Desenvolupament d'una xarxa telemàtica per a proveir accés a Internet de manera gratuïta al municipi d'Eivissa

Sergio Carrasco Mayans

ETTT

Consultor: Antoni Morell Perez

Contingut

GLOSSARI 1
ÍNDEX FIGURES 2
1. Introducció 4
1.1 Justificació 4
1.2 Planificació del Projecte 5
1.3 Productes obtinguts 6
2. Característiques del municipi 7
2.1 Geografia 7
2.2 Zones de servei 10
2.3 Localització de l'estació base 10
3. Legislació 12
4. Tecnologia a emprar 14
4.1 Estàndards sense fils 15
4.1.1 WiFi (IEE 802.11) 16
4.1.2 WIMAX (IEEE 802.16) 17
4.1.3 Banda llicenciada o no llicenciada 22
4.1.4 Seguretat a la xarxa 24
4.2 Topologia de la nostra xarxa 27
4.2.1 Malla (mesh) 27
4.2.2 Punt a Punt (Point to point) 28
4.2.3 Punt a multipunt (Point to multipoint) 29
4.3 Antenes 29
4.3.1 Antenes direccionals 29
4.3.2 Antenes sectorials 30
4.3.3 Antenes omnidireccionals 31
4.4 Servidor RADIUS 31
4.5 Firewall 34
4.6 Switch 35
4.7 Dispositius específics a emprar 35
4.7.1 Xarxa sense fils 35
4.7.2 Firewall 37
4.7.3 Servidors 38
4.7.4 Switch 38

4.8 Instal·lació física de la xarxa 38
4.8.1 Estació base 38
4.8.2 Punts d'accés 39
4.9 Configuració de la nostra xarxa 40
5. Simulació amb Radiomobile 41
5.1 Mapa d'elevació 41
5.2 Mapa topogràfic 43
5.3 Configuració de xarxa 44
5.3.1 WiMAX 45
5.3.2 WiFi 46
6. Suggeriments per a la promoció del servei 47
6.1 Difusió de l'existència del servei 47
6.2 Realitzacions d'actuacions de formació 48
7. Pressupost econòmic 49
8. Conclusions 50
9. Documentació Tècnica 51
BreezeMax Extreme 5000 51
BreezeMax Wi2 52
BreezeMax USB 250 53
Paloalto PA2020 54
Switch Enterasys C5G124-24 56
Servidor Radius (Dell PowerEdge) 58
7. Bibliografia 59

GLOSSARI

AES (advanced encryption standard). Mètode de xifratge per blocs.
ATM (Asynchronous Transfer Mode). Mètode de transferència asíncrona
CMT. Comissió del Mercat de les Telecomunicacions.
CPE (Customer Premises Equipment). Equip local del client.
EAP. Un dels protocols que permet la comunicació entre un punt d'accés i un servidor d'autenticació en xarxes 802.11.
ESS. Conjunt de BSS interconnectades en l'estàndard 802.11.
IEEE. Institut d'estàndards Electrònics a nivell internacional.
LOS. (line of sight) Referent a equips amb línea de visió directe entre ells.
MAC. Capa d'accés al medi.
MIC. Mecanisme que permet protegir la integritat de les dades.
NLOS. (non line of sight) Sense línea de visió.
OFDM/OFDMA. Tècnica de modulació (OFDM) o accés (OFDMA) per divisió en freqüència on el senyal es transmet simultàniament en diverses freqüències ortogonals entre elles.
PoE (Power over Ethernet). Sistema per a subministrar energia elèctrica a dispositius sobre el mateix cable de dades.
PSK (Pre Shared Key).Sistema de clau compartida
QoS (Quality of Service). Qualitat de servei.
RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Server)
SSID. Identificador d'un ESS.
TKIP. Protocol de gestió de claus temporals
WAN: Xarxa d'àrea estesa (Wide Area Network).
WEP. És un dels primers mecanismes de seguretat de l'estàndard 802.11.
WPA. Mecanisme de seguretat en l'estàndard 802.11 posterior al WEP.

ÍNDEX FIGURES

Figura 1 – Illa d'Eivissa. Situació geogràfica del municipi 7
Figura 2 – Municipi d'Eivissa 8
Figura 3 – Imatge 3D d'Eivissa a Google Earth 9
Figura 4 – Divisió del municipi per zones 10
Figura 5 – Localització de la seu de l'Ajuntament i de la Central de Telefònica 11
Figura 6 – Central de Telefònica 11
Figura 7 – Model de la nostra xarxa 14
Figura 8 – Comparació de tecnologies sense fils 15
Figura 9 – Comparació d'abast entre tecnologies sense fils 15
Figura 10- Comparació estàndards 802.11 i principals característiques 16
Figura 11 – Funcionament WiMAX 18
Figura 12 – Zona Fresnel en connexions WiMAX 19
Figura 13 – Comparació d'OFDM i Single Carrier 20
Figura 14 – Estalvi d'ample de banda amb OFDM 21
Figura 15 – Major correspondència entre el transmès i el rebut en OFDM 21
Figura 16 – Modulació adaptativa 22
Figura 17 – Distribució mundial de bandes de freqüència 23
Figura 18 – Comparació d'abast i velocitat entre banda llicenciada i no llicenciada 24
Figura 19 – Comparació WEP i WPA 25
Figura 20 – Mecanisme d'autenticació EAP 27
Figura 21 – Xarxa en malla 28
Figura 22 – Connexió punt a punt 29
Figura 23 – Connexió punt a multipunt 29
Figura 24 – Radi d'antenes direccionals 30
Figura 25 – Radi d'antenes sectorials 30
Figura 26 – Radi d'antenes omnidireccionals 31
Figura 27 – Funcionament Login amb servidor RADIUS 31
Figura 28 – Funcionament d'Eduroam 33
Figura 29 – Representació de RAID 1 34
Figura 30 – Menú del Firewall de PALOALTO amb identificació de serveis 35
Figura 31 – Fanal amb Wifi 39
Figura 32 – Descàrrega del mapa SRTM corresponent al municipi d'Eivissa 42

Figura 33 – Mapa d'altura d'Eivisssa 42
Figura 34 – Mapa topogràfic d'Eivissa 43
Figura 35 – Configuració de xarxes a Radiomobile 44
Figura 36 – Enllaç WiMAX amb l'estació base 46
Figura 37 – Cobertura WiFi 47

1. Introducció

El present treball de final de carrera es centra en el desenvolupament d'una xarxa telemàtica per a un ens públic territorial, en el nostre cas un municipi que vol oferir una imatge més moderna de la ciutat a través de la prestació de nous serveis i un accés gratuït a Internet per als turistes de la illa.

Per a poder prestar aquests serveis, ens centrarem al nucli urbà i analitzarem els dispositius i tecnologia que caldrà fer servir així com un pressupost del cost d'implementació. Així mateix, es farà menció de determinades limitacions imposades pels òrgans competents per a la prestació d'accés gratuït a Internet per part de les Administracions Públiques per tal que no es perjudiqui la competència.

Dins de cadascun dels apartats analitzarem les diverses possibilitats possibles per tal de poder indicar aquella que en relació cost-servei ofert ens resulta més interessant per al nostre projecte.

1.1 Justificació

El ràpid desenvolupament de les noves tecnologies i l'abaratiment dels equips portàtils ha provocat que ja no sigui estrany trobar-nos amb molta gent que realitza activitats de turisme acompanyats dels seus portàtils o *smartphones*. Els hotels ofereixen serveis de connexió sense cables com a part de la seva oferta, la qual cosa permet comunicar-se de manera ràpida i instantània a aquests turistes amb la seva esfera personal del seu lloc d'origen.

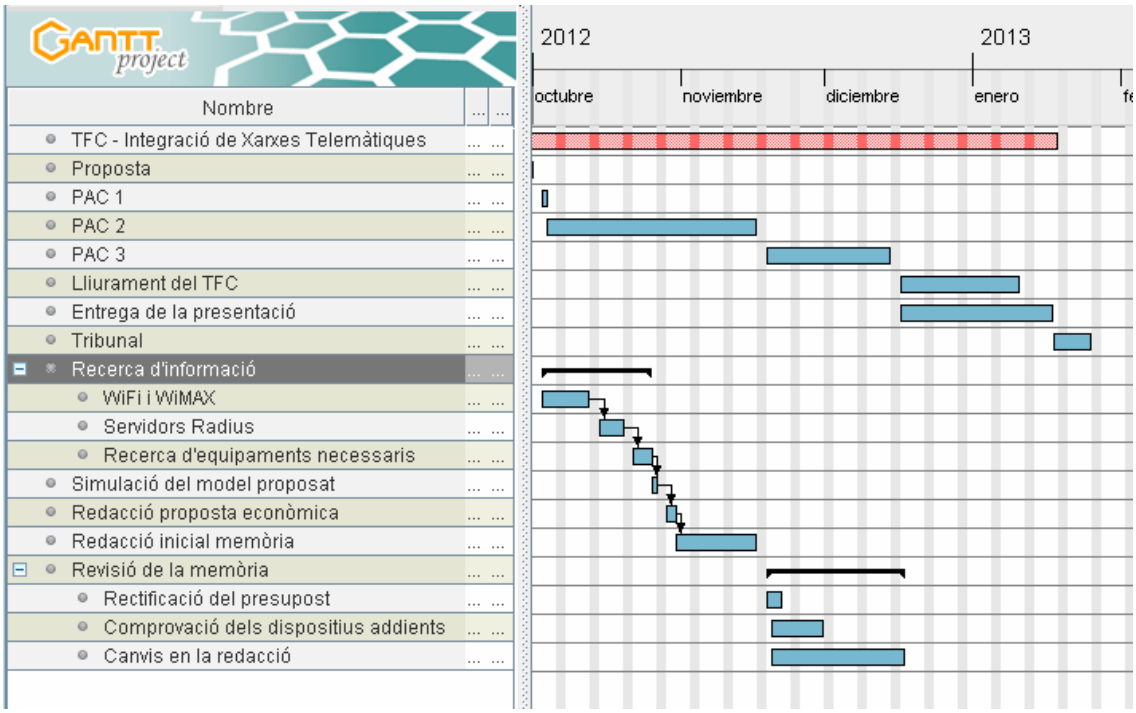
Aquesta transmissió d'informació també serveix com a mitjà indirecte per tal d'obtenir publicitat, donat que a través de compartir la informació dels seus viatges, de les imatges que han obtingut a la zona, la gent pot conèixer ràpidament la zona. A més a més, l'aparença de modernitat que sorgeix a causa d'oferir serveis d'aquesta naturalesa pot atraure turistes amb un nivell adquisitiu superior. Aquesta promoció fa desitjable que es proveeixi d'un accés a Internet a través d'una xarxa pública, entenent que aquesta inversió suposarà finalment un retorn a través tant dels beneficis directament associats a una oferta de serveis majors com a través de la promoció que els seus usuaris puguin fer del municipi.

La nostra xarxa s'implantarà en un municipi on els seus habitants ja poden tenir accés a Internet i on, com hem indicat, existeixen un gran nombre d'hotels i altres locals que faciliten serveis gratuïts d'accés a Internet. Això ens permetrà que no s'hagi de suportar un nombre molt elevat d'usuaris concurrents al nostre sistema, sense perjudici de l'escalabilitat del sistema segons les disposicions de l'ens local titular del servei.

Per a la nostra xarxa telemàtica optarem por un servei mixt on conviuran una estació base basada en tecnologia WIMAX i que serà la que tindrà accés directe a Internet, que es connectarà amb una sèrie d'estacions secundàries a través d'aquesta tecnologia que permet un gran ample de banda i radi de cobertura, i que seran les que permetran accedir mitjançant la coneguda tecnologia WiFi. D'aquesta manera, la nostra xarxa es beneficiarà així mateix de l'amplia compatibilitat actual de dispositius amb aquesta tecnologia, on gairebé qualsevol dispositiu mòbil compta amb la capacitat de connectar-se a una xarxa Wifi.

1.2 Planificació del Projecte

Les tasques principals per a la realització del present projecte s'han realitzat d'acord amb la següent planificació



Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
TFC - Integració de Xarxes Telemàtiques	26/09/12	18/01/13
Proposta	26/09/12	26/09/12
PAC 1	3/10/12	3/10/12
PAC 2	4/10/12	16/11/12
PAC 3	19/11/12	14/12/12
Lliurament del TFC	17/12/12	10/01/13
Entrega de la presentació	17/12/12	17/01/13
Tribunal	18/01/13	25/01/13
Recerca d'informació	3/10/12	25/10/12
WiFi i WiMAX	3/10/12	12/10/12
Servidors Radius	15/10/12	19/10/12
Recerca d'equipaments necessaris	22/10/12	25/10/12
Simulació del model proposat	26/10/12	26/10/12
Redacció proposta econòmica	29/10/12	30/10/12
Redacció inicial memòria	31/10/12	16/11/12
Revisió de la memòria	19/11/12	17/12/12
Rectificació del presupost	19/11/12	21/11/12
Comprovació dels dispositius addients	20/11/12	30/11/12
Canvis en la redacció	20/11/12	17/12/12

Les tasques de planificació s'han pogut dur a terme en les dades proposades, amb petites alteracions que no han afectat al conjunt del projecte a causa de la dificultat d'obtenir determinades dades corresponents al municipi escollit per al desenvolupament del projecte.

1.3 Productes obtinguts

L'objectiu del projecte es la implantació d'una xarxa telemàtica sense fils al municipi d'Eivissa. Els principals components són la memòria tècnica, on es procedirà a l'anàlisi de les diferents opcions amb què comptem per a la parametrització de la xarxa, i una simulació a través del programari Radio Mobile per tal de comprovar la viabilitat del nostre sistema.

A continuació, recollirem en una memòria econòmica les diferents etapes necessàries per tal de dur a terme el nostre projecte, i analitzarem la possibilitat real de dur-la a terme.

2. Característiques del municipi

En aquest apartat del nostre Treball ens dedicarem a analitzar les característiques particulars del municipi d'Eivissa, on realitzarem la implantació de la nostra xarxa telemàtica. En primer lloc, realitzarem una anàlisi de les característiques geogràfiques bàsiques a través de mapes per tal de trobar possibles circumstàncies que puguin afectar a la propagació d'ones de la nostra xarxa Wifi. A continuació, identificarem les dades de població corresponents a aquest municipi i fixarem possibles punts d'implantació per als nostres dispositius de xarxa, que comprovarem a través d'eines de simulació.

2.1 Geografia

Eivissa és un municipi situat a l'illa del mateix nom a les Illes Balears. Es troba al sud-est de l'illa i el sector primari d'activitat consisteix en el turisme i el sector serveis nascut per tal de respondre a les necessitats dels turistes.

Figura 1 – Illa d'Eivissa. Situació geogràfica del municipi

Ens trobem amb un municipi força concentrat a la costa, amb un nucli urbà clarament definit. Tot i ser la capital de l'illa, amb una superfície de 11,14 km no es tracta del municipi amb major superfície (això correspon al municipi de Sant Josep de Sa Talaia, amb 159,38 km²).

Figura 2 – Municipi d'Eivissa

Respecte a la població, hem trobat un problema a l'hora d'analitzar les dades obtingudes per l'IBESCAT (Institut Balear d'Estadística de les Illes Balears), donat que el seu portal[1] es troba actualment inaccessible a causa d'errors. Per aquesta raó, hem analitzat el número de persones censades al municipi a través de les dades facilitades per l'INE (Institut Nacional d'Estadística), d'on obtenim que a l'any 2011 hi va haver censades 49.388 persones.

Durant la temporada d'estiu aquesta quantitat pot arribar a doblar-se, però al nostre Projecte presentarem una proposta inicial per tal de donar suport a aproximadament 1000 usuaris. La raó de decidir-nos per un valor com aquest i no pas per donar un servi a la totalitat de la població és la intenció d'implantar nous sistemes i de permetre un accés ocasional en moviment, i no pas substituir el paper realitzat pels prestadors de servei d'accés a Internet ja existents i implantats. No obstant l'anterior, el model implantat permetrà una ràpida escalabilitat en cas que s'estimi oportú.

Es tracta d'un municipi coster amb una topografia de poca alçada respecte al nivell del mar, i amb uns edificis a causa d'aquest factor que no compten amb grans alçades, trobant-se en la seva majoria a l'interval entre 4 i 8 pisos. Per aquesta raó, trobarem pocs obstacles per a la propagació de les ones de ràdio al nostre projecte, fet que reforça la viabilitat de fer servir un mitjà sense cable per a crear-les. Per tal de poder realitzar la nostra simulació, caldrà obtenir un mapa d'altures per a la seva inclusió, tal i com veurem a l'apartat corresponent.

[1] http://ibestat.caib.es/ibestat/page <Últ. Visita 15.11.2012>

Respecte a les construccions, a l'actualitat, Google no compta amb informació dels edificis existents al municipi en 3D, com podem observar si hi intentem tenir accés

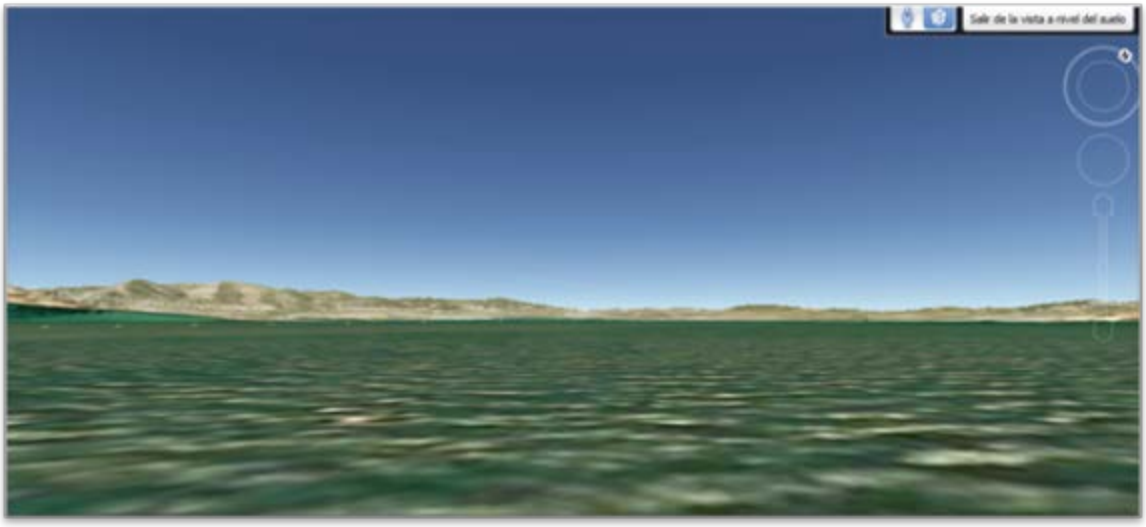


Figura 3 – Imatge 3D d'Eivissa a Google Earth

No obstant això, com hem indicat les característiques d'edificació del municipi afavoriran la visibilitat directe entre els diferents equips. El problema podria sorgir en el cas del casc antic, on els carrers estrets poden dificultar la propagació d'ones. Per aquesta raó, si s'estima oportú, podem comptar amb repetidors per tal d'evitar aquest problema.

El projecte planteja la implantació d'una xarxa sense fils gratuïta per als seus usuaris. Aquesta decisió ens obligarà a tenir en compte els requisits establerts per la CMT i que analitzarem a l'apartat dedicat a la reglamentació. En particular, el nostre objectiu serà dotar d'accés a les zones turístiques, establint les necessitats d'acord amb el moviment de vianants i turistes esperats.

2.2 Zones de servei

D'acord amb l'indicat anteriorment, per a la prestació del servei, dividirem el nostre petit municipi en 4 zones d'acord amb la següent imatge.

Figura 4 – Divisió del municipi per zones

Trobarem una gran concentració de possibles usuaris al casc antic, situat a la zona 1, on també s'inclou el port i una part important del nucli urbà. Per aquesta raó, permetrem un nombre de 300 usuaris en aquesta zona. La zona 2 inclou una zona de platja, de festa i residencial. En aquest cas també podem esperar un gran nombre de peticions per part de la població estacional (un dels nostres objectius en el present projecte). Per aquesta raó, habilitarem un total de 500 usuaris. A la zona 3, que inclou un passeig i platja, però amb una càrrega molt inferior, habilitarem per a 200. La zona 4 inclou únicament zona residencial i diversos serveis com hospital, on habilitarem també per a 200 usuaris.

2.3 Localització de l'estació base

Per tal d'estalviar en els recursos necessaris, la primera decisió serà on localitzar la nostra estació base. Donada la importància de comptar amb una connexió estable i de certa capacitat a la xarxa troncal la decisió òptima serà implantar aquesta estació base i les seves antenes corresponents a la seu del prestador de servei d'accés a la xarxa.

Donades les característiques del municipi d'Eivissa, només Telefònica (com a prestador del servei universal) existeix com a operador amb instal·lacions que ens pugui facilitar una infraestructura pròpia bàsica per a la instal·lació de

l'estació que servirà de base per a la nostra xarxa. La seu central es troba a Eivissa, al carrer de Sant Cristòfol.

Figura 5 – Localització de la seu de l'Ajuntament i de la Central de Telefònica

Figura 6 – Central de Telefònica

L'avantatge d'aquesta situació és que, com hem indicat, es troba molt pròxim a les instal·lacions de l'Ajuntament d'Eivissa on s'han centralitzat la pràctica totalitat de serveis administratius.

Posteriorment, podem tenir el nostre servidor RADIUS si així ho desitgem a les instal·lacions municipals, que es connectaran a través d'un túnel VPN amb el nostre Firewall.

A través de la instal·lació a la seu de Telefònica, es reduirà la inversió que caldrà fer per a la instal·lació de noves línies a l'Ajuntament per tal de poder donar suport als nous requeriments sorgits a causa de la nostra xarxa.

Per aquesta raó, caldrà que es negociï un contracte amb Telefònica al respecte de l'amplada de banda que es facilitarà per a l'accés a la xarxa troncal, a més de la possible instal·lació d'equips al CPD[2] situat en aquest edifici i d'altres equipaments com són la torre que farem servir per a connectar-nos amb la resta de punts d'accés. A més de l'anterior, i donat que les reparacions i manteniment correspondran a Telefònica però les conseqüències en el defectuós prestament del servei afectarà la imatge pública de l'Ajuntament, és recomanable que es fixin per endavant els temps de resposta davant d'una incidència.

3. Legislació

Com hem indicat, en el nostre cas, on plantegem la prestació d'un servei gratuït d'accés a la xarxa per part d'una Administració Pública, haurem de tenir en compte les indicacions de la Comissió del Mercat de les Telecomunicacions (CMT), contemplades a la Circular 1/2010[3].

El primer dels requisits passa per complir amb les obligacions sorgides de la Llei General de Telecomunicacions[4] i, en especial, la d'inscriure's com a operador al registre de la CMT. Aquest punt resulta especialment important donat que la falta d'inscripció queda tipificada com a falta molt greu. Tot i que existeixen excepcions on no caldrà realitzar dita inscripció (autoprestació o centres educatius, entre d'altres), aquestes exempcions no resulten d'aplicació al nostre cas donat que precisament volem facilitar un gran radi d'accés a la nostra xarxa.

D'altra banda, i donat que no volem limitar l'accés exclusivament a pàgines de l'Administració Pública contractant, haurem de realitzar les següents adaptacions per tal de què el nostre servei no afecti a la competència en el sentit de la Circular 1/2010 de la CMT:

- Limitar el Wifi a zones que no incloguin edificis d'ús residencial o mixt
- Limitar la velocitat a 256kbps
- Cal actuar d'acord amb el principi d'inversor privat a l'economia de mercat

Respecte al primer punt, i per la pròpia naturalesa del nostre plantejament, resulta possible que les ones arribin a determinats edificis d'ús residencial, però aquest serà un efecte menor i no cercat. Principalment, ens limitarem a fer servir instal·lacions de domini públic propietat de l'Ajuntament (edificis

[2] Centre de Processament de Dades
[3] Disponible a http://www.cmt.es/c/document_library/get_file?uuid=f26dcedb-3cfc-429e-8629-303fc2c6de81&groupId=10138 <Últ. Vis. 16.11.2012>
[4] Llei 32/2003, de 3 de novembre, General de Telecomunicacions.

principalment, o faroles en el cas de repetidors) a través de les quals crearem zones per accedir a la xarxa.

La limitació de la velocitat implicarà que, sense tenir en compte les possibles limitacions que calculem d'acord amb les tecnologies emprades, com a màxim necessitarem comptar amb un accés a la xarxa troncal de 256kbps per a cadascun dels 1408 usuaris a què podrà donar suport els nostres AP[5], la qual cosa ens dona un ample de banda màxim (i com hem dit sense tenir en compte les limitacions de les connexions sense fils) d'aproximadament 360,45Mbps.

Respecte al concepte d'inversor privat, aquesta és una limitació imposada per l'Art. 4 de la Circular 1/2010 de la CMT que impedeix que una xarxa de caràcter públic sigui finançada total i exclusivament a través de fons públics. A aquest respecte, la Circular contempla expressament com a possibilitat que es financi a través de publicitat i patrocinis, sempre i quan el valor que hagin de suportar els usuaris d'aquests mecanismes per aquestes activitats sigui similar al d'altres plataformes.

La recomanació de la CMT a l'hora d'implantar una xarxa sense fils per part d'una Administració Pública és que no s'iniciïn les activitats corresponents a aquesta fins que no s'hagi produït efectivament una validació del projecte per part de la Comissió.

[5] Aquestes dades les hem calculat a l'apartat 5.3 del present treball.

4. Tecnologia a emprar

En aquest apartat analitzarem els estàndards i tecnologies de què disposem a l'hora de crear la xarxa. En desenvolupament d'aquesta anàlisi, indicarem especificacions per tal de justificar la elecció del mètode que farem servir al projecte tals com la normativa de sistemes sense cable, o el tipus de xarxa que cerquem, entre d'altres.

El model que plantegem és el següent:

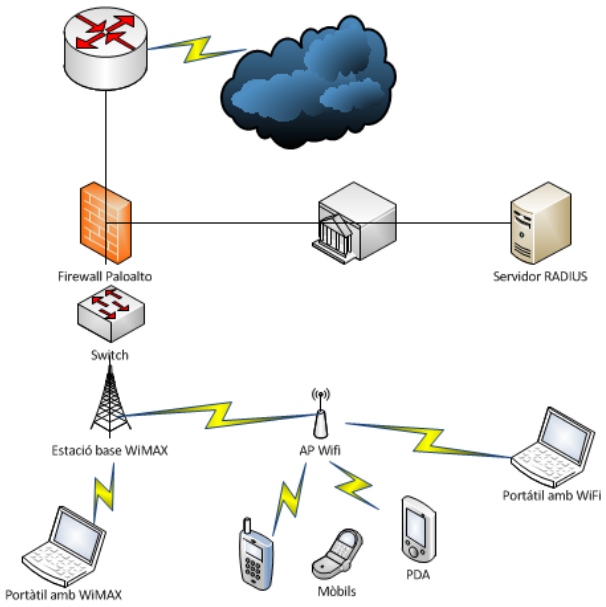


Figura 7 – Model de la nostra xarxa

Com indiquem a la figura 7, ens basem amb tecnologies sense fils per al desenvolupament de la nostra xarxa. Inicialment ens plantegem la convivència de les tecnologies WiMAX i Wifi, la viabilitat de les quals analitzarem a continuació.

Donades les característiques de l'àmbit geogràfic on es durà a terme el projecte, aquesta tecnologia ens oferirà els següents avantatges:

- Comptarem amb un ampli rang de cobertura. Donada la falta d'obstacles naturals, i la relativa petita superfície, podrem connectar punts allunyats.
- La infraestructura implantada per a aquest projecte podrà ser feta servir per a altres xarxes lògiques a través de les quals es prestin altres serveis per part de l'Ajuntament
- En cas de necessitat, resulta senzill escalar el nostre model a un cost baix per a una Administració Pública. A més, la seva implantació és ràpida en no necessitar de grans obres com succeeix en el cas de voler realitzar connexions mitjançant cable.

Les curtes distàncies que haurem de superar ens permet limitar els possibles inconvenients de degradació del senyal o d'aparició de nous obstacles que

pugin impedir una connexió correcta, la qual cosa fa molt recomanable la tecnologia sense fils per a un projecte com el present.

4.1 Estàndards sense fils

En primer lloc, cal que recordem que el nostre objectiu és crear una xarxa telemàtica sense fils que pugui ser emprada pel major nombre d'usuaris possible. Per aquesta raó, cal que fem servir estàndards desenvolupats i amb compatibilitat amb un gran nombre de dispositius. Per les raons anteriors, el nostre projecte es basarà en els estàndards WiFi i WIMAX.

	WiMAX 802.16	**Wi-Fi 802.11**	**Mobile-Fi 802.20**	**UMTS i CDMA2000**
Velocitat	124Mbits/s	11-54Mbits/s	16Mbits/s	2Mbits/s
Cobertura	40-70km	300m	20km	10km
Llicència	Si/No	No	Si	Si
Avantatges	Velocitat i abast	Velocitat i preu	Velocitat i mobilitat	Abast i mobilitat
Desavantatges	Possibles interferències	Curt abast	Preu alt	Lent i cat

Figura 8 – Comparació de tecnologies sense fils

Com podem observar a la figura anterior, l'avantatge de WiMAX per a la interconnexió entre els diferents AP és clara, donada la seva elevada cobertura i velocitat, i cal destacar a més a més la possibilitat de fer servir espai no llicenciat, la qual cosa ens permetrà reduir la inversió necessària per a implantar aquest projecte. La diferència en els abast entre les diferents tecnologies és clara

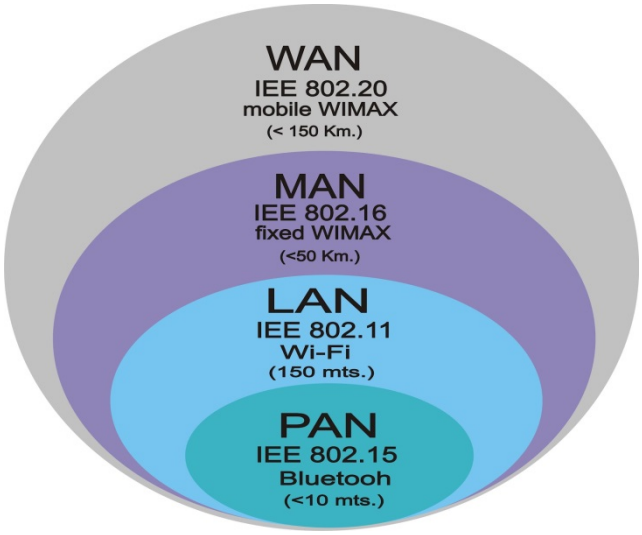


Figura 9 – Comparació d'abast entre tecnologies sense fils

Així, la utilització d'aquests estàndards es delimitaran d'acord amb els nivells que establirem per a la nostra xarxa:

- En primer lloc comptarem amb una xarxa troncal on és connectaran els diversos punts d'accés distribuïts al municipi. Aquesta xarxa troncal s'implementarà amb radioenllaços WiMAX per tal de poder donar suport a les necessitats d'ample de banda per a transferir les dades de cadascun dels AP.

- La Xarxa d'accés on es connectaran els terminals dels usuaris farà servir WiFi per a aquestes connexions i WiMAX per a la connexió amb la xarxa troncal.

A continuació, passem a analitzar per separat WiFi i WiMAX com a part del nostre projecte.

4.1.1 WiFi (IEE 802.11)

La família 802.11 són els estàndards de les connexions WiFi. Creat inicialment al 1997, defineix el Conjunt Bàsic de Serveis o Basic Service Set (BSS) a través del qual dos nodes connectats sense fils es poden reconèixer i transmetre informació entre ells. Les especificacions d'aquest estàndard regulen la capa física, la sots capa d'accés al medi i la capa d'enllaç. Si bé inicialment només suportava un ample de banda de 2 Mbps, les successives versions han anat augmentant aquest fins a arribar a l'estàndard 802.11g, amb 54Mbps, i el 802.11n amb 108Mbps. Actualment, l'estàndard més emprat es el 802.11g, que serà en el que ens centrarem.

Estàndard	Aparició	Modulació	Banda (GHz)	BW canal (MHz)	Velocitat (Mbits/s)	Cobertura (m)	
						Interior	Exterior
802.11	1997	DHSS, FHSS	2,4	20	1-2	20	100
802.11a	1999	OFDM	5,8	20	6-54	35	120
802.11b	1999	DSSS	2,4	20	1-11	35	120
802.11g	2003	OFDM, DSSS	2,4	20	6-54	38	140
802.11n	2009	OFDM	2,4/5,8	20 40	7-72 15-150	70	250

Figura 10- Comparació estàndards 802.11 i principals característiques

La banda de freqüències en el cas de 802.11g[6] serà la següent:

Identificador de Canal	Freqüència en MHz

[6] Obtinguda de http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#802.11g

1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462
12	2467
13	2472

La banda de freqüències on es mou és exactament (pel cas d'Europa) entre els 2412 i 2472 Mhz amb 5Mhz de separació entre canals. Donat que l'amplada de banda del senyal és superior a la separació entre els canals observades, es fa necessari separar al menys 5 canals per tal d'evitar interferències. Això ens permetrà tenir un màxim de 3 canals sense encavalcament.

4.1.2 WIMAX (IEEE 802.16)

En el cas de WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) ens trobem amb una família d'estàndards que inclou accessos tan fixos com mòbils a una xarxa sense cables de banda ampla a través de la qual podem crear una WMAN (Wireless Metropolitan Network). A seva primera aparició va ser en 2006 quan Korea Telecom va iniciar la implantació d'una versió mòbil de WiMAX a la banda de 2.3 GHz a la zona metropolitana de Seul per tal d'oferir accés a grans continguts de vídeo i dades que requerien amplades de banda superiors als suportats per les infraestructures sense cables existents fins aquell moment.

En aquesta tecnologia ha estat important l'establiment del WiMAX Forum, una organització sense ànim de lucre i dirigida per la industria, i en la que prenen part proveïdors de serveis, venedors d'equips, de chips i fins i tot proveïdors de continguts. El seu paper principal és el d'assegurar-se de la interoperabilitat entre diferents productes basades en WiMAX a través del seu procediment de certificació.

Aquest estàndard permet connectar les estacions base a internet tan en banda no llicenciada (900MHz, 2.4GHz i 5.8 GHz) o llicenciada (700 MHz, 2.5-3.6GHz) i es basa als estàndards IEEE 802.16, tot i que la implementació actual de WiMAX mòbil es basa principalment en la versió IEEE 802.16e aprovada per l'IEEE en desembre de 2005, que contempla l'OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) i dona suport per a la mobilitat d'equips fins a una velocitat de 150km/h. L'ample de banda entre canals es de 1.5, 10 o 20 MHz, amb una tassa de bits que oscil·larà entre els 30 i 134 Mbps en condicions ideals, i que podrem modular amb OFDM, QPSK,16QAM 64 QAM. Amb l'ample de banda obtingut podem prestar serveis de tràfic IP, ethernet, ATM i diversos serveis com VoIP i vídeo en temps real gràcies a la seva compatibilitat amb QoS.

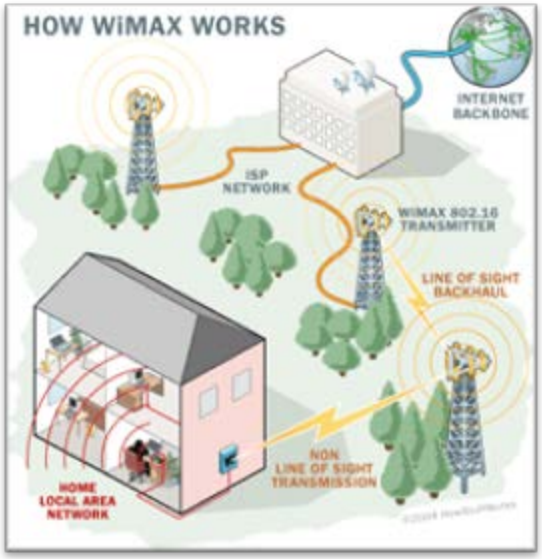


Figura 11 – Funcionament WiMAX

El protocols IEEE 802.16 funcionaran tant amb visibilitat directa (LOS – Line of Sight) com sense (NLOS – Non Line of Sight), tal i com podem contemplar a la imatge anterior. La diferent manera en què es produeixen aquestes connexions requerirà que fem servir un tipus d'antena diferent depenent de la naturalesa d'aquesta connexió.

LOS

En el cas d'un enllaç LOS, el nostre senyal segueix un camí sense obstacles entre el transmissor i el receptor. L'existència d'obstacles pot apreciar-se inicialment a través de l'observació d'obstacles entre la nostra línia imaginària, però el nostre senyal també pot veure's afectat per l'existència d'obstacles propers a aquesta. És per això que hem d'introduir el concepte de zona Fresnel.

Les antenes direccionals centren la seva energia en un feix molt estret, però no produeixen realment un raig únic. Així, ens trobem amb l'existència d'un raig central dominant i altres feixos de menor energia que, depenent de la

polarització del transmissor, es poden trobar en diferents posicions respecte a aquest raig central.

A causa d'aquest fet, tot i que la nostra línia imaginària (que coincidirà bàsicament amb el nostre feix central) manté una línia de visió sense obstacles, els lòbuls causats per aquests feixos accessoris seguiran altres camins de propagació i, per tant, poden trobar-se amb obstacles. Aquests obstacles poden arribar a suposar la reflexió parcial d'aquests senyals que afectaran al nostre feix principal. Per aquesta raó, entendrem que les condicions d'un enllaç LOS es donaran quan al menys el 60% de la nostra zona Fresnel es trobi lliure d'obstacles, supòsit en el qual s'equipararà la nostra connexió a una existent en espai lliure.

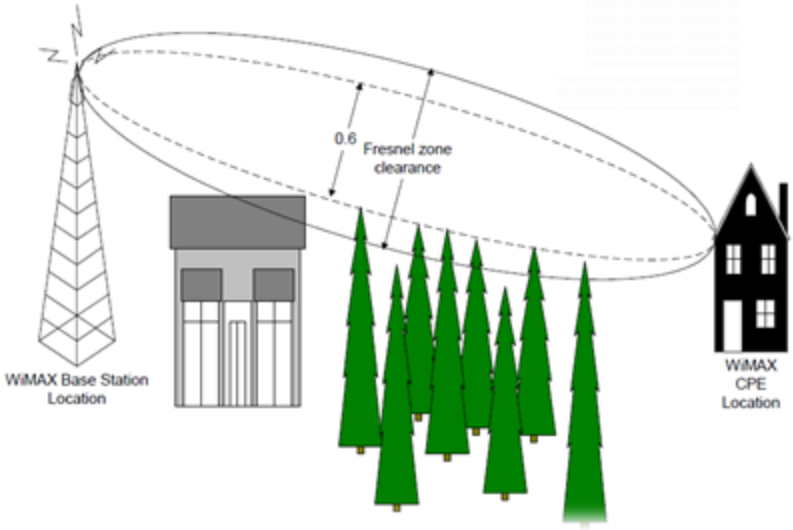


Figura 12 – Zona Fresnel en connexions WiMAX

Les distàncies a tenir en compte per al càlcul de la zona Fresnel són dependents de la freqüència i l'antena que es faci servir, a més de la distància entre el transmissor i el receptor.

Tot l'anterior fa recomanable planificar la nostra infraestructura per tal de permetre una línia el més allunyada de possibles obstacles, a través de mecanismes com l'augment de l'altura del màstil on col·locarem els nostres transmissors. El problema ara serà que en determinats casos ens podem trobar amb altres variables que impedeixin aquesta opció, donades les condicions climàtiques adverses a què es poden trobar sotmesos (pensem en el cas de forts vents i com afectarien un màstil excessivament llarg), a més de les possibles interferències que es puguin donar entre canals de cèl·lules contigües en casos de reutilització de freqüències.

NLOS

En un enllaç LOS el senyal arribarà al receptor a través de reflexions, dispersions i difraccions. Podrem trobar-nos amb components del camí principal, de múltiples camins reflectits, energia dispersada, cada senyal amb una atenuació, polarització i estabilitat diferent. Aquesta existència de camins múltiples també comporta que mecanismes com la polarització per a la reutilització de freqüències sigui problemàtica en supòsits NLOS.

La solució que passa exclusivament per augmentar la potència transmesa continua basant-se principalment en l'existència d'un camí principal que sigui adequat, i el recomanable és implementar solucions que permetin aprofitar l'energia dels senyals indirectes que puguin arribar al receptor.

La tecnologia WiMAX inclou mecanismes per tal de mitigar les conseqüències d'una propagació NLOS com poden ser la sub-canalització, la tecnologia OFDM o la modulació adaptativa.

Respecte a OFDM (sigles corresponents a Orthogonal Frequency Division Multiplexing), tal i com es detalla a [5], ens trobem amb una tecnologia dirigida a reduir els problemes sorgits dels retards de dispersió, com són la dificultat a l'hora de realitzar l'equalització adaptativa i l'existència d'interferència intersimbòlica.

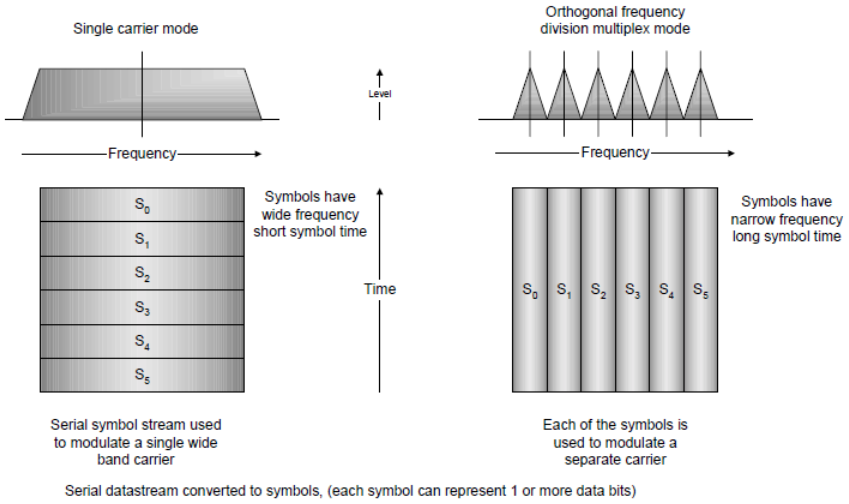


Figura 13 – Comparació d'OFDM i Single Carrier

Com mostrem a la figura, el senyal OFDM estarà composta per diverses portadores ortogonals que permetran la transmissió de la informació en paral·lel, en tant en el cas d'una portadora simple la transmissió es realitza en sèrie. Per a OFDM, les subportadores seran més fàcils d'equalitzar, el que ens permetrà obtenir un major rendiment.

L'ús d'OFDM és més eficient a l'hora de dividir l'espectre, gràcies a que les subportadores es poden solapar (no hi ha bandes de guarda), com podem observar en el següent gràfic

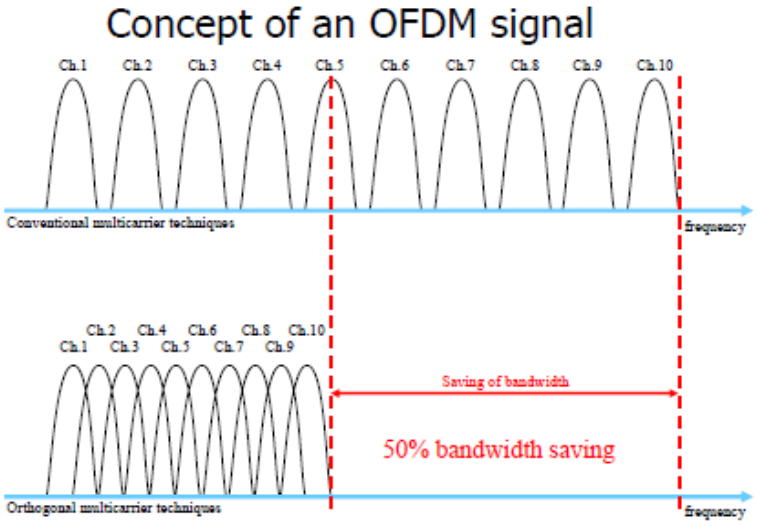


Figura 14 – Estalvi d'ample de banda amb OFDM

A més a més, resulta més senzill d'equalitzar que un senyal amb *single carrier*. Això permetrà obtenir una taxa de transmissió major en supòsits on es poden donar retards entre senyals i on poden existir múltiples camins seguits pels nostres senyals fins arribar als receptors.

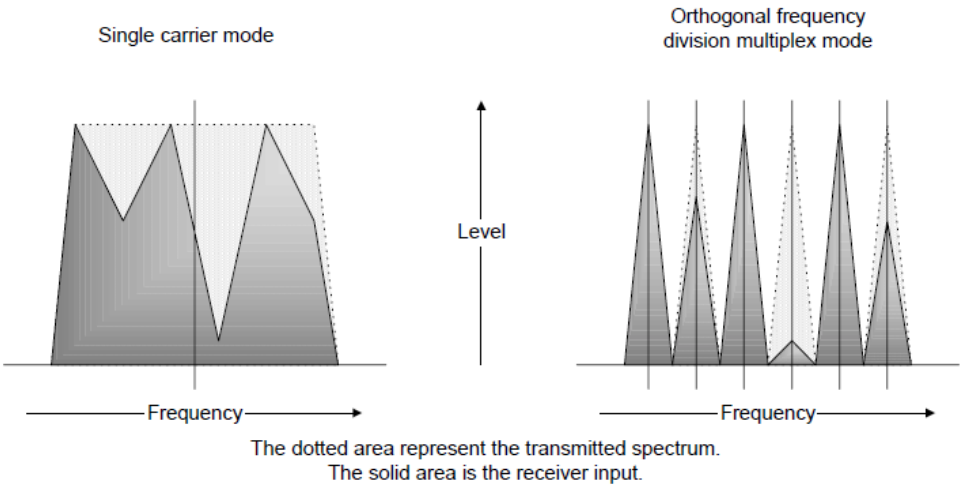


Figura 15 – Major correspondència entre el transmès i el rebut en OFDM

Pel que fa a la modulació adaptativa, aquesta atorga grans avantatges en permetre fixar la modulació i codificació entre l'estació base i les unitats

subscriptores d'acord amb les condicions de l'enllaç en cada moment, sense necessitat de fer servir una única modulació al llarg de tota la cel·la.

L'elecció entre una modulació o una altra anirà fixada pel valor de la SNR, i per tant es veurà directament afectat per la distància de la zona de què es tracti a l'estació base. A major distància, els requeriments de robustesa seran majors, per la qual cosa farem servir modulacions que tot i permetre velocitats menors, ens permetran ampliar l'abast del nostre senyal.

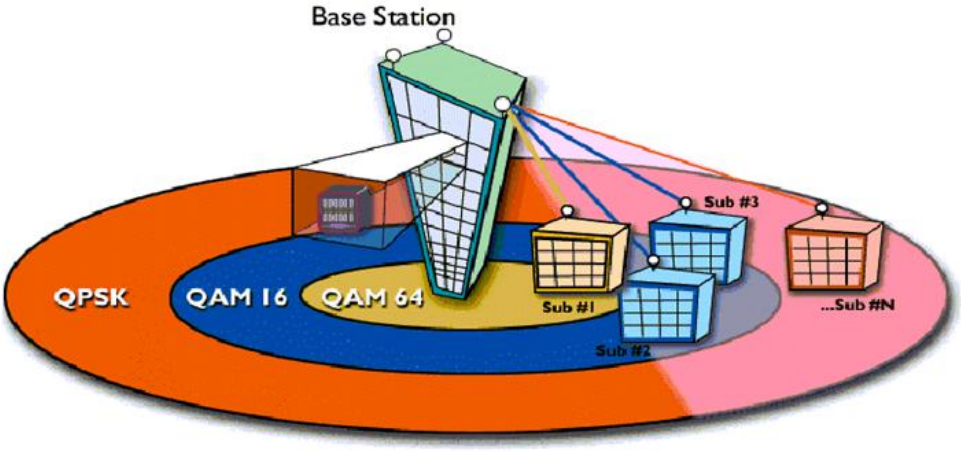


Figura 16 – Modulació adaptativa

En el cas de NLOS, ens trobarem amb un ranc de freqüències més baix (entre 2 GHz i 11 GHz, similar el de WiFi). La raó de fer servir aquestes longituds d'ones és la menor afectació soferta per l'existència d'obstacles fins al nostre punt de connexió (recordem que ens trobem en un supòsit on no hi ha visibilitat directa al punt, la qual cosa suposarà l'existència d'un obstacle físic). Aquest sistema és adequat per a les connexions a punts d'accés propers i equips terminals d'usuaris, donat que l'ample de banda que oferirà serà inferior.

Per al cas de LOS, la nostra antena es trobarà fixe en direcció a l'equip amb què s'ha de connectar. Aquest tipus de connexió és més estable i permet l'enviament de dades amb un nombre menor d'errors i fent servir freqüències més altes (fins a un màxim teòric de 66 GHz), la qual cosa ens permetrà comptar amb un ample de banda superior.

La diferència més important entre WiMAX i WiFi no és tant la velocitat sinó l'abast de la nostra connexió. En tant WiFi podia dar un accés en condicions en un espai d'aproximadament 30m, WiMAX pot prestar serveis (en condicions ideals) en un radi de 50km de l'estació base.

4.1.3 Banda llicenciada o no llicenciada

Quan parlem de dispositius electromagnètics que funcionen en una determinada freqüència, ens podem trobar amb interferències no desitjades. Això també és cert per a una connexió WIMAX, donat que aquestes

interferències poden arribar a fer inviable una connexió, la qual cosa impediria la prestació del servei corresponent. Per a evitar aquest problema comptem amb dues solucions.

La primera passa per limitar el nombre de transmissors a una determinada freqüència en un àmbit geogràfic determinat. D'aquesta manera podem controlar qui treballa a aquestes freqüències, reservant diferents rancs per a serveis determinats com poden ser la telefònica o la transmissió de senyal de televisió. Donat el control que s'exerceix sobre aquesta banda llicenciada, existeix un cost relatiu al seu ús.

La segona és limitar la potència dels dispositius per a la banda no llicenciada. D'aquesta manera, es facilita la possible coexistència de diversos dispositius que facin servir la mateixa freqüència.

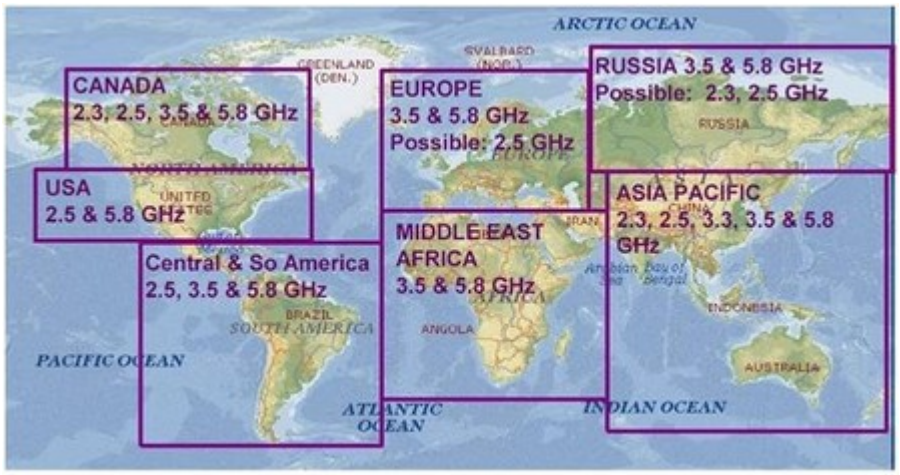


Figura 17 – Distribució mundial de bandes de freqüència

En el nostre cas optarem per fer servir la banda no llicenciada per les següents raons:

- Un dels més importants avantatges de la banda llicenciada és el poder fer servir una major potència. En un municipi petit com el d'Eivissa, no tenim unes distàncies que requereixin de fer servir la major potència (i major preu) de la banda llicenciada. D'altra banda la possibilitat de poder funcionar en mode full dúplex no resulta realment atractiva donat el seu elevat cost i la realitat de què la major demanda es produeix en l'ample de banda destinat a descàrrega.

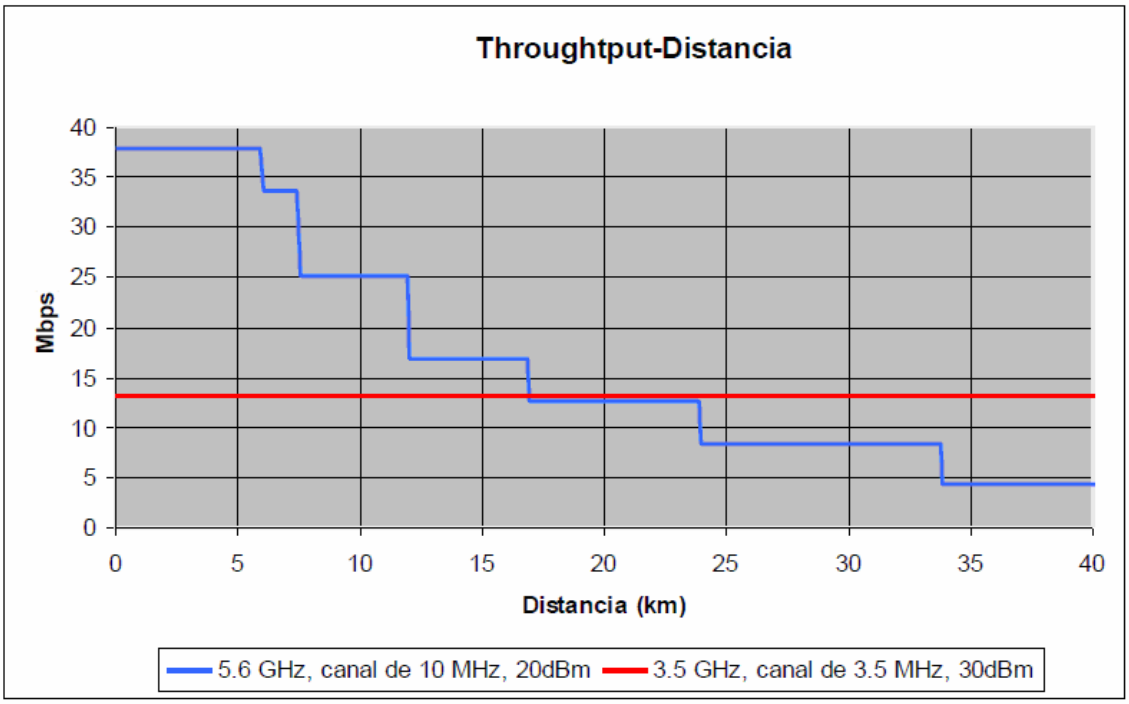


Figura 18 – Comparació d'abast i velocitat entre banda llicenciada i no llicenciada

- La banda no llicenciada no requereix d'inversió per a llicenciar la banda a fer servir. En el cas d'un servei a facilitar de manera gratuïta, aquest serà un factor molt important. Si bé la inversió important és la inicial i el creixement posterior es pot realitzar a un baix cost, el cert és que a la pràctica aquesta inversió inicial resulta tant elevada que només les grans empreses i poden fer front.

- En fer servir banda lliure podrem comptar amb més ample de banda en disposar de més espectre.

4.1.4 Seguretat a la xarxa

Donat que ens trobem davant d'una connexió sense fils, on el mitjà resultarà accessible a intrusions, i on a més a més podem trobar-nos amb antenes omnidireccionals que repartiran les dades en 360 graus, caldrà donar la importància corresponent al xifratge de les dades que trametrem a través de la nostra xarxa. Analitzarem les diverses opcions per tal de decidir quina serà la més adient.

Wired Equivalent Privacy (WEP)

Aquest mètode és el més bàsic, i la seva efectivitat dependrà del nombre de bits que es facin servir per al xifratge. L'estàndard és un xifratge de 64 bit o de 128 bits amb RC4. Com hem indicat, pot augmentar-se el nombre de bits del

xifratge, però a costa d'una major càrrega de processament per a dur a terme la transmissió de dades.

Aquest model de seguretat es basa en una clau simètrica i estàtica, amb la qual cosa tenim una clau que tenen tant emissor com receptor i que no serà modificada a menys que així ho decideixin client i receptor. Aquestes característiques fan vulnerable el xifratge WEP a tàctiques com equips al mig (fet que resulta facilitat pel caràcter sense fils d'aquesta connexió) en què es modifiquen paquets de la transmissió per tal d'obtenir la clau. A més a més, no resulta desitjable donat que les eines per eliminar aquesta protecció són de coneixement comú i les capacitats de processament actuals permeten obtenir la clau en relativament poc temps (literalment en pocs segons). A més a més, tot i que podem ampliar el nombre de bits de xifratge, un augment excessiu amb l'únic objecte de dificultar l'obtenció de la clau provocaria una necessitat de recursos que podria dificultar una prestació eficient del servei.

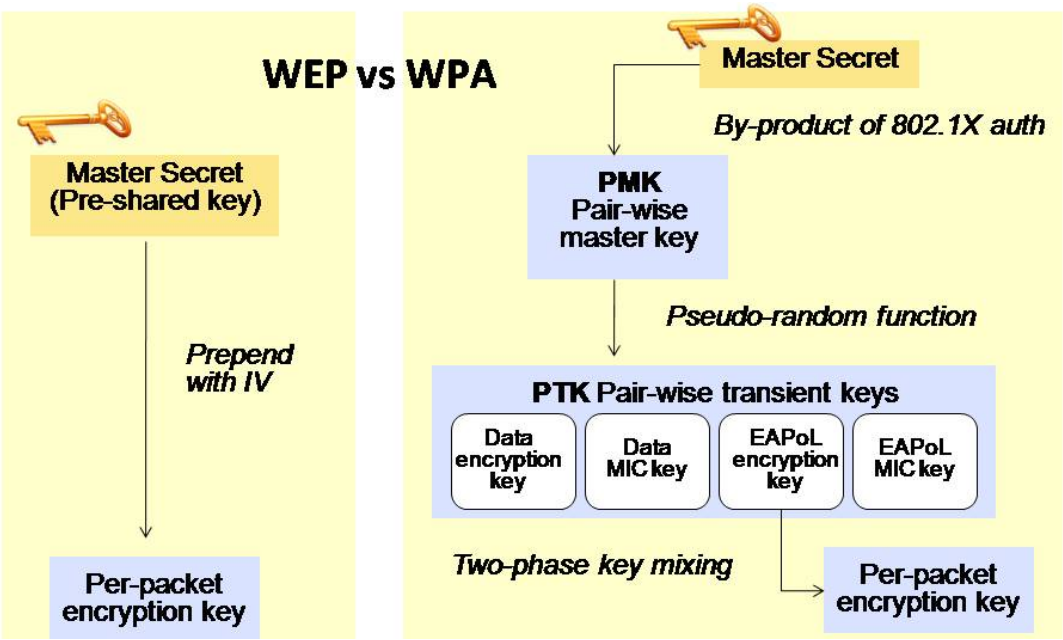


Figura 19 – Comparació WEP i WPA

Wi-Fi Protected Access (WPA)

Aquest mecanisme de xifratge va aparèixer per tal de solucionar algunes de les mancances del xifratge WEP, en particular el caràcter estàtic de la seva clau. Això ho realitza a través del TKIP (Temporal Key Integrity Protocol), que provoca que la clau vagi variant de manera automàtica transcorregut un determinat període. D'aquesta manera, s'impedeix que l'intrús compti amb el temps suficient per a obtenir la clau a través d'atacs. Tot i això, a l'actualitat ha quedat superat per WPA2.

WPA2

Aquest mecanisme fa servir AES (Advanced Encryption Standard) per a xifrar les claus, que podran ser de 128, 192 o 256 bits. Aquest estàndard és modern, i per aquesta raó encara podem trobar-nos amb dispositius que no el suportin, situació que caldria evitar. Afortunadament per a la implementació en la nostra xarxa, WPA2 és compatible amb WPA, amb la qual cosa podran conviure en la mateixa xarxa dispositius que xifraran la seva connexió mitjançant WPA i d'altres mitjançant WPA2. WEP no és compatible, però no resultava necessari donat que, com hem indicat, té grans mancances que podrien causar problemes a la nostra xarxa telemàtica en el cas que optéssim per fer-lo servir.

Autenticació

Tant WPA com WPA2 permeten realitzar l'autenticació tant de mode personal, sense servidor d'autenticació i on trobarem una clau compartida que es trobarà emmagatzemada en l'equip de l'usuari, o en mode Enterprise, on caldrà comptar amb un servidor d'autenticació i un controlador de xarxa. Per a garantir la seguretat dels nostres usuaris, hem optat per fer servir un servidor RADIUS, per la qual cosa implementarem un sistema d'autenticació 802.1x + EAP. En aquest cas, un cop el client introdueix les seves credencials des de qualsevol dels AP s'envia aquesta informació al nostre servidor RADIUS, que serà l'encarregat d'autenticar de manera centralitzada si s'ha de permetré accés, i a quins serveis. Aquesta comunicació de les credencials entre servidor i AP es fa amb protocols EAP (Extensible Authentication Protocol) com són TLS, TTLS, LEAP i PEAP, EAP-RADIUS, el que garanteix la transferència segura de claus[7].

[7] Per a més información sobre EAP en WiMAX, Vid. Riegel, Max:" Deploying Mobile WiMAX", John Wiley & Sons, 2010, pp 60 I ss

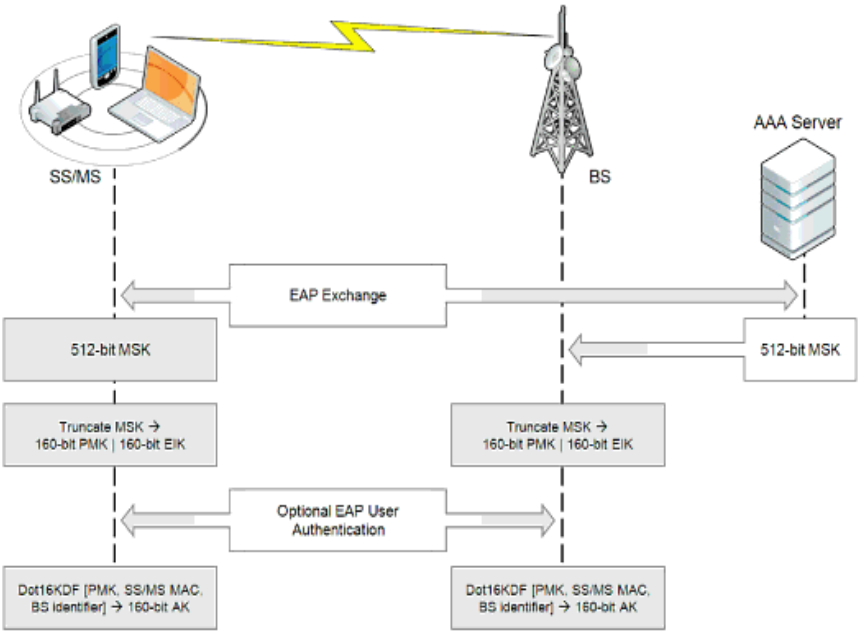


Figura 20 – Mecanisme d'autenticació EAP

L'usuari podrà accedir amb el seu usuari a la xarxa des de qualsevol punt on tingui cobertura, sense necessitat de replicar les bases de dades d'usuaris en cadascun dels AP amb què comptem.

4.2 Topologia de la nostra xarxa

A l'hora de dissenyar la nostra xarxa, podem basar-nos en tres models: el de malla (mesh), la connexió punt a punt o la connexió punt a multipunt. A continuació analitzarem els avantatges i desavantatges de cadascuna d'aquestes.

4.2.1 Malla (mesh)

La xarxes en malla sense fils (mesh wireless networks) van aparèixer com a resposta a la cerca de mecanismes que permetessin augmentar el radi d'operació d'una xarxa sense fils, on l'existència d'obstacles i de grans distàncies poden arribar a impedir una prestació efectiva de serveis a través d'una gran xarxa sense fils municipal.

La base d'aquest sistema és comptar amb diversos punts d'accés que interconnectarem en una xarxa que ens permetrà enviar les dades d'una connexió a través de backhaul fins al punt d'accés que ens connecta amb la xarxa. Per a fer-ho, els encaminadors han d'estar equipats amb múltiples interfícies sense fils, a través dels quals es podrà realitzar l'encaminament alternatiu en els casos pels quals es dissenya la xarxa mallada, donat que cada dispositiu crearà el seu propi segment de xarxa.

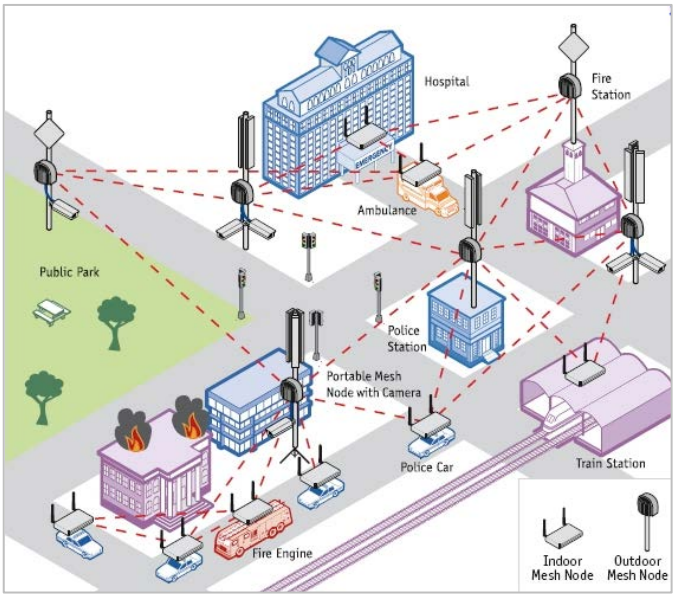


Figura 21 – Xarxa en malla

Una topologia de malla està pensada per a solucionar els problemes a l'hora d'implementar una xarxa sense fils en zones de gran extensió, i permet cobrir una major àrea amb una menor potència de transmissió a través de connexions amb múltiples salts.

No obstant l'anterior, un model basat en malla té diversos problemes. Per a començar, els múltiples salts que pot realitzar una connexió poden crear retards que impediran una prestació satisfactòria del servei quan parlem de radis molt grans. A més a més, i tot i que la potència requerida serà menor, com a contrapartida es necessitaran un nombre major de dispositius, la qual cosa augmentarà el cost de la xarxa.

4.2.2 Punt a Punt (Point to point)

La topologia punt a punt ens permet establir una connexió de gran distància i amb un gran ample de banda donat que ens centrem precisament en optimitzar la connexió entre aquests punts, sense que es perdi energia radiada a causa d'intentar establir altres enllaços.

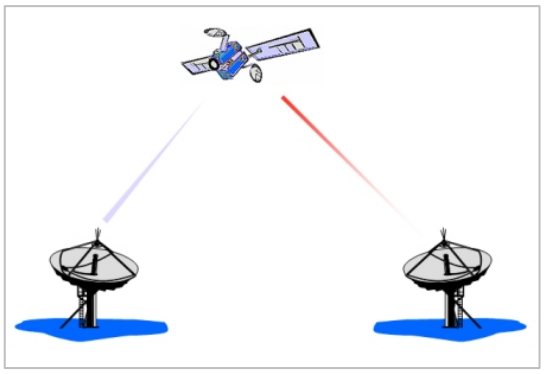


Figura 22 – Connexió punt a punt

Donades les característiques del municipi analitzades a l'apartat 1.2 del present Treball, on no existeixen grans distàncies a superar, aquesta topologia no ens resulta beneficiosa. Aquest tipus d'enllaç sí es podrien fer servir en cas que ens plantegéssim l'establiment d'una xarxa telemàtica en un municipi amb diversos nuclis urbans situats a grans distàncies. A través d'un enllaç punt a punt podríem connectar l'estació situada al nucli urbà remot amb la nostra estació base a la capital del municipi.

4.2.3 Punt a multipunt (Point to multipoint)

En aquest cas comptem amb una o vàries antenes sectorials o omnidireccionals a l'estació base que cobriran el radi de cobertura que volem atorgar. Aquest tipus de topologia ens permetrà prestar serveis al major nombre d'usuaris possibles dins del sector de destí amb un cost inferior, donat que requerirem un nombre menor d'AP.

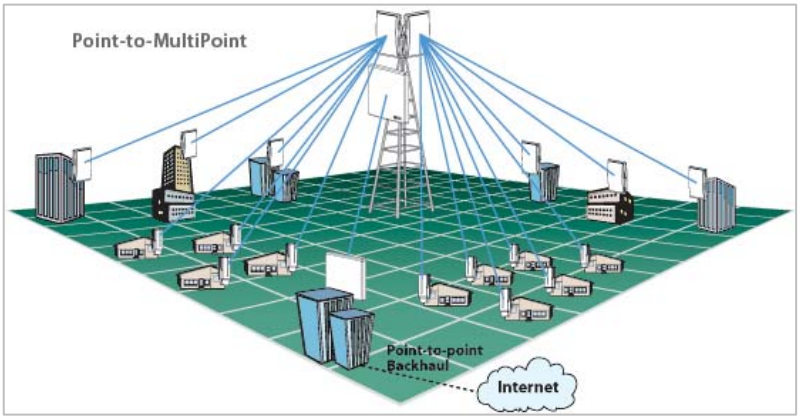


Figura 23 – Connexió punt a multipunt

4.3 Antenes

D'igual manera que devíem analitzar la topologia de xarxa d'acord amb les nostres necessitats, ens trobem amb una pluralitat de models d'antenes, l'elecció de la qual dependrà del nostre objectiu. Així, si la nostra necessitat és únicament aconseguir un radi gran, haurem d'optar per una d'elles, en tant si el que volem és obtenir un gran ample de banda, potser haurem d'escollir un altre model. A continuació analitzarem els tres models: direccionals, sectorials i omnidireccionals.

4.3.1 Antenes direccionals

En el cas d'una antena direccional, l'eix de radiació es centra en una direcció concreta, la qual cosa ens permet arribar a distàncies molt superiors a les adquirides mitjançant antenes sectorials i omnidireccionals. Per aquesta raó, aquest tipus d'antenes són les més adients en el cas d'implementar enllaços punt a punt analitzats a l'apartat 2.2.2 del present treball. No resulten adequades per a la prestació directa de serveis a usuaris, donat que l'angle de

cobertura és reduït, la qual cosa requerirà que aquests usuaris hagin de concentrar-se en un espai limitat.

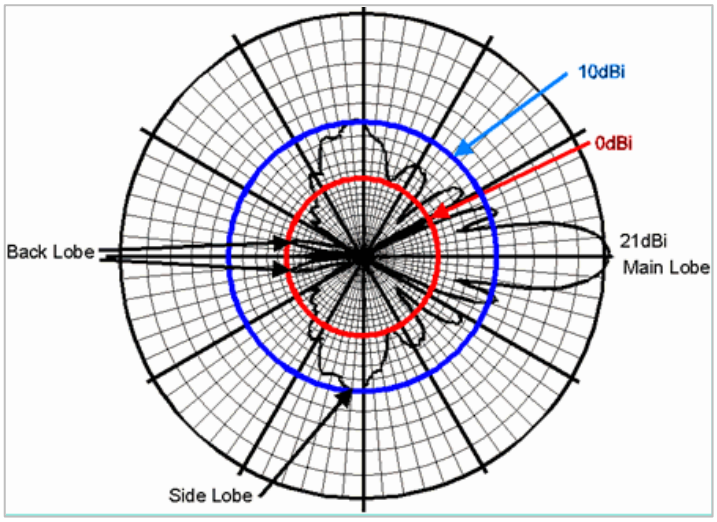


Figura 24 – Radi d'antenes direccionals

4.3.2 Antenes sectorials

En el cas d'antenes sectorials, podrem arribar a distàncies superiors que amb les antenes omnidireccionals, però amb un radi més gran que el de les direccionals.

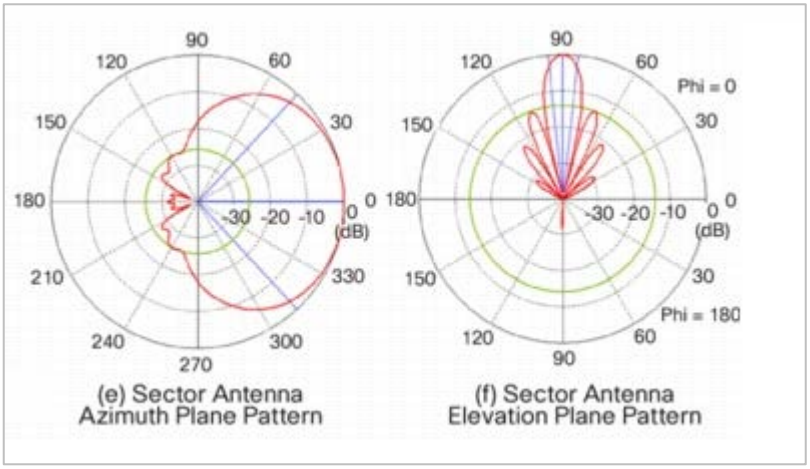


Figura 25 – Radi d'antenes sectorials

Seran així un pas entremig entre ambdues. A través de la superposició de diverses antenes sectorials es pot arribar a donar suport a un radi de 360 graus al igual que amb antenes omnidireccionals i amb un major abast que aquestes, però a canvi d'haver de suportar un major cost. Per a la nostra estació base farem servir antenes sectorials, dividint en sectors les diferents zones. Això ens ve permès pel fet de no requerir grans distàncies, i a través d'aquesta implantació podrem garantir un ample de banda mínim als nostres usuaris (a més de la possibilitat de connectar-se directament per WiMAX).

4.3.3 Antenes omnidireccionals

Les antenes omnidireccionals es caracteritzen per una radiació constant en 360 graus en horitzontal. Això ens permet comptar amb un eix d'energia molt ample però d'un menor abast. Aquesta amplitud els fa especialment recomanables pels diversos punts d'accés WiFi amb què comptarem a la nostra xarxa.

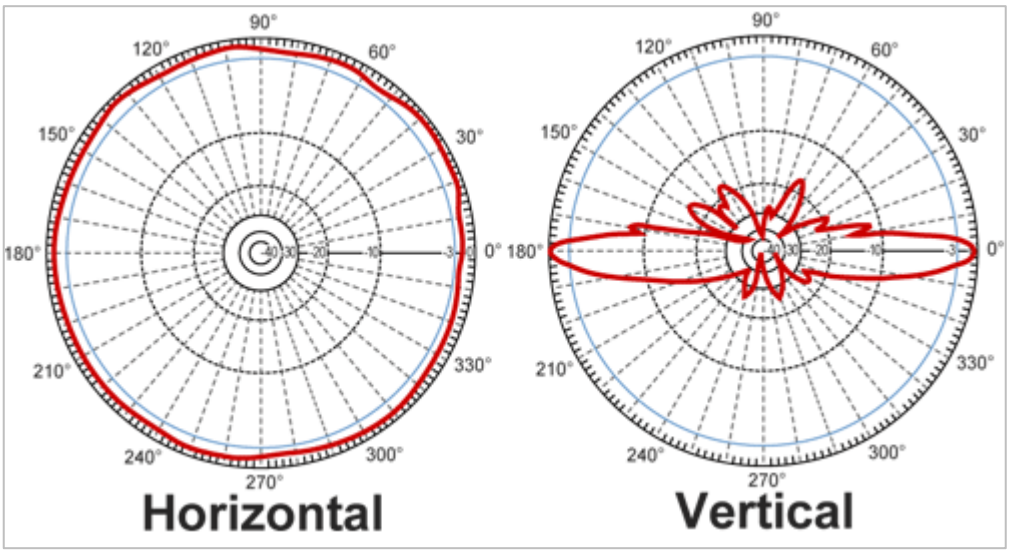


Figura 26 – Radi d'antenes omnidireccionals

Son majoritàriament el tipus d'antenes a fer servir en els punts d'accés, donat que facilitaran a qualsevol usuari la connexió a la xarxa, sense obligar-los a trobar-se situats en un espai físic molt delimitat.

4.4 Servidor RADIUS

En la nostra xarxa volem poder comptar amb un servidor RADIUS (AAA - Authentication, Authorization, and Accounting).

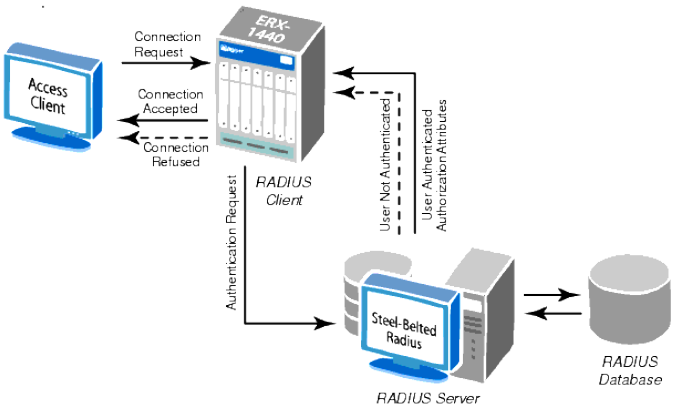


Figura 27 – Funcionament Login amb servidor RADIUS

Les fases per les que passarà la connexió són:

1.- Autenticació: El client sol·licitarà accés, i facilitarà un usuari i contrasenya que seran xifrats i enviats en un Access request al nostre servidor RADIUS. És el procés a través del qual podrem determinar si un determinat usuari té accés a un determinat servei de xarxa.

2.- Autorització: En aquest cas ens trobem amb el procediment per a assignar un determinat servei específic a un usuari concret, a través de l'autenticació a què hem fet referència a l'apartat anterior. Per a dur a terme aquesta autorització, podem configurar el nostre servei per tal que tingui en compte variables relatives a l'estat del sistema com son la localització, hora del dia o la impossibilitat de realitzar múltiples accessos amb un mateix usuari. Aquesta autorització pot anar des d'una prohibició total d'accés per als intrusos que no comptin amb autenticació fins a l'accés total amb què hauran de contar els administradors de xarxa. El servidor haurà d'enviar un missatge d'acceptació a l'autenticació realitzada per l'usuari, que podrà incloure informació addicional per a la prestació del servei.

3. La necessitat de realitzar el seguiment dels serveis prestats requerirà que ara el client enviï un missatge de Accounting-Request (Start) amb la informació corresponent al seu compte i per indicar que l'usuari està reconegut dins de la xarxa. Comptarem així amb una base de dades on es relacionaran les identitats dels diferents usuaris amb els serveis prestats i els moments de la seva prestació.

Altres avantatges que podrem obtenir gràcies a fer servir RADIUS serà la generació dinàmica de claus al llarg del tems i el xifratge de la connexió abans de l'assignació dels paràmetres de xarxa a l'usuari

Un exemple de l'aplicació dels avantatges que permet la infraestructura RADIUS és el projecte Eduroam (EDUcation ROAMing). Aquest és un projecte internacional que permet accedir a Internet als membres de les institucions científic-acadèmiques adherides al projectes des de les seus de qualsevol d'aquestes institucions[8].

La connexió a Internet es realitza a través d'un punt d'accés sense fils que serà l'encarregat de connectar l'usuari a una xarxa IEEE 802.11 local. A continuació, es procedeix a l'autenticació de l'usuari, que serà realitzada pel centre al que pertany i no pas pel centre on es vol connectar. Aquesta autenticació es realitza a través del protocol RADIUS. El punt d'accés es connecta així al servidor RADIUS que serà l'encarregat d'indicar si les credencials del suplicant l'autoritzen a accedir a la xarxa (podríem dir que ens trobem davant d'un proxy RADIUS).

[8] Per veure una llista de les institucions associades, es pot visitar http://www.eduroam.es/instituciones.es.php

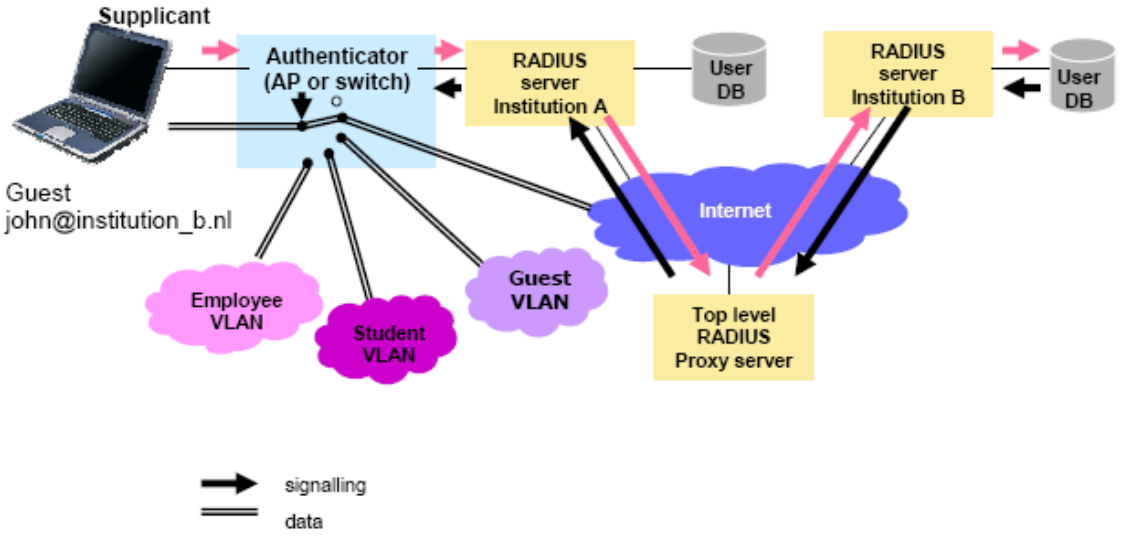


Figura 28 – Funcionament d'Eduroam

Tot i que recentment han començat a aparèixer alternatives a RADIUS com és DIAMETER, que proporciona control d'errors i comunicació entre dominis, la documentació actual existent de RADIUS, i les característiques concretes del nostre supòsit el fan adequat.

Es faran servir solucions de software lliure al nostre servidor[9], que configurarem com a servidor d'autenticació RADIUS per tal de validar de manera centralitzada els usuaris de la nostra xarxa sense haver de comptar amb recursos addicionals que emmagatzemin aquestes dades en cadascun dels AP. La solució RADIUS proposada es basa en software i no en hardware, per tal de facilitar la ràpida adaptabilitat i escalabilitat en el cas que fos necessari.

L'usuari podrà accedir a la xarxa des de qualsevol dels punts d'accés col·locats a la ciutat, però en tots els casos se'l redirigirà automàticament al portal captiu que configurarem i caldrà que introdueixi les dades proporcionades per l'Ajuntament a través del seu navegador abans de poder accedir a cap altre servei. A continuació, aquestes credencials seran validades pel nostre servidor, que determinarà si l'accés ha de ser permès o no.

Per tal de limitar les conseqüències d'un error de maquinari en els nostres discos, configurarem un sistema de dos discos basats en el model de RAID 1[10] (discs mirall) on la informació es duplica entre els dos discos amb què comptarem al nostre servidor, atorgant així la prioritat a la integritat de les dades per sobre del rendiment.

En el cas d'una errada, podrem realitzar el canvi del disc on s'ha presentat l'error en una hora de baixa demanda.

[9] Una de les opcions de software lliure és FreeRADIUS, a http://freeradius.org/
[10] Podeu trobar els altres models de RAID a http://en.wikipedia.org/wiki/RAID#Standard_levels

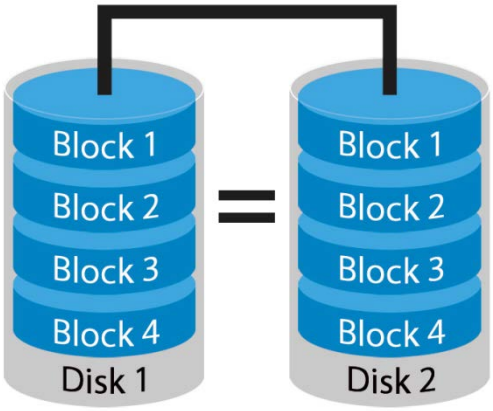


Figura 29 – Representació de RAID 1

S'ha optat pel model de RAID 1 per sobre de models mixtos 0+1 donades les baixes necessitats de velocitat que tindran les nostres peticions per a la prestació d'un servei RADIUS.

4.5 Firewall

A través d'aquest dispositiu podem bloquejar o permetre el tràfic entre xarxes d'acord amb les polítiques que es decideixi implantar. D'una banda ens servirà com a dispositiu de seguretat que impedirà aquelles intrusions a la xarxa local no desitjades que puguin posar en perill als nostres usuaris. D'altra banda, ens permetrà filtrar quins serveis volem permetre a la nostra xarxa.

Un firewall pot ser implementat a través de solucions de maquinari o de programari, però donat el volum amb què podem arribar a treballar, s'ha estimat més oportú comptar amb un equip dedicat que tindrà la capacitat d'analitzar de manera eficient les dades corresponents a la nostra xarxa.

Donada la condició de xarxa pública, la millor opció serà permetre el tràfic sortint i limitar el tràfic entrant per aplicació, per tal de permetre la utilització dels serveis més típics.

Per a l'aplicació d'aquests límits ens podem beneficiar d'un dels avantatges amb què comptem al model de firewall escollit, que és la seva capacitat per a analitzar les aplicacions d'entrada i de sortida més enllà del port que fan servir. D'aquesta manera, tot i que l'usuari alteri el port, el nostre sistema tindrà la capacitat per a limitar-ne l'accés en base a la seva naturalesa.

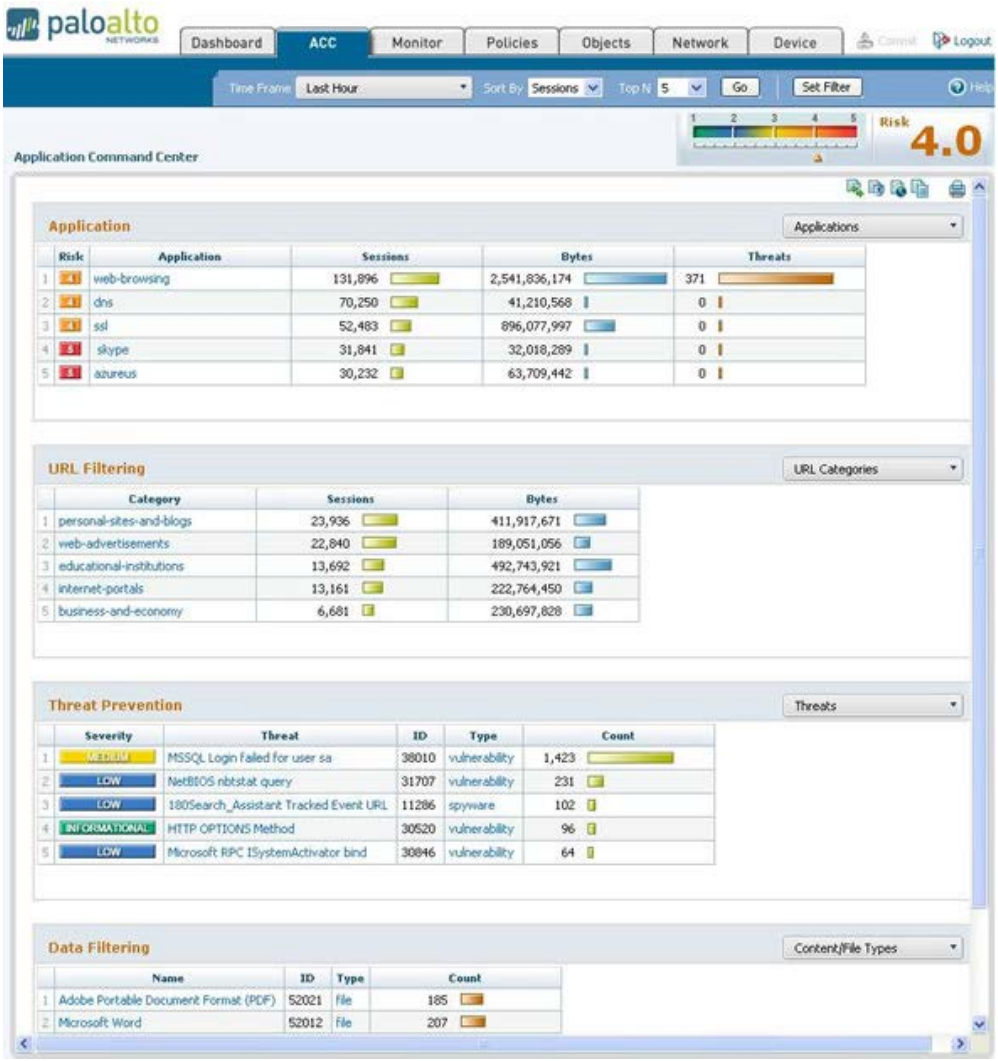


Figura 30 – Menú del Firewall de PALOALTO amb identificació de serveis

4.6 Switch

En la nostra xarxa resulta recomanable crear diferents VLANs per tal de disminuir els paquets en col·lisió que ens trobaríem en el cas de no comptar amb cap subxarxa. Per aquesta raó, hem optar per proposar la utilització d'un switch de capa 3, la qual cosa ens permetrà avantatges com són el poder enrutar tràfic entre les diferents VLANs que tindrem, filtratge de tràfic no desitjat així com el bloqueig de equips connectats.

4.7 Dispositius específics a emprar

Un cop hem establert la topologia de xarxa i les bases de la nostra xarxa, cal que indiquem quins seran els dispositius concrets que escollirem per tal de dur a terme el nostre projecte.

4.7.1 Xarxa sense fils

Els dispositius pertanyen, com hem indicat amb anterioritat, al fabricant Alvarion. En primer lloc, caldrà determinar quins dispositius són els més adequats per a la nostra estació base i per a les estacions secundàries.

Tot i comptar amb instal·lacions físiques propietat de l'Ajuntament d'Eivissa que es podrien arribar a fer servir per a la instal·lació de l'equipament tècnic de suport a la nostra infraestructura, hem optat per dispositius de la família BreezeMAX tot en un, és a dir, que integren en el component tota l'electrònica necessària sense que haguem de destinar una sala pròpia per a la nostra instal·lació.

Estació base

Els nostres primers candidats per a l'estació base són els equips BreezeMAX Extreme 3650 i BreezeMAX Extreme 5000. En ambdós casos tenim tant l'antena com l'accés a la xarxa ASN i un receptor GPS. Donades les baixes pèrdues causades per obstacles naturals que esperem tenir, i la cerca de les majors prestacions possibles per a la nostra xarxa, optarem per la major versatilitat del BreezeMAX Extreme 5000.

Aquest dispositiu, amb un cost aproximat per unitat de 5000€, treballa en la xarxa no llicenciada de 5 GHz, la qual cosa ens permetrà reduir el cost de la implantació de la xarxa. A més a més, inclou suport per al pròxim estàndard 802.11m.

L'avantatge que tenim és que es tracta d'un dispositiu on tot el que podem necessitar (electrònica, antena, accés a la xarxa, ...) ve integrat dins del propi component. Per aquesta raó, la seva instal·lació requerirà únicament una connexió d'alimentació i d'accés i de transport. Donat que es tracta a més d'un dispositiu pensat per a la seva utilització en exteriors (suportant entre -40 i 60 graus, i entre 5% i 95% d'humitat), la seva instal·lació al màstil resulta senzilla i serà un dispositiu recomanable per a la nostra infraestructura.. Té una potència entre 0 i 21 dBm i inclou 2 antenes de 15 dBi.

Per al cas de la banda de 5.4GHz, funciona entre 5470MHz i 5940MHz, d'acord amb la qual cosa es compleixen les previsions de l'UN -128[11] per a la banda d'exteriors que pot anar entre 5470 i 5725MHz.

Enllaç amb la xarxa

En aquest cas volem implantar dispositius que no requereixin de cablejat de xarxa, sinó que puguin enllaçar directament amb l'estació base per WiMAX per oferir posteriorment accés Wifi als usuaris. Per aquestes raons hem optat per les solucions WI2 de Silvarion. Aquests Access Points treballen a la banda de 2.4GHz i tenen un cost aproximat de 1.100,00€ cadascun. Amb cadascun d'aquests dispositius podrem donar accés a 128 usuaris.

En cas de què fos necessari, podem fer servir dispositius Wi2 Extenders per tal d'ampliar la cobertura d'aquests receptors a llocs on existeixin carrers estrets o

[11] http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/espectro/cnaf/notasun2010.pdf <Últ. Vis. 15.11.2012>

altres obstacles que impedeixin l'adequada propagació d'ones. Cadascun d'aquests dispositius té un cost aproximat de 580,00€. A aquest respecte, cal que recordem que els dispositius Wi2 Extender es tracten de reemissors, és a dir, no donen ample de banda sinó que faran servir l'ample de banda del receptor WiMAX Wi2.

Així mateix, la fase de prova farà necessari comptar amb dispositius d'accés a la xarxa WiMAX per a facilitar als escollits, sense perjudici de què posteriorment es compti amb un número superior per a facilitar-los en les condicions que l'Ajuntament determini. Una possible opció serà el dispositiu BreezeMAX USB 250, a un cost aproximat de 72€ per unitat, que permet fins a 5Mbps de pujada i 20Mbps de baixada.

4.7.2 Firewall

Pel que fa al dispositiu que farem servir per a filtrar les connexions, és a dir el nostre firewall, és cert que es poden implementar solucions per software que realitzin aquestes funcions i poder presentar un projecte amb un cost inferior. No obstant això, quan parlem d'un nombre de peticions com és el que volem poder permetre en aquest cas resulta recomanable comptar amb una solució dedicada i específica per a realitzar aquestes funcions.

Com hem indicat, volem poder comptar amb un firewall de nova generació que ens permeti implantar polítiques d'accés en base a l'aplicació que es fa servir. Per aquesta raó, la més adient és la família 2000 de PaloAlto El model PaloAlto PA-2020 serà suficient per al nostre projecte, amb un cost aproximat de 8.600,00€.

4.7.3 Servidors

Per als equips informàtics que farem servir hem optat per la família Dell PowerEdge R-210 II. Hem optat per incorporar un hardware que permetrà una ràpida escalabilitat del servei sense haver de realitzar actualitzacions en tot cas.

El cost del servidor indicat és de 2.037,00€, sense perjudici de l'existència de promocions (en el moment de la realització del pressupost, el cost complet era de 1.773,00€). Per aquest preu comptem amb un equip amb la suficient capacitat per a realitzar una gran multitud de serveis, amb la qual cosa podem encarregar diverses unitats en el cas de què vulguem actualitzar els servidors de pàgines web de l'Ajuntament, entre d'altres possibilitats, per tal de poder donar suport a aquestes noves peticions i serveis més enllà de les funcions de fer de servidor .

4.7.4 Switch

Hem optat per un Switch Enterasys SecureStack C5, un switch de capa 3 que realitzarà la interconnexió entre els diversos emissors de la estació base i el Firewall i ens permetrà crear les diferents xarxes virtuals i la comunicació entre cadascuna d'elles. A més, realitzarà les funcions de DHCP d'acord amb el rang d'IP que assignem a cada subxarxa.

Donat el nombre d'equips a connectar, en tindrem prou amb una unitat, que situarem a la nostra estació base. Aquest switch té un preu aproximat de 3.400,00€.

Donat que l'estació base es trobarà a l'estació de telefònica per tal d'estalviar costs d'instal·lació d'infraestructures, caldrà configurar un túnel VPN permanent entre els equips de la central i l'Ajuntament.

4.8 Instal·lació física de la xarxa

Un cop hem determinat els dispositius i configuració que farem servir a la nostra xarxa, cal que analitzem com es realitzarà la instal·lació dels diversos equips que ens resultaran necessaris d'acord amb la seva naturalesa.

4.8.1 Estació base

Com vam indicar a l'apartat corresponent, es va escollir la instal·lació de l'estació base a la central telefònica per tal de facilitar el seu correcte desenvolupament. Els dispositius BreezeMax Extreme 5000 estan pensats per a la seva instal·lació en exteriors. Donades les especials característiques de la nostra instal·lació, resulta complicat que es pugui arribar a aprofitar els diferents màstils existents en aquesta centraleta, amb la qual cosa haurem de plantejar la instal·lació d'un màstil independent i autosuportat que ens permeti visualitzar els nodes amb què haurem de connectar.

Sense perjudici del ranc de funcionament del Extreme 5000, caldrà garantir així mateix l'estabilitat de la infraestructura que li servirà de suport, tot tenint en compte que es tracta d'una instal·lació en exteriors en un edifici, la qual cosa fa impossible fer servir bases enterrades per a garantir l'estabilitat. Ara bé, donat que Telefònica ha instal·lat de manera reiterada altres antenes, caldrà observar si es compta amb suports d'acer o similars que puguin servir per ancorar el nostre màstil.

Les connexions que necessitarem per als nostres Extreme 5000 són exclusivament d'alimentació i de connexió a xarxa, amb la qual cosa haurem de tenir 6 cables ethernet i 6 cables d'alimentació en continua. Aquests cables hauran de quedar protegits de les condicions ambientals pròpies del medi extern on s'han instal·lat, raó per la qual caldrà trobar un aïllant que permet la seva instal·lació (és a dir, que no suposi un pes excessiu que el nostre màstil no pugui suportar).

Respecte a les connexions d'alimentació, de nou podem aprofitar les característiques d'haver fet la instal·lació en una central de telefonia, donat que podem fer servir els propis SAIs de Telefònica.

La resta de dispositius que puguin ser necessaris, com poden ser el Firewall, es trobaran a la part interior de l'edifici de Telefònica, a l'espai llogat per l'Ajuntament.

4.8.2 Punts d'accés

L'avantatge a l'hora d'instal·lar els punts d'accés és que únicament requeriran d'una connexió d'alimentació, donat que per a la connexió a la xarxa faran servir la seva antena per a connectar-se. Per aquesta raó, i per tal de requerir el menor nombre d'actuacions possibles, la nostra opció inicial passa per veure la viabilitat de fer servir la instal·lació d'enllumenat municipal (recordem que ens trobem davant d'una infraestructura duta a terme per l'Ajuntament).

Figura 31 – Fanal amb Wifi

En aquest cas ens podem trobar davant del problema de què no resulti possible extreure una connexió que permeti una alimentació ininterrompuda (que no es talli quan els fanals s'apaguin durant el dia). Aquest problema podria solucionar-se a través de les següents opcions:

- Fer servir les canalitzacions existents per tal de posar una nova línia d'alimentació sense aquest control horari i col·locar els equips als fanals.
- Fer servir altres instal·lacions de mobiliari urbà que no comptin amb aquesta limitació. Podem trobar semàfors o senyals il·luminades d'on pot resultar més senzill extreure un punt d'alimentació.

En el cas que cap d'aquestes opcions sigui viable, tenim també la possibilitat de realitzar un pacte o conveni amb particulars per tal de realitzar una connexió a través de les seves infraestructures a canvi d'una contraprestació. Ara bé, el sobrecost que aquesta opció suposaria fa recomanable abans esgotar la resta de possibilitats.

4.9 Configuració de la nostra xarxa

Com hem indicat a l'apartat dedicat al switch, per tal de comptar amb una xarxa relativament simple i manejable, crearem una subxarxa per a cadascuna de les estacions. Això ens permetrà en el futur realitzar canvis sense haver d'afectar a múltiples estacions.

Donat que comptem amb 11 AP, cadascun prestant suport a 128 usuaris, podem fer seguir la següent taula d'assignació:

Subxarxa	Network	Rang IP	Màscara
1	192.168.0.0	192.168.0.1/192.168.0.254	255.255.255.0
2	192.168.2.0	192.168.2.1/192.168.2.254	255.255.255.0
3	192.168.3.0	192.168.3.1/192.168.3.254	255.255.255.0
4	192.168.4.0	192.168.4.1/192.168.4.254	255.255.255.0
5	192.168.5.0	192.168.5.1/192.168.5.254	255.255.255.0
6	192.168.6.0	192.168.6.1/192.168.6.254	255.255.255.0
7	192.168.7.0	192.168.7.1/192.168.7.254	255.255.255.0
8	192.168.8.0	192.168.8.1/192.168.8.254	255.255.255.0
9	192.168.9.0	192.168.9.1/192.168.9.254	255.255.255.0
10	192.168.10.0	192.168.10.1/192.168.10.254	255.255.255.0
11	192.168.11.0	192.168.11.1/192.168.11.254	255.255.255.0

Les adreces IP les assignarem de manera automàtica per DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) depenent del AP on s'accedeixi.

5. Simulació amb Radiomobile

En aquest apartat realitzarem una simulació de la nostra proposta de xarxa a través de l'eina lliure Radiomobile[12]. Això ens permetrà determinar si el nombre proposat d'Access Point és suficient per tal de donar cobertura al nostre municipi o si cal realitzar alguna modificació al nostre projecte.

Per a la realització d'aquesta simulació requerirem un mapa d'elevació de terreny d'Eivissa, al qual aplicarem els algoritmes que Radiomobile inclou per al càlcul de la propagació d'ones.

5.1 Mapa d'elevació

Donat el fàcil accés a aquests, s'ha optat per fer servir els mapes SRTM de la NASA. Aquests mapes digitals d'elevació de terreny són els mapes de tot el planeta de més resolució d'arc disponibles per Europa. Les sigles corresponen a Shuttle Radar Topography Mission, i es tracta d'una iniciativa a través de la qual es va fer servir un transbordador equipat amb un radar especial per tal d'obtenir una base de dades digital de la Terra durant una missió d'onze dies en febrer del 2000.

En el nostre cas particular, farem servir SRTM DTED [13] (Shuttle Radar Topography Mission – Digital Terrain Elevation Data). Aquest sistema ofereix diferents resolucions, corresponent a Eurasia l'SRTM3[14]. En aquest cas, l'espai de mostra és de 3 segons per arc, que es 1/2000 del grau corresponent a latitud i longitud, la qual cosa implica una separació d'aproximadament uns 90 metres.

La cerca del mapa a la seva pàgina web[15] resulta senzilla, i facilitant el nom de la ciutat que volem consultar automàticament ens donarà la possibilitat de descàrrega d'aquest

[12] Una altra opció hauria set el software Wireless Insite, per a la simulació d'entorns urbans complexos. http://www.remcom.com/wireless-insite

[13] http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_DMA_DTED.html <Últ. Vis. 16.11.2012>. Per a més informació sobre com funciona aquest sistema es pot accedir a http://spaceflight.nasa.gov/shuttle/archives/sts-99/srtm_work.html

[14] Podem veure els mapes i resolucions a http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/Documentation/Continent_def.gif <Últ. Vis. 13.12.2012>

[15] http://earthexplorer.usgs.gov/ <últ. Vis. 16.11.2012>

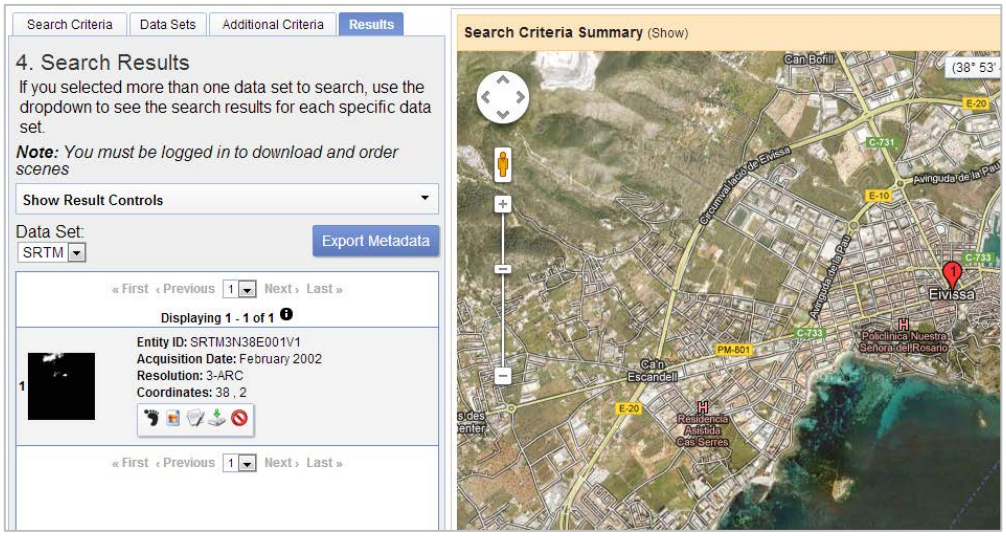


Figura 32 – Descàrrega del mapa SRTM corresponent al municipi d'Eivissa

Com ja havíem indicat, al mapa d'altura podem observar que ens trobem amb un terreny sense obstacles naturals i de poca altura.

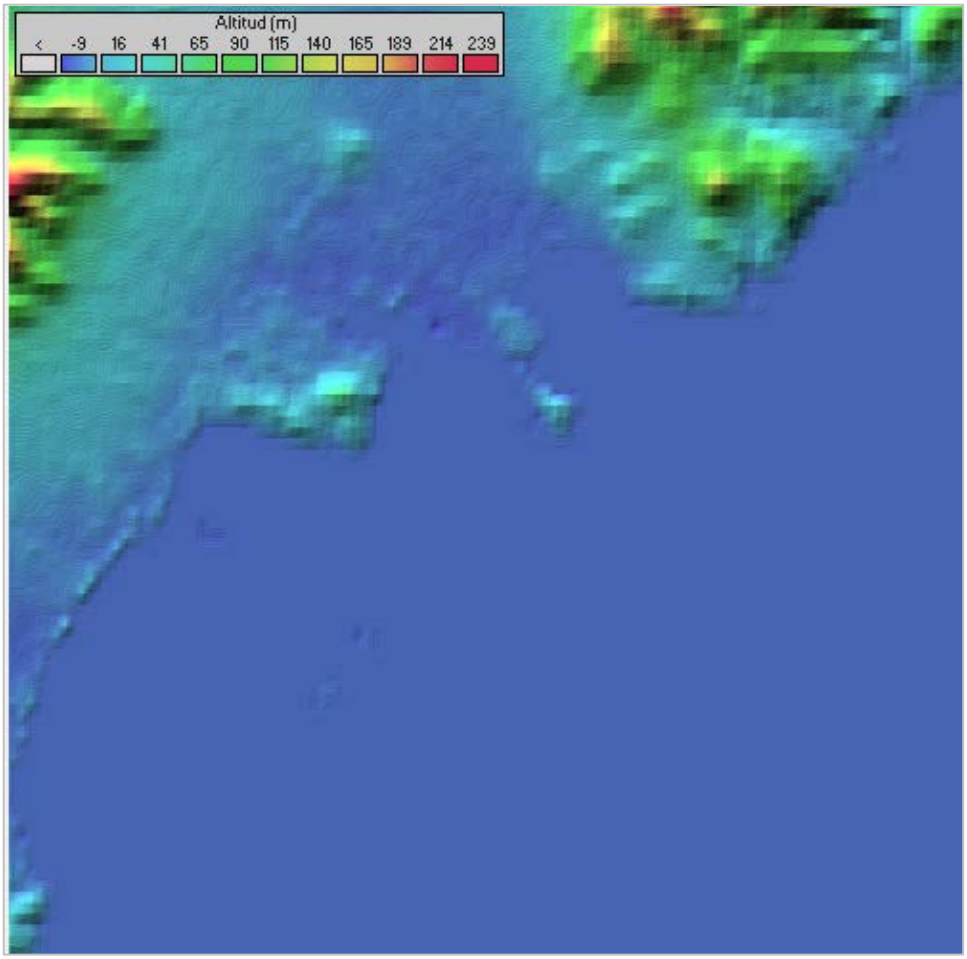


Figura 33 – Mapa d'altura d'Eivisssa

5.2 Mapa topogràfic

Per tal de poder seguir la simulació de la millor manera possible, resulta recomanable que al nostre mapa d'altures li superposem un mapa topogràfic, on puguem observar els parcs i diverses zones on podem pensar que els eventuals usuaris es poden trobar per tal de comprovar la cobertura en aquests llocs.

En aquest cas, la primera opció passa per obtenir els mapes corresponents de l'Institut Balear de Cartografia, però això no resulta possible de manera lliure, donat que cal realitzar una sol·licitud i abonar les quantitats corresponents. Per aquesta raó, s'ha optat per fer servir Open Street Map, característica incorporada al propi programa de Radio Mobile.

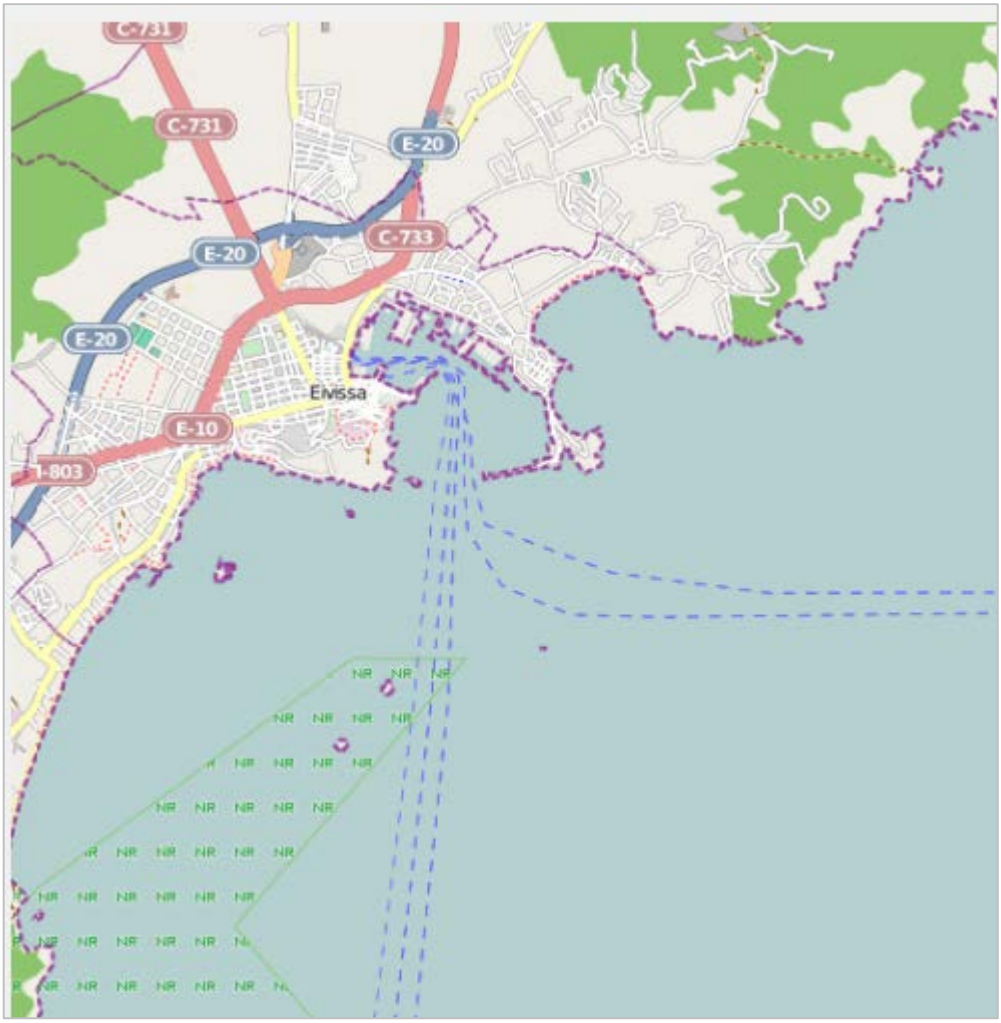


Figura 34 – Mapa topogràfic d'Eivissa

Aquest mapa es processarà conjuntament amb el nostre mapa d'altures per tal de poder realitzar una simulació que ens pugui servir per a conèixer com funcionaria a la realitat la nostra implementació.

5.3 Configuració de xarxa

Un cop hem incorporat els mapes obtinguts a Radiomobile, toca configurar els paràmetres de xarxa. D'aquesta manera podrem comprovar la visibilitat dels enllaços WiMAX per tal de poder realitzar les correccions adients si resulta necessari.

Per a canviar aquestes configuracions, caldrà anar al menú *Archivo* i escollir l'opció *Propiedades de las Redes*. Aquí caldrà que configurem dos tipus de xarxes, que es correspondran amb els dos estàndards que hem decidir que farem servir: WiMAX i WiFi.

Les configuracions del terreny que ens venen per defecte no cal modificar-les, i començarem per incloure la banda de freqüències corresponents tant a WiFi com a WIMAX

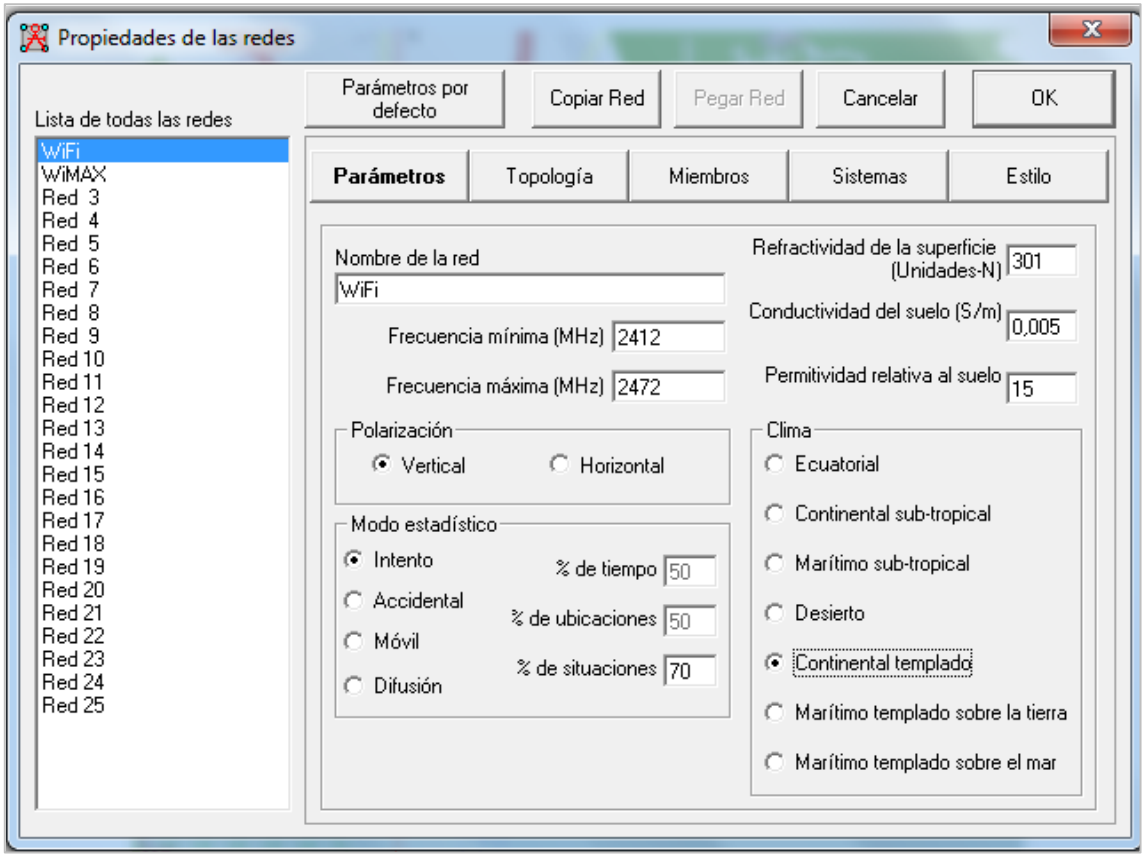


Figura 35 – Configuració de xarxes a Radiomobile

Un cop col·loquem els 11 AP que hem decidit en el nostre projecte, hem de decidir la capacitat que donarem a la connexió establerta entre els enllaços i la nostra estació base. D'acord amb les especificacions tècniques d'Alvarion, podem obtenir aproximadament 40Mbps per cada canal de 10MHz.

A continuació, caldrà que configurem a RadioMobile, a la pestanya de Sistema de la xarxa, les dades relatives al tipus de xarxa que volem simular, tot tenint en compte les limitacions amb què comptarem a causa de fer servir banda no llicenciada, com és la limitació en la potència del nostre senyal.

5.3.1 WiMAX

En primer lloc, cal que decidim l'alçada de les antenes que farem servir per a la nostra simulació. En el cas del municipi d'Eivissa, no ha resultat possible obtenir l'alçada real dels edificis, raó per la qual farem servir 15 metres, el valor mig d'aquests, per a la nostra simulació. De pèrdues sorgides a causa del cablejat i connectors, deixarem el valor de 0,5 que ve per defecte amb el programa.

A continuació, caldrà que incloguem la potència de transmissió i sensibilitat dels nostres equips d'acord amb la documentació tècnica d'Alvarion, amb l'excepció de la potència TX. En aquest cas, per la normativa CNEF que hem indicat en apartats anteriors, ens trobem amb un màxim de potencia radiada (PIRE) de 1W (30dBm) per a WiMAX.

Si calculem el PIRE per al nostre dispositiu WiMAX, si tenim en compte que la potència de l'antena és de 21dBm, el guany de l'antena és de 14.5dBm, i que les pèrdues són de 0.5dBm, obtenim un PIRE de 21+14.5-0.5=35dBm. Donat que supera el llindar de la banda no llicenciada, caldrà reduir la potència de transmissió de 21dbm a 16dbm.

Cal que calculem els AP que ens permetran prestar servei a com a mínim el nombre d'usuaris que ens hem plantejat. Donat que cada AP dels escollits permetrà prestar servei a 128 usuaris obtindrem el següent

Zona	Usuaris plantejats	Nombre d'AP	Nombre màxim d'usuaris
1	300	3	384
2	500	4	512
3	200	2	256
4	200	2	256
Total:		**11**	1408 usuaris

Un cop incloses les dades al simulador, podem veure si els enllaços es realitzen correctament

Figura 36 – Enllaç WiMAX amb l'estació base

Com havíem pogut preveure, les curtes distàncies i falta d'obstacles ens permeten realitzar una connexió des de la nostra estació base sense problemes als 11 AP amb què comptarem (per aquesta raó les línies són verdes) i que havíem assignat amb anterioritat a cada zona.

Respecte a la velocitat que podran obtenir cadascun d'aquests enllaços, l'òptim serà que la nostra estació base funcioni (com hem indicat anteriorment) a través d'enllaços sectorials. Així, obtindrem un màxim de 2 AP en la línia de visió de la nostra estació base, que hauran de compartir el canal de 10Mhz (40Mbps) . Si cada AP pot donar servei a un màxim de 128 usuaris, obtenim aproximadament 156,25Kbps per usuari. Això suposarà que la velocitat a què podran accedir el servei anirà entre els 256Kbps a què ens limita el present model a causa de les imposicions legals de la CMT i els 128Kbps en els supòsits de màxima ocupació.

5.3.2 WiFi

En el cas de WiFi, la potencia Tx és de 18dBm i el guany de l'antena de 8 dBm, això suposa que tinguem 26dBm de PIRE. Donat que la màxima potència que podem fer servir per a aquest estàndard serà de 100mW (20dBm) haurem de reduir la potència de transmissió de cada AP fins a 12dBm.Introduïdes les dades al simulador, obtenim les següents zones de cobertura

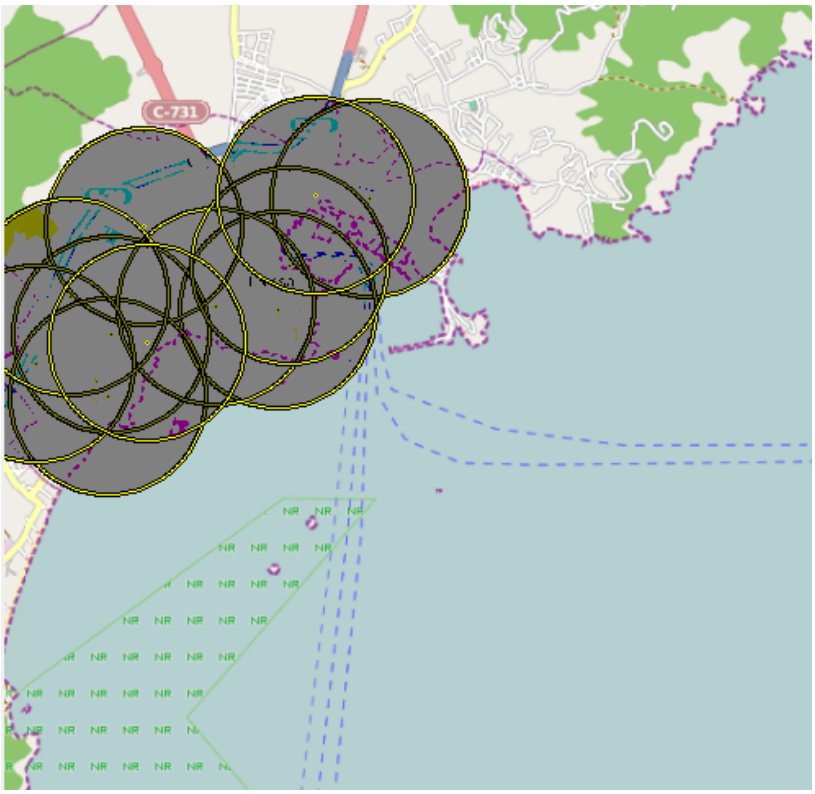


Figura 37 – Cobertura WiFi

Com era d'esperar, ens trobem amb una cobertura complerta de les zones que havíem plantejat, donada la manca d'obstacles naturals que puguin impedir la transmissió de la nostra senyal. No obstant això, i en el cas de què en una determinada zona ens poguéssim trobar davant d'una falta de cobertura, podríem fer servir un dels Wi2 extenders d'Alvarion.

6. Suggeriments per a la promoció del servei

Un cop s'hagi quedat establerta la xarxa dissenyada, resulta necessari que realment es faci servir per tal d'obtenir el retorn de la inversió realitzada. Per aquesta raó, es suggereixen les següents activitats.

6.1 Difusió de l'existència del servei

El primer pas serà donar a conèixer que la xarxa es troba operativa, a través de campanyes d'informació i promoció d'aquesta que ha d'incloure els avantatges per als ciutadans i turistes, i els nous serveis a què es tindrà accés a través d'aquestes. Aquest servei haurà així mateix de ser inclòs dins de la documentació d'informació turística entregada pels òrgans competents i haurà de ser promocionat a través dels mitjans de difusió adients, inclosos els públics si correspon.

Donat que el període d'efectivitat d'aquesta mesura serà limitat, posteriorment caldrà dissenyar mecanismes que permetin conèixer posteriorment l'existència d'aquesta xarxa sense fils. El més adequat passarà per la inclusió de logotipus incloent el nou servei en béns de domini públic, especialment en parc i platges (zones on no es compta amb accés a una connexió cablejada) i que poden resultar especialment beneficiades pel funcionament d'aquest servei.

Aquest servei també pot reforçar-se progressivament a través de l'adquisició de dispositius de connexió sense cable a través de WiMAX per tal de llogar-los en biblioteques o altres centres locals, la qual cosa permetria als ciutadans que no compten amb una connexió domèstica poder consultar determinats serveis que d'altra manera no podrien.

6.2 Realitzacions d'actuacions de formació

En tractar-se d'una nova tecnologia, cal ensenyar als ciutadans com fer-la servir i els avantatges concrets que poden extreure de la seva utilització. Per aquesta raó, i encara més tractant-se d'una entitat pública com és un municipi, s'hauran de realitzar actuacions gratuïtes de formació dirigides a aquest objectiu.

D'altra banda, i aprofitant la web institucional, es crearà un apartat destinat específicament a la promoció de la xarxa telemàtica, amb un manual que explicarà de manera clara i concisa com s'ha de realitzar la connexió i els requisits per a fer-ho.

7. Pressupost econòmic

Concepte	Preu	Quantitat	Total
BreezeMAX Extreme	5.000,00€	6	30.000,00€
Font per BreezeMax	100,00€	6	600,00€
Switch Enterasys C5	3.400,00€	1	3.400,00€
Alvarion Wi2	1.100,00€	11	12.100,00€
Antena Omni 8 dB	90,00€	11	990,00€
Antena Sectorial	500,00€	6	3.000,00€
Firewall PA2020	8.600,00€	1	8.600,00€
Servidor DELL	2.037,00€	1	2.037,00€
BreezeMAX USB	72,00€	10	720,00€
Cable Ethernet CAT6	1,50€	50	75,00€
Ma d'obra	X	X	X
		TOTAL	61.522,00€
		IVA (21%)	12.919,62€
		FINAL	74.441,62€

A l'anterior caldrà sumar la ma d'obra que dependrà d'opcions com són les estudiades a l'hora d'establir la localització de la instal·lació. En el cas de no poder aprofitar les infraestructures existents, les hores que s'hauran de destinar a la implantació d'aquest servei seran superiors.

Pel que fa a l'ample de banda, les especials condicions de les Administracions Públiques permeten obtenir condicions particulars per a la prestació d'un servei d'aquesta magnitud. Posats en contacte amb Movistar, no ha estat possible obtenir els imports corresponents a aquest ample de banda. A aquest respecte, cal esmentar que també resultaria possible contractar diverses ADSL2+ amb un sistema de balanceig per a prestar el servei, però el rendiment serà potencialment inferior.

Respecte al retorn de la inversió, cal que recordem que es tracta d'un servei gratuït, i el que s'ha de valorar és l'aparença de modernitat i els serveis addicionals oferts en un municipi on el turisme és un sector primordial d'activitat econòmica.

8. Conclusions

En aquest projecte hem analitzat la viabilitat de la implantació d'una xarxa sense fils al municipi d'Eivissa. Com hem pogut observar, amb un pressupost relativament no massa alt (pensem que el pressupost anual de l'entitat local va ser de 48,5 milions d'euros per a 2012) podem prestar un servei interessant des del punt de vista del desenvolupament de la societat de la informació, i sense necessitat de realitzar grans obres que suposin un retard en la implantació d'aquest.

WiMAX i WiFi han estat les tecnologies escollides per al projecte, donada la seva elevada compatibilitat amb equips actuals i el gran nombre de dispositius disponibles. En tractar-se d'una tecnologia madura, el cost d'implantació és raonable per al benefici que se n'obté.

La decisió de convivència d'ambdues tecnologies ha estat provocada per la cerca de permetre l'accés al major nombre d'usuaris possibles. Qualsevol terminal mòbil compta actualment amb suport WiFi, però WiMAX no es troba en un estat d'implantació tan generalitzat.

Obtenim un ranc de cobertura pràcticament total. En un municipi orientat a serveis, on el turisme és una activitat econòmica que gaudeix de gran entitat, el poder oferir una connexió gratuïta serà un plus a oferir com a mostra de la seva modernitat.

No obstant tot l'anterior, també hem trobat com el fet de voler prestar el servei de manera gratuïta suposa l'obligació de realitzar limitacions en la velocitat del servei per tal de no alterar la competència al mercat i produir una competència deslleial. Tot i això, per a l'ús raonable comptem amb una velocitat que permetrà la utilització dels serveis més comuns.

9. Documentació Tècnica

BreezeMax Extreme 5000

Specifications

Radio & Modem

Unit type	All outdoor base station	
Configuration options	Single sector MIMO – integrated / external antenna Single sector SISO – integrated / external antenna Dual sector SISO – external antenna	
Frequency	**Base station** 4900-5350 MHz 5470-5950 MHz	**CPE** 4900-5950 MHz
Channel bandwidth	5 MHz, 10 MHz, 2x10 MHz	5 MHz, 10 MHz
Number of channels	MIMO: 2Rx, 2Tx SISO: 1Rx, 1Tx	2Rx, 1Tx
Radio access method	IEEE 802.16-2005 (16e OFDMA)	
Operational mode	TDD	
Central frequency resolution	2.5 MHz (for 5 MHz channel), 5 MHz (for 10,2x10 MHz channel)	
FFT size	512/1024	
Supported modulation	QPSK 1/2, 3/4 + Rep QAM16 1/2, 3/4 QAM64 2/3, 3/4, 5/6	
Air link optimization support	HARQ, CTC, compressed DL / UL Maps.	
Diversity	2x2, MIMO Matrix A, MRC, MIMO Matrix B	

Transmit Power

Transmit power	**Base Station** 0-21 dBm, 1dB resolution	**CPE** QAM64: 18 dBm QAM16: 20 dBm QPSK: 21 dBm ATPC of 20 dB, 1 dB resolution
Integrated antenna gain	14.5 dBi	16 dBi

Security

Authentication	Centralized over RADIUS, MS chap v.2 EAP TTLS over RFC-2865
Data encryption	AES WIMAX 16e

Interfaces

Network	
Standard compliance	IEEE 802.3 CSMA/CD
Data interface	10/100 Mbps, half/full duplex with auto negotiation
Power	In: PoE (55V DC) In: 48V DC Out: PoE (55V DC) feeding backhaul CPE
GPS	Antenna (TNC), receiver integrated in unit GPS chaining support

Mechanical

	Base Station	**CPE**
Dimensions (H x D x W)	51 x 28 x 14.7 cm	23 x 23 x 6.3 cm
Weight:		
Extreme 5000 unit	11 kg	2 kg
Mounting Kit	5 kg	

Environmental

Operating temperature	-40°C to 55°C
Operating humidity	5%-95% non condensing, weather protected

BreezeMax Wi2

Wi-Fi Access Point Specifications

Data Rates
802.11g: 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps per channel
802.11b: 1, 2, 5.5, 11 Mbps per channel

Maximum Channels
FCC/IC: 1-11
ETSI: 1-13
Japan: 1-14

Maximum Clients
128 for the radio interface set to access point mode

Modulation Types
802.11g: CCK, BPSK, QPSK, OFDM
802.11b: CCK, BPSK, QPSK

Operating Frequency
802.11b/g:
2.4 ~ 2.4835 GHz (US, Canada, ETSI)
2.4 ~ 2.497 GHz (Japan)

Network Management
Web-management, Telnet, SNMP

Radio Signal Certification
FCC Part 15.247 (2.4 GHz)
EN 300.328, EN 302.893
EN 300 826, EN 301.489-1, EN 301.489-17
ETSI 300.328; ETS 300 826 (802.11b)

Safety
UL/CUL (CSA60950-1, UL60950-1)
CB (IEC 60950-1)
UL/GS (EN60950-1)

Wireless Radio/Regulatory Certification
ETSI 300 328 (11b/g), 301 489 (DC power)
FCC Part 15C 15.247/15.207 (11b/g), Wi-Fi, DGT, TELEC, RSS210(Canada)

Electromagnetic Compatibility
CE Class B (EN55022)
CE EN55024,
IEC61000-3-2, IEC61000-3-3,
IEC61000-4-2, IEC61000-4-3,
IEC61000-4-4,
IEC61000-4-5, IEC61000-4-6,
IEC61000-4-8, IEC61000-4-11
FCC Class B Part 15
VCCI Class B
ICES-003 (Canada)

Standards
IEEE 802.3 10BASE-T, IEEE 802.3u 100BASE-TX,
IEEE 802.11 b, g

Antenna Specifications
2x 8 dBi Omni directional (2.4-2.5GHz)

Wi-Fi Access Point Specifications

802.11g	6 Mbps	9 Mbps	12 Mbps	18 Mbps	24 Mbps	36 Mbps	48 Mbps	54 Mbps
TX power (dbm)	20	20	20	20	20	19	19	18
RX sensitivity (dbm)	-91	-90	-89	-88	-84	-80	-75	-73

802.11b	1 Mbps	2 Mbps	5.5 Mbps	11 Mbps
TX power (dbm)	20	20	20	20
RX sensitivity (dbm)	-96	-93	-93	-90

SW Features

Layer 2 Features
Bridge mode
VLAN (Guest, Default, Dynamic RADIUS-based)
Spanning Tree (802.1D and 802.1W)

Security Features
WEP, AES
WPA/TKIP over 802.1x & PSK
802.11i /WPA2
802.1x supplicant mode
Rouge AP Prevention via 802.1x
Static Port Security (MAC-based) (Mac 1024)
Close System - Hiding SSID from Beacon
RADIUS authentication
Access Control List (Mac SA, DA, Ether Type)
Multiple SSID (BSSID, Virtual AP's) - 4 per Wireless Interface

QoS
WRR (Weighted Round Robin)
Strict Priority scheduling
802.11e (WMM baseline)

Hotspot
Prevent Communication between Wireless Clients
RADIUS Accounting (AAA)
Background Scan & Rouge AP detection
802.11f - IAPP Roaming (draft 2.2)
802.11d Broadcast Country Code

Management
SNMP (v1, v2c, v3)
Web access + HTTPS and SSL (Secured Web)
Telnet + SSH V1.5 & V2 (Secured Telnet session)
SNTP

BreezeMax USB 250

Specifications:

WiMAX Radio & Modem

Item	Description
Radio Type	IEEE 802.16e 2005 Wave II
Frequency Band	• 2.3 GHz – 2300~2400 MHz • 2.5 GHz – 2496~2690 MHz • 3.5 GHz – 3400~3600 MHz
Antenna Type	Omni (supporting 1Tx and 2Rx) with Tx Diversity.
Channel Bandwidth	• 2.3 GHz - 5 and 10 MHz • 2.5 GHz - 5 and 10 MHz • 3.5 GHz - 5, 7, and 10 MHz
Antenna Technology	Maximum-Ratio Combining (MRC)
Modulation Technique	• Scaleable OFDMA employing Time-Division Duplex (TDD) mechanism • PRBS subcarrier randomization • Contains pilot, preamble, and ranging modulation
FEC Coding Rates	• Down Link: QPSK, 16 QAM, 64 QAM • Up Link: QPSK, 16 QAM, 64 QAM • FEC 1/2, 3/4, 5/6
Channel Step Size	In 250 KHz steps
Synchronization	Shall be referenced to the WiMAX BTS Timing Module.
Frequency Accuracy	MRCT Compliant
Air Interface	IEEE 802.16e WirelessMAN-OFDMA
TDD Duty Cycle (Tx/Rx)	Rx up to 75% , Tx up to 50%
SISO or MIMO	MIMO (1TX, 2RX)
Regulatory Compliance	Complies with major regional regulatory requirements

RF Transmitter Specifications

Output power	Typical 23dBm @ (16QAM 3/4 with EVM -24dB / ETSI spectrum mask)
Transmit Power Dynamic Range	45 dB
Transmit Power Control Relative Accuracy	2 dB
Transmit and Receive Switching Gap	50 us

RF Receiver Specifications

Impedance	50 ohm
RX Sensitivity	Better than mRCT 6dB
Adjacent Channel Rejection	Follow mRCT
Non-Adjacent Channel Rejection	Follow mRCT

Antenna Specifications

Two printed antenna	
Antenna Gain	2 dBi
Antenna Connectors	Not Supported

Sensitivity

MRC 2.3GHz	6dB Better than mRCT
MRC 2.5GHz	6dB Better than mRCT
MRC 3.5GHz	6dB Better than mRCT

Mechanical

Dimensions	Length x Width x Height (mm): 93.7x28x10.7 mm
Weight	20 g
Mounting	USB 2.0

Standards Compliance

CE	EN 60950 ETSI 302544 ETSI 300 019-2-4 ETSI 301 489-1 V1.4.1

Environmental

Operating Temperature	0°C to 40°C

Paloalto PA2020

Available Models

PA-2050	PA-2020
1 Gbps firewall throughput (App-ID enabled[1])	500 Mbps firewall throughput (App-ID enabled[1])
500 Mbps threat prevention throughput	200 Mbps threat prevention throughput
300 Mbps IPSec VPN throughput	200 Mbps IPSec VPN throughput
250,000 max sessions	125,000 max sessions
15,000 new sessions per second	15,000 new sessions per second
2,000 IPSec VPN tunnels/tunnel interfaces	1,000 IPSec VPN tunnels/tunnel interfaces
1,000 SSL VPN Users	500 SSL VPN Users
10 virtual routers	10 virtual routers
1/6* virtual systems (base/max[2])	1/6* virtual systems (base/max[2])
40 security zones	40 security zones
5,000 max number of policies	2,500 max number of policies

Switch Enterasys C5G124-24

	C5G124-24	C5G124-24P2	C5G124-48	C5G124-48P2
Performance				
Throughput Capacity wire-speed Mpps (switch / stack)	35.7 Mpps / 285.7 Mpps	35.7 Mpps / 285.7 Mpps	71.4 Mpps / 571.4 Mpps	71.4 Mpps / 571.4 Mpps
Switching Capacity (switch / stack)	48 Gbps (35.7 Mpps) / 384 Gbps (285.7 Mpps)	48 Gbps (35.7 Mpps) / 384 Gbps (285.7 Mpps)	96 Gbps (71.4 Mpps) / 768 Gbps (571.4 Mpps)	96 Gbps (71.4 Mpps) / 768 Gbps (571.4 Mpps)
Stacking Capacity (switch / stack)	128 Gbps (95.2 Mpps) / 1,024 Gbps (761.8 Mpps)	128 Gbps (95.2 Mpps) / 1,024 Gbps (761.8 Mpps)	128 Gbps (95.2 Mpps) / 1,024 Gbps (761.8 Mpps)	128 Gbps (95.2 Mpps) / 1,024 Gbps (761.8 Mpps)
Aggregate Throughput Capacity (switch / stack)	176 Gbps (130.9 Mpps) / 1,408 Gbps (1,047.5 Mpps)	176 Gbps (130.9 Mpps) / 1,408 Gbps (1,047.5 Mpps)	224 Gbps (166.6 Mpps) / 1,792 Gbps (1,333.2 Mpps)	224 Gbps (166.6 Mpps) / 1,792 Gbps (1,333.2 Mpps)
PoE Specifications				
802.3af Interoperable	N/A	Yes	N/A	Yes
802.3at Interoperable	N/A	Yes	N/A	Yes
System Power	N/A	850 watts per switch with up to 30 watts per port Per-port switch power monitor: • Enable/disable • Priority safety • Overload & short circuit protection	N/A	850 watts per switch with up to 30 watts per port Per-port switch power monitor: • Enable/disable • Priority safety • Overload & short circuit protection
Physical Specifications				
Dimensions (H x W x D)	H: 4.4 cm (1.73") W: 44.1 cm (17.36") D: 36.85 cm (14.51")	H: 4.4 cm (1.73") W: 44.1 cm (17.36") D: 36.85 cm (14.51")	H: 4.4 cm (1.73") W: 44.1 cm (17.36") D: 36.85 cm (14.51")	H: 4.4 cm (1.73") W: 44.1 cm (17.36") D: 36.85 cm (14.51")
Net Weight	5.03 kg (11.10 lb)	6.21 kg (13.70 lb)	5.42 kg (11.95 lb)	6.60 kg (14.55 lb)
MTBF	395,557 hours	289,425 hours	311,897 hours	229,532 hours
Physical Ports	• (24) 10/100/1000 auto-sensing, auto-negotiating MDI/MDI-X RJ45 ports • (4) Combo SFP ports • (2) dedicated stacking ports • (1) DB9 console port • (1) RPS port	• (24) 10/100/1000 PoE (.af+.at) auto-sensing, auto-negotiating MDI/MDI-X RJ45 ports • (4) Combo SFP ports • (2) dedicated stacking ports • (1) DB9 console port • (1) RPS port	• (48) 10/100/1000 auto-sensing, auto-negotiating MDI/MDI-X RJ45 ports • (4) Combo SFP ports • (2) dedicated stacking ports • (1) DB9 console port • (1) RPS port	• (48) 10/100/1000 PoE (.af+.at) auto-sensing, auto-negotiating MDI/MDI-X RJ45 ports • (4) Combo SFP ports • (2) dedicated stacking ports • (1) DB9 console port • (1) RPS port
Power Requirements				
Normal Input Voltage	100 - 240 VAC	100 - 240 VAC	100 - 240 VAC	100 - 240 VAC
Input Frequency	50 – 60 Hz	50 – 60 Hz	50 – 60 Hz	50 – 60 Hz
Input Current	2 A Max	12 A Max	2 A Max	12 A Max
Power Consumption	65 watts	125 watts	101 watts	150 watts

	C5G124-24	C5G124-24P2	C5G124-48	C5G124-48P2
Temperature				
IEC 6-2-1 Standard Operating Temperature	0° to 50° C (32° to 122° F)	0° to 50° C (32° to 122° F)	0° to 50° C (32° to 122° F)	0° to 50° C (32° to 122° F)
IEC 6-2-14 Non-Operating Temperature	-40° to 70° C (-40° to 158° F)	-40° to 70° C (-40° to 158° F)	-40° to 70° C (-40° to 158° F)	-40° to 70° C (-40° to 158° F)
Heat Dissipation	222 BTUs/Hr	428 BTUs/Hr	345 BTUs/Hr	513 BTUs/Hr
Humidity				
Operating Humidity	5% - 95% non-condensing	5% - 95% non-condensing	5% - 95% non-condensing	5% - 95% non-condensing
Vibration				
	IEC 68-2-6, IEC68-2-36	IEC 68-2-6, IEC68-2-36	IEC 68-2-6, IEC68-2-36	IEC 68-2-6, IEC68-2-36
Shock				
	IEC 68-2-29	IEC 68-2-29	IEC 68-2-29	IEC 68-2-29
Drop				
	IEC 68-2-32	IEC 68-2-32	IEC 68-2-32	IEC 68-2-32
Acoustics				
Front of switch (normal operation)	44 dB	45.5 dB	46 dB	45.5 dB
Altitude				
Operating	10,000 ft (3,048 m)	10,000 ft (3,048 m)	10,000 ft (3,048 m)	10,000 ft (3,048 m)
Non-operating	15,000 ft (4,572 m)	15,000 ft (4,572 m)	15,000 ft (4,572 m)	15,000 ft (4,572 m)
Agency and Regulatory Standard Specifications				
Safety	UL 60950-1, CSA 22.1 60950, EN 60950-1, and IEC 60950-1	UL 60950-1, CSA 22.1 60950, EN 60950-1, and IEC 60950-1	UL 60950-1, CSA 22.1 60950, EN 60950-1, and IEC 60950-1	UL 60950-1, CSA 22.1 60950, EN 60950-1, and IEC 60950-1
EMC	FCC Part 15 (Class A), ICES-003 (Class A), BSMI, VCCI V-3, AS/NZS CISPR 22 (Class A), EN 55022 (Class A), EN 55024, EN 61000-3-2, and EN 61000-3-3	FCC Part 15 (Class A), ICES-003 (Class A), BSMI, VCCI V-3, AS/NZS CISPR 22 (Class A), EN 55022 (Class A), EN 55024, EN 61000-3-2, and EN 61000-3-3	FCC Part 15 (Class A), ICES-003 (Class A), BSMI, VCCI V-3, AS/NZS CISPR 22 (Class A), EN 55022 (Class A), EN 55024, EN 61000-3-2, and EN 61000-3-3	FCC Part 15 (Class A), ICES-003 (Class A), BSMI, VCCI V-3, AS/NZS CISPR 22 (Class A), EN 55022 (Class A), EN 55024, EN 61000-3-2, and EN 61000-3-3
Environmental	2002/95/EC (RoHS Directive), 2002/96/EC (WEEE Directive), Ministry of Information Order #39 (China RoHS)	2002/95/EC (RoHS Directive), 2002/96/EC (WEEE Directive), Ministry of Information Order #39 (China RoHS)	2002/95/EC (RoHS Directive), 2002/96/EC (WEEE Directive), Ministry of Information Order #39 (China RoHS)	2002/95/EC (RoHS Directive), 2002/96/EC (WEEE Directive), Ministry of Information Order #39 (China RoHS)

Servidor Radius (Dell PowerEdge)

Date	03/10/2012 3:32:29 Central Standard Time
Número de catálogo	1919 Retail esbsdt1

Número de catálogo / Descripción	Código del producto	Qty	SKU	Id.
Base: PowerEdge R210 II Chassis, 2x3.5" Cabled HDDs, LED Diagnostics	509787	1	[210-35616]	1
Procesador: Intel Xeon E3-1280v2 Processor (3.6GHz, 4C/8T, 8M Cache, 69W, Turbo)	703666	1	[213-16167]	146
Memoria: 16GB Memory, DDR3, 1333MHz (2x8GB Dual Ranked LV UDIMMs)	509796	1	[370-20353]	3
Sistema operativo instalado de fábrica: No Operating System	8007	1	[611-10036]	285
Conectividad Raid: C2 2HD - RAID 0 with PERC S100 (Embedded SATA Software RAID), Requires 2 SATA HDDs	509831	1	[780-12732]	1009
Primera unidad de disco duro: 1TB, SATA, 3.5-in, 7.2K RPM Hard Drive (Cabled)	305583	2	[400-18492]	1209
Powercord: 2M Rack Power Cord C13/C14 12A	204752	1	[450-12466]	207
Tarjetas de administración del servidor: Embedded Baseboard Management Controller	256923	1	[565-10165]	1314
Tarjetas de red: Broadcom NetXtreme II 5709 Dual Port 1GbE NIC with TOE, PCIe-4	186357	1	[540-10511]	1230
Carcasa frontal: 1U Rack Bezel	257406	1	[350-10513]	669
Guías para montaje en rack: No Rack Rails Included	509807	1	[770-11315]	88
Dispositivos ópticos: 16X DVD+/-RW ROM Drive SATA with SATA Cable	509819	1	[429-15829]	16
Administración de sistemas: PE R210II Electronic System Documentation and OpenManage DVD	509843	1	[631-10774]	49
Documentos de envío: R210II EMEA1 Ship Docs No Power Cord (English/French/German/Spanish/Russian/ Hebrew)	509790	1	[340-25162]	21
Información sobre el pedido: PowerEdge Order - Spain	32385	1	[800-10501]	111
Garantía básica: 1Yr Basic Warranty - Next Business Day - Minimum Warranty	313707	1	[709-10510] [709-10511]	29
Servicios de asistencia: 1Yr Basic Warranty - NBD Included - No Upgrade Selected	313783	1	[710-18015]	30
Dell Servicios: Instalaciones: No Installation Service Selected (Contact Sales rep for more details)	58267	1	[683-11870]	1290

7. Bibliografia

[1]AKYILDIZ, Ian:"Wireless Mesh Networks", John Wiley & Sons, 2009

[2]CIAMPA, Mark:" Security+ Guide to Network Security Fundamentals", Cengage Learning, 2011

[3]FARR, T. G., et al.:"The Shuttle Radar Topography Mission", Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183, 2007

[4]HASSELL, Jonathan: "RADIUS: Securing Public Access to Private Resources", O'Reilly Media, Inc., 2010

[5]MARCANO, Diógenes:"Capítulo 3: Acceso Múltiple OFDMA", Atel Asesores, disponible en <http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/seccion_telecomunicaciones/Capitulo%203%20Acceso%20Multiple%20OFDMA.pdf>

[6]KATZ Marcos:"WiMAX Evolution: Emerging Technologies and Applications", John Wiley & Sons, 2009

[7]SWEENEY, Daniel: WiMax Operator's Manual: Building 802.16 Wireless Networks, Apress 2005