Visió.

LTE (Long Term Evolution). Evolució a Llarg Termini.

LTE-A (Long Term Evolution Advanced). Evolució a Llarg Termini Avançada.

MIMO (Multiple Input Multiple Output). Múltiple Entrada Múltiple Sortida.

MU-MIMO (Multipe User-MIMO). Múltiple Usuari - Múltiple Entrada Múltiple Sortida.

NFC (Near Field Communication). Comunicació de Camp Proper.

NLOS (Non Line Of Sight). Sense Línia de Visió.

OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access). Accés múltiple per divisió de freqüències ortogonals.

OSA (Open System Authentication). Autenticació de Sistema Obert.

PIRE Potència Isotròpica Radiada Equivalent.

PKM (Privacy Key Management). Gestió de Claus de Privadesa.

PSK (Pre-Shared Key). Clau Pre-Compartida.

PTMP (Point-To-MultiPoint). Punt a Multipunt.

PTP (Point-To-Point) Punt a Punt.

RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service). Servei Remot d'Autenticació de Connexió d'Usuari.

RFID (Radio Frequency ID). Identificació per Radio-Freqüència.

SKA (Shared Key Authentication). Autenticació de Clau Compartida.

SS (Subscriber Station). Estació Subscriptora.

TEKs (Traffic Encryption Keys). Claus de Xifratge de Trànsit.

TKIP (Temporary Key Integrity Protocol). Protocol d'Integritat de Clau Temporal.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Sistema Universal de Telecomunicacions Mòbils.

WBAN (Wireless Body Area Network). Xarxa sense fils d'Àrea Corporal.

WEP (Wired Equivalent Privacy). Privacitat Equivalent a Cablejat.

Wi-Fi (Wireless-Fidelity). Fidelitat sense fils.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Interoperabilitat Mundial per Accés per Microones.

WLAN (Wireless Local Area Network). Xarxa sense fils d'Àrea Local.

WMAN (Wireless Metropolitan Area Network). Xarxa sense fils d'Àrea Metropolitana.

WPA (WiFi Protected Access). Accés Protegit Wi-Fi.

WPAN (Wireless Personal Area Network). Xarxa sense fils d'Àrea Personal.

WPS (WiFi Protected Setup). Configuració Wi-Fi Protegida.

WWAN (Wireless Wide Area Network). Xarxa sense fils d'Àrea Estesa.

14. Bibliografia

La bibliografia consultada ha estat:

1. Enciclopedia.cat. (2018). *Sant Pol de Mar | enciclopèdia.cat*. [en línia] Disponible a: http://www.enciclopedia.cat/EC-GEC-0236637.xml [Accés maig 2018].

2. Anon. (2018). *Clima San Pol de Mar: Temperatura, Climograma y Tabla climática para San Pol de Mar - Climate-Data.org*. [en línia] Disponible a: https://es.climate-data.org/location/425043/ [Accés maig 2018].

3. Es.wikipedia.org. (2018). *San Pol de Mar*. [en línia] Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/San_Pol_de_Mar [Accés maig 2018].

4. Ajuntament de Sant Pol de Mar. (2018). *Equipaments i Serveis*. [en línia] Disponible a: https://santpol.cat/ajuntament/equipaments-i-serveis [Accés maig 2018].

5. Poblesdecatalunya.cat. (2018). *Sant Pol de Mar - Patrimoni històric i artístic - Pobles de Catalunya*. [en línia] Disponible a: http://www.poblesdecatalunya.cat/municipi.php?m=082359 [Accés maig 2018].
6. Boe.es. (2018). *BOE.es - Documento consolidado BOE-A-1978-31229*. [en línia] Disponible a: https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1978-31229&p=20110927&tn=1#a149 [Accés maig 2018].

7. Boe.es, (2018). *Nueva Ley General de Telecomunicaciones / Ley 9/2014, De 9 De Mayo*. [en línia] Disponible a: https://www.boe.es/buscar/pdf/2014/BOE-A-2014-4950-consolidado.pdf [Accés maig 2018].

8. Ministerio De Industria, Turismo Y Comercio (2018). *Disposición 12831 del BOE núm. 192 de 2010*. [en línia] Disponible a: http://www.boe.es/boe/dias/2010/08/09/pdfs/BOE-A-2010-12831.pdf [Accés maig 2018].

9. Estado, B. (2018). *BOE 234 de 29/09/2001 Sec 1 Pag 36217 a 36227*. [en línia] Disponible a: https://www.boe.es/boe/dias/2001/09/29/pdfs/A36217-36227.pdf [Accés maig 2018].

10. Estado, B. (2018). *BOE 011 de 12/01/2002 Sec 1 Pag 1528 a 1536*. [en línia] Disponible a: https://www.boe.es/boe/dias/2002/01/12/pdfs/A01528-01536.pdf [Accés maig 2018].

11. Anon, (2018). *CNAF 2010: NOTAS UN*. [en línia] Disponible a: http://www.minetad.gob.es/telecomunicaciones/espectro/CNAF/notas-UN-2017.pdf [Accés maig 2018].

12. Anon, (2018). *Estatut d'autonomia de Catalunya*. [en línia] Disponible a: https://www.parlament.cat/document/cataleg/48089.pdf [Accés maig 2018].

13. Es.wikipedia.org. (2018). *Potencia Isotrópica Radiada Equivalente*. [en línia] Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_Isotr%C3%B3pica_Radiada_Equivalente [Accés maig 2018].

14. Anon, (2018). *Infografía Resumen 20º Navegantes en la Red*. [en línia] Disponible a: http://download.aimc.es/aimc/ARtu5f4e/Infografia_naveg_20.pdf [Accés maig 2018].

15. Eleva tu límite. (2018). *¿Qué ancho de banda necesito?*. [en línia] Disponible a: https://elevatulimite.wordpress.com/2013/04/08/que-ancho-de-banda-necesito-por-gabriel-salas/ [Accés maig 2018].

16. Idescat.cat. (2018). *Idescat. Anuari estadístic de Catalunya. Ús de l'ordinador i d'Internet. Per freqüència i grups d'edat*. [en línia] Disponible a: http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=617 [Accés maig 2018].

17. Generalitat De Catalunya. Departament De Treball Afers Socials I Famílies (2018). *Atur per comarques i municipis. Febrer de 2018*. [en línia] Disponible a: http://observatoritreball.gencat.cat/web/.content/generic/documents/treball/estadistica/atur_comarques_i_municipis__premsa/2018/arxius/Atur_per_municipis_201802.pdf [Accés maig 2018].

18. Ca.wikipedia.org. (2018). *Usabilitat*. [en línia] Disponible a: https://ca.wikipedia.org/wiki/Usabilitat [Accés maig 2018].

19. Idescat.cat. (2018). *Idescat. Indicadors anuals. Equipament i ús de les noves tecnologies. Espanya*. [en línia] Disponible a: https://www.idescat.cat/economia/?id=6202 [Accés maig 2018].

20. Ajuntament de Sant Pol de Mar. (2018). *Telefónica i Orange inicien el desplegament de la fibra òptica a Sant Pol*. [en línia] Disponible a: https://santpol.cat/noticies/2018-03-06/telefonica-i-orange-inicien-el-desplegament-de-la-fibra-optica-sant-pol [Accés maig 2018].

21. López, C. (2018). *¿Qué compañías cobran por el exceso de datos móviles y cuáles no?* [en línia] Disponible a: https://www.rankia.com/blog/tarifas-moviles/2672889-que-companias-cobran-por-exceso-datos-moviles-cuales-no [Accés maig 2018].

22. Ca.wikipedia.org. (2018). *Xarxa sense fil*. [en línia] Disponible a: https://ca.wikipedia.org/wiki/Xarxa_sense_fil [Accés maig 2018].

23. Es.wikipedia.org. (2018). *Topología de red*. [en línia] Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Topolog%C3%ADa_de_red [Accés maig 2018].

24. Satydal. (2018). *Redes sin cables, pero eficientes. - Satydal*. [en línia] Disponible a: http://www.satydal.es/redes-sin-cables-pero-eficientes/ [Accés maig 2018].

25. Ca.wikipedia.org. (2018). *Wi-Fi*. [en línia] Disponible a: https://ca.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi [Accés maig 2018].

26. Testdevelocidad.es. (2018). *Conoce cuáles son todos los estándares de Wi-Fi que existen*. [en línia] Disponible a: https://www.testdevelocidad.es/2016/08/11/conoce-cuales-todos-los-estandares-wi-fi-existen/ [Accés maig 2018].

27. Es.wikipedia.org. (2018). *WiMAX*. [en línia] Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX [Accés maig 2018].

28. Es.wikipedia.org. (2018). *Backhaul*. [en línia] Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Backhaul [Accés maig 2018].

29. Sx-de-tx.wikispaces.com. (2018). *Sistemas de Transmisión - WIMAX*. [en línia] Disponible a: https://sx-de-tx.wikispaces.com/WIMAX [Accés maig 2018].

30. Anon, (2018). *Seguridad en redes WiMAX 802.16-2009* [en línia] Disponible a: http://www.albentia.com/Docs/WP/ALB-W-000006spA4_Seguridad%20en%20redes%20WiMAX.pdf [Accés maig 2018].

31. El blog de soluciones para la transformación digital en procesos, trabajo colaborativo, datos, documentos y cloud. (2018). *Tipos de seguridad wifi más habituales*. [en línia] Disponible a: https://smarterworkspaces.kyocera.es/blog/tipos-de-seguridad-wifi-mas-habituales/ [Accés maig 2018].

32. Es.wikipedia.org. (2018). *Portal cautivo*. [en línia] Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Portal_cautivo [Accés maig 2018].

33. Cisco.com. (2018). *¿Qué es un firewall?* [en línia] Disponible a: https://www.cisco.com/c/es_mx/products/security/firewalls/what-is-a-firewall.html [Accés maig 2018].

34. Es.wikipedia.org. (2018). *Zona desmilitarizada (informática)*. [en línia] Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_desmilitarizada_(inform%C3%A1tica) [Accés maig 2018].

35. Ve2dbe.com. (2018). *Le site web de Radio Mobile*. [en línia] Disponible a: http://www.ve2dbe.com [Accés maig 2018].

36. Es.wikipedia.org. (2018). *IEEE 802.11*. [en línia] Disponible a: https://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 [Accés maig 2018].

37. Europa.eu. (2018). *European Commission - PRESS RELEASES - Press release - Iniciativa «Wifi para Europa» (WiFi4EU): se abre el plazo de inscripción para la financiación por parte de la UE de puntos de acceso inalámbrico gratuito a internet en espacios públicos*. [en línia] Disponible a: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-2065_es.htm [Accés maig 2018].

38. Ajuntament de Sant Pol de Mar. (2018). *Pressupostos*. [en línia] Disponible a: https://santpol.cat/ajuntament/portal-de-transparencia/pressupostos [Accés maig 2018].