

Desenvolupament d'una xarxa telemàtica per a proveir d'accés a Internet al Bruc

Treball final de Grau

[Universitat Oberta de Catalunya](#)

Sergio Carrasco Berlanga

Dedicatòria

A la parella i família, per encoratjar-me a començar aquest gran repte, i per donar-me suport en els moments més difícils.

Índex

1.	INTRODUCCIÓ.....	5
1.1	Propòsit del projecte	5
1.2	Descripció del projecte.....	6
1.3	Resultats esperats	7
2.	PLANIFICACIÓ DEL PROJECTE	8
2.1	Fites significatives.....	8
2.2	Cronograma del projecte	9
3.	ANÀLISIS DEL PROJECTE	10
3.1	Estudi de les característiques del municipi	10
3.1.1	Situació geogràfica	10
3.1.2	Distribució i estudi demogràfic	11
3.1.3	Estudi d'hàbits d'ús d'Internet del habitants del municipi.....	12
3.2	Aspectes legals	14
4.	TECNOLOGIA I DISSENY PER A LA XARXA SENSE FILS.....	16
4.1	Sistemes sense fils en l'actualitat.....	16
4.1.1	Xarxes d'àrea personals sense fils (WPAN)	16
4.1.2	Xarxes locals sense fils (WLAN)	17
4.1.3	Xarxes metropolitanes sense fils (WMAN).....	17
4.1.4	Xarxes de gran abast sense fils (WWAN).....	18
4.1.5	Decisions del tipus de tecnologia	19
4.2	Descripció de la tecnologia.....	19
4.2.1	WI-FI	20
4.2.2	WiMAX.....	22
4.2.3	Tipus d'antenes a WiMAX i Wi-Fi	25
4.3	Desenvolupament de la xarxa amb WIMAX i WI-FI	27
4.3.1	Escenari A (Igualada – Municipi El Bruc)	28
4.3.2	Escenari B (Ajuntament del Bruc – Municipi el Bruc)	32
4.3.3	Decisions en vers al tipus seleccionat.	35
4.4	Descripció de la topologia de xarxa.....	35
4.5	Elements de la xarxa.....	37
4.5.1	Sistemes de seguretat de la xarxa	40

5.	ESTUDI DE COBERTURA	42
5.1	Càlculs de cobertura	42
5.1.1	Xarxa troncal WiMAX	42
5.1.2	Xarxa d'accés Wi-Fi.....	43
5.2	PIRE (Potencia Isotròpica Radiada Equivalent)	44
5.3	Pèrdues de propagació en exteriors	45
5.3.1	Mètode Lee	45
5.3.2	Mètode Okumura-Hata	45
5.3.3	Mètode COST-231	46
5.3.4	Mètode Erceg	47
5.3.6	Conclusions dels mètodes empírics per al càlcul de pèrdues de propagació	48
5.4	Canals de cobertura Wi-Fi	49
6.	SIMULACIÓ	50
6.1	Simulacions de la xarxa de transport amb XIRIO Online	50
6.2	Simulacions de la xarxa de dades amb Radio Mobile Online	55
7.	IMPLANTACIÓ.....	57
7.1	Participants.....	57
7.2	Recursos tècnics	57
7.3	Relació activats a realitzar	58
7.4	Pla de contingències.....	58
8.	ANÀLISIS I VIABILITAT ECONÒMICA DEL PROJECTE	60
8.1	Pressupost	60
8.2	Anàlisi de viabilitat econòmica	60
9.	CONCLUSIONS	61
	ÍNDIX DE FIGURES.....	62
	ÍNDIX DE TAULES	64
	GLOSSARI.....	64
	BIBLIOGRAFIA.....	66

1. INTRODUCCIÓ

L'evolució d'Internet i la tecnologia en els darrers anys ha creat la necessitat d'accedir a la informació de la xarxa a tot arreu i a tot hora. Les xarxes sense fils, d'altra banda, han tingut el paper de trobar una solució eficient a aquesta creixent demanda de connectivitat mòbil dintre de les xarxes de dades.

La tecnologia sense fils és aquella que permet la transmissió d'informació entre dispositius sense necessitat de medi físic mitjançant la radiocomunicació, aquesta ha anat evolucionant al llarg del temps millorant les seves prestacions i donant servei a tot tipus d'entorns i situacions.

En concret les tecnologies de mitjà i llarg abast, entre les quals es troben els estàndards WiMAX (IEEE 802.16) i WI-FI (IEEE 802.11), seran les eines d'estudi del present projecte i les que permetran crear una xarxa de telecomunicacions en un medi rural, en aquest cas, a un petit municipi de 2000 habitants situat a la comarca d'anoia i anomenat El Bruc.

Així doncs, el present estudi pretén trobar la millor solució possible per a poder desenvolupar i implementar una xarxa sense fils en aquest tipus de municipi, apropant si més no la tecnologia als ciutadans de la zona, i on un desplegament de xarxa tradicional seria massa costos i complex.

1.1 Propòsit del projecte

Aquest projecte té la finalitat de ser el punt de partida a efecte de proveir amb accés a Internet a totes les entitats municipals del Bruc, i garantir que els seus habitants disposin d'accés a la xarxa totalment gratuïta en tots els seus indrets, podent accedir als serveis i informacions municipals de l'ajuntament i d'altres ens públics.

Amb l'objectiu d'aconseguir un producte adequat a les necessitats, per una banda s'analitzaran tant les particularitats del municipi com les tecnologies a fer servir i els seus requeriments. Amb aquestes bases es donarà forma al disseny de la xarxa de telecomunicacions que posteriorment serà avaluat mitjançant simulacions amb programari especialitzat.

D'altra banda, l'estudi de viabilitat econòmica del projecte i de la normativa vigent de telecomunicacions garantirán que es complirà amb tots els requisits legals i de normativa per a garantir l'èxit del projecte i aconseguir una solució viable.

La solució haurà de presentar els següents trets:

- Proveir servei sense fils a tot el municipi.
- Garantir la fiabilitat de la connexió.
- Velocitat de connexió.
- Garantir el compliment de la normativa.
- Preveure l'augment d'usuaris més allà dels inicials, i per tant, garantir la escalabilitat.
- Aconseguir la viabilitat econòmica.

1.2 Descripció del projecte

El Bruc és un petit poble situat a la Catalunya central amb una llarga història, conegut entre d'altres, per ser el lloc del sorgiment de llegendes com la del Timbaler del Bruc.

Està situat al peu de la Muntanya de Montserrat, aproximadament al quilòmetre 572 de l'autovia A-2 amb una alçada respecte del nivell del mar de 489 m. Pertanyent a la comarca d'Anoia, disposa d'una superfície de 47,2 Km quadrats, i el seu terme municipal està format pel poble El Bruc on s'allotja l'ajuntament, i d'altres entitats municipals com les urbanitzacions amb caràcter residencial, el Bruc Residencial, Montserrat Parc i Sant Pau de la Guardia.

El Bruc i el Bruc Residencial tenen una posició geogràfica propera, al voltant de 2,4 Km de distància respecte als seus nuclis urbans, i les altres dos entitats municipals resten més allunyades (al voltant dels 4 Km) de l'ajuntament.

A continuació es pot veure la distribució geogràfica del municipi, on a la part superior de la imatge es troba la urbanització Montserrat Parc i Sant Pau de la Guàrdia, i en la inferior el Bruc i El Bruc Residencial.

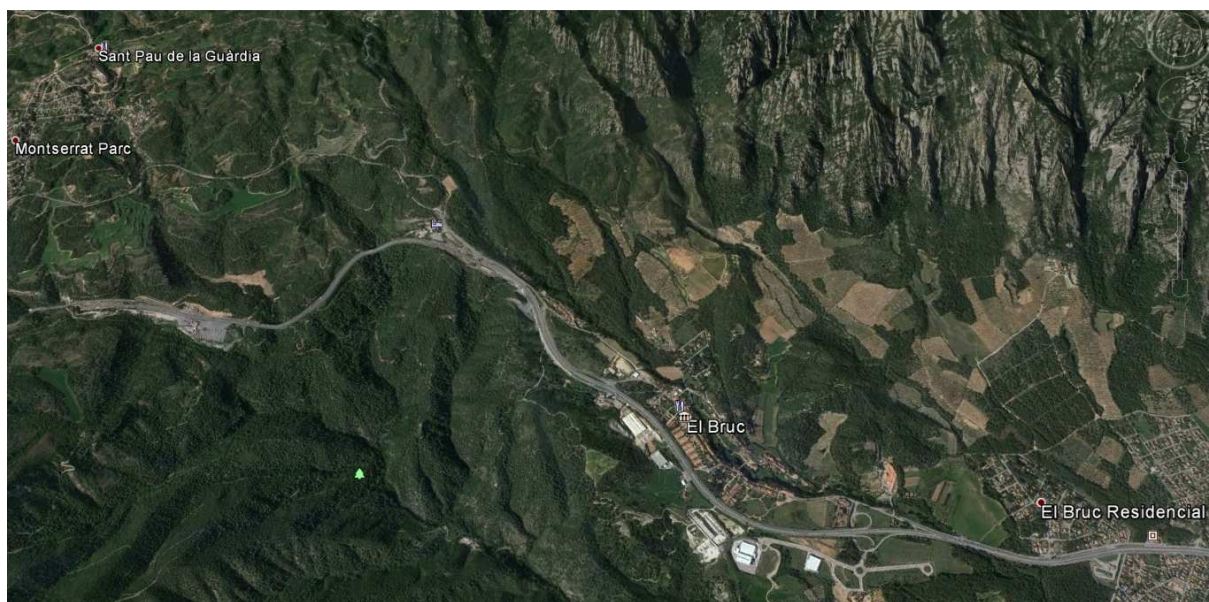


Figura 1 - Imatge de la zona del Bruc i el Bruc residencial

- Cal remarcar que el nom del municipi prové d'una de les entitats municipals que el forma, en concret de El Bruc. Aquesta es troba al coll de Montserrat, i és la zona més habitada del municipi. Aquesta entitat municipal a la vegada està distribuïda en tres zones, com són el bruc de baix, el bruc del mig i el bruc de dalt, sent aquesta última zona la més allunyada del nucli urbà.
- D'altra banda, la majoria de la població dels 2027 habitants que formen el total del municipi, es concentra en els nuclis urbans del Bruc, Bruc Residencial i Montserrat Parc, i passa a ser anecdòtica a Sant Pau de la Guàrdia. Cal observar que tot i que a principis de l'any 2000 la població s'ha duplicat gairebé, actualment es manté estable i mostra indicis que tendeix a estabilitzar-se.

Descripció de la problemàtica:

L'ajuntament del Bruc es coneixedor de la demanda que hi ha avui dia per part dels ciutadans en relació a l'accés a la informació mitjançant Internet. A partir d'aquesta premissa, s'ha proposat crear una xarxa telemàtica per a connectar totes les seves poblacions, donant accés a la xarxa a tot el municipi de manera gratuïta i amb la finalitat de posar a l'abast de tothom l'accés a la informació pública.

Amb aquesta solució es busca garantir als usuaris l'accés als serveis de l'ajuntament sense la necessitat de tindre que contractar un operador tradicional de telecomunicacions, i entre d'altres, millorar la manca de cobertura del servei al que tenen accés els usuaris de les zones rurals i pal·liar la despesa de dades mòbils per a tot tipus de dispositius portàtils mitjançant la creació d'una alternativa pública a la donada pels operadors de telecomunicacions avui en dia.

Finalment, per a garantir un servei equitatiu per a tots els habitants del municipi, es tindran en compte tant les peculiaritats demogràfiques de cadascuna de les entitats municipals com la localització de cadascuna d'aquestes. Tenint en compte aquesta informació per a la col·locació dels emissors i receptors radioelèctrics de manera correcta i superar la gran quantitat d'accidents geogràfics que envolten al municipi, a més de poder assegurar una correcta cobertura del senyal en cadascun dels indrets del municipi.

1.3 Resultats esperats

Mitjançant la implantació de la pertinent infraestructura de telecomunicacions WiMAX i WI-FI, els usuaris disposaran d'un servei gratuït per a poder accedir a la informació que l'ajuntament posarà a la seva disposició a la intranet municipal, mantenint informat en tot moment al ciutadà en qüestions com esdeveniments, reglament i d'altra temàtica relacionada amb el municipi.

El resultat desitjat es centrarà en aconseguir implementar la xarxa de telecomunicacions amb el millor equilibri possible entre rendiment i despeses, garantint la viabilitat del projecte i complint amb la normativa vigent de telecomunicacions.

D'altra banda, la infraestructura haurà de ser totalment fiable, aquest aspecte s'aconseguirà minimitzant errors, interrupcions, fallades del sistema i adoptant mesures de seguretat informàtiques a nivell de xarxa, evitant que la qualitat del servei es vegi afectada.

Finalment, la xarxa resultant ha d'emular les funcionalitats de les xarxes per cable, però reduint-ne els inconvenients derivats del desplegament en el medi físic com poden ser el temps, recursos i despeses per a la implantació, o bé manteniment.

2. PLANIFICACIÓ DEL PROJECTE

2.1 Fites significatives

A continuació s'esmentaran les fases a seguir per al desenvolupament del projecte:

- Primerament, s'avaluaran les pròpies característiques del projecte i es designaran els períodes de desenvolupament de les diferents fases, i que culminaran amb el lliurament de la planificació.
- Posteriorment, s'analitzaran les característiques del municipi, la tecnologia disponible actualment i realitzarà l'esbós del disseny de xarxa.
- La solució obtinguda es posarà a prova mitjançant programari de simulació que junt amb el càlcul de cobertura permetrà avaluar la implantació de la xarxa en la zona a aplicar.
- Finalment, es presentaran els documents a lliurar que contindran la documentació del projecte, i la presentació que serà avaluada pel tribunal.

A continuació es poden veure les fites principals del projecte:

- Elecció del tipus de treball final de Grau
- Elaboració de la planificació (PAC 1)
- Estudi del entorn i solució a desenvolupar (inici PAC 2)
- Simulació, preparació de la documentació (PAC 3)
- Preparació memòria i documentació a lliurar
- Validació pel tribunal

Les fites anteriors es desglossaran i mostraran amb més profunditat en el cronograma del projecte i el diagrama de Gantt del següent apartat.

2.2 Cronograma del projecte

A la dreta es pot veure el cronograma del projecte amb les fites més importants, la seva duració i les activitats de les que consta.

Finalment, amb aquestes fites es realitzarà el diagrama de Gantt mitjançant el programari Microsoft Project, el qual permetrà representar la informació a escala temporal, mostrant les tasques precedents i posteriors de manera gràfica.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Elecció del tipus i títol del treball final de Grau	8 días	mié 17/09/14	mié 24/09/14
Elaboració de la planificació (PAC 1)	7 días	jue 25/09/14	mié 01/10/14
Propòsit del projecte	1 día	jue 25/09/14	jue 25/09/14
Descripció del projecte	2 días	vie 26/09/14	sáb 27/09/14
Resultats esperats del projecte	1 día	dom 28/09/14	dom 28/09/14
Fites significatives	0,5 días	lun 29/09/14	lun 29/09/14
Participants	0,5 días	lun 29/09/14	lun 29/09/14
Cronograma del projecte	2 días	mar 30/09/14	mié 01/10/14
Entrega PAC 1	1 día	mié 01/10/14	mié 01/10/14
Estudi del entorn i solució a desenvolupar (inici PAC 2)	49 días	jue 02/10/14	mié 19/11/14
Estudi del entorn a implantar la xarxa de telecomunicacions	7 días	jue 02/10/14	mié 08/10/14
Estudi de la normativa i requeriments	7 días	jue 09/10/14	mié 15/10/14
Estudi de viabilitat	5 días	jue 16/10/14	lun 20/10/14
Recerca de la tecnologia a implantar	10 días	mar 21/10/14	jue 30/10/14
Estimació dels recursos	4 días	vie 31/10/14	lun 03/11/14
Disseny de la xarxa	16 días	mar 04/11/14	mié 19/11/14
Primer lliurament (PAC 2)	1 día	mié 19/11/14	mié 19/11/14
Simulació, preparació de la documentació (PAC 3)	28 días	jue 20/11/14	mié 17/12/14
Calculs de cobertura	8 días	jue 20/11/14	jue 27/11/14
Us de programari per a la simulació	15 días	vie 28/11/14	vie 12/12/14
Finalització dels entregables	5 días	sáb 13/12/14	mié 17/12/14
Segon lliurament (PAC 3)	1 día	mié 17/12/14	mié 17/12/14
Preparació memòria i entregables	32 días	jue 18/12/14	dom 18/01/15
Lliurament de la memòria	25 días	jue 18/12/14	dom 11/01/15
Lliurament de la presentació	7 días	lun 12/01/15	dom 18/01/15
Validació pel tribunal	5 días	lun 19/01/15	vie 23/01/15

Figura 2 - Fites importants de la planificació

Diagrama de Gantt:

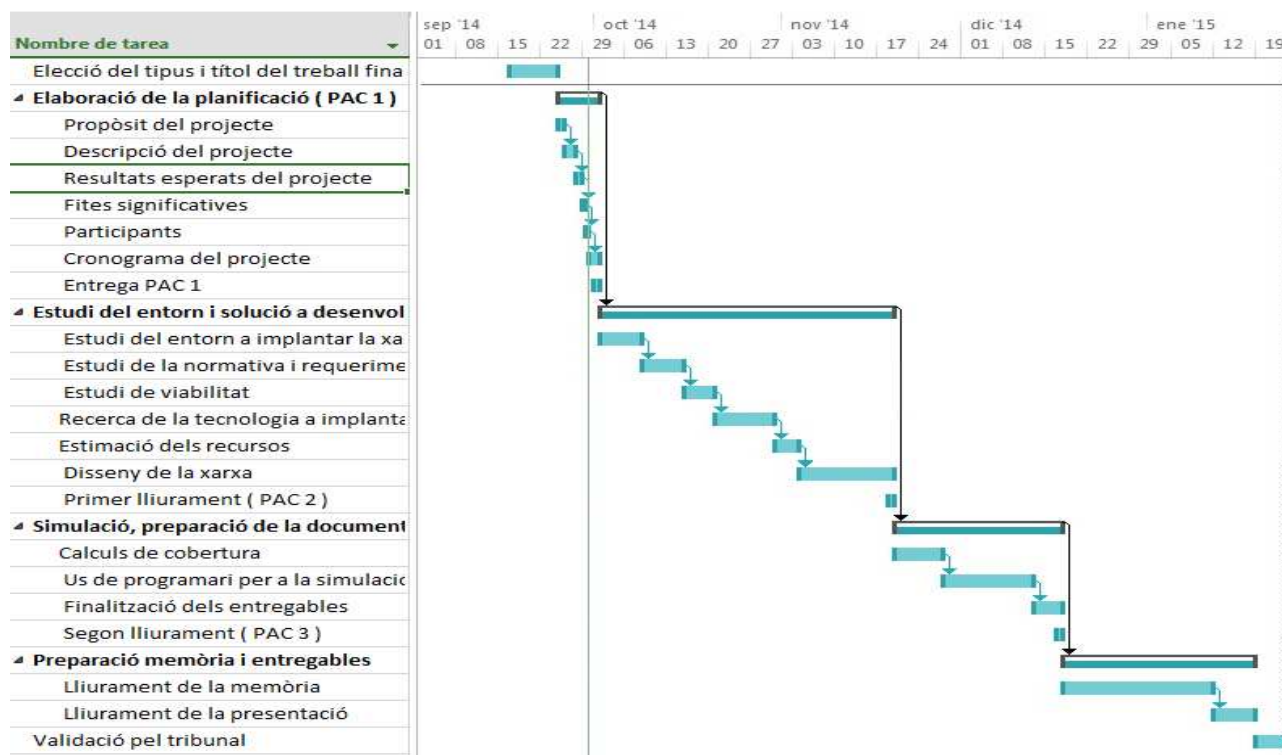


Figura 3 - Diagrama de Gantt

3. ANÀLISIS DEL PROJECTE

3.1 Estudi de les característiques del municipi

En aquest apartat s'estudiaran els principals trets del municipi, on es recopilaran aspectes que van de la situació geogràfica i localització de les entitats municipals, a la repartició demografia per zones i els hàbits d'ús de les noves tecnologies dels ciutadans.

L'anàlisi d'aquest conjunt de dades donarà una visió més acurada de les particularitats del municipi, indicant els aspectes a tenir en compte i a la vegada establiran les bases per a un posterior estudi que permetrà dissenyar la xarxa de telecomunicacions.

3.1.1 Situació geogràfica

El Bruc és un municipi que forma part de la comarca d'anoia; Situat al peu de la muntanya de Montserrat, el municipi es troba envoltat per part de la seva serralada, i a la vegada proper al poble veí Collbató a més de les urbanitzacions Can Termes, Can Dalmases i l'Oller.

A continuació es pot veure la distribució municipal:



Figura 4 - Distribució del municipi

Segons l' institut nacional d'estadística de Catalunya¹ (IDESCAT) les seves característiques principals a data de 2013 són:

el Bruc Anoia

Població (2013)	2.027
Superfície (km2)	47,2
Altitud (m)	489
Longitud (°)	1,781222
Latitud (°)	41,581856



Figura 5 - Característiques del municipi Idescat

Mitjançant les eines cartogràfiques que posa a disposició el departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat i conjuntament amb el Mapa urbanístic de Catalunya², es poden apreciar les zones habitades del municipi. Tot seguit s'explica la seva distribució segons l'entitat municipal.

¹ <http://www.idescat.cat/emex/?id=080253>

² <http://ptop.gencat.cat/muc-visor/AppJava/home.do?municipi=08025>

El Bruc esta situat a la part central del municipi, i en aquesta entitat municipal es on es concentren les principals instal·lacions públiques com l'ajuntament, la biblioteca municipal Verge de Montserrat, el casal d'avis del Bruc, l'escola Bressol Municipal, la zona esportiva i el centre d'atenció primària.

Esta format pel Bruc de Dalt, el del mig, i finalment el de baix, amb un area global de 471.430m², i alçada respecte del nivell del mar de 480 m. Tal com es pot observar a la imatge de l'esquerra, la part de color taronja correspon a les zones habitades i la groga a ús municipal.



Figura 6 - El Bruc

El Bruc Residencial esta situat a la part Sud-est del Bruc. L'ús, com bé indica el seu nom, és exclusivament residencial.

L'àrea d'aquesta entitat és de 295.785m², i es troba aproximadament a 411m d'alçada. L'ajuntament es troba a una distancia de 1.8km.



Figura 7 - El Bruc Residencial

Sant Pau de la Guàrdia i Montserrat Parc també tenen la finalitat de ser urbanitzacions de caràcter residencial, incloent un únic casal com a edifici públic. En aquest cas, l'àrea conjunta de les dos zones és de 701.502m² amb una alçada de 650m, i una distancia de 3.7km de l'ajuntament

Degut a que la localització de Sant Pau de la Guàrdia és molt propera a Montserrat parc, i a més, en tractar-se d'una entitat del municipi molt petita que acull molts pocs habitants, es farà servir de forma conjunta amb Sant Pau de la Guàrdia durant el transcurs del present projecte.



Figura 8 - Sant Pau de la Guàrdia, Montserrat Parc

3.1.2 Distribució i estudi demogràfic

Distribució demogràfica:

Segons IDESCAT, la població a l'any 2013 va ser de 2027 habitants amb una densitat de població de 42,9 habitants per km². A més, indica que la distribució per a cadascuna de les entitats és la següent:

- 1229 al Bruc
- 72 a Sant Pau de la Guàrdia
- 215 a el Bruc Residencial
- 511 a Montserrat Parc

Nomenclàtor estadístic d'entitats de població de Catalunya (a 01-01-2013)										
Nivell	Codi	EC	ES	dg	NP	Nom	Categoria	Homes	Dones	Total
Municipi	080253	00	00	0	00	Bruc, el				
Entitat singular	080253	00	01	7	00	Bruc, el	-	645	584	1229
Nucli	080253	00	01	7	01	Bruc, el	-	624	572	1196
Disseminat	080253	00	01	7	99	Disseminat del Bruc	-	21	12	33
Entitat singular	080253	00	02	2	00	Sant Pau de la Guàrdia	-	43	29	72
Nucli	080253	00	02	2	01	Sant Pau de la Guàrdia	-	6	5	11
Disseminat	080253	00	02	2	99	Disseminat de Sant Pau de la Guàrdia	-	37	24	61
Entitat singular	080253	00	03	8	00	Bruc Residencial, el	-	118	97	215
Nucli	080253	00	03	8	01	Bruc Residencial, el	-	118	97	215
Entitat singular	080253	00	04	3	00	Montserrat Parc	-	277	234	511
Nucli	080253	00	04	3	01	Montserrat Parc	-	277	234	511

Figura 9 - Entitats de població IDESCAT.

Estudi demogràfic:

El poble del Bruc és un poble tradicional degut al seu paper a la història moderna de Catalunya. Tot i això, no es considera un municipi turístic i no es produeix un gran augment de la població degut a esdeveniments puntuals o a la demanda turística.

Cal remarcar que a diferència de la resta d'entitats municipals, el Bruc no té únicament la funció de zona residencial. Tanmateix, no hi ha un teixit industrial que abasteixi al indret laboralment.

D'altra banda, el municipi amb una quantitat actual de 2029 habitants, tendeix a mantenir la seva població de manera estable durant els últims anys, com es pot veure en la gràfica sobre l'evolució de la població de IDESCAT en el període que va del 2009 al 2013.

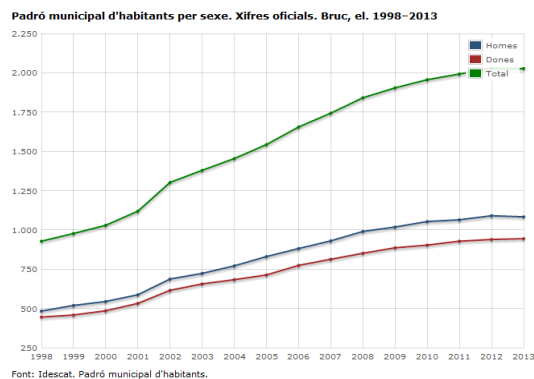


Figura 10 - Evolució de la població els últims 15 anys

També es pot apreciar que el saldo migratori del municipi, com es mostra a la imatge de l'esquerra procedent d' IDESCAT, indica que hi ha una tendència negativa migratòria i en conseqüència que se'n van més habitants dels que arriben.

El factor d'augment de població degut a la migració no hauria d'afectar, per tant al càlcul demogràfic.

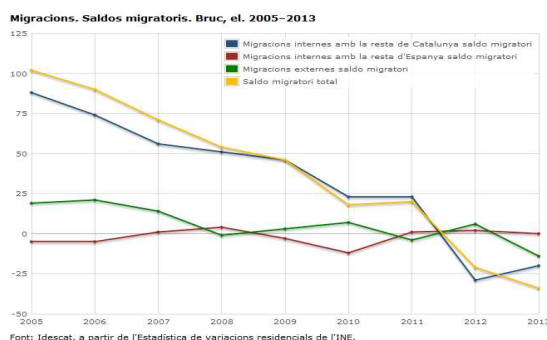


Figura 11 - Evolució saldos migratoris 2005-2013

Així doncs, tant la distribució com l'estudi demogràfic són aspectes fonamentals que s'hauran d'analitzar amb la finalitat de dissenyar la xarxa i garantir una correcta qualitat del servei. On s'indica, en primer lloc la quantitat d'habitants afectats per la solució, i en segon lloc que aquesta quantitat d'habitants es manté estable en el temps sense gaires variacions.

3.1.3 Estudi d'hàbits d'ús d'Internet del habitants del municipi

L'IDESCAT també informa sobre els costums generals dels catalans respecte a Internet i els quals seran de gran utilitat per a establir la capacitat de la xarxa. Se'n poden obtenir dades representatives dels hàbits de la població entre 16 i 74 anys durant l'any 2013 en tant a l'ús d'Internet per franja d'edat, l'equipament TIC (Tecnologies de la Informació i Comunicació) de les llars i el seu ús.

Uso del ordenador y de Internet. 2013							
Por frecuencia, lugar de uso y grupos de edad							
	16 - 24	25 - 34	35-44	45-54	55-64	65-74	Total
Uso del ordenador (1)	96,9	89,9	86,3	73,2	61,3	31,3	75,5
Uso de Internet (1)	99,0	90,2	85,2	73,3	59,8	27,6	74,9
frecuència							
diariamente, como mínimo 5 días por semana	86,5	85,5	75,7	66,7	61,9	69,9	75,9
todas las semanas, pero no diariamente	13,5	9,9	16,3	21,9	24,1	25,4	16,8
menos de una vez a la semana	0,0	4,5	8,1	11,4	14,0	4,8	7,3

Figura 12 - Hàbits d'ús del ordinador i Internet per freqüència, lloc i edat.

Uso de ordenador y de Internet. 2013 Comarcas y ámbitos				
	Ordenador (últimos 3 meses)	Internet (últimos 3 meses)	Compras a través de Internet (alguna vez)	Correo electrónico
Añoa	73,1	73,4	62,9	37,5

Figura 13 - Hàbits d'ús del ordinador i Internet per comarques i àmbits.

Equipamiento TIC en la vivienda. 2013 Comarcas y ámbitos				
	Tenencia de ordenador	Connexión a Internet	Teléfono móvil	Banda ancha
Añoa	76,4	71,9	95,2	70,6

Figura 14 - Equipament TIC a les llars a l'any 2013.

Així doncs, segons les dades indicades a les estadístiques, es pot deduir que els usuaris que faran ús d'aquest servei seran:

- Possibles usuaris que no disposin actualment de connexió a Internet (23% dels habitants).
- Usuaris que pel poc us d'Internet a les seves llars decideixin donar de baixa la seva tarifa de dades i aprofitar només el servei municipal.
- Usuaris de Biblioteques, casals i espais municipals que volen estar al corrent d'informació a l'entorn del municipi.
- Usuaris de l'administració de cara a l'ús laboral.

A fi de implementar una xarxa de telecomunicacions que s'adapti a les necessitats i les expectatives dels demandants de servei, s'hauran de tindre en compte els següents factors:

- La quantitat d'usuaris, i que a causa de la baixa natalitat, baix reclam turístic i migració, serà com a màxim l'indicada per l'IDESCAT a data de 2013 amb 2027 habitants.
- Es considerarà que un 72% dels habitants fan servir el servei de manera habitual.
- El 75% dels habitants té algun dispositiu capaç de fer ús d'Internet mitjançant xarxes sense fils.
- El servei estarà orientat únicament per a ús de determinades pàgines públiques i no tothom accedirà a la vegada. Per aquest motiu es contempla un ample de banda proporcional al 30% de la població.
- El servei gratuït restarà limitat a 256Kbps per la legislació vigent per a ens públics.

Finalment, a la taula següent es pot veure el desglossament per entitat municipal i nombre d'usuaris, que definirà l'ample de banda necessari.

Zona	Habitants	Usuaris (30%)	Ample de banda necessari ³
El Bruc	1229	369	256kbps*369 = 95Mbps
Sant Pau de la Guardia	72	22	256kbps*22 = 6Mbps
El Bruc Residencial	215	65	256kbps*65 = 17Mbps
Montserrat Parc	511	154	256kbps*154 = 23Mbps

Taula 1 - Ample de banda per entitat

Respecte a la velocitat del servei, els 256Kbps imposats per la legislació, limitaran el tipus de servei ofert per l'ajuntament en vers al que poden oferir els operadors de telecomunicacions amb un volum de transmissió de dades més elevat. Tot i així, en tractar-se d'un servei gratuït per al ciutadà amb la finalitat de descarrega de dades en format HTML i ocasionalment vídeos de no gaire qualitat, l'ample de banda complirà amb les necessitats requerides.

³ Usuaris demandants del servei per velocitat màxima permesa (256Kbps)

3.2 Aspectes legals

La Comissió de Mercat de Telecomunicacions (CMT)⁴ és l'organisme públic independent per a la regulació de les xarxes de telecomunicacions. Aquest s'encarrega de la supervisió del mercat nacional de comunicacions electròniques i audiovisuals.

La CMT regeix la normativa en el marc legal de les telecomunicacions, el qual es basa en *l'actual Llei 32/2003, del 3 de novembre, General de Telecomunicacions*⁵, i té com a objectius principals ser un organisme públic amb capacitats jurídiques per l'establiment i supervisió de les obligacions específiques que han de complir els operadors en els mercats de les telecomunicacions. A més, té la funció de ser un ens mediador i de ser un òrgan arbitral en cas de controvèrsia entre operadors.

La finalitat del present projecte és desenvolupar una xarxa de telecomunicacions per a l'espai públic i d'àmbit municipal, de forma que l'ajuntament té l'obligatorietat de donar-se d'alta com a operador davant l'organisme regulador, indicant les característiques que tindrà el servei prestat i presentant la documentació tècnica i administrativa.

D'altra banda, la CMT recomana la certificació dels projectes públics per part de la seva comissió abans de la implantació, aconseguint assegurar la viabilitat i legalitat mitjançant el compliment de la normativa.

A més cal remarcar, en referència a la *Llei 32/2003, del 3 de novembre, General de Telecomunicacions*, els següents punts que poden afectar al present projecte:

- Reconeixement de drets d'ocupació a tots els operadors que realitzin la correcta notificació a la Comissió de Mercat de les Telecomunicacions.
- Reforç, respecte a la predecessora *Llei 11/1998, de 24 d'abril, general de telecomunicacions*, de les competències i facultats de la comissió del Mercat de les telecomunicacions per a la supervisió i regulació dels mercats.
- Reconeixement del dret de condicions d'igualtat i transparència amb independència de l'administració o el titular del domini públic.
- Regulació de l'ús eficient de l'espectre radioelèctric.
- Foment de l'ús òptim dels recursos associats tenint en compte el valor i la seva escassetat.
- Reconeixement dels drets de seguretat de les dades personals dels usuaris i de la pròpia xarxa a implementar. El propi operador es qui adquireix la responsabilitat dels danys.

⁴ <http://www.cmt.es/>

⁵ <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-20253>

La Comissió de Mercat de les Telecomunicacions va indicar posteriorment a la aprovació de la llei del 2003 alguns canvis que afecten a les administracions públiques com és el cas de la circular⁶ del 15 de juny de 2010.

En aquest document es fa esment especialment a la regulació de les condicions d'exploració de les xarxes i la prestació de serveis de comunicacions electròniques per part de les administracions, factor que té vital importància en el desenvolupament del projecte.

Els punts més importants s'indiquen a continuació:

- Les administracions públiques en actuar com a operadors de xarxa o prestadors de servei de comunicacions electròniques estan subjectes a totes les obligacions d'aquests.
- A diferència dels altres operadors, les administracions públiques que operin directament o mitjançant societats on aportin capital i en les quals participin majoritàriament, hauran de realitzar les respectives accions per a la separació de comptes, i consegüentment, actuar segons els principis de neutralitat, transparència i no discriminació.
- Les telecomunicacions són un servei d'interès general, per aquest motiu les administracions públiques han de portar a terme aquesta activitat en les mateixes condicions que la resta d'operadors, es a dir, amb el principi d'inversor privat a l'economia de mercat.
- En cas de que les administracions públiques prestin o explotin el servei de manera privada i rebin ajudes del estat, el projecte haurà de ser notificat a la comissió europea.
- Les administracions públiques poden distorsionar la competència, perjudicant la lliure competència, en els casos en que no presten servei directament, es concedeixen ajudes públiques a operadors per a que ho facin. En aquest casos es necessari l'autorització per part de la comissió europea.

A l'annex de la circular és constaten a més, altres aspectes d'estudi referents a la competència deslleial dels operadors públics respecte als privats. S'indica que queden exemptes les explotacions de telecomunicacions públiques que compleixin els següents requisits:

- El servei d'accés a Internet limitat a les pàgines web de les administracions que tinguin competència en l'àmbit territorial en les que es presti aquest servei.
- Servei d'Internet a biblioteques, centres educatius i docents per als seus serveis
- Utilització de bandes d'ús comú.
- Limitació de velocitat de 256Kbps.

⁶ <http://telecos.cnmc.es:8080/circulares>

4. TECNOLOGIA I DISSENY PER A LA XARXA SENSE FILS

En aquest apartat s'analitzarà la tecnologia actual en sistemes sense fils que permetrà establir les bases de l'estudi del projecte. Així mateix, s'estudiaran les possibilitats de disseny de la xarxa segons les característiques de l'entorn i les necessitats del municipi.

Finalment, s'analitzaran els components reals que s'integraran posteriorment a la xarxa de telecomunicacions resultant.

4.1 Sistemes sense fils en l'actualitat

L'escenari d'estudi d'aquest projecte es centra en trobar la millor solució sense fils que construirà la xarxa de telecomunicacions, per aquest motiu, és de vital importància conèixer els sistemes sense fils que es poden trobar a l'actualitat.

A continuació es pot veure un esquema introductor als tipus de tecnologies sense fils més habituals a l'actualitat, classificant-les segons l'abast i les velocitat que poden assolir.

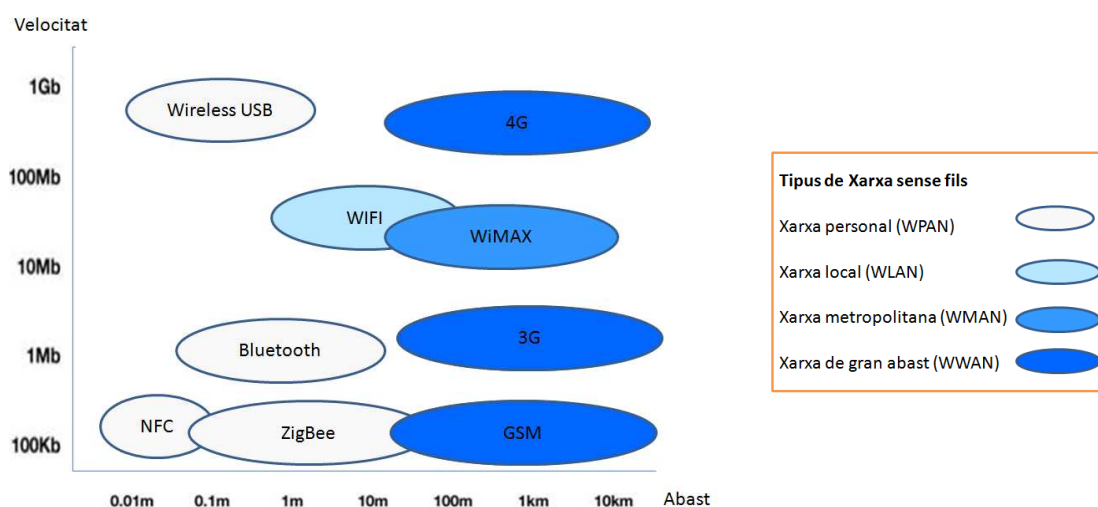


Figura 15 - Tipus de xarxes sense fils

4.1.1 Xarxes d'àrea personals sense fils (WPAN)

Són xarxes sense fils de poc abast (al voltant de 10m) que permeten la interconnexió de dispositius, i que així mateix, es fan servir freqüentment per a l'intercanvi de dades.

Una WPAN pot ser el resultat, per exemple, de la connexió d'un ordinador amb una impressora, o bé d'un dispositiu Bluetooth amb un altre. Algunes de les tecnologies més habituals es troben a la següent taula:

Tecnologia	Descripció	Prestacions
IRDA	Tecnologia pensada per a la interconnexió entre perifèrics per a distàncies curtes.	Assoleix un abast d'un metre i velocitats de 4Mbps.
RFID	Tecnologia que permet la lectura de codis de barres amb infrarojos. Es fa servir, per exemple, per al pagament de peatges a les autopistes, o bé per a l'identificació dels animals amb xip.	Aconsegueix velocitats de fins a 10Kbps i pot treballar a diverses bandes de freqüència com als 125KHz, 13MHz, 960MHz i 2,4GHz.
NFC	Semblant al RFID però pensat per a aplicacions mòbils, on s'aconsegueix l'interconnexió mitjançant l'acoblament de 2 circuits inductius.	Abast de fins a 20cm amb velocitats de 424Kbps.
Bluetooth	Es tracta de l'estàndard 802.15.1. Funciona segons els criteris mestre i esclau. S'utilitza actualment per a l'interconnexió de tot tipus de dispositius per a ordinadors, com són els teclats sense fils.	Treballa a freqüències de 2,4GHz i fa servir 79 canals de 1MHz, aconsegueix un abast de fins a 10m amb velocitats variants depenent de la tecnologia.
ZigBee	Es tracta de l'estàndard 802.15.4. Fa servir la topologia de malla amb la possibilitat d'interconnexió de fins a 255 nodes. S'utilitza per a xarxes de sensors i la recollida de dades amb curt abast.	Treballa com els anteriors a 2,4GHz. Ofereix velocitats entre 20 i 250Kbps i amb preus molt assequibles, donant abast de desenes de metres.

Taula 2 - Tecnologies WPAN

4.1.2 Xarxes locals sense fils (WLAN)

En aquest cas, es tracta de xarxes que permeten la connexió d'elements amb un abast de centenars de metres. Les xarxes Wi-Fi amb l'estàndard del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11 són les més comuns i rellevants, i es caracteritzen per fer-se servir habitualment per a la creació de xarxes locals a les llars, o bé per a la interconnexió de dispositius mòbils.

La modificació constant dels estàndards ha permès l'evolució de la seva tecnologia augmentant les seves prestacions en el temps. Degut a que aquest tipus de tecnologia serà utilitzada a la solució es farà un estudi en profunditat a l'apartat 4.2.1.

4.1.3 Xarxes metropolitanes sense fils (WMAN)

Aquestes xarxes tenen la finalitat de donar servei a dispositius per a distàncies més grans que en els casos anteriors (al voltant de kilòmetres), permetent la interconnexió de milers d'usuaris.

Inicialment aquestes xarxes feien servir la tecnologia LMDS (local multipunt Distribution service). Tanmateix, darrerament la tecnologia dominant és la basada en l'estàndard 802.16, anomenada WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). A causa de que aquesta última serà la desplegada en el present projecte, s'analitzarà posteriorment amb detall a l'apartat 4.2.2.

LMDS (Local Multipunt Distribution Service)

Es tracta d'una tecnologia sense fils on múltiples estacions base estan connectades entre elles, garantint servei full-Duplex a estacions que estan a visió directa d'elles.

Hi ha dos bandes freqüencials característiques, on la més comú és la que va dels 26 als 28GHz, i una altra no gaire aprofitada que fa servir la banda dels 3,5GHz.

En relació a la banda del 26 i 28GHz, aquest tipus de freqüències permeten un ample de banda molt gran encara que atorguen poc abast degut a la alta freqüència. Les grans velocitat garanteixen doncs, que aquest tipus de xarxes siguin útils per a desplegaments interactius, on hi ha molts usuaris o per a canals locals de televisió.

La estructura seria la següent:



Figura 16 - LMDS

4.1.4 Xarxes de gran abast sense fils (WWAN)

Les WWAN són les xarxes que van més enllà de l'interconnexió d'usuaris en distàncies de kilòmetres i permeten connectar a milions d'usuaris a la vegada com poden ser els sistemes de telefonia.

Tot seguit es realitzarà una classificació de les més populars segons la seva cronologia:

Tecnologia	Descripció	Prestacions
2G (GSM)	Van ser la segona generació d'aquest tipus de tecnologia, donant servei als sistemes mòbils. A Europa va aparèixer com a GSM900, on a cada operador del mercat se li assignava un ample de banda i freqüències per a l'enviament i recepció de les dades.	Es va caracteritzar per tindre 125 portadores de 200KHz, fent servir les bandes freqüencials de 890 a 915 per a la pujada de dades i de 935 a 960 per a la baixada, amb multiplexacions TDMA (Time Division Multiple Access).
3G (UMTS)	La tercera generació a Europa és la representada per UMTS. Es caracteritza per permetre molts més usuaris, velocitat, rendiment i facilitat alhora de realitzar la connexió entre operadors en vers a les anteriors generacions.	Ofereix velocitats de fins 2Mbps. Tanmateix, aquesta velocitat depenen directament de la mobilitat, reduint-la quan més ràpid es mogui el dispositiu. Ofereix fins a 5MHz per canal.
4G (LTE)	És l'última generació i la que s'està implantant en l'actualitat en les grans ciutats.	Permet velocitat entre 100Mbps i 1Gbps depenent de la velocitat de mobilitat.

Taula 3 - Tecnologies WWAN

4.1.5 Decisions del tipus de tecnologia

Es vol construir una xarxa de telecomunicacions amb la finalitat de donar cobertura a les diverses entitats municipals i aconseguir la comunicació entre elles, per tal de donar-les-hi cobertura serà necessari construir una xarxa troncal amb un abast de pocs kilòmetres que permetrà la seva interconnexió i de centenars de metres a cadascun dels respectius punts, per a accedir a les dades.

Les xarxes sense fils WPAN ofereixen abast fins a desenes de metres, així doncs, tot i poder fer-se servir per a interiors en els edificis, i fins i tot en exteriors com el cas de ZigBee, no compleixen amb les característiques necessàries per a poder crear una xarxa a nivell local mitjançant punts d'accés, requerint un nivell superior d'abast com el donat per tecnologies WLAN en donar accés a la xarxa.

Dintre de les xarxes WLAN la més comú, estandarditzada i la que ofereix millors prestacions és Wi-Fi. Cal destacar que aquesta ofereix una gran quantitat de productes que varien depenent de les prestacions desitjades i els costos assumibles, sent la més apropiada per a garantir una correcta cobertura d'accés a la xarxa.

En relació a la comunicació del senyal entre les diferents entitats municipals per mitjà de la creació de la xarxa de transport, hi hauria varies tecnologies que poden complir amb aquestes necessitats, com les tecnologies mòbils, Wi-MAX, o bé la menys popular actualment LMDS.

Com que el present projecte té la finalitat d'oferir un servei gratuït públic, i per aquest fet evitar un cost alt de manteniment i de despeses inicials, la tecnologia LMDS no serà la més recomanada. Aquest fet té a veure amb ser una tecnologia cara degut a l'ús de bandes llicenciades, i en conseqüència ser més indicada per a operadors privats o projectes amb pressupost més elevat.

El principal avantatge de LMDS és troba malgrat tot, en que pot fer servir full-Duplex i garantir altes velocitats. Tanmateix, els requeriments de la xarxa del present projecte són per a fer front a un ample de banda d'usuari de 256Kbps de manera que no seran necessaris tants recursos.

Així doncs, per al transport de dades s'ha optat per fer servir una tecnologia de fàcil configuració i amb equips assequibles que possibilitarà l'ús de bandes no llicenciades com s'explicarà en apartats posteriors i permetrà la reducció considerablement de les despeses del projecte.

4.2 Descripció de la tecnologia

Tal com es va veure al final del punt anterior, tan la tecnologia Wi-Fi com la Wi-MAX són les més adequades per al projecte. En la primera ens trobem amb la possibilitat d'aconseguir velocitats de desenes de megabits i abast de centenars de metres, així mateix al ser l'estàndard més popular, el catàleg de dispositius disponibles i estandarditzacions minimitzaran les despeses.

En relació a Wi-MAX, es tracta d'una tecnologia que ofereix un baix cost dels equips, tipus de bandes lliures i abast de kilòmetres en radioenllaços com també a la vegada s'ha adaptat per a tindre una alta compatibilitat amb dispositius Wi-Fi. Tots aquests aspectes fan que sigui la tecnologia més adequada per a la creació de la xarxa de transport del projecte.

4.2.1 WI-FI

Wi-Fi és el nom que se li dona habitualment a l'especificació IEEE 802.11. Aquest estàndard defineix totes les característiques que ha de complir un dispositiu a fi d'anomenar-se com a Wi-Fi. Més concretament, l'empresa Wi-Fi Alliance⁷ fundada al 1999, és l'encarregada de fer la certificació dels equips respecte a l'estàndard i en conseqüència certifica si aquests equips són Wi-Fi, assegurant el funcionament la funcionalitat entre els productes de diferents proveïdors.

Wi-Fi es caracteritza per ser la xarxa d'àrea local sense fils dominant en la actualitat degut a aspectes com la flexibilitat, l'estandardització global i les seves revisions.

Les revisions a les que ha estat sotmès l'estàndard durant el temps han aconseguit augmentar les especificacions, millorant tant la velocitat com l'abast. A continuació es poden veure les més importants:

Estàndard	Velocitat	Freqüència	Modulació	Abast int/exteriors
802.11 (any 1997)	2Mbps	2,4GHz	FHSS i DSSS	20/100 m
802.11b (any 1999)	11Mbps	2,4GHz	DSSS	50/200 m
802.11a (any 1999)	6-54Mbps	5,8GHz	OFDM	10/70 m
802.11g (any 2003)	54Mbps	2,4GHz	OFDM	50/150 m
802.11n (any 2009)	300Mbps	2,4GHz	OFDM millorat	70/250 m

Taula 4 - Estàndards Wi-Fi

Freqüència i canals als estàndards a/b/g:

Els estàndards **802.11b** i **802.11g**, defineixen tretze canals separats 5MHz a la banda dels 2,4GHz i amb un ample de banda de 22MHz, es a dir 11MHz a dreta i esquerra respecte de la freqüència central, caracteritzant-se per tindre problemes amb el solapament. Per aquest motiu a la mateixa area només poden coexistir 3 canals, aconseguint-ho per exemple, fent servir per 2 AP diferents.

En canvi, el **802.11a** defineix vuit canals de 25MHz, reduint la problemàtica anterior derivada del solapament de bandes, i en efecte possibilitant velocitats superiors en una mateixa area.

D'altra banda, els estàndards 802.11b i 802.11g funcionen a 2,4GHz, afavorint una més gran aparició d'interferències que amb l'estàndard 802.11a a 5,8GHz. Tanmateix, quan més elevada és la freqüència més visió directa cal entre l'emissor i el receptor, de manera que en entorns amb molts objectes s'aconseguirien millors resultat amb freqüències inferiors com la 2,4GHz, en relació a 5,8GHz.

Capas del model OSI (Open System Interconnection) a l'estàndard 802.11:

- **Capa Física** – A aquest nivell es defineix el medi de comunicació fet servir per a la transferència d'informació indicant el tipus de modulació i les característiques de senyalització que es porta a terme en la transmissió.

⁷ <http://www.wi-fi.org/look-for-the-logo>

- **Capa d'enllaç** - A aquest nivell es proporcionen les facilitats per a la transmissió en blocs de dades entre 2 dispositius de xarxa, organitzant l'informació de la capa física en informació lògica. Aquesta esta formada per capes inferiors per al control d'enllaç lògic i d'accés al medi.

Les capes superiors del nivell OSI no estan lligades a l'estàndard fins al punt que es pot fer servir qualsevol protocol que afecti a aquests nivells.

Modulació per als estàndards a/b/g:

Amb 802.11b s'aplica la modulació DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum) que es caracteritza per utilitzar un codi per a modular digitalment una portadora augmentant l'ample de banda, i aconseguir disminuir la densitat de potencia espectral. El senyal esdevé similar al soroll de forma que serà ignorat pels receptors, tret dels quals va dirigit.

- La modulació dels bits es realitza segons els criteri de la seqüència de Barker, ocasionant la aparició de la mateixa quantitat de bits 1 i 0.
- Una vegada aplicada aquesta seqüència, es defineixen dos tipus de modulació per a la transferència de bits DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) i DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying).

Aquest tipus de modulació depèn directament de la velocitat com queda reflectit tot seguit.

Velocitat	Seqüència de Barker	Modulació
1 Mbps	Cada bit es converteix en una seqüència de 11 bits	DBPSK
2 Mbps	Cada bit es converteix en una seqüència de 11 bits	DQPSK
5,5 Mbps	Blocs de dades de 4 bits	DQPSK
11 Mbps	Blocs de dades de 8 bits	DQPSK

Taula 5 - Modulació 802.11b

L'estàndard 802.11a/g aplica una modulació més avançada i robusta per a les interferències que l'anterior com és la OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Es tracta d'un tipus de multiplexació que consisteix en enviar un conjunt de portadores a diferents freqüències, on aquests transporten l'informació que es modulada amb QAM (Quadrature Amplitude Modulation), o bé amb PSK (Phase Shift Keying). A la següent taula es recull el resum de les velocitats i la modulació per a aquesta tecnologia.

Velocitat	Bits per portadora	Modulació
6 Mbps	1 bit	BPSK
12 Mbps	2 bits	QPSK
24 Mbps	4 bits	16QAM
48 Mbps	8 bits	16QAM

Taula 6 - Modulació 802.11a/g

Altres aspectes importants:

- L'estàndard dona prioritat a fer la comunicació robusta per a evitar errors, reduint la velocitat a mesura que el dispositiu s'allunya i obtenint velocitats mínimes a distàncies màximes.
- La velocitat real es calcularà en torn al 50% de la teòrica degut a les pèrdues que poden ocasionar tant obstacles com la climatologia.
- Els dispositius Wi-Fi serveixen com a punts d'accés (AP) repartint la velocitat màxima d'accés a la xarxa entre tots els seus usuaris.
- L'estàndard 802.11g és un dels més utilitzats actualment i el que posseeix una gama més gran de dispositius i preus competents. Aquests motius són primordials per a la solució.

4.2.2 WiMAX

La tecnologia WiMAX esta relacionada amb l'estàndard de transmissió de dades sense fils 802.16; Semblant al sistema que fa servir la tecnologia WI-FI, permet la connexió entre dos punts o més sense la necessitat de fer-ho via cablejat i amb els inconvenients que això comporta.

Tanmateix, aquesta tecnologia ofereix cobertures d'un abast més gran i amb més ample de banda que Wi-Fi, assolint distàncies de 70 km de radi i velocitats de transferència de dades de fins a 134Mbps mitjançant les freqüències a les que dona servei en les bandes de 3.5GHz i 5,8GHz.

Un altre avantatge d'aquest tipus de xarxes és la seva seguretat, aquesta podrà ser definida depenent del nivell desitjat, i quedarà garantida mitjançant els següents aspectes:

- Protocols de xifrat de dades. 3DES (Triple Data Encryption Algorithm) i RSA (Rivest, Shamir i Adleman).
- Filtratge per MAC (Media Access Control) per a dispositius i autenticació d'usuaris
- Ocultació del nom de la xarxa

WiMAX també es caracteritza per la seva ràpida instal·lació, mobilitat, escalabilitat i la possibilitat de funcionar tant amb bandes lliures com amb llicenciades. Aquest conjunt de característiques fan que aquesta tecnologia esdevingui una de les més recomanables alhora de transportar dades a zones de difícil accés com zones rurals, fet que ha tingut a veure amb la seva popularització als últims anys.

Elements d'una xarxa WiMAX:

Estacions base (BS) – Formada per antenes sectorial, serveix per a crear l'enllaç fins al terminal d'usuari, així mateix té la capacitat de crear varis canals físics per a atendre a múltiples subscriptors.

Normalment les antenes que la formen estan distribuïdes per a donar cobertura en els 360°, i on la configuració més comú es mitjançant l'ús de diverses antenes sectorials com poden ser dos de 180°, quatre de 90°, o bé vuit de 45°. L'elecció vindrà determinada pel cost desitjat.

Equip d'usuari (SU) o Customer Premises Equipment (CPE) – És la part de la xarxa que rep el senyal i proporciona la connectivitat amb l'estació base.

Tipus de topologia de xarxa⁸ per a WiMAX:

Arquitectura Punt a Punt (PtP) – Aquest tipus de topologia es caracteritza per fer servir estacions base per a la interconnexió de diferents estacions i poder crear enllaços entre aquestes.

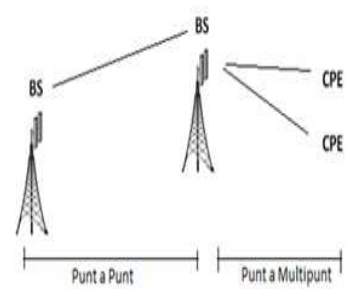


Figura 17 - PtP i PtM

Arquitectura Punt a Multipunt (PtM) – L'estació base estableix connexions amb varies estacions remotes, permetent a l'operador de xarxa arribar a un numero més gran d'usuaris al cost més baix, limitant el numero d'encaminadors i commutadors de xarxa necessaris.

Arquitectura Mesh – Mitjançant algorismes d'encaminament s'aconsegueix que els SU puguin establir contacte amb d'altres SU propers, creant diverses alternatives per arribar a un punt concret de la xarxa, i a la vegada no dependre d'una única ruta. El sistema que té accés a la xarxa exterior s'anomena Mesh BS, i els interiors Mesh SU.

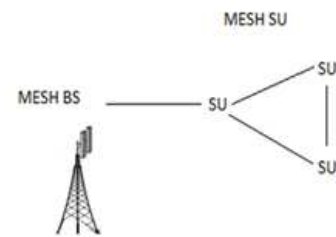


Figura 18 - Arquitectura Mesh

Tipus d'estàndards WiMAX:

Com en el cas de l'anterior tecnologia, WiMAX també presenta una gran varietat d'estàndards que s'han creat a partir de l'evolució de l'inicial (802.16), i que en conseqüència han aportat noves millores garantint un ventall més gran de possibilitat. Tot seguit es mostren els més importants i els que es faran servir en aquest estudi:

Estàndard	Freqüència i velocitat	Canals	Modulació	Mobilitat	Abast	Visibilitat
802.16	10 a 66GHz. Entre 32 i 134Mbps	De 28 MHz	QPSK, 16QAM i 64 QAM	Fixa	Entre 2 a 5km	Requereix visibilitat directa
802.16a	Inferior a 11GHz. Fins a 75Mbps.	De 20 MHz	OFDM amb 256 portadores. QPSK, 16QAM,64 QAM	Fixa	Entre 5 a 10km i fins a 50km	No requereix visibilitat directa
802.16e	Inferior a 6GHz. Fins a 15Mbps	De 5 MHz	OFDM amb 256 portadores. QPSK, 16QAM,64 QAM	Mobilitat fins als 120km/h	Entre 2 a 5km	No requereix visibilitat directa

Taula 7 - Tipus d'estàndards WiMAX

⁸ <http://sx-de-tx.wikispaces.com/WIMAX>

Característiques de la multiplexació:

Com les versions més actuals de l'estàndard Wi-Fi, WiMAX fa servir també multiplexació OFDM permetent una alta eficiència i resistència a les interferències entre símbols.

- Fa ús de multiplexació per OFDM per la capa física de la versió fixa de WiMAX.
- I OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access) per a la versió mòbil de WiMAX. Amb l'ús de 128 a 2048 subportadores que dependrà directament de l'ample de banda a aconseguir i amb subportadores de 10.94KHz.
- Permet dividir l'ample de banda en diferents subportadores de banda estreta FDM en determinades freqüències. Amb un total de 256 subportadores, 192 són per a les dades, 8 per a la sincronització del canal i la resta per a la banda de guarda.

Bandes lliures i bandes amb llicència:

La tecnologia WiMAX ofereix un gran potencial alhora de treballar en medis rurals, es per això que la banda de freqüència seleccionada per a treballar ha de ser la que s'adapti millor a la finalitat de la aplicació que es vulgui atorgar a la xarxa, i consegüentment és primordial conèixer els avantatges i inconvenients que pot tindre treballar amb els dos tipus de bandes.

- La banda llicenciada fa ús de la freqüència al voltant dels 3,5GHz, i es caracteritza per oferir més potencia que la banda no llicenciada (fins a 30 Watts) amb ample de canal de 3,5 MHz, permetent una capacitat de 13.1Mbps. Adicionalment, dona la possibilitat de treballar amb full-Duplex per a millorar la capacitat fins a duplicar-la, malgrat que això repercuteix sobre el cost final al fer-se servir duplexadors.
- La part no llicenciada a Europa treballa sobre l'ample de banda situat entre 5475 – 5725 MHz, que es caracteritza per menys potencia que la banda anterior. Tanmateix, permet l'ús d'amples de canal més grans degut a la disponibilitat de 250 MHz, sent 10 MHz l'ample de banda més usual i amb una capacitat de 37.7Mbps.
 - Fa servir duplexat TDD obligant a repartir el tràfic de la xarxa entre la pujada i la baixada. I d'altra banda, segons la legislació espanyola la potencia ha de quedar limitada a 1 W, tal com s'indica a l'apartat 3.2 del present estudi.

En el present projecte es designarà l'ús de la banda lliure pels següents motius:

- Primerament, a causa de que no serà necessari llicenciar la banda les despeses es reduiran respecte al ús de bandes no llicenciades. Com el projecte té la finalitat d'implantar Internet a un municipi de forma gratuïta, aquest factor tindrà una gran importància.
- Les distàncies entre els diferents indrets del municipi no son grans, per la qual cosa no serà necessari una potencia elevada.
- Permet un ample de banda més gran.

4.2.3 Tipus d'antenes a WiMAX i Wi-Fi

Les antenes emissores envien el senyal en una determinada freqüència mitjançant la apropiada modulació d'aquest, i amb la finalitat de transmetre les dades a les receptores. A continuació es realitzarà un anàlisi de les característiques més rellevants d'aquests elements a fi de trobar el més adient per a solució.

D'una banda les antenes es poden classificar per la seva freqüència com el cas de mono banda (una única freqüència), dual (dos freqüències), multibanda (varies freqüències) i banda ampla (rang determinat de freqüències).

D'altra banda, els diagrames de radiació indicaran la forma en que les antenes distribueixen la radiació i potencia, mostrant aquesta informació mitjançant imatges representatives del model real.

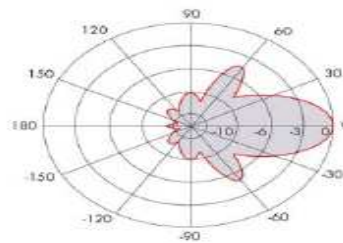


Figura 19 - Diagrama vertical horitzontal

Tipus de polarització de les antenes:

Polarització lineal - Les ones radioelèctriques es transmeten en direcció vertical en relació a la superfície de la terra.

Polarització en creu - Es fan servir per a aplicacions mòbils. L'antena transmissora i receptora necessita per a la comunicació sempre la mateixa polarització, en cas contrari es produeixen pèrdues.

Polarització circular - Aquestes antenes es fan servir en escenaris on hi hagi un alt risc de reflexió, pal·liant els seus efectes. Les ones de radiofreqüència roten al voltant del 360° en direcció dreta o esquerra.

En definitiva, com en el present escenari els dispositius per a WiMAX i Wi-Fi seran fixos, i amb visió directa sense gaires obstacles, el tipus de polarització a fer servir serà la vertical.

Tipus d'antenes:

Les tecnologies implantades en el present projecte fan servir habitualment antenes omnidireccionals, o bé direccionals. L'elecció d'aquestes vindrà donada pel tipus de xarxa a dissenyar.

Omnidireccionals – Transmeten el senyal en totes direccions, es a dir, en els 360° i per tant no es necessari orientar-les. Aquest aspecte implica que l'abast disminueixi degut a la distribució per tot el seu diagrama.

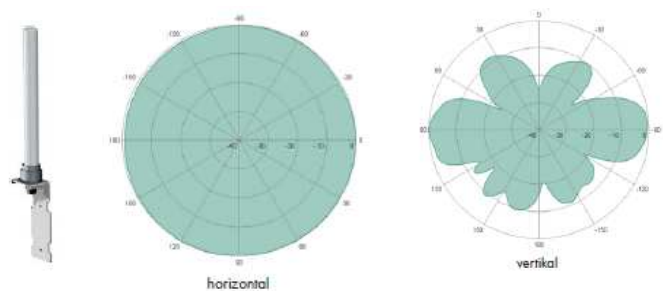
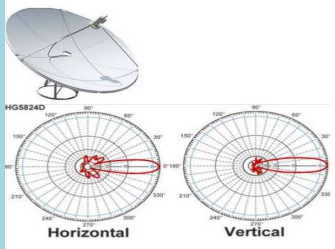
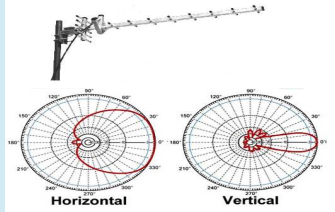
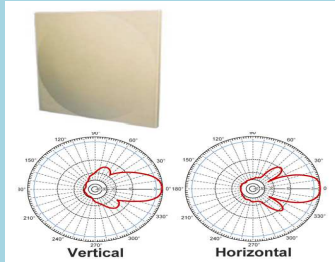
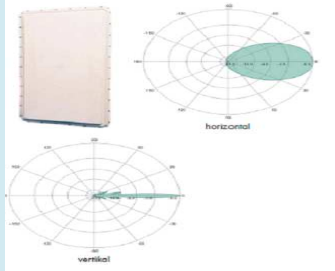


Figura 20 - Antena Omnidireccional

Direccional – Són les que presenten la màxima potencia i energia radiada de manera localitzada, i d'aquesta manera focalitzant la potencia cap al punt d'interès i evitant interferències d'altres fonts. S'aconsegueix llavors crear un feix estret però de gran abast, aquests dos paràmetres son normalment inversament proporcionals ja que en disminuir un, l'altre augmenta, i consegüentment per a feixos mes petits tindrem un abast més gran.

Tipus d'antenes direccionals:

	Descripció	Antena i diagrama de radiació
Parabòliques	Són les més dirigides i en conseqüència les que aporten millor abast.	
Yagi	De gran abast, però de menys dificultat que les anteriors per a la seva orientació	
Planars	Són més petites que les anteriors, facilitant la instal·lació. En canvi, no ofereixen tant abast.	
Sectorial	Es tracta d'una barreja entre els dos tipus d'antenes anteriors, aconseguint crear un feix del senyal més ampli que amb antenes direccionals, però mes petit que la omnidireccional, ja que poden cobrir diferents sectors, com 30º, 60º, 120º, etc. D'altra banda l'abast, és més gran que en una antena omnidireccional	

Taula 8 – Tipus d'antenes direccionals

Així doncs, amb l'objectiu de crear els radioenllaços WiMAX i arribar fins als punts d'accés Wi-Fi, es faran servir antenes sectorials com per exemple les de 60º que aconsegueixen força directivitat i abast a la vegada.

Els dispositius Wi-Fi, en canvi, tenen la finalitat d'aconseguir distribuir el senyal i permetre accedir als usuaris a tot arreu. Les antenes omnidireccionals seran les que permetran repartir el senyal en els 360º de forma equitativa.

4.3 Desenvolupament de la xarxa amb WIMAX i WI-FI

Degut a la orografia del terreny, envoltat per múltiples muntanyes i grans canvis d'alçada, s'han trobat forces dificultats per a crear escenaris viables de cara a implementar la xarxa de transport de dades. Així mateix, cadascun d'aquests escenaris presentarà avantatges i inconvenients que seran analitzats durant el present apartat.

És important esmentar que en tractar-se d'un projecte gratuït i finançat per l'ajuntament, els recursos fets servir per a la implementació de la xarxa han de ser mínims, i consegüentment serà de vital rellevància i aspecte principal del desenvolupament, fer us de la menor quantitat possible d'elements a fi de disminuir les despeses com estacions base i unitats d'usuari en l'àmbit WiMAX per a la creació de la xarxa troncal, o bé de punts d'accés Wi-Fi per a la part de les dades.

L'anàlisi dels escenaris es centrarà en buscar indrets de gran alçada al municipi amb l'objectiu de que amb el mínim possible d'elements radiants es pugui donar accés al major número d'usuaris, evitant així gran part de l'atenuació produïda per edificis o habitatges. A més, com la velocitats d'accés a la xarxa han de ser com a molt de 256Kbps tampoc faran falta molts AP per a garantir el servei.

S'han creat dos possibles escenaris a fi de desenvolupar la xarxa de telecomunicacions, i s'ha fet servir programari per a la verificació de la visibilitat directa entre radioenllaços. A l'apartat 6 s'analitzaran amb més profunditat fent ús de programari especialitzat.

L'escenari B que es presentarà seguidament serà el que és desenvoluparà finalment en el projecte.



En els darrers punts s'explicaran cadascun dels escenaris estudiats i els motius més rellevants que porten a aquest escenari a ser el més adequat per al desenvolupament de la xarxa.

4.3.1 Escenari A (Igualada – Municipi El Bruc)

El primer escenari contempla la possibilitat d'aprofitar la xarxa establerta a igualada, amb la que es garantirien altes velocitats a causa de la fibra òptica que hi ha al node central de telefonia (Igualada-Clavé), situat al carrer Odena nº 88 d'Igualada. Es crearien radioenllaços Punt a Punt i Punt a multipunt per a traslladar aquesta velocitat al municipi. Els radioenllaços serien els següents:



Figura 21 - Escenari A

A continuació es mostra una taula resum amb els radioenllaços i les distàncies que aquests recorren, posteriorment es descriurà cadascun d'ells.

Radioenllaç		Punt emissor	Punt receptor	Abast	
1	Igualada Clavé	Zona rural Montserrat	Lat: 41°35'03.82"N Long: 001°37'12.23"E Alçada: 344 m	Lat: 41°35'33.99"N Long: 001°44'03.77"E Alçada: 632 m	9577m
2	Zona rural Montserrat	Montserrat Parc	Lat: 41°35'33.99"N Long: 001°44'03.77"E Alçada: 632 m	Lat: 41°36'19.38"N Long: 001°44'21.94"E Alçada: 625 m	1462m
3		Ajuntament del Bruc		Lat: 41°34'50.44"N Long: 001°46'47.30"E Alçada: 488 m	4019m
4	Montserrat Parc	Sant Pau de la Guàrdia	Lat: 41°36'19.38"N Long: 001°44'21.94"E Alçada: 625 m	Lat: 41°36'39.83"N Long: 001°44'37.37"E Alçada: 663 m	745m
5	Ajuntament del Bruc	El Bruc zona Nord	Lat: 41°34'50.44"N Long: 001°46'47.30"E Alçada: 488 m	Lat: 41°35'03.70"N Long: 001°46'51.56"E Alçada: 505 m	425m
6		El Bruc zona Sud		Lat: 41°34'40.62"N Long: 001°46'47.95"E Alçada: 470 m	305m
7		El Bruc Residencial Oest		Lat: 41°34'14.36"N Long: 001°47'50.32"E Alçada: 412 m	1836m
8	El Bruc Residencial Oest	El Bruc Residencial Est	Lat: 41°34'14.36"N Long: 001°47'50.32"E Alçada: 412 m	Lat: 41°34'21.20"N Long: 001°48'00.74"E Alçada: 420 m	329m

Taula 9 - Escenari A

Radioenllaç 1

Central d'Igualada i zona rural de Montserrat.

Com hi ha parcs naturals i zones protegides al indret, s'ha triat una zona on es compleixi amb els requisits d'alçada necessaris per a poder realitzar la interconnexió dels pertinents radioenllaços, però garantint que es podrà fer la instal·lació en tractar-se d'una zona no protegida. En aquest cas serà al costat d'un terreny rural i amb una distància entre el dos radioenllaços de gairebé 10 km.



Figura 22 - Radioenllaç 1

Es pot veure, en el següent perfil orogràfic d'aquest radioenllaç que el perfil es totalment possible:



Figura 23 - Perfil orogràfic radioenllaç 1

Punt a multipunt - Zona Rural Montserrat amb Montserrat Parc i Ajuntament del Bruc format pels radioenllaços 2 i 3.

Es crea un enllaç amb l'objectiu d'enviar el senyal cap al centre de l'urbanització de Montserrat Parc i un altre que servirà per a transmetre el senyal fins al centre del Bruc, garantint el senyal en aquesta area i permetent crear un posterior radioenllaç fins al bruc Residencial.



Figura 24 - Punt a multipunt (radioenllaç 2 i 3)

Radioenllaç 2

Zona rural de Montserrat i Ajuntament el Bruc

Es pot apreciar al perfil orogràfic del radioenllaç que amb antenes de gran elevació es pot superar la diferència d'alçada dels cims. Tot i això, l'inconvenient principal es troba en que caldria aixecar el receptor de l'ajuntament a un distància de fins a 25 metres respecte del terra.



Figura 25 - Perfil orogràfic radioenllaç 2

Radioenllaç 3

Zona rural Montserrat i Montserrat Parc

Es pot veure que és perfectament desenvolupable, ja que no hi ha gaires variacions de nivell.



Figura 26 - Perfil orogràfic radioenllaç 3

Radioenllaç 4

Montserrat Parc i Sant Pau de la Guàrdia

Es crea un radioenllaç amb la finalitat d'assolir un dels punts més alts de la urbanització i poder transmetre el senyal amb més garanties.

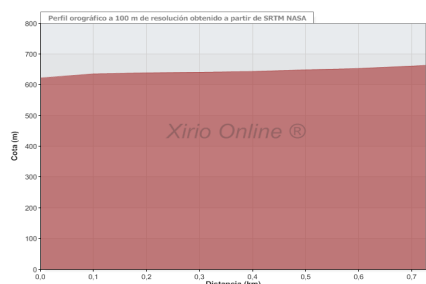


Figura 28 - Perfil orogràfic radioenllaç 4



Figura 27 - Radioenllaç 4

Punt a multipunt – Ajuntament del Bruc amb Bruc Residencial, El Bruc zona Nord i el Bruc Zona Sud. Format pels radioenllaços 5, 6, 7 i 8.

S'implementen els radioenllaços WiMAX necessaris per a enviar el senyal a tots els indrets del Bruc i comunicar-se també amb el Bruc residencial.



Figura 29 - Radioenllaços 5,6,7 i 8

Radioenllaç 5

Ajuntament del Bruc i Bruc Residencial

El radioenllaç de l'ajuntament del Bruc que unirà al Bruc Residencial és de poca dificultat degut a que ni hi han gaires obstacles ni alçada entre les entitats. Alhora de col·locar el receptor al Bruc Residencial s'ha triat el costat d'una torreta propietat del ajuntament.



Figura 30 - Radionellaç 5

Al perfil orogràfic es pot veure que hi ha visió directa.

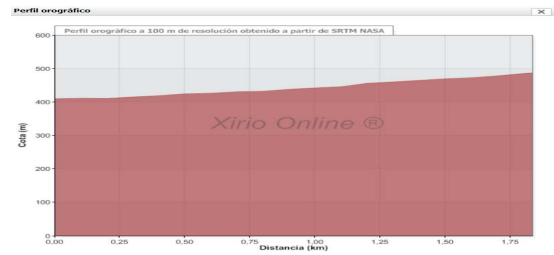


Figura 31 - Perfil orogràfic radioenllaç 5

Radioenllaç 6

Ajuntament del Bruc i El Bruc Zona Nord

Com en el cas anterior, la visió entre els punts es directa, i per aquest fet com es pot veure al perfil orogràfic, no hi hauria problema en fer arribar el senyal.



Figura 32 - Radioenllaç 6

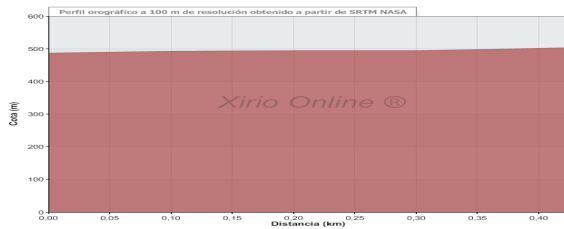


Figura 33 - Perfil orogràfic radioenllaç 6

Radioenllaç 7

Ajuntament del Bruc i El Bruc Zona Sud

De la mateixa forma que en els casos anteriors, i amb una antena de 15 m d'alçada a l'ajuntament s'aconseguiria visió directa, i tampoc s'aprecien dificultats en observar el perfil orogràfic que és semblant a l'anterior.



Figura 34 - Radioenllaç 7

Radioenllaç 8

El Bruc Residencial Zona Oest i Bruc Residencial Zona Est

Finalment l'últim radioenllaç es construirà amb una antena de 10 metres d'alçada a l'ajuntament, aconseguint visió directa i un perfil orogràfic pràcticament pla.

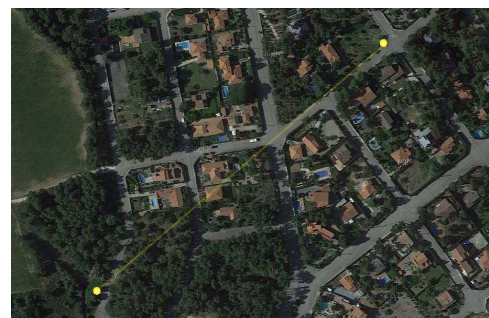


Figura 35 - Radioenllaç 8

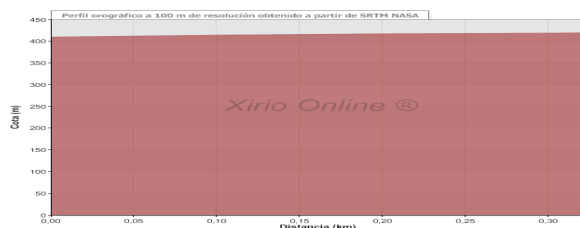


Figura 36 - Perfil orogràfic radioenllaç 8

4.3.2 Escenari B (Ajuntament del Bruc – Municipi el Bruc)

Aquest segon escenari aprofitarà la banda ampla que rep el bruc, amb velocitats no tant elevades com l'anterior cas, però suficients per a la fi del present projecte. L'escenari és més complicat que l'anterior perquè El Bruc es troba a la vall de la muntanya i l'urbanització Montserrat Parc i Sant Pau de la Guàrdia a la part superior i entre tots dos indrets es troben infinitat de desnivells.

El principal objectiu es crear una xarxa a partir de l'ajuntament del Bruc, on s'allotjarà els servidors i medis necessaris per a l'administració del sistema i que distribuïran el senyal per la resta del municipi, tenint en compte que no podrà anar directament des de l'ajuntament fins a Sant Pau de la Guàrdia com es pot apreciar al perfil orogràfic en el que hi han molts obstacles entre els dos punts.

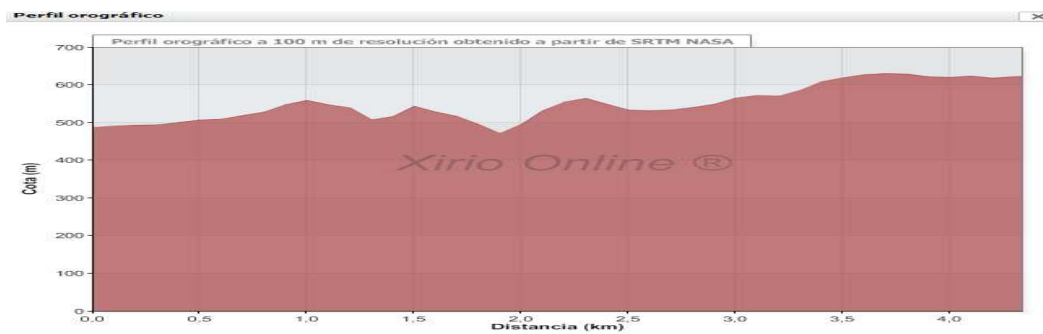


Figura 37 - Perfil orogràfic del Ajuntament a Sant Pau de la Guàrdia

Es crearà llavors un radioenllaç que arribarà fins al punt més alt proper a la urbanització Sant Pau de la Guàrdia, per tal de crear una estació en el lloc més òptim, i de manera que el senyal pugui arribar fins a la urbanització. Addicionalment, s'ha de tindre en compte que la ubicació ha de respectar els parcs naturals i les zones protegides.



Figura 38 - Zones natural del municipi

Finalment, els radioenllaços que formen la solució d'aquest segon escenari són els següents:

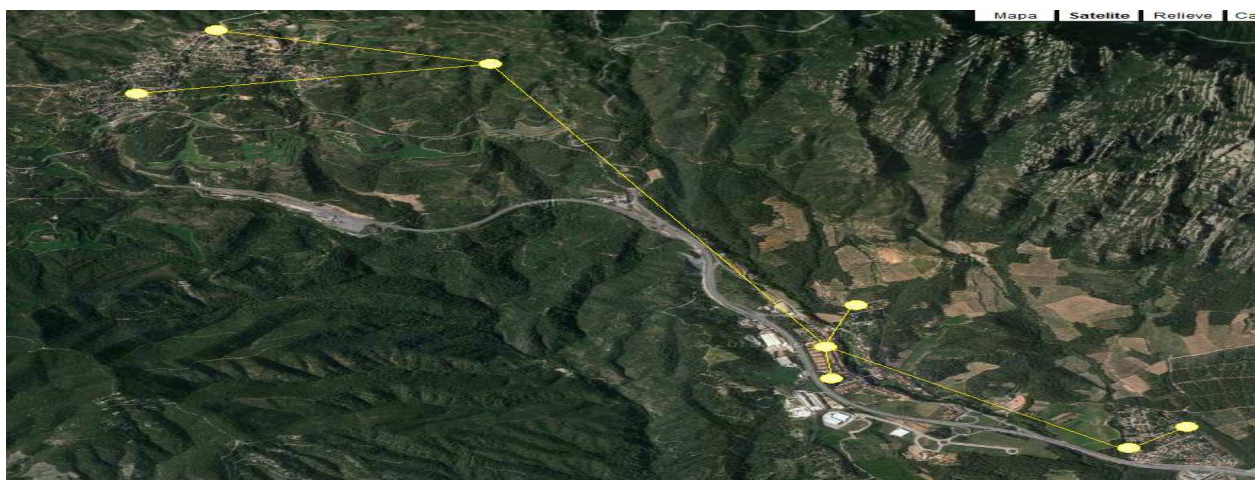


Figura 39 - Escenari B

A continuació es mostra una taula resum amb els radioenllaços i les seves característiques:

Radioenllaç			Punt emissor	Punt receptor	Abast
1	Ajuntament del Bruc	El Bruc zona Nord	Lat: 41°34'50.44"N Long: 001°46'47.30"E Alçada: 488 m	Lat: 41°35'03.70"N Long: 001°46'51.56"E Alçada: 505 m	425m
2		El Bruc zona Sud		Lat: 41°34'40.62"N Long: 001°46'47.95"E Alçada: 470 m	305m
3		El Bruc Residencial Oest		Lat: 41°34'14.36"N Long: 001°47'50.32"E Alçada: 412 m	1836m
4		Zona rural Sant Pau de la Guàrdia		Lat: 41°36'27.59"N Long: 001°45'36.16"E Alçada: 697 m	3417m
5	El Bruc Residencial Oest	El Bruc Residencial Est	Lat: 41°34'14.36"N Long: 001°47'50.32"E Alçada: 412 m	Lat: 41°34'21.20"N Long: 001°48'00.74"E Alçada: 420 m	329m
6	Zona rural Sant Pau de la Guàrdia	Sant Pau de la Guàrdia	Lat: 41°36'27.59"N Longitu: 001°45'36.16"E Alçada: 697 m	Lat: 41°36'39.83"N Long: 001°44'37.37"E Alçada: 663 m	1413m
7		Montserrat Parc	Lat: 41°36'27.59"N Longitu: 001°45'36.16"E Alçada: 697 m	Lat: 41°36'19.38"N Long: 001°44'21.94"E Alçada: 625 m	1731m

Taula 10 - Escenari B

Es pot observar que els radioenllaços 1, 2, 3 i 5 són els mateixos que a l'escenari anterior, de manera que en compartir l'orografia no serà necessari l'anàlisi, obtenint els mateixos resultats.

Els radioenllaços restants (4,6 i 7) es veuran a continuació:

Radioenllaç 4

Ajuntament del Bruc i zona rural Sant Pau de la Guàrdia

Com hi ha parcs naturals i zones protegides al indret, s'ha triat una zona on es compleixi amb els requisits d'alçada necessaris per a poder realitzar la interconnexió dels pertinents radioenllaços, però garantint que es podrà fer la instal·lació perquè no es tracta d'una zona protegida. En aquest cas serà al turó del costat de Sant Pau de la Guàrdia.

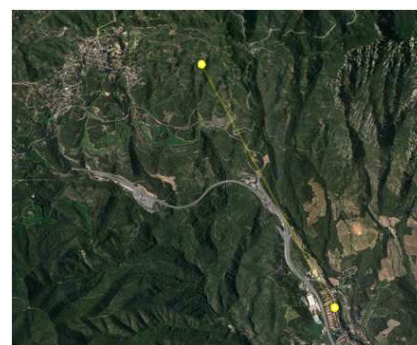


Figura 40 - Radioenllaç 10

Al perfil orogràfic d'aquest radioenllaç es visualitza un important desnivell per no hi ha objectes entre els nodes.

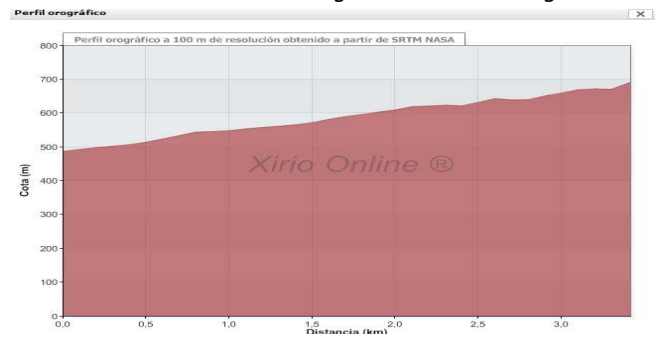


Figura 41 - Perfil orogràfic radioenllaç 10

Radioenllaç 6

Zona rural Sant Pau de la Guàrdia i urbanització Sant Pau de la Guàrdia

Les zones d'interès per al radioenllaç estan situades a unes alçades de 20 metres, on es pot apreciar en crear el perfil que la visió és directa i no hi ha obstacles.



Figura 42 - Radioenllaç 11

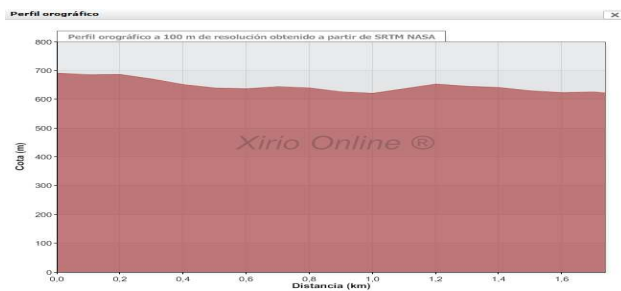


Figura 43 - Perfil orogràfic radioenllaç 11

Radioenllaç 7

Zona rural Sant Pau de la Guàrdia i Montserrat Parc.

De la mateixa forma que en els casos anteriors i amb una antena de 20 metres d'alçada, el node de l'ajuntament obtindria visió directa. De manera que tampoc s'aprecien dificultats en observar el perfil orogràfic.



Figura 44 - Radioenllaç 12

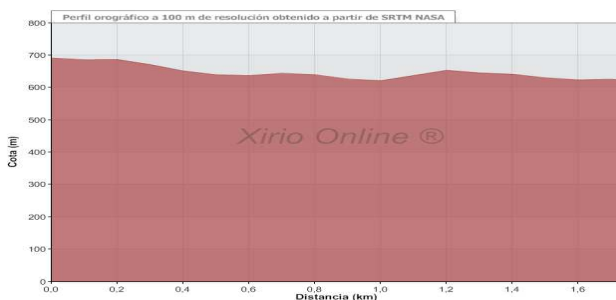


Figura 45 - Perfil orogràfic radioenllaç 12

4.3.3 Decisions en vers al tipus seleccionat.

Alhora de proporcionar connectivitat WiMAX a un projecte determinat, es tant important conèixer les peculiaritats del tipus d'escenari al que es vol aplicar la solució i que poden ser desnivells del terreny, o bé obstacles, com els requisits i prioritats a complir a fi de garantir la viabilitat del projecte.

Alguns d'aquests requisits són crear una xarxa de telecomunicacions el més ajustada possible a les possibilitats d'un poble petit, així com per a un servei que ofereix velocitats no gaire elevades degut a la limitació de la legislació a 256Kbps.

A l'escenari A l'aprofitament de la fibra òptica d'Igualada permet un ample de banda més gran, a més de grans possibilitats d'escalabilitat. Tanmateix, s'hauran d'instal·lar més repetidors de senyal i fer servir recursos addicionals amb un augment del cost considerable respecte del segon escenari.

D'altra banda, pel fet que s'aprofita la xarxa d'Igualada s'hauran d'arribar a acords amb aquest municipi, factor de gran importància que limitarà, si més no, l'autonomia del municipi del Bruc.

A l'escenari B es pot veure que es compleixen amb els requisits alhora d'estalviar en medis per a implementar la xarxa i a més que funcioni de manera autònoma, introduint únicament els enllaços necessaris per a donar cobertura en els nuclis de cadascuna de les entitats municipals.

Finalment, es desenvoluparà l'escenari B, ja que aquest presenta les millors característiques per adaptar-se a les necessitats del projecte, garantint a la vegada una correcta qualitat del servei i cobertura. Tanmateix, tot i que aquest escenari no presenta les propietats d'escalabilitat i ample de banda del escenari A, les prestacions que ofereix són adequades, garantint si més no, que l'augment de despeses no serà excessiu com podria passar amb l'altre i posant en perill la viabilitat del projecte.

4.4 Descripció de la topologia de xarxa

L'escenari per a la creació de la xarxa es basarà en el tipus de topologia Punt a Multipunt que mitjançant antenes sectorials col·locades a les estacions base i repetidors juntament amb antenes receptores directives, permetran enviar el feix del senyal i captar-lo a la unitat d'usuari, o bé a un repetidor en el seu defecte.

L'ajuntament serà el node principal de la xarxa, el qual rebrà el senyal del proveïdor de serveis i el transmetrà mitjançant la seva estació base tant a la zona Nord i Sud del Bruc, al Bruc Residencial i com a Sant Pau de la Guàrdia i Montserrat Parc. En aquesta última zona caldrà instal·lar un repetidor del senyal per a superar la diferència d'alçada entre les dues parts del municipi.





Aquest repetidor s'encarregarà de crear dos radioenllaços que transmetran el senyal a la zona de Sant Pau de la Guàrdia i Montserrat Parc. Mitjançant una estació d'usuari que s'ubicarà en un dels indrets més alts del municipi s'aconseguirà captar el primer radioenllaç per donar servei a Sant Pau de la Guàrdia i a la part nord de Montserrat Parc. D'altra banda, el segon radioenllaç comunicarà el repetidor amb una altre estació d'usuari situada al centre de Montserrat Parc que garantirà l'accés a aquella zona.

4.5 Elements de la xarxa


Entre els elements que formaran la xarxa es troben, d'una banda, els dispositius que s'encarregaran de transmetre el senyal i donar accés com són les estacions base, repetidores, unitats d'usuari amb els dispositius AP. I d'altra banda, els que tindran la missió d'administrar la xarxa donant seguretat, gestionant les bases de dades i la seva connexió amb el proveïdor de serveis

En relació als elements necessari per a la creació de la xarxa troncal WiMAX, s'ha triat fer servir els del catàleg de Alentia Systems en vers de productes d'altres empreses. L'elecció ve donada, en primer lloc, per la bona relació de qualitat-preu dels productes Alentia, en segon lloc, a aspectes com la inclusió d'elements com unitats repetidores i d'altres serveis com donar QoS.

Adicionalment, les unitats repetidores de Alentia Systems són adequades per a energia solar, de manera que s'adaptarien perfectament per a zones remotes o rurals, sent aquesta una possibilitat per a garantir abastiment automàtic en futures actualitzacions del sistema. Encara que també es veurà afectat el cost global del projecte respecte a sistemes tradicionals.

Elements principals de la xarxa troncal WiMAX		
Producte	Descripció	Prestacions
Estació base – Alentia AXS-BS-150-N 	<p>Es tracten d'estacions base òptimes per a l'ús residencial amb una instal·lació fàcil i ràpida. Cobreixen tant les bandes llicenciades com les que no ho són, es a dir, la banda dels 5GHz utilitzada en el present projecte. Proporciona fins a 35Mbps i ample de banda 10MHz.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Banda 4900 – 5875GHz ▪ Velocitat de 35Mbps ▪ Antena sectorial 60 ▪ Grandària 450x165x89mm ▪ Consum inferior als 4,5W
Estació repetidora - Alentia Systems RPT 54 	<p>Aquest dispositiu permet l'ampliació de la zona de cobertura podent arribar a zones inaccessibles i augmentant d'aquesta forma els possibles clients potencials sense comprometre la inversió, la QoS o la latència.</p> <p>A més, és la primera família de repetidors TDD WiMAX i degut al seu baix consum són adequats per a fer servir amb energia solar. Es seleccionarà el model RPT-54 en vers del 58, degut a que el primer cobreix les freqüències lliures tractades a la solució entre 5470 i 5725GHz, i el segon de 5725 fins a 5875GHz.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Velocitat 35Mbps ▪ Connector N 2x ▪ Grandària 255x225x80mm ▪ Compatibles amb qualsevol equipament IEEE802.16 ▪ Control de guany ▪ Transparència entre la estació base i les SU connectades a partir del repetidor ▪ Incorpora una estació subscriptora per a la gestió de la banda dels repetidors
Ant. sectorials CYB SEC5G 16dB/60 	<p>Es tracta d'un tipus d'antena sectorial de 60º amb guany de 16dBi i per a polarització vertical a 5GHz. Formada per un material robust i un recobriments tefló laminat queda protegida respecte a esdeveniment meteorològics.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Guany 16dBi ▪ Freqüència 5150-5800 Mhz ▪ Polarització vertical ▪ Obertura vertical de 7º i horitzontal de 60º
Terminals d'usuari - AXS-CPE-150-15 	<p>Es tracta dels dispositius destinats a cobrir les necessitats del desplegament de la xarxa d'accés. Amb un fàcil desplegament i baix cost, ofereix diversos guanys entre el 15 i 23dBi, i tant per a freqüències lliures 5GHz com les altres.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Banda 4900 – 5875GHz ▪ Velocitat 35Mbps ▪ Antena 15dBi ▪ Grandària 130x198x50mm

Taula 11 - Components WiMAX

Punts d'access																																											
Element	Producte	Descripció	Prestacions																																								
D-LINK AirPremier 802.11g.		<p>Serà l'element encarregat de donar accés a la xarxa als usuaris.</p> <p>Les seves característiques principals són:</p> <ul style="list-style-type: none"> Proveeix velocitats de 108, 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9 i 6Mbps i es compatible amb clients més antics com el 802.11b Marge de freqüències 2,4GHz fins a 2,4835GHz. Mitiga els efectes de multi ruta per a obtenir més consistència en la cobertura Les antenes integrades són omnidireccionals. 	<p>Potencia de sortida amb l'antena de 5dBi:</p> <p>Total Output Power (Output Power with 5dBi Antenna)</p> <table border="1"> <tr> <td colspan="2">For 802.11b:</td> </tr> <tr> <td>+ 400mW (26dBm)</td> <td>+ 160mW (22dBm)</td> </tr> <tr> <td>+ 100mW (20dBm)</td> <td>+ 63mW (18dBm)</td> </tr> <tr> <td>+ 32mW (15dBm)</td> <td>+ 16mW (12dBm)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">+ 3mW (5dBm)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">For 802.11g:</td> </tr> <tr> <td>+ 400mW (26dBm)</td> <td>+ 200mW (23dBm)</td> </tr> <tr> <td>+ 100mW (20dBm)</td> <td>+ 63mW (18dBm)</td> </tr> <tr> <td>+ 32mW (15dBm)</td> <td>+ 16mW (12dBm)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">+ 3mW (5dBm)</td> </tr> </table> <p>Sensibilitat del receptor:</p> <table border="1"> <tr> <td colspan="2">For 802.11b:</td> </tr> <tr> <td>+ 1Mbps: -94dBm</td> <td>+ 2Mbps: -90dBm</td> </tr> <tr> <td>+ 5.5Mbps: -89dBm</td> <td>+ 11Mbps: -85dBm</td> </tr> <tr> <td colspan="2">For 802.11g:</td> </tr> <tr> <td>+ 1Mbps: -94dBm</td> <td>+ 2Mbps: -90dBm</td> </tr> <tr> <td>+ 5.5Mbps: -89dBm</td> <td>+ 6Mbps: -90dBm</td> </tr> <tr> <td>+ 9Mbps: -84dBm</td> <td>+ 11Mbps: -85dBm</td> </tr> <tr> <td>+ 12Mbps: -82dBm</td> <td>+ 18Mbps: -80dBm</td> </tr> <tr> <td>+ 24Mbps: -77dBm</td> <td>+ 36Mbps: -73dBm</td> </tr> <tr> <td>+ 48Mbps: -72dBm</td> <td>+ 54Mbps: -72dBm</td> </tr> </table>	For 802.11b:		+ 400mW (26dBm)	+ 160mW (22dBm)	+ 100mW (20dBm)	+ 63mW (18dBm)	+ 32mW (15dBm)	+ 16mW (12dBm)	+ 3mW (5dBm)		For 802.11g:		+ 400mW (26dBm)	+ 200mW (23dBm)	+ 100mW (20dBm)	+ 63mW (18dBm)	+ 32mW (15dBm)	+ 16mW (12dBm)	+ 3mW (5dBm)		For 802.11b:		+ 1Mbps: -94dBm	+ 2Mbps: -90dBm	+ 5.5Mbps: -89dBm	+ 11Mbps: -85dBm	For 802.11g:		+ 1Mbps: -94dBm	+ 2Mbps: -90dBm	+ 5.5Mbps: -89dBm	+ 6Mbps: -90dBm	+ 9Mbps: -84dBm	+ 11Mbps: -85dBm	+ 12Mbps: -82dBm	+ 18Mbps: -80dBm	+ 24Mbps: -77dBm	+ 36Mbps: -73dBm	+ 48Mbps: -72dBm	+ 54Mbps: -72dBm
For 802.11b:																																											
+ 400mW (26dBm)	+ 160mW (22dBm)																																										
+ 100mW (20dBm)	+ 63mW (18dBm)																																										
+ 32mW (15dBm)	+ 16mW (12dBm)																																										
+ 3mW (5dBm)																																											
For 802.11g:																																											
+ 400mW (26dBm)	+ 200mW (23dBm)																																										
+ 100mW (20dBm)	+ 63mW (18dBm)																																										
+ 32mW (15dBm)	+ 16mW (12dBm)																																										
+ 3mW (5dBm)																																											
For 802.11b:																																											
+ 1Mbps: -94dBm	+ 2Mbps: -90dBm																																										
+ 5.5Mbps: -89dBm	+ 11Mbps: -85dBm																																										
For 802.11g:																																											
+ 1Mbps: -94dBm	+ 2Mbps: -90dBm																																										
+ 5.5Mbps: -89dBm	+ 6Mbps: -90dBm																																										
+ 9Mbps: -84dBm	+ 11Mbps: -85dBm																																										
+ 12Mbps: -82dBm	+ 18Mbps: -80dBm																																										
+ 24Mbps: -77dBm	+ 36Mbps: -73dBm																																										
+ 48Mbps: -72dBm	+ 54Mbps: -72dBm																																										

Taula 12 - Punts d'accés

Torres de telecomunicacions

Seràn els elements on es col·locaran els dispositius anteriors. Poden ser configurades amb extensions per a la inclusió de varis elements radiants i amb diferents alçades per a aconseguir un abast superior.



Figura 47 - Torre de telecomunicacions habitual

El més convenient en aquest tipus de desplegaments on es troben zones rurals amb paisatges naturals i vegetació abundant, es fer servir torres camuflades amb el medi i poder evitar el contrast indesitjable amb l'entorn. El principal desavantatge es troba en que el cost d'aquestes és relativament superior a les habituals.

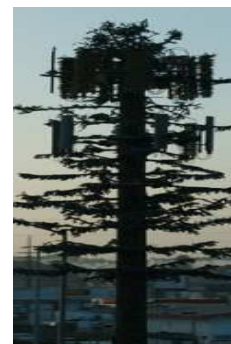







Figura 48 - Torre arbre

A continuació es mostren una sèrie d'elements i components que tindran la finalitat de proveir a la xarxa final amb les eines necessàries per al control de la gestió i seguretat.

Elements per a l'administració de la xarxa		
Producte	Descripció	Prestacions
Sistema de administració per a WiMAX Albentia 	<p>Es tracta d'una eina de gestió, que permet solucionar les necessitats i manteniment de les xarxes d'accés. Reduint els costos de manteniment i d'operacions.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plataforma de gestió ▪ Control del rendiment ▪ Gestió d'alarmes ▪ Gestió d'actualització de software ▪ Bases de dades ▪ Gestió de configuració ▪ Seguretat
Servidor Power Edge VRTX 	<p>El servidor s'encarregarà de l'autenticació dels usuaris de la xarxa i la supervisió de la xarxa. Continuarà el programari que limitarà l'ample de banda als usuaris i s'encarregarà de redirigir als usuaris a les pàgines permeses.</p> <p>Aquest model en concret es adient per a espais petits ja que no necessita de requisits especials per a la alimentació i refrigeració. Dona serveis d'integració de servidors, emmagatzematge i sistemes de xarxa integrats en una única plataforma</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Servidor d'emmagatzematge d'alt rendiment ▪ Xarxes i emmagatzematge integrats ▪ Gestió de software ▪ Fàcil i ràpid d'instal·lar
Tallafocs D-LINK NETDEFENDERS 	<p>Es tracta d'un dispositiu de seguretat avançada per a administrar, controlar i mantenir la xarxa.</p> <p>A més, proporcionen alertes sobre correus electrònics, registres i verificació de consistència per als administradors.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Administració remota ▪ Politiques de control de l'ample de banda ▪ Politiques d'accés i SNMP
Switch TP-LINK TL-SG1048 	<p>Commutador de 48 ports Gigabit.</p> <p>Dispositiu per a la connexió entre els equips per a qualsevol grup de treball. Aquest es farà servir per a la connexió entre els emissor i el tallafocs, o d'altres equips.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 48 ports RJ45 a 10/100/1000Mbps ▪ Capacitat de commutació de 96Gbps ▪ Dimensions 440*360*44 mm
SAI Lapara 3000VA /2400W 	<p>Proporciona una potent protecció per a equips delicats, en cas de caiguda de la línia, etc. Accepta una alt voltatge d'entrada de forma que pot treballar en entorns exigents i amb disseny per a adaptació al armari de servidors.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bateria i temps d'autonomia 3KVA: 6 x 12V / 9Ah – 13 min ▪ Connectors 3KVA: 7xIEC + Terminals + USB + RS232 + RJ45 ▪ Avisos en LCD, LED y alarma sonora
Encaminadors	<p>L'encaminador (Router) que es farà servir per a enllaçar la xarxa amb el proveïdor de serveis serà el mateix que disposa actualment el municipi, i no es considerarà la necessitat canviar-lo per a evitar despeses addicionals innecessàries</p>	

Taula 13 - Elements xarxa de administració

4.5.1 Sistemes de seguretat de la xarxa

Tal com s'ha indicat anteriorment, WiMAX proporciona per si mateix control de seguretat mitjançant xifratge. Addicionalment per a una correcta administració i gestió de la xarxa, caldran sistemes de control que possibilitin verificar, escoltar i detectar intrusions a la xarxa, evitant entre d'altres l'accés de tercers no autoritzats.

Programari IPTables⁹

Es tracta d'una eina incorporada al nucli de Linux per al filtratge de paquets i amb la qual l'administrador pot definir regles per a controlar les dades d'entrada i sortida de la xarxa. Com el seu nom indica, funciona mitjançant taules, on cada taula conté un número de cadenes.

Les taules estan formades per cadenes de regles que poden coincidir amb el tipus de paquets IP que circulen a la xarxa. Aquestes regles indiquen l'actuació a realitzar amb els paquets en cas de coincidència, es a dir, descartar-lo fent servir l'opció DROP ,o bé acceptar-lo dintre de la xarxa amb ACCEPT.

Tal com s'indicava anteriorment, en el present projecte els usuaris només disposaran d'accés per a consultar certs continguts a Internet com són pàgines web autoritzades, i en conseqüència no tindran permès l'accés al correu, o bé d'altres tipus de servei. Així doncs, per tal de controlar la circulació de paquets no permesos a la xarxa tant d'usuaris externs a aquesta com d'interns, només s'activaran inicialment els serveis HTTP, HTTPS i DNS per als ports 80, 443 i 53 respectivament.

Tot seguit es mostraran les instruccions necessàries per a poder crear la política restrictiva descrita:

Eliminació dels permisos per a tot el tràfic d'entrada, sortida i redirigit:

```
iptables -P INPUT DROP
iptables -P FORWARD DROP
iptables -P OUTPUT DROP
```

Es crea una cadena de filtratge per a acceptar el tràfic de les entrades i les sortides:

```
iptables -A INPUT -i lo -j ACCEPT
iptables -A OUTPUT -o lo -j ACCEPT
```

Es crea una cadena de filtratge per a acceptar el tràfic amb l'estat ESTABLISHED i RELATED, on el primer es relaciona amb connexions les quals veuen paquets en les dos direccions , i el segon indicant que el paquet esta iniciant una nova connexió associada a una connexió existent:

```
iptables -A OUTPUT -m state --state ESTABLISHED,RELATED -j ACCEPT
iptables -A INPUT -m state --state ESTABLISHED,RELATED -j ACCEPT
```

⁹ <http://linux.die.net/man/8/iptables>

Es permet el tràfic dirigit als sockets locals al port de destí 80 (HTTP) i al 443 (HTTPS).

```
iptables -A INPUT -p tcp --dport 80 -d "dirección IP del servidor" -j ACCEPT
```

```
iptables -A INPUT -p tcp --dport 443 -d "dirección IP del servidor" -j ACCEPT
```

Es permet el tràfic generat localment per als sockets locals al port de destí 80(HTTP), al 443 (HTTPS) i 53 (DNS).

```
iptables -A OUTPUT -p tcp --dport 80 -j ACCEPT
```

```
iptables -A OUTPUT -p tcp --dport 443 -j ACCEPT
```

```
iptables -A OUTPUT -p udp --dport 53 -j ACCEPT
```

Finalment, s'aplicarà una política de denegació defecte, acceptant únicament els paquets per a serveis anteriorment indicats. Ara bé, en cas de necessitat aquesta configuració podria ser modificada amb posterioritat afegint d'altres serveis desitjats.

Programari SNORT¹⁰

SNORT és un IDS (Sistema de detecció d'intrusos) que s'encarrega d'escoltar, controlar la circulació de paquets i detectar intrusions basades en la xarxa.

El seu motor informarà a l'administrador de la detecció d'atacs, cerca de ports, i l'enregistrament, alerta i resposta davant un atac o cas d'intrusió. Així com de disposar d'una gran quantitat de filtres i patrons predefinits amb la finalitat de detectar els possibles atacs.



Figura 49 - Programa Snort

Funciona tant per als sistemes operatius Windows com UNIX/Linux, fent-se servir de manera complementaria a altres sistemes com l'IPTables, vist anteriorment.

Pot funcionar amb tres modes diferents:

- Mode escolta - En aquest mode escolta els paquets que hi ha a la xarxa i els mostra de manera continua a l'administrador.
- Mode log - En el qual s'emmagatzemen els paquets en format log.
- Mode IDS - Realitzant detecció i anàlisis del tràfic de xarxa.

Així doncs, en el present cas d'estudi es podria crear un sistema de logs per a que els administradors disposessin de les connexions que s'estan realitzant. Mitjançant l'execució de les següents comandes:

Per a la detecció de qualsevol connexió al port 80 del servidor

```
log TCP any any <> "dirección IP del servidor" 80 (msg: "Paquet detectat http"; sid:1;)
```

Per a alertes en detectar certs paquets com ICMP

```
alert ICMP any any - > "dirección IP del servidor" any (msg: "Paquet detectat ICMP"; sid:2;)
```

¹⁰ <https://www.snort.org/>

5. ESTUDI DE COBERTURA

5.1 Càlculs de cobertura

En aquest apartat s'analitzarà l'ample de banda que garantirà la xarxa de telecomunicacions troncal i la d'accés amb els AP Wi-Fi segons les especificacions tècniques dels dispositius i les necessitats demogràfiques de cada entitat municipal. També serà necessari l'estudi de les dades demogràfiques i d'ús de la xarxa per a obtenir una correcta qualitat de servei.

Segons les dades demogràfiques estudiades en apartats anteriors (apartat 3.1.3, taula 2), el volum de tràfic necessari per a cobrir les expectatives d'ús dels usuaris en voler accedir als sistemes de l'ajuntament mitjançant la xarxa de telecomunicacions, seria del 30% d'usuaris connectats simultàniament.

D'aquesta manera, s'haurà de garantir a la zona del Bruc accés a 369 usuaris simultanis, o bé l'equivalent als 256Kbps per usuari i que correspondrien a velocitats de 95Mbps. A la zona del Bruc Residencial per als 65 usuaris simultanis el resultat seria de 17Mbps. Finalment, a Montserrat Parc i Sant Pau de la Guàrdia amb un volum d'usuaris de 176, seria necessaris 29Mbps.

5.1.1 Xarxa troncal WiMAX

El dispositiu WiMAX seleccionat (Albentia) obté velocitats de 35Mbps amb -75dBm de potencia. Tal com es pot preveure, la xarxa troncal actuarà com un coll d'ampolla, ja que la velocitat que transmetrà és inferior a la que poden assolir els dispositius AP que donen 54Mbps.

Tanmateix, si escau, es podrien afegir amb posterioritat més nodes per tal d'ampliar la velocitat de la xarxa troncal i millorar alhora l'escalabilitat. A continuació s'analitzarà la configuració inicial per a comprovar que les velocitats necessàries són assolides.

Radioenllaç		Repartició de l'enllaç	Ample de banda	Ample de banda obtingut per zona
Ajuntament del Bruc	El Bruc zona Nord		35Mbps	124Mbps, cobrint els 95Mbps necessaris
	El Bruc zona Sud		35Mbps	
	Zona Ajuntament		54Mbps (Wi-Fi)	
	El Bruc Residencial Oest	El Bruc Residencial Oest	35Mbps	35Mbps, cobrint els 17Mbps necessaris
		El Bruc Residencial Est		
	Zona rural Montserrat	Sant Pau de la Guàrdia	35Mbps	35Mbps, cobrint els 29Mbps necessaris
	Montserrat Parc			

Taula 14 - Velocitat dels diferents radioenllaços

S'observa que a la zona del Bruc amb el punt d'accés introduït a l'ajuntament i els dos radioenllaços que transmetran el senyal a la zona del Nord i Sud del Bruc, s'aconsegueix arribar a 124Mbps i superen els 95Mbps necessaris.

En quant a la zona del Bruc Residencial, els dos punts d'accés (Bruc Residencial Oest i el del Est) s'han de repartir l'ample de banda de 35Mbps, superant els 17Mbps requerits.

Finalment, a la zona de Montserrat Parc i Sant Pau de la Guàrdia es distribuirà l'ample de banda entre els dos enllaços. Tot i que es més just que en els dos casos anteriors, els resultats són adequats superant els 29Mbps necessaris a la zona.

Tal com es pot veure en els resultats de la taula, i amb l'anàlisi posterior, es cobreixen els requeriments, garantint les velocitats mínimes d'accés per zona i la correcta distribució del senyal.

5.1.2 Xarxa d'accés Wi-Fi

Els dispositius AP D-LINK per l'estàndard 802.11g proveeixen velocitats de fins a 54Mbps i per tant per a poder abastir fins a 210 usuaris. Cal indicar que en les entitats municipals, la densitat d'habitants per kilòmetre quadrat es molt baixa, s'haurà de tindre en compte no només la quantitat d'usuaris a la vegada que pugui donar servei un únic punt d'accés, sinó que també l'abast d'aquest sigui el suficient per a cobrir tota la seva zona.

S'observa que amb dos punts d'accés per al Bruc i d'un únicament per a cadascuna de les altres entitats municipals, es complirien amb els requeriments necessaris per a cobrir les necessitats d'ample de banda. D'altra banda, seguint amb el desplegament de l'escenari B del punt 4.3.3, a fi de cobrir cada zona correctament, s'ampliaran els punts d'accés respecte dels necessàries. Com es mostrarà a continuació:

Zona	Usuaris	Ample de banda necessari ¹¹	Punt d'accés de 54Mbps introduïts i ample de banda	Quantitat d'usuaris amb 256kbps
El Bruc	369	95Mbps	Es necessarien 2 punts, però finalment es faran servir 3 per a una correcta cobertura de la zona. 3 AP * 54Mbps= 162Mbps	633 usuaris
Montserrat Parc i Sant Pau de la Guardia	176	29Mbps	Es necessitaria 1 punt, però finalment es faran servir 2 per a una correcta cobertura de la zona. 2 AP * 54Mbps = 108Mbps	421 usuaris
El Bruc Residencial	65	17Mbps	Es necessitaria 1 punt, però finalment es faran servir 2 per a una correcta cobertura de la zona. 2AP * 54Mbps = 108Mbps	421 usuaris

Taula 15 - Velocitat i usuaris per zones

Segons els càlculs anteriors, es pot veure que es cobreixen les necessitats dels municipi completament per a cada zona. Tot i això, i degut a la velocitat de la xarxa de transport, a la zona del Bruc, l'ample de banda de 162Mbps que podrien servir els punts d'accés quedarà limitat als 124Mbps, calculats a l'apartat anterior. El mateix succeeix al Bruc Residencial i a Montserrat Parc amb Sant Pau de la Guàrdia, on en comptes de 108Mbps a cadascun dels territoris, es s'oferiran 35Mbps.

¹¹ Usuaris demandants del servei per velocitat màxima permesa (256kbps)

5.2 PIRE (Potencia Isotròpica Radiada Equivalent)

El valor màxim de potencia que poden emetre els equips és el PIRE. Es tracta de la quantitat de potencia que emetrà una antena isotròpica teòricament per a produir la densitat de potencia en la direcció de màxim guany. Així doncs, amb els valors del PIRE i el guany de l'antena real es pot arribar a saber la potencia real i els valors del camp electromagnètic que genera.

Segons la llei espanyola s'estableixen els següents límits de PIRE que dependran del tipus de tecnologia aplicada:

- WiMAX queda limitat a 1W de potencia, es a dir, 30dBm
- Wi-Fi queda limitat a 100mW de potencia, es a dir, 20dBm.

La formula per al seu càlcul és: $PIRE=PT-Lc+Ga$.

- PT, és la potencia del transmissor (dBm)
- Lc, les pèrdues (dB)
- Ga, el guany de l'anten.(dBi)

PIRE per a WiMAX

La potencia de transmissió és un valor intrínsec de les antenes que pot ser alterat, i amb l'objectiu de respectar els valors permesos del PIRE pot ser modificat en funció del guany de l'antena.

Com que l'antena utilitzada per a WiMAX tindrà un guany de 16dBi, i la potencia de l'equip pot arribar a 26dBm, aquest últim paràmetre s'haurà d'ajustar per no superar els 30dBm, a més, el valor de les pèrdues serà de 0,5dB. I consegüentment:

$$PIRE=PT - 0,5 + Ga = 30 \text{ dBm} \rightarrow PT = 30 + 0,5 - 16 \text{ s'haurà d'ajustar a } 14,5\text{dBm}$$

PIRE per a Wi-Fi

Anàlogament a l'anterior, es realitzarà el càlcul per als equips Wi-Fi per a no superar els 20dBm.

$$PIRE=PT - \text{pèrdues variants} + Ga = 20\text{dBm}$$

L'antena és de 5dBi, de manera que per a aconseguir els 20dBm, s'hauria de disminuir la potencia transmesa fins els 15dBm.

5.3 Pèrdues de propagació en exteriors

Els càlculs per a les pèrdues de propagació es portaran a terme mitjançant mètodes empírics que són els més propers a la realitat. Entre ells es troben els mètode més utilitzats com el model Lee, Okumura-Hata, COST-231, o bé Erceg.

A continuació s'analitzaran breument cadascun d'ells per a obtenir el mètode que s'aproximi més a la situació real proposada i fer un anàlisi aproximat dels resultats esperats.

5.3.1 Mètode Lee

Es tracta d'un model americà, vàlid per a freqüències entre 30-2000 MHz i distàncies entre 2-30 Km, on es fan diferenciacions entre el tipus de medi, com a suburbà o urbà.

El següent exemple representa els paràmetres per a un medi suburbà:

$$P_R(dBm) = -70 - 36,8 \cdot \log\left(\frac{d}{1.6}\right) - 3 \cdot \log\left(\frac{f}{900}\right) + \alpha_0$$

On d és la distància fins la base en km, f la freqüència en MHz i α_0 el valor de correcció.

Com s'ha indicat anteriorment, aquest model és efectiu per a freqüències inferiors a 2000 MHz, i es poc acurat respecte a d'altres mètodes, per aquest motiu no es farà servir al present estudi.

5.3.2 Mètode Okumura-Hata

Va ser creat per a l'entorn de Tokio, es a dir per a zones urbanes, i posteriorment va ser adaptat per a zones rurals. Fa servir freqüències entre 150 i 1500 MHz, i valors preestablerts determinats per l'entorn.

Per a medi rural, que es el cas que es tracta en el projecte, seria:

$$L[dB] = A + B \cdot \log(d) - D$$

- Per al càlcul del valor A, s'aplica la formula: $69,55 + 26,16 \cdot \log(f) - 13,82 \cdot \log(h_t) - a(h_m)$
- Per al càlcul del valor B, s'hauran de fer servir el següents paràmetres: $44,9 - 6,55 \cdot \log(h_t)$
- Per al càlcul del valor D, s'haurà de fer servir el següents paràmetres:
 $4,78 \cdot (\log(f))^2 - 18,33 \cdot \log(f) + 40,94$

On la d és la distància al transmissor al mòbil, f la freqüència en MHz, h(t) alçada efectiva del transmissor, h(m) la alçada del mòbil i $a(h_m)$ per a una ciutat petita seria:

$$a(h_m) = [1,1 \cdot \log(f) - 0,7] h_m - [1,56 \cdot \log(f) - 0,8]$$

Com al model anterior, aquest no és aplicable al projecte degut al marge de freqüències aplicable.

5.3.3 Mètode COST-231

Es tracta d'un mètode japonès basat en els models Walfish i Ikegami. Es més complex que els anteriors i s'ha actualitzat per a cobrir freqüències superiors a les inicials que van dels 800 als 2000 MHz, per a distàncies de 0,02 i 5 Km.

Mitjançant la suma de les atenuacions dels diferents objectes es pot obtenir un càlcul aproximat de l'atenuació a una distància determinada. Els paràmetres necessaris per a el càlcul són els següents:

$$20 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) + \alpha \quad \lambda = \frac{\text{Velocitat } _ \text{llum}}{\text{freqüència}}$$

- α , és la suma d'elements atenuants com poden ser parets o sostres.
- d , és la distància

Mitjançant aquest mètode es realitzarà el càlcul de l'atenuació i potencia teòrica rebuda per a WI-FI a interiors dels edificis municipals. El càlcul teòric es realitzarà per a distàncies de 15, 25 i 50 metres, tenint en compte que hi haurà objectes atenuants com parets o sostres que aplicaran debilitaran el senyal aproximadament 14,5dB.

Tot i que l'atenuació del medi en un recinte tancat no té gaire importància, en aquest estudi es contemplarà per preveure el pitjor dels escenaris amb 0,5dB. En quant a la potencia transmesa, aquesta serà de 15dB per al AP D-LINK i amb una antena de 5dBi.

Per a una distància de 15 metres i un obstacle:

$$20 \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 15}{3 \cdot 10^8} \right) + 15 = 78,57 \text{dB} \quad \text{La potencia rebuda serà de: } -78,57 \text{dB} + 15 + 5 = -58,57 \text{dBm}$$

Per a una distància de 25 metres i dos parets:

$$20 \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 25}{3 \cdot 10^8} \right) + 29,5 = 97,505 \text{dB} \quad \text{La potencia rebuda serà de: } -97,505 \text{dB} + 15 + 5 = -77,505 \text{dBm}$$

Per a una distància de 50 metres i tres partes:

$$20 \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 50}{3 \cdot 10^8} \right) + 44 = 117,53 \text{dB} \quad \text{La potencia rebuda serà de: } -117,53 \text{dB} + 15 + 5 = -97,53 \text{dBm}$$

Segons els càlculs anteriors i la sensibilitat del receptor aproximada per a un AP D-Link, s'obtindrà la taula següent, representativa de les velocitats teòriques rebudes en vers de la distància:

Distància (m)	Potencia (dBm)	Velocitat (Mbps)
15	-58,57	54
25	-77,505	18 < 36
50	-97,53	Menys 1

Taula 16 - Velocitat en vers de la distància

5.3.4 Mètode Erceg

És un model de la Stanford University amb gran profunditat que es vàlid per a tot tipus de medis i pensat per a freqüències inferiors als 11GHz. Es aplicable a WiMAX i Wi-Fi, tot i així, esta pensat per a alçades de mòbils fins a 10 metres i amb limitacions per a la base de 10 a 80 metres. A més, preveu el tipus de terreny com un factor important alhora d'obtenir els resultats.

- SUI-1 i SUI-2 per a llocs sense obstacles
- SUI-3 i SUI-4 per a llocs amb alguns obstacles
- SUI-5 i SUI-6 per a terrenys amb molts obstacles i vegetació frondosa.

El càlcul de l'atenuació mitjançant aquest mètode es realitza a partir de la formula següent:

$$20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot 100}{\lambda}\right) + 10 \cdot \left(a - b \cdot h_b + \frac{c}{h_b}\right) \cdot \log\left(\frac{d}{100}\right) + 6 \cdot \log\left(\frac{f}{2000}\right) + X_h + s$$

- On $X_h = -10.8 \cdot \log\left(\frac{h_m}{2}\right)$ es fa servir per a SUI 3, SUI 4, SUI 5 i SUI 6.
- On $X_h = -20 \cdot \log\left(\frac{h_m}{2}\right)$ es fa servir per a SUI 1 i SUI 4.
- On $\lambda = \frac{\text{Velocitat_llum}}{\text{freqüència}}$
- d és la distancia entre els objectes, f es la freqüència en MHZ, h_b i h_m , la alçada en metres de la base i la del mòbil respectivament.

I finalment, la a , b , c i s depenen del tipus d'entorn amb els valors següents:

	a	b	c	s
Medi A (SUI-5 i SUI-6)	4.6	0.0075	12.6	10.6
Medi B (SUI-3 i SUI-4)	4	0.0065	17.1	9.6
Medi C (SUI-1 i SUI-2)	3.6	0.005	20	8.2

Taula 17 - Taula de valors SUI

Càlcul de l'atenuació i potencia:

En el present projecte la xarxa WiMAX farà únicament la funció de transport de dades amb visió directa entre emissor i receptor amb les estacions base, d'usuari i les repetidores. D'altra banda la xarxa d'accés per a dispositius mòbils recaurà únicament en els punts d'accés Wi-Fi. Serà aquesta última tecnologia la que serà analitzada teòricament per a l'accés de les dades en mòbils exteriors.

Com a prova teòrica es construirà un escenari equivalent al real. L'alçada dels mòbils es fixarà en 1,5m, i la de les antenes vindrà donada per la indicada a l'estudi segons la ubicació. Finalment, l'emissor de l'ajuntament tindrà una alçada de 20 metres i el del Bruc Residencial i Montserrat Parc de 10 metres, i es realitzaran els càlculs per a distàncies representatives de 150, 200 i 300 metres.

D'altra banda, es farà servir el SUI-3 seleccionant d'aquesta forma un medi B amb entorns amb alguns obstacles, en tractar-se d'indrets amb habitatges de poca alçada i desnivells que faciliten la visió directa.

Càlcul de l'atenuació per a Wi-Fi:

$$X_h = -10,8 \cdot \log\left(\frac{h_m}{2}\right) = -10,8 \cdot \log\left(\frac{1,5}{2}\right) = 1,35 \quad \lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 10^9} = 0,125$$

En aquest primer càlcul s'utilitzarà un abast de 200m, una alçada d'antena de 20m i mòbil de 1,5m.

$$20 \cdot \log\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot 100}{0,125}\right) + 10 \left(4 - 0,0065 \cdot 20 + \frac{17,1}{20}\right) \cdot \log\left(\frac{200}{100}\right) + 6 \cdot \log\left(\frac{2412}{2000}\right) + 1,35 + 9,6 = 105,71 \text{ dB}$$

La potència transmesa del AP D-LINK és de 15dB i l'antena de 5dBi. I finalment, la potència rebuda serà de: $-105,71 \text{ dB} + 15 + 5 = -85,7 \text{ dBm}$, continuant amb els càlculs per a les diferents alçades de les antenes del projecte i distàncies, s'obté la següent taula:

	150 m		200 m		300 m	
Lloc antena	Atenuació (dB)	Potència (dBm)	Atenuació (dB)	Potència (dBm)	Atenuació (dB)	Potència (dBm)
Ajuntament	99.8	-79.8	105.71	-85.71	114.03	-94.03
El Bruc Residencial	101.31	-81.31	108.28	-88.28	118.11	-98.11
Montserrat Parc	101.31	-81.31	108.28	-88.28	118.11	-98.11

Taula 18 - Atenuació i potència Wi-Fi

Amb aquestes dades i la sensibilitat del receptor, s'obindrà la velocitat d'accés segons la distància:

Lloc	150 m	200 m	300 m
Ajuntament	Entre 18 i 36Mbps	Entre 6 i 11Mbps	Menys de 2Mbps
Bruc Residencial	Entre 11 i 18Mbps	Entre 6 i 11Mbps	Menys de 2Mbps
Montserrat Parc	Entre 11 i 18Mbps	Entre 6 i 11Mbps	Menys de 2Mbps

Taula 19 - Velocitat indrets característics

5.3.6 Conclusions dels mètodes empírics per al càlcul de pèrdues de propagació

En el present apartat s'han analitzat alguns dels diferents mètodes empírics per al càlcul de pèrdues per propagació de forma teòrica. Tant COST-231 com Erceg degut a les seves característiques han estat els mètodes més indicats per al càlcul de cobertura, permetent obtenir dades teòriques sobre el funcionament de la xarxa d'accés a l'usuari en indrets exteriors i interiors del municipi.

Per una banda, amb el mètode COST-231 s'han analitzat els efectes negatius de les pèrdues per propagació en interiors, demostrant que per a al model D-LINK s'obtidran velocitats fins a 54Mbps per a pocs obstacles i amb una distància de al voltant de 15 metres. Afegint obstacles i distància anirà disminuint l'ample de banda progressivament, obtenint dades significatives del comportament del dispositiu en recintes interiors com biblioteques, o bé llocs públics als que posteriorment es vulguin afegir punts d'accés.

D'altra banda, amb el mètode Erceg s'ha pogut verificar que per a paràmetres com l'alçada del emissor i receptor, freqüències i un entorn amb obstacles a l'exterior, la distància de cobertura de fins a 300 metres oferiria al voltant dels 2Mbps, oferint una QoS acceptable per al tipus de servei gratuït amb velocitats de fins a 256Kbps que es vol implementar.

5.4 Canals de cobertura Wi-Fi

L'estàndard 802.11 introdueix els canals útils que s'indiquen a la dreta amb la seva corresponent freqüència central i que van de 2400 a 2474 MHz.

Cada canal té un ample de banda de 22,5 MHz. Així doncs, es fan servir 11.25MHz per a la part superior i per a la part inferior respectivament. Com que l'ampla de banda del canal és de 22.5 MHz i hi ha una separació entre els canals de 5MHz, es pot observar que existirà solapen entre ells.

D'aquesta forma es pot veure que només hi ha 3 canals no interferents, es a dir, seran no interferents tots els canals que estiguin separats per 5 o més canals entre si.

Canals de 802.11:	
Canal 01:	2.412 Ghz.
Canal 02:	2.417 Ghz.
Canal 03:	2.422 Ghz.
Canal 04:	2.427 Ghz.
Canal 05:	2.432 Ghz.
Canal 06:	2.437 Ghz.
Canal 07:	2.442 Ghz.
Canal 08:	2.447 Ghz.
Canal 09:	2.452 Ghz.
Canal 10:	2.457 Ghz.
Canal 11:	2.462 Ghz.

Figura 50 - Canals Wi-Fi

Per a poder evitar problemes com col·lisions degut al solapament, i que aquests problemes afectin tant al QoS com disminuir la velocitat de transferència global, es decidirà seleccionar canals no interferents entre ells.

Així els canals escollits podrien ser el 1, el 6 o el 11, a fi d'aconseguir tres canals, o d'altra banda el 2 i 7, o bé el 3 i 8, però en aquest casos només es disposaria de dos canals.

Seguint aquestes premisses tindrem que la representació de la xarxa podria ser la següent, fent la repartició indicada anteriorment per als canals.

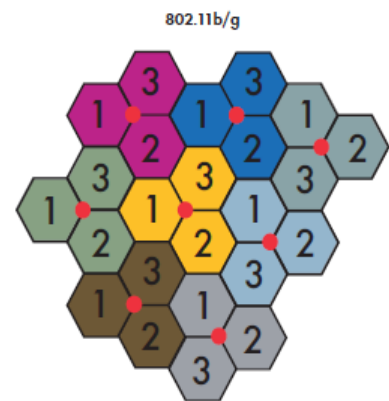


Figura 51 - Canals 802.11 b/g

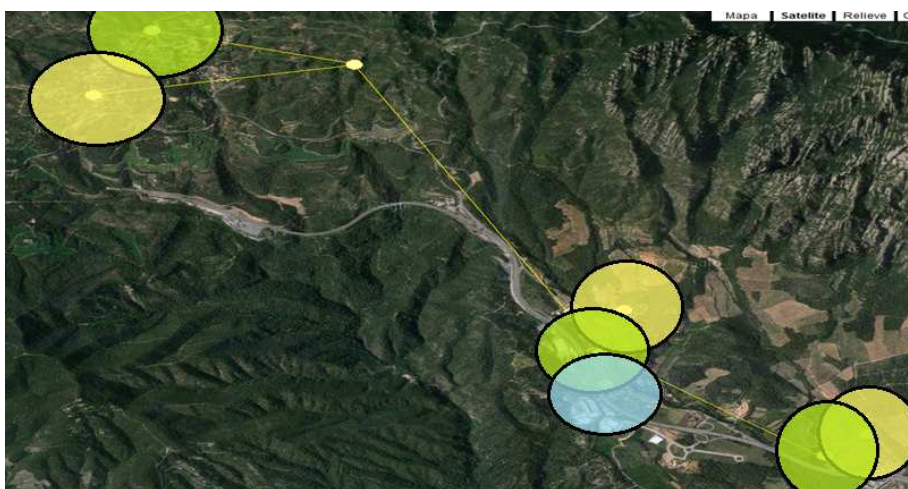


Figura 52 - Distribució dels canals per al municipi

6. SIMULACIÓ

6.1 Simulacions de la xarxa de transport amb XIRIO Online



Figura 53 - Xirio Online

Xirio Online¹² és una eina d'estudi radioelèctric que permet fer simulacions professionals amb una interfase molt intuïtiva, ràpida i eficient, juntament amb l'ús de cartografia d'alta resolució.

La aplicació està pensada per ser el més fiable possible. Fent servir el motor de Google Maps permet realitzar emulacions molt properes a la realitat amb un gran nivell de detall i fiabilitat.

A més, la inclusió d'una gran ventall d'elements que es poden configurar com l'ús de tot tipus d'emissors i receptors sense fils, o bé capes altimètriques per a assignar cotes sobre el nivell del mar a cada píxel i amb l'alçada dels edificis, fan que sigui l'eina ideal per a l'estudi de xarxes de tecnologies sense fils de banda ampla, com WiMAX i Wi-Fi.

En concret, l'opció PLANNINGTOOL de Xirio Online és la que permetrà realitzar planificacions radioelèctriques. Es tracta d'una aplicació que té una part gratuïta amb la possibilitat de crear fins a 5 estudis de perfils radioelèctrics diaris, i una part de pagament que depèn de l'ús amb una qualitat de detall més alta.

Amb l'objectiu de fer la simulació del projecte es crearan 7 perfils radioelèctrics que formaran els radioenllaços de l'escenari acordat. Tot seguit es mostrarà la creació del primer radioenllaç punt a punt que va del Ajuntament del Bruc al Bruc Residencial, els posteriors radioenllaços es crearan de la mateixa forma amb el programari.

Primerament es selecciona l'opció crear nou estudi:

Per a crear un nou estudi i dissenyar un nou radioenllaç es selecciona la banda ampla sense fils WiMAX amb un servei fixa de 5,8GHz i canal de 10MHz.

Crear nuevo estudio

Seleccione un tipo de estudio

Perfil	Estudio de perfil:
<input type="radio"/> Cobertura	Un perfil es un estudio radioelectrico que analiza la disminucion de la señal eléctrica en una línea que une un transmisor con un receptor. Leer más
<input type="radio"/> Cobertura multitransmisor	
<input type="radio"/> Red de transporte	
<input type="radio"/> Altura efectiva	

Seleccione un servicio o tecnología

Categoría:	Banda Ancha Inalámbrica
Subcategoría:	WIMAX Fijo 5,8 GHz
Servicio:	WIMAX fijo 10 MHz

Figura 54 - Menú crear nou estudi

¹² <http://www.xirio-online.com/>

Selecció de les propietats del perfil:

A continuació apareixen les propietats del perfil creat, en aquest cas es crearà un element transmissor i un d'emissor. A més, es pot seleccionar el mètode de càlcul per l'estudi.



Figura 55 - Menú propietats de perfil

Selecció de les propietats dels medis de càlcul:

Per al càlcul es farà servir el mètode estàndard ITU-R (International Telecommunication Union for Radiocommunication Sector), concretament el 526-11 en tractar-se d'un mètode per a entorns rurals i mixtes amb cartografia amb bona resolució. Es seleccionarà un model de càlcul "Obstáculo filo cuchillo" per a que qualsevol obstacle es tingui en compte a l'estudi.

Altres paràmetres d'interès seran la permitivitat del medi relativa que es posarà amb valor 5 per defecte, la conductivitat amb 0,005 S/m i la penetració del senyal a edificis, indicant que el receptor s'ubicarà a la teulada.

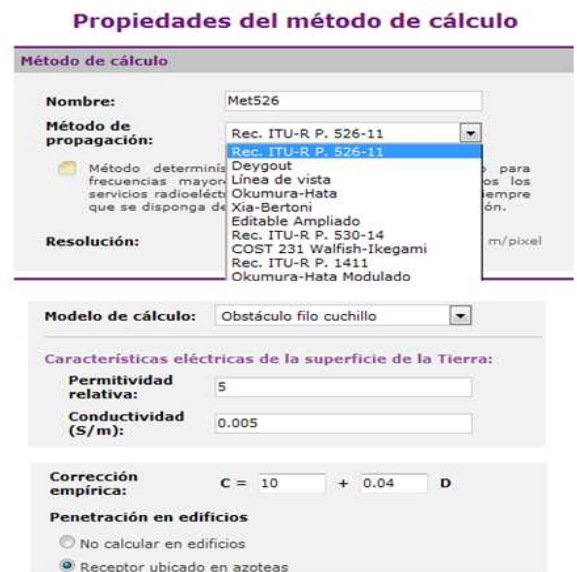


Figura 56 - Menú propietats del mètode de càlcul

Creació del transmissor i del receptor:

Alhora de crear el transmissor, es selecciona l'ubicació de l'ajuntament del bruc, i es modifiquen els següents paràmetres:

- Polarització vertical
- Freqüències de transmissió de 5475 a 5725
- Alçada de l'antena des del terra de 20 metres
- Potència de transmissió 14.5dBm, tal com s'havia calculat anteriorment per al PIRE
- L'orientació i la inclinació es determinaran automàticament pel programa en col·locar el receptor.

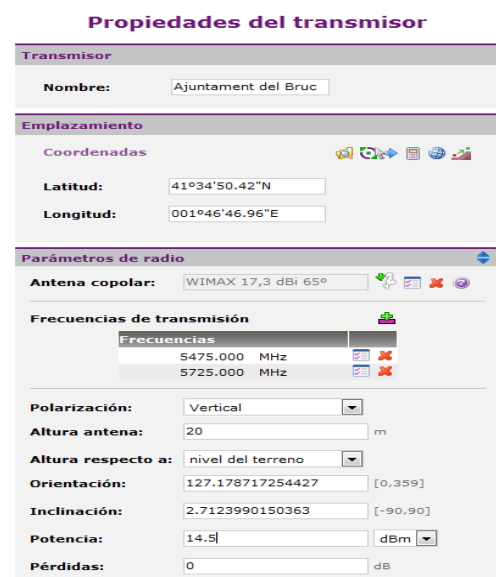


Figura 57 - Propietats del transmissor

Configuració de l'antena sectorial de 65° per a donar un guany de 16dBi.

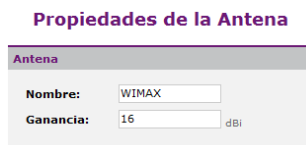


Figura 58 - Guany de la antena

En quant al receptor, únicament caldrà configurar l'alçada de l'antena. En aquest cas per al Bruc Residencial Oest serà de 10 metres i el marge de recepció serà de -88dBm.

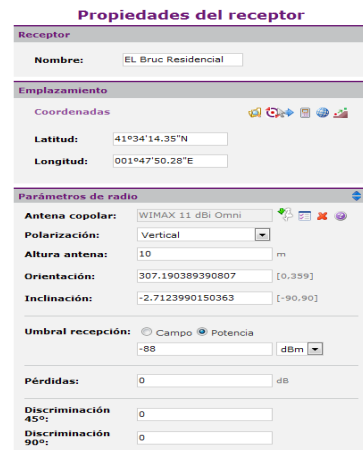


Figura 59 - Propietats del receptor

Una vegada creat l'estudi **Radioenllaç PUNT a PUNT (Ajuntament del Bruc – Bruc Residencial)** es pot veure el senyal del transmissor al receptor en groc, tal com es mostra a l'imatge del costat.

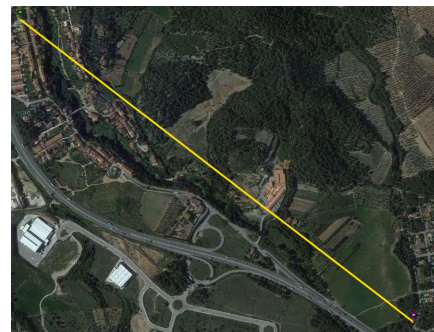


Figura 60 - Radioenllaç creat punt a punt

Realització del càlcul de l'estudi:

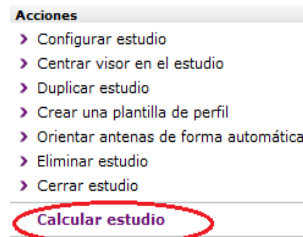


Figura 61 - Creació de l'estudi

Una vegada finalitzat el càlcul, XIRIO mostra els resultats de manera visual, en aparèixer el senyal de color verd el programari indica que el radioenllaç creat es correcte, i en efecte no es troben obstacles en el seu camí. Aquest factor bé donat per l'opció de configuració "Obstaculo filo cuchillo" amb la qual, en trobar-se amb un obstacle que interfereixi en la línia del senyal es mostraria un tram de color vermell.



Figura 62 - Verificació del radioenllaç

A la figura següent es pot apreciar el resultat de l'enllaç indicat, al qual hi arriben al voltant de -71dBm al receptor, sent suficient per a entrar dintre del llindar de percepció del receptor. També, es pot apreciar l'el·lipse de Fresnel, el perfil orogràfic, la curvatura de la terra, o bé el Raig directe amb la següent correspondència:



Figura 63 - Perfil topogràfic

Altre dades d'interès són el nivell de senyal en vers de la distància:

Informe de perfil

Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
0	488,57	---
0,4	467,61	-60,6
0,8	444,36	-65,62
1,2	429,91	-68,17
1,6	412,45	-70,38
1,841	411,34	-71,07

Figura 64 - Informe del perfil

Seguint el mateix procediment que l'anterior i a fi de crear el radioenllaç, es crearan la resta d'estudis fins a completar l'estructura de la xarxa de transport del projecte. Com és pot veure a continuació el desplegament del senyal es correcte i no hi han obstacles que deteriorin el senyal.

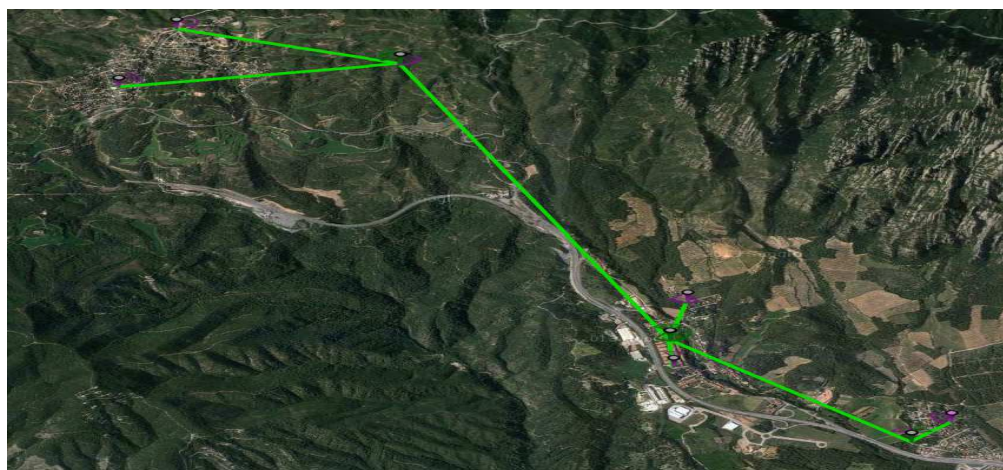


Figura 65 - Implementació dels radioenllaços

Finalment els estudis creats seran els següents:

- Estudios
- Ajuntament - El Bruc de baix
- Ajuntament - El Bruc Residencial
- Ajuntament - Estació Píscina
- Ajuntament - Estació rural Sant Pau de la Guàrd
- El Bruc Residencial RPT - Bruc Residencial 2
- Estacio Guàrdi - Montserrat Parc
- Estacio Guàrdi - Sant Pau de la Guàrdia

Figura 66 - Estudis dels radioenllaços

Perfil de radioenllaç d'exemple per a la zona rural Sant Pau de la Guàrdia a la urbanització.

Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
0	692,78	---
0,4	672,25	-63,61
0,8	655,81	-67,36
1,2	667,66	-68,06
1,413	665,25	-69,26

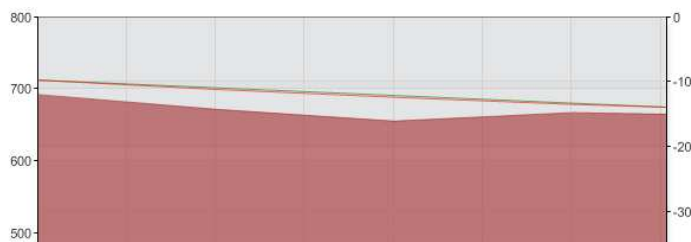


Figura 67 - Perfil topogràfic i nivell del senyal del primer radioenllaç

Perfil de radioenllaç d'exemple per a la zona rural Sant Pau de la Guàrdia a Montserrat Parc.

Distancia (km)	Cota (m)	Nivel de señal (dBm)
0	692,78	---
0,4	652,36	-67,59
0,8	641,87	-66,88
1,2	654,56	-68,25
1,6	625,27	-70,61
1,732	624,92	-71,03

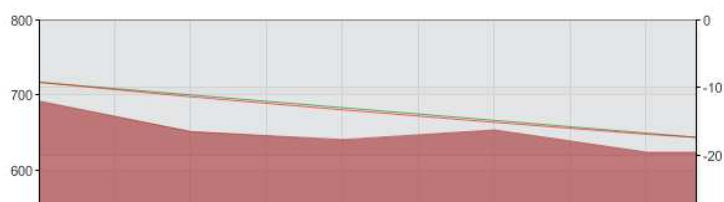


Figura 68 - Perfil topogràfic i nivell del senyal del segon radioenllaç

Tot i que en el gràfic sembla que hi ha perfils molt ajustats, cal dir que el senyal arriba directament sense trobar-se obstacles de tipus orogràfic ni de vegetació. A més, com mostra el nivell del senyal en les dades i en el gràfic, es pot veure que l'el·lipsoide de Fresnel també queda fora d'obstacles.

A continuació es pot veure el resum dels enllaços amb les alçades de les antenes respecte del terra i l'orientació i la inclinació d'aquestes seleccionades per XIRIO per defecte.

Enllaç		Punt enllaç inicial		Punt enllaç final		
Tipus d'enllaç	Distancia	Alçada enllaç i antena	Orientació/ Inclinació	Alçada enllaç i antena	Orientació/ Inclinació	Potencia (dBm)
Ajuntament – Bruc Residencial	1841m	487m i 20m	127.178 2.712	412m i 10m	307.1907 -2.712	-71.07
Ajuntament – Bruc zona Nord	423m	487m i 20m	14.577 -0.910	506m i 10m	194.578 0.910	-55,41
Ajuntament – Bruc zona Sud	303m	487m i 20m	175.662 4.834	470m i 10m	355.662 -4.834	-58,78
Ajuntament – Zona rural de Sant Pau de la Guàrdia	3417m	487m i 20m	331.329 -3.253	698m i 20m	151.316 3.253	-73.76
Zona rural de Sant Pau de la Guàrdia – Montserrat Parc	1732m	698m i 20m	261.534 2.409	626m i 10m	81.520 -2.409	-71,03
Zona rural – Sant Pau de la Guàrdia	1413m	698m i 20m	285.510 1.521	663m i 10m	105.499 -1.521	-69,26
El Bruc Residencial Oest –Est	322m	412m i 20m	48.908 0.1405	420m i 10m	228.910 -0.1405	-55,89

Taula 20 - Resum de les característiques dels radioenllaços

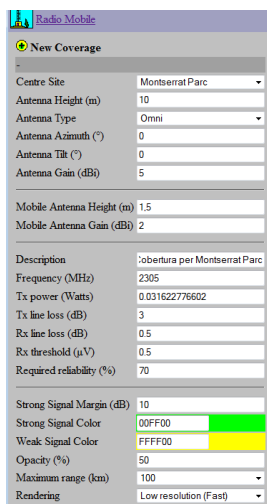
Finalment, es pot veure que la potencia rebuda al receptor es superior als -75dBm que s'havien d'assolir segons el fabricant de les unitats WiMAX per a obtenir la velocitat dels 35Mbps.

6.2 Simulacions de la xarxa de dades amb Radio Mobile Online

Amb la finalitat de simular la xarxa d'accés es farà servir el programari Radio Mobile Online. Aquest, com l'anterior, permet la visualització del senyal generat per elements radioelèctrics depenent de la orografia del terreny i les atenuacions que aquest introdueixi. A més, es pot configurar segons la freqüència de transmissió i els paràmetres del propi transmissor com el guany, la potencia transmesa i l'altura del dispositiu receptor.

L'únic inconvenient es percep en que no permet introduir freqüències de 2400 MHz i en el seu lloc s'introduirà una freqüència propera de 2305 MHz i superior que permetran fer una idea aproximada de la cobertura.

Així doncs, es configuraran els terminals amb les alçades anteriorment utilitzades i d'altres paràmetres.



- Altura de la antena 10 metres
- Tipus d'antena omnidireccional
- Guany de l'antena de 5Gbi
- Alçada de la antena del receptor 1,5 metres
- Freqüència 2305MHz
- Potencia (Tx) en watts 0.031622776602 i 15dB
- Pèrdues de línia (Tx) de 3dB
- Pèrdues de línia (Rs) és de 0,5dB

Figura 69 - Creació de nova cobertura Wi-Fi

Finalment, es crearà una cobertura per a dos transmissors Wi-Fi que presentarà les següents característiques anteriors. Es pot veure en les imatges posteriors que per al rang de freqüències entre 2305 i 3300 MHz respectivament, el senyal es prou robust tant a Montserrat Parc i Sant Pau de la Guàrdia, i es comprova que cobreixen gairebé tota la superfície.

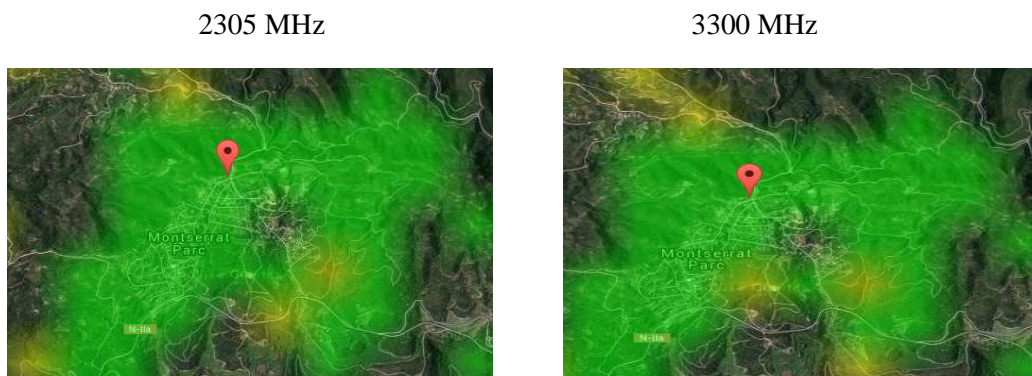


Figura 70 - Senyal per a 2305 MHz i 3300MHz

I segons els canals la distribució serà la següent:



Figura 71 - Senyal Wi-Fi Sant Pau de la Guàrdia i Montserrat Parc

Per a les mateixes característiques d'atenuació en el Bruc Residencial i el Bruc obtenim el mateix resultat, però modificant l'alçada de l'antena es pot apreciar que la cobertura també es correcta.

El Bruc Residencial



Figura 72 - Senyal Wi-Fi del Bruc Residencial

El Bruc

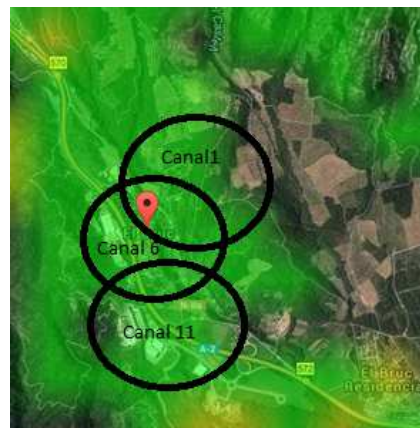


Figura 73 - Senyal Wi-Fi del Bruc

Aspectes importants:

- Alhora de realitzar la planificació s'ha de tindre en compte que en cadascuna de les entitats del municipi no hi han edificis alts, sinó normalment cases petites de com a molt tres plantes d'alçada. Com els transmissors es col·locaran en llocs alts, l'atenuació per aquesta causa hauria de disminuir i l'abast hauria d'augmentar.
- Aquest aspecte redueix significativament el número de punts d'accés necessaris per a cobrir la zona.
- Degut als diferents canals introduïts per a cada AP en les diferents zones s'aconsegueixen evitar les interferències.

7. IMPLANTACIÓ

Una vegada realitzat l'estudi per al disseny de la xarxa, es portaran a terme les accions necessàries per a implantar-la. En els següents apartats s'indicaran aspectes generals per al seu desplegament, com els participants, o bé les fites i els passos a seguir fins a la posta en marxa del servei.

7.1 Participants

Com a primera previsió, es preveuen les següents parts implicades:

- L'ajuntament, com a ens interessat en l'implementació de la solució serà el responsable que garantirà els recursos econòmics i decidirà la viabilitat del projecte mitjançant l'estudi dels riscos i els avantatges per a la seva aplicació.
- L'equip tècnic estarà format per professionals que s'encarregaran de la supervisió, manteniment dels equipament necessaris i el desenvolupament de la solució junt amb la seva implantació.
- Amb l'objectiu de complir amb els requeriments legals, es disposarà:
 - Per una banda, del equip d'assessorament tècnic de l'ajuntament que estudiarà el compliment de la normativa de telecomunicacions de desplegament de les antenes i situació dels emissors.
 - D'altra banda, per a complir amb la normativa vigent en relació al drets legals dels usuaris i l'administració, es contractaran serveis externs per a l'elaboració de la documentació i els recursos legals de manera puntual.
- Els operadors de telecomunicacions s'encarregaran d'aspectes com la QoS, suport a nivell de WAN i accions en cas de mal funcionament del servei o fallada.
- El departament administratiu de l'ajuntament que redactarà i elaborarà l'informació sobre l'iniciativa als usuaris finals amb les característiques del producte i la forma d'ús.

7.2 Recursos tècnics

Es necessitarà contractar a un nou tècnic per a la plantilla de l'ajuntament que s'incorporarà a l'equip informàtic de l'ajuntament, les funcions d'aquest seran la supervisió de la xarxa i manteniment en cas d'incidències.

D'altra banda, com a mesura puntual es contractaran quatre operaris per al desplegament de la xarxa, instal·lar les torres de telecomunicacions i col·locació dels dispositius. Aquest procés serà supervisat per un enginyer de telecomunicacions.

El procés d'instal·lació dels operaris durarà 12 dies, es a dir, gairebé dos setmanes i mitja laborals. En canvi l'enginyer, a més de la supervisió anterior, haurà de realitzar la documentació amb un treball addicional de 2 setmanes més, posteriors a la instal·lació.

L'equip informàtic de l'ajuntament serà l'encarregat d'instal·lar els servidors, tallafocs, commutadors i equips d'administració en la sala de servidors del ajuntament, i finalment, posar apunt el programari per a la xarxa WiMAX. A més, aquest mateix departament serà el responsable de la distribució d'adreces IP, administració de la xarxa i seguretat mitjançant la configuració del tallafocs, regles de seguretat per a l'accés amb IPTables i el control dels paquets amb programari com SNORT.

Una vegada realitzada la implantació, tests de la xarxa i posta a punt, s'informarà als usuaris amb fulls informatius sobre la forma d'ús de la xarxa. Per realitzar aquesta tasca l'equip informàtic de l'ajuntament treballarà amb el de documentació administrativa.

7.3 Relació activats a realitzar

Una vegada aprovat el projecte i contractats els serveis externs per al desplegament de la xarxa, es realitzarà la implantació de forma seqüencial en els següents passos:

- Instal·lació del maquinari a l'ajuntament, verificació dels servidors i maquinari (2 setmanes laborals)
- Instal·lació de la BS a l'ajuntament i el punt d'usuari al Bruc Residencial (2 dies)
- Verificació dels resultats per l'equip informàtic amb la col·laboració dels operaris per a la connexió amb el Bruc Residencial (1 dia)
- Instal·lació del repetidor a Sant Pau de la Guàrdia i plaques solars per a l'abast (2 dies)
- Verificació dels resultats per l'equip informàtic amb la col·laboració dels operaris per a la connexió amb Sant Pau de la Guàrdia (1 dia)
- Instal·lació del punt d'usuari a Montserrat Parc (2 dies)
- Instal·lació dels AP Wi-Fi (3 dies)
- Verificació dels resultats per l'equip informàtic amb la col·laboració dels operaris per a la connexió amb Montserrat Parc (1 dia)
- Realització de la documentació d'ús (2 setmanes laborals)

7.4 Pla de contingències

En el present apartat s'establiran els procediments necessaris a efectuar per a poder preveure imprevistos en l'àmbit del projecte tant fallades relacionades amb la implantació com a partir de la posta en marxa de la xarxa.

Per a fer front a aquest tipus de problemàtica es condició fonamental garantir la governabilitat i coordinació dels medis disponibles i poder-hi actuar degudament, es per això que l'ajuntament haurà de considerar involucrar a tots els actors definint les seves responsabilitats.

El departament informàtic de l'ajuntament, a més del suport, haurà de coordinar l'acció a portar a terme fent servir tant als operadors de telecomunicacions, com als proveïdors de serveis externs, o bé a les parts implicades en el desenvolupament de la solució.

A continuació es farà una classificació dels implicats depenent del tipus de desastre originat

Implicat	Criteri
Ajuntament	Es produeix un tipus de desastre municipal que ha de ser atès per la institució local i va més enllà del propi control de la xarxa de telecomunicacions i la seva supervisió.
Departament informàtic	En cas de produir-se un desastre que afecti tant a les instal·lacions com a la pròpia funcionalitat del sistema, el departament d'informàtica serà l'encarregat de gestionar i coordinar el procés amb els altres implicats.
Operadors de telecomunicacions	Si el problema sorgeix per la impossibilitat d'accedir a la xarxa de telecomunicacions de l'operador i per problemes aliens al propi servei local de la xarxa, l'operador de telecomunicacions haurà de posar els mitjans necessaris per a solucionar-ho.
Proveïdors de serveis	Els proveïdors de serveis, que proveiran tant el personal de implantació (tècnics i enginyers) com de material, seran els responsables de les seves actuacions i provisions alhora de desenvolupar la solució i durant l'execució d'aquesta. Així doncs, seran els principals implicats en trobar una possible manca de servei.

Taula 21 - Paper dels implicats

La taula següent mostra el resum dels possibles problemes i l'acció necessària per a la seva solució:

Problemàtica	Descripció	Acció
Manca de cobertura	Es troben indrets amb manca de cobertura durant la implementació de la xarxa.	El departament d'informàtica estudiarà la possibilitat d'ampliar la xarxa introduint repetidors addicionals.
Temps d'implantació	Imprevistos durant el temps de implantació poden fer allargar algunes fites més del suposat.	El departament informàtic avaluarà obtenir més temps de tasques posteriors, o bé contractar personal d'implantació addicional, evitant modificar la planificació global.
Seguretat de la xarxa	S'observa que una vegada implantada la xarxa els medis de seguretat previstos no són suficients, donant lloc a possibles atacs.	El departament informàtic estudiarà la possibilitat d'augmentar les restriccions d'accés, o bé introduir software addicional en els equips d'administració.
Errors en equips informàtics i de telecomunicacions	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Equips de hardware informàtic o de telecomunicacions defectuosos. ▪ Deteriorament dels equips degut a causes alienes als equips, com poden ser causes climatològiques o furts. 	En el primer cas, el departament informàtic junt amb els proveïdors del material hauran de coordinar la substitució del material defectuós. Per a evitar el segon cas, l'ajuntament haurà d'incloure les instal·lacions de telecomunicacions a la assegurança municipal.
Pressupost	Per motius com els anteriors, es necessari contractar més personal, medis o equips d'implantació.	L'ajuntament juntament amb el departament informàtic, estudiarà les necessitats i la possibilitat d'augmentar el pressupost destinat al projecte.
Fallades amb el servei proporcionat per l'operador	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manca d'ample de banda ▪ Aturades del servei 	L'operador haurà de ser el responsable del restabliment del servei i la QoS d'aquest complint amb les condicions contractuals amb l'ajuntament. El departament d'informàtica haurà de portar el control i la quantificació d'aquests.
Errors relacionats amb la xarxa local	Es poden produir aturades degut a problemes puntuals o mal funcionament dels equips.	El departament d'informàtica haurà de controlar contínuament la xarxa per a anticipar-se a errors, i solucionar-los amb l'equip informàtic, o bé amb la col·laboració de proveïdors de serveis.

Taula 22 - Casos de contingència

8. ANÀLISIS I VIABILITAT ECONÒMICA DEL PROJECTE

8.1 Pressupost

Tipus	Proveïdor	Quantitat	Preu unitat	Preu total
Tecnologia WiMAX				
Estació base (Albentia AXS-BS-150)	Gigacableados	1 Unitat	3275	3275
Estació d'usuari (AXS-CPE-100)		5 Unitats	661	3305
Estació repetidora (Albentia RPT 54)		2 Unitats	1132,5	2265
Tecnologia Wi-Fi				
AP (D-LINK Air Premier 802.11g)	Ciudadwirlless	7 Unitats	160,31	1122,17
Atenes				
Antenes sectorials (CYB SEC5G 16db/65º)	Sustiendas	5 Unitats	92,28	461,4
Pals d'antena		8 Unitats	100	800
Sistemes d'administració i seguretat de xarxa				
Sistema de gestió (Albentia AMS System)	Albentia	1 Unitat	950	950
Servidor (Power Edge VRTX)	Dell	1 Unitat	7422,6	7422,6
SAI (Lapara 3000VA/2400W)	Lapara	1 Unitat	749,99	749,99
Switch (TP-LINK TL-SG1048)	D-Link	1 Unitat	294	294
Tallafocs (D-link netdefenders)	D-link	1 Unitat	339,20	339,20
Unitats de muntatge				
Cablejat per a la xarxa elèctrica, ethernet i connectors	Altres	1 Unitat	500	500
Altres serveis				
Ma d'obra	4 Tècnics de telecomunicacions	96 hores	30euro/hora	11520
	1 Enginyers de telecomunicacions	176 hores	40euro/hora	7040
Disseny de la xarxa i simulacions	1 Enginyer de telecomunicacions	200 hores	40euro/hora	8000
Documentació per a l'usuari	Proveïdor ajuntament	500 Unitats	0,5	250
Documentació per a l'ajuntament	Equip informàtic	1 Unitat	1500	1500
TOTAL preu en euros amb iva inclòs	48.794 euros			

Taula 23 - Pressupost del projecte

8.2 Anàlisi de viabilitat econòmica

En tractar-se d'un projecte d'accés gratuït a Internet per als serveis de l'ajuntament, tot el pes de les despeses ha de recaure sobre l'erari públic de forma que per a garantir la seva viabilitat ha estat necessari ajustar el pressupost el màxim possible.

S'escolliran els productes més econòmics i intentar-ne reduir la quantitat d'ells. S'estima que la inversió principal serà la inicial degut a la compra dels equips, la posta en marxa de les instal·lacions i contractació d'equips.

Amb l'objectiu de mitigar aquestes despeses l'ajuntament pot fer tot tipus de mesures com fer servir la intranet municipal per a col·locar publicitat dels comerciants locals, o bé de tercers interessats amb la fi de pal·liar les despeses del projecte.

D'altra banda, el fet d'aconseguir reducció de les despeses derivats dels productes d'informació tradicionals com són documents municipals enviats als ciutadans, contractar personal per a enquestes presencials, i d'altres com la possibilitat d'informar als usuaris d'esdeveniments al municipi en tot

moment, o bé la agilització dels tràmits amb l'administració del municipi, garanteixen aconseguir un municipi més eficient i sostenible. I així mateix, l'augment de la satisfacció dels habitants del municipi en relació les administracions públiques.

Tenint el precedent que aquest tipus de projectes ja s'han posat en marxa per a altres localitats i són completament viables econòmicament, es garanteix que amb una correcta utilització dels recursos i tecnologia es pot arribar al resultat esperat.

Finalment, les principals premisses que han de prevaler per a l'implantació i manteniment de la xarxa aconseguint la viabilitat del projecte són:

- Desplegament de la xarxa minimitzant les despeses en relació a la quantitat dels elements a introduir i el seu preu, tot i garantint la qualitat del servei.
- Personal tècnic i tercers amb experiència acreditada en el sector.
- Prioritzar en el desenvolupament les necessitats essencials del projecte.
- Minimització de les despeses de manteniment post desplegament i recursos humans.

9. CONCLUSIONS

L'estudi del present projecte ha tingut la finalitat de mostrar la viabilitat de desenvolupar una xarxa sense fils en un municipi amb una orografia complicada envoltat de múltiples canvis d'alçada, i que mitjançant l'ús de les tècniques tradicional amb fils hagués resultat molt més complex i costos tant d'implementar com econòmicament.

L'aplicació de la solució ideada permetrà que els usuaris puguin consultar les pàgines de l'ajuntament i dedicades a la seva activitat en tot l'àmbit municipal, com l'ús d'Internet en espai públics, mantenint informats en tot moment al ciutadans d'esdeveniments al poble i millorant la imatge de l'administració de cara als ciutadans.

El municipi del Bruc assolirà amb aquesta propòsit, per una banda, la fita d'adaptar-se a les noves tecnologies per garantir als seus habitants informació actualitzada, la reducció despeses i temps deguts a temes burocràtics i de propaganda municipal. I d'altra banda, amb la finalitat de realitzar mesures per augmentar la col·laboració amb la ciutadania i millorar l'imatge del consistori.

La implantació s'ha regit per trets com la sostenibilitat amb el medi ambient, minimitzar les despeses, aconseguir una qualitat del servei adequada i l'escalabilitat, creant escenaris representatius que accentuen cadascuna d'aquestes característiques, i triant el més beneficiós i equilibrat per a la solució.

En definitiva, s'han designat els passos que seran una guia per al desplegament de la xarxa real amb la relació de les activitats a desenvolupar i les possibles contingències, tot junt amb un pressupost ajustat i garantint d'aquesta forma la viabilitat del projecte.

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1 - Imatge de la zona del Bruc i el Bruc residencial	6
Figura 2 - Fites importants de la planificació.....	9
Figura 3 - Diagrama de Gantt.....	9
Figura 4 - Distribució del municipi.....	10
Figura 5 - Característiques del municipi Idescat	10
Figura 6 - El Bruc.....	11
Figura 7 - El Bruc Residencial	11
Figura 8 - Sant Pau de la Guàrdia , Montserrat Parc	11
Figura 9 - Entitats de població IDESCAT.....	11
Figura 10 - Evolució de la població els últims 15 anys.....	12
Figura 11 - Evolució saldos migratoris 2005-2013	12
Figura 12 - Hàbits d'ús del ordinador i Internet per freqüència, lloc i edat.	12
Figura 13 - Hàbits d'ús del ordinador i Internet per comarques i àmbits.....	13
Figura 14 - Equipament TIC a les llars a l'any 2013.	13
Figura 15 - Tipus de xarxes sense fils	16
Figura 16 - LMDS	18
Figura 17 - PtP i PtM.....	23
Figura 18 - Arquitectura Mesh	23
Figura 19 - Diagrama vertical horitzontal	25
Figura 20 - Antena Omnidireccional.....	25
Figura 21 - Escenari A.....	28
Figura 22 - Radioenllaç 1	29
Figura 23 - Perfil orogràfic radioenllaç 1	29
Figura 24 - Punt a multipunt (radioenllaç 2 i 3).....	29
Figura 25 - Perfil orogràfic radioenllaç 2.....	29
Figura 26 - Perfil orogràfic radioenllaç 3.....	30
Figura 27 - Radioenllaç 4.....	30
Figura 28 - Perfil orogràfic radioenllaç 4.....	30
Figura 29 - Radioenllaços 5,6,7 i 8	30
Figura 30 - Radionellaç 5	30
Figura 31 - Perfil orogràfic radioenllaç 5.....	31
Figura 32 - Radioenllaç 6.....	31
Figura 33 - Perfil orogràfic radioenllaç 6.....	31
Figura 34 - Radioenllaç 7.....	31
Figura 35 - Radioenllaç 8.....	31
Figura 36 - Perfil orogràfic radioenllaç 8.....	31
Figura 37 - Perfil orogràfic del Ajuntament a Sant Pau de la Guàrdia.....	32
Figura 38 - Zones natural del municipi	32
Figura 39 - Escenari B.....	32
Figura 40 - Radioenllaç 10.....	33
Figura 41 - Perfil orogràfic radioenllaç 10.....	34
Figura 42 - Radioenllaç 11	34
Figura 43 - Perfil orogràfic radioenllaç 11	34
Figura 44 - Radioenllaç 12.....	34

Figura 45 - Perfil orogràfic radioenllaç 12.....	34
Figura 46 - Disseny de la xarxa al municipi.....	36
Figura 47 - Torre de telecomunicacions habitual.....	38
Figura 48 - Torre arbre.....	38
Figura 49 - Programa Snort.....	41
Figura 50 - Canals Wi-Fi.....	49
Figura 51 - Canals 802.11 b/g.....	49
Figura 52 - Distribució dels canals per al municipi.....	49
Figura 53 - Xirio Online.....	50
Figura 54 - Menú crear nou estudi.....	50
Figura 55 - Menú propietats de perfil.....	51
Figura 56 - Menú propietats del mètode de càlcul.....	51
Figura 57 - Propietats del transmissor.....	51
Figura 58 - Guany de la antena.....	52
Figura 59 - Propietats del receptor.....	52
Figura 60 - Radioenllaç creat punt a punt.....	52
Figura 61 - Creació de l'estudi.....	52
Figura 62 - Verificació del radioenllaç.....	52
Figura 63 - Perfil topogràfic.....	53
Figura 64 - Informe del perfil.....	53
Figura 65 - Implementació dels radioenllaços.....	53
Figura 66 - Estudis dels radioenllaços.....	53
Figura 67 - Perfil topogràfic i nivell del senyal del primer radioenllaç.....	54
Figura 68 - Perfil topogràfic i nivell del senyal del segon radioenllaç.....	54
Figura 69 - Creació de nova cobertura Wi-Fi.....	55
Figura 70 - Senyal per a 2305 MHz i 3300MHz.....	55
Figura 71 - Senyal Wi-Fi Sant Pau de la Guàrdia i Montserrat Parc.....	56
Figura 72 - Senyal Wi-Fi del Bruc Residencial.....	56
Figura 73 - Senyal Wi-Fi del Bruc.....	56

ÍNDIX DE TAULES

Taula 1 - Ample de banda per entitat	13
Taula 2 - Tecnologies WPAN	17
Taula 3 - Tecnologies WWAN.....	18
Taula 4 - Estàndards Wi-Fi	20
Taula 5 - Modulació 802.11b	21
Taula 6 - Modulació 802.11a/g	21
Taula 7 - Tipus d'estàndards WiMAX.....	23
Taula 8 – Tipus d'antenes direccionals	26
Taula 9 - Escenari A.....	28
Taula 10 - Escenari B	33
Taula 11 - Components WiMAX	37
Taula 12 - Punts d'accés	38
Taula 13 - Elements xarxa de administració	39
Taula 14 - Velocitat dels diferents radioenllaços	42
Taula 15 - Velocitat i usuaris per zones	43
Taula 16 - Velocitat en vers de la distancia.....	46
Taula 17 - Taula de valors SUI	47
Taula 18 - Atenuació i potencia Wi-Fi.....	48
Taula 19 - Velocitat indrets característics	48
Taula 20 - Resum de les característiques dels radioenllaços.....	54
Taula 21 - Paper dels implicats	59
Taula 22 - Casos de contingència.....	59
Taula 23 - Presupost del projecte	60

GLOSSARI.

3DES (Triple Data Encryption Algorithm). Algorisme de xifratge de dades triple.

BS (Base Station). Estació base.

CMT. Comissió del Mercat de les Telecomunicacions.

CPE (Customer Premises Equipment). Equipament local del client

DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying). Modulació diferencial binària per desplaçament de fase.

DECT (Digital European Cordless Telecommunication). Telecomunicacions digital europea sense fils.

DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying). Modulació diferencial en quadratura per desplaçament de fase.

DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum). Espectre eixamplat per seqüència directa.

ECC (Electronic Communication Committee). Comitè de comunicacions electrònic.

EIRP/PIRE (Equivalent Isotropically Radiated Power). Potència isotròpica radiada equivalent.

FDM (Frequency Division Multiplexing). Multiplexació per divisió de freqüència.

GPRS (General Packet Radio Service). Servei general de radio per paquets.

GSM (Global System for Mobile Communications). Sistema global per a comunicacions mòbils.

IDESCAT. L' institut nacional d'estadística de Catalunya.

IDS (Intrusion Detection System). Sistema de detecció d'intrusos.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Instituto d'enginyera Eléctrica i Electrónica.

INE (Institut nacional d'estadística).

IRDA (Infrared Data Association). Associació de informació infraroja.

ITU (International Telecommunication Union)

ITU-R (International Telecommunication Union for Radiocommunication Sector)

LMDS (Local Multipoint Distribution Service). Servei de distribució local multipunt.

LOS (Line of Sight). Amb línia de visió

LTE (Long Term Evolution). Evolució a llarg temps.

MAC (Media Access Control). Control d'accés al medi.

NFC (Near Field Communications). Comunicació sense fils de curt abast.

NLOS (Non Line of Sight). Sense línia de visió.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexin). Multiplexació per divisió de freqüència ortogonal.

OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Múltiple Access). Access múltiple per divisió de freqüència ortogonal.

OSI (Open System Interconnection). Model d'interconnexió de sistemes oberts.

PSK (Phase Shift Keying). Desplaçament de fase.

QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Modulació de quadratura en amplitud.

QoS (Quality of Service). Qualitat de servei.

RFID (Radio Frequency Identification). Identificació de radio freqüència.

RSA (Rivest, Shamir y Adleman).

TDM (Time Division Multiplexing). Multiplexació per divisió de temps.

TDMA (Time Division Multiple Access). Accés múltiple per divisió de temps.

TIC. Tecnologies de la Informació i Comunicació.

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Sistema telecomunicacions mòbil universal.

UWB (Ultra Wide Band). Banda ultra ampla.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Interoperabilitat mundial per accés per microones.

WLAN (Wireless Local Area Network). Xarxes locals sense fils.

WMAN (Wireless Metropolitan Access Network). Xarxes metropolitanes sense fils.

WPAN (Wireless Personal Area Network Xarxes). Àrea personal sense fils.

WWAN (Wireless Wide Area Network). Xarxes de gran abast sense fils.

BIBLIOGRAFIA.

- [1] **Lamelas A.Material. Observatorio tecnologico.** Equipamiento tecnológico. **[edició online]**. Accessible en URL: <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/fr/equipamiento-tecnologico/redes/349-andres-lamelas-torrijos>.Data de consulta: 03/11/2014.
- [2] **Organització Albentia.** Bandes lliures i llicenciades.**[edició online]**. Accessible en URL: http://www.albentia.com/Docs/WP/ALB-W-000005sp_LibrevsLicenciada_A3.pdf.Data de consulta: 13/11/2014.
- [3] **Organització Albentia.** Productes WiMAX.**[edició online]**. Accessible en URL: <http://www.albentia.com/> .Data de consulta: 10/11/2014.
- [4] **Organització** Comisión nacional de los mercados y competencia. Circulares.**[edició online]**. Accessible en URL: <http://telecos.cnmc.es:8080/circulares>.Data de consulta: 01/11/2014.
- [5] **Organització** D-Link. Productes Firewall.**[edició online]**. Accessible en URL: <http://www.dlinkmea.com/site/index.php/site/productDetails/313>.Data de consulta: 14/11/2014.
- [6] **Organització** Ibersystems. Tecnologia WiMAX.**[edició online]**. Accessible en URL: <http://www.ibersystems.es/servicios/instalacion-redes-inalambricas/instalaciones-wimax/tecnologia-wimax/>.Data de consulta: 25/10/2014.
- [7] **Organització** Oficina municipal d'informació al consumidor de palma de Mallorca **[edició online]**. Accessible en URL: http://omic.palmademallorca.es/portal/PALMA/omic/RecursosWeb/DOCUMENTOS/1/0_56366_1.pdf.Data de consulta: 01/11/2014.
- [8] **Sauté A.Material. Comunicacions mòbils.** Comunicacions sense fils. In: Material UOC Mòdul 1.Spain: Material docent de la UOC; 2012
- [9] **Sauté A.Material. Comunicacions mòbils.** Xarxes locals i metropolitanes sense fils. In: Material UOC Mòdul 3.Spain: Material docent de la UOC; 2012
- [10] **Sauté A.Material. Comunicacions mòbils.** Xarxes personals sense fils. In: Material UOC Mòdul 2.Spain: Material docent de la UOC; 2012