

TREBALL FINAL DE GRAU.

Títol del TFG: Desenvolupament d'una xarxa WiFi de darrera generació per al municipi de Sant Joan de Labritja (Eivissa).

*Autor: Antonio Roig Torres
Consultor: Antoni Morell Pérez
Data: 13 de juny de 2015*

**Estudis de Grau de Tecnologies de la Telecomunicació
- Especialitat de Telemàtica -**

Índex de continguts:

Capítol 0 – Introducció

Objectius i abastament del projecte:.....Pàgina 04

Capítol 1 – Estat del art

1.1 Tecnologies WiFi disponibles.....Pàgina 06
1.2 Modes de operació.....Pàgina 07
1.3 Equips disponibles al mercat.....Pàgina 09
1.4 Bandes lliures de llicència (ISM & U-NII)Pàgina 10
1.5 Freqüència de funcionament dels equips.....Pàgina 11
1.6 Elecció del fabricant dels equips.....Pàgina 14

Capítol 2 – Estudi del municipi de Sant Joan de Labritja

2.1 Situació actual del municipi.....Pàgina 19
2.2 Nuclis de població.....Pàgina 20
2.3 Dispersió de la població.....Pàgina 22
2.4 Anàlisi de les zones de cobertura als municipis.....Pàgina 23
2.5 Estudi en detall.....Pàgina 24

Capítol 3 – Infraestructura de xarxa

3.1 Possibles usuaris del servei.....Pàgina 27
3.2 Elecció del model de xarxa i esquema de la mateixa.....Pàgina 29
3.3 Especificacions tècniques i funcionals.....Pàgina 30
3.3.1 Capa de Core o Nucli de la xarxa.....Pàgina 30
3.3.2 Capa de Distribució de la xarxa.....Pàgina 31
3.3.3 Capa de Accés de dades.....Pàgina 34
3.4 Xarxa troncal de distribució.....Pàgina 37
3.5 Situació dels elements.....Pàgina 39
3.5.1 Situació dels nodes de distribució.....Pàgina 39
3.5.2 Situació dels nodes de Accés i Core de la xarxa.....Pàgina 40
3.6 Mapa topogràfic de la xarxa.....Pàgina 42
3.7 Elecció dels elements i esquemes de connexionat.....Pàgina 43
3.7.1 Routers de dades i balancejadors de càrrega.....Pàgina 43
3.7.2 Antenes i equips per els radioenllaços.....Pàgina 44
3.7.3 Altre equipament per la xarxa.....Pàgina 45
3.7.4 Connexionat dels equips de la capa de Core.....Pàgina 45
3.7.5 Connexionat dels equips de la capa de distribució.....Pàgina 47
3.7.6 Connexionat dels equips de la capa de accés.....Pàgina 48
3.8 Equipament local dels usuaris o CPE.....Pàgina 49
3.9 Ampliació dels serveis de la xarxa.....Pàgina 49
3.10 Línia de connexió principal a Internet.....Pàgina 50

Capítol 4 – Disseny final de la xarxa i simulació

4.1 Topografia i model digital de la zona per al simulador.....	Pàgina 51
4.2 Simulació de tots els radioenllaços.	Pàgina 52
4.3 Simulacions de les zones de cobertura locals.	Pàgina 52
4.3.1 Zona de cobertura local de Sant Joan.....	Pàgina 52
4.3.2 Zona de cobertura local de Sant Miquel.....	Pàgina 53
4.3.3 Zona de cobertura local de Sant Llorenç.....	Pàgina 54
4.3.4 Zona de cobertura local de Sant Vicent.....	Pàgina 54
4.4 Cobertura real de la xarxa.....	Pàgina 55
4.5 Dimensionat dels equips i nombre de usuaris simultanis.....	Pàgina 55
4.6 Configuració de la xarxa.....	Pàgina 56

Capítol 5 – Pressupost i consideracions finals

5.1 Pressupost de la xarxa.....	Pàgina 57
5.2 Viabilitat del projecte.....	Pàgina 59
5.3 Conclusions.....	Pàgina 59

Bibliografia.....	Pàgina 60
-------------------	-----------

Índex de figures.....	Pàgina 61
-----------------------	-----------

Glossari.....	Pàgina 63
---------------	-----------

Capítol 0 – Introducció

Objectius i abastament del projecte

El projecte desenvolupat en aquest document consisteix en la creació de una xarxa telemàtica pública per a proveir de serveis sota IP als habitants del municipi rural de Sant Joan, situat a la zona nord de l'illa de Eivissa. Aquesta xarxa de darrera generació, es preveu que estigui construïda a partir de uns nodes repartits per tot el municipi, que serviran per a distribuir aquests serveis IP a la vegada que per dotar de cobertura WiFi a les principals poblacions del municipi.

Dins els serveis disponibles a aquesta xarxa, es preveu principalment proveir als usuaris de una connexió a Internet de banda ample de darrera generació, i mirant cap el futur, la xarxa també quedarà preparada per a proveir altres serveis IP, com poden ser telefonia i televisió, tot això es farà aprofitant la infraestructura existent i fent un mínim de canvis sobre la base ja instal·lada de la xarxa.

La solució final elegida és per tant flexible y escalable, a la par que modular i robusta, per tal de fer que els temps de desplegament de la xarxa siguin el mes curts possible, i a la vegada, aconseguir que es pugui donar als habitants del municipi el millor servei possible en cada moment.



Fig. 1. Situació del municipi de Sant Joan de Labritja.

Una de les característiques principals de els nuclis rurals de Eivissa es la alta dispersió de la població, el que fa que emprar tecnologies cablejades es faci inviable, degut al alt cost que suposaria el desplegament de una xarxa de aquestes característiques.

La orografia del municipi de Sant Joan de Labritja presenta relleus suaus i poques muntanyes, totes elles de poca alçada. La climatologia de la zona es bona i quasi no es presenten pluges durant l'any, si ajuntem tot això, ens adonem que algunes de les tecnologies sense fils disponibles en la actualitat, son ideals per a ser emprades per a construir aquesta xarxa de telecomunicacions.

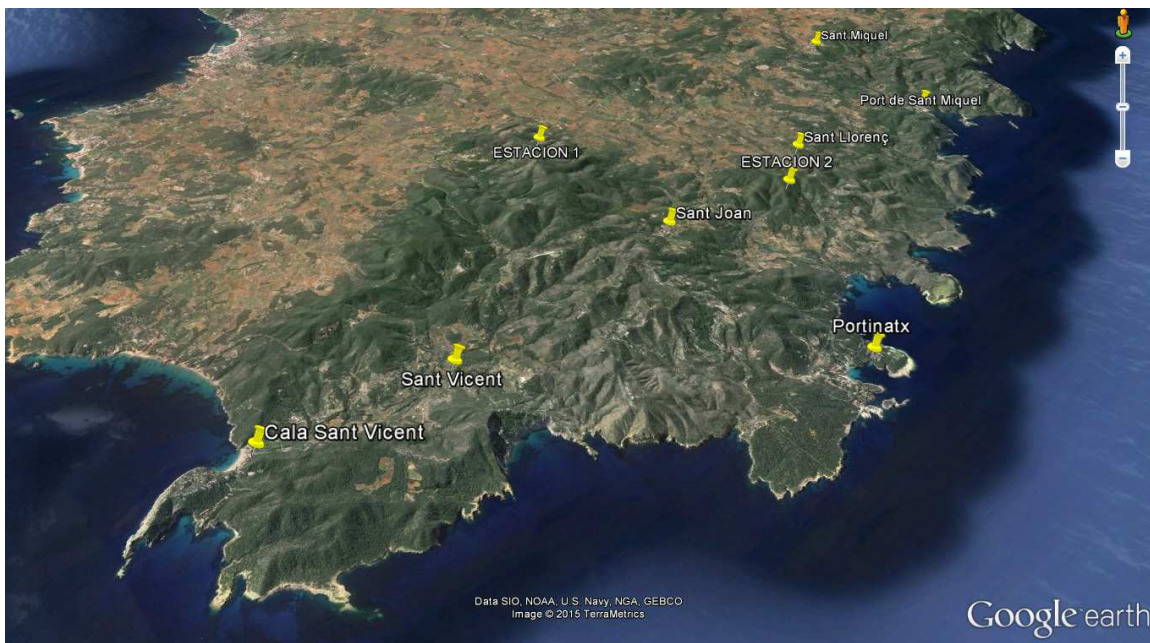


Fig. 2: Detall de la orografia de la zona.

Es per tot això, que aquest projecte es centrarà exclusivament en les tecnologies WiFi de darrera generació.

Aprofitant la flexibilitat de la xarxa, en una segona fase del projecte es preveu dotar de cobertura a les poblacions costaneres del municipi, com poden ser la zona de Portinatx i la del Port de Sant Miquel.

Capítol 1 – Estat del art:

1.7 Tecnologies WiFi disponibles

La paraula WiFi és una abreviatura de l'expressió en anglès "Wireless Fidelity". Aquesta expressió s'utilitza com a denominació genèrica per als productes que incorporen qualsevol variant de la tecnologia sense fils 802.11, que permet la creació de les xarxes conegudes com WLAN (Wireless Local Area Networks), en les quals la comunicació entre els seus components es realitza mitjançant ones electromagnètiques, per el que no resulta necessari que hi hagi un cable connectat físicament entre els equips d'una mateixa xarxa sense fils WLAN.

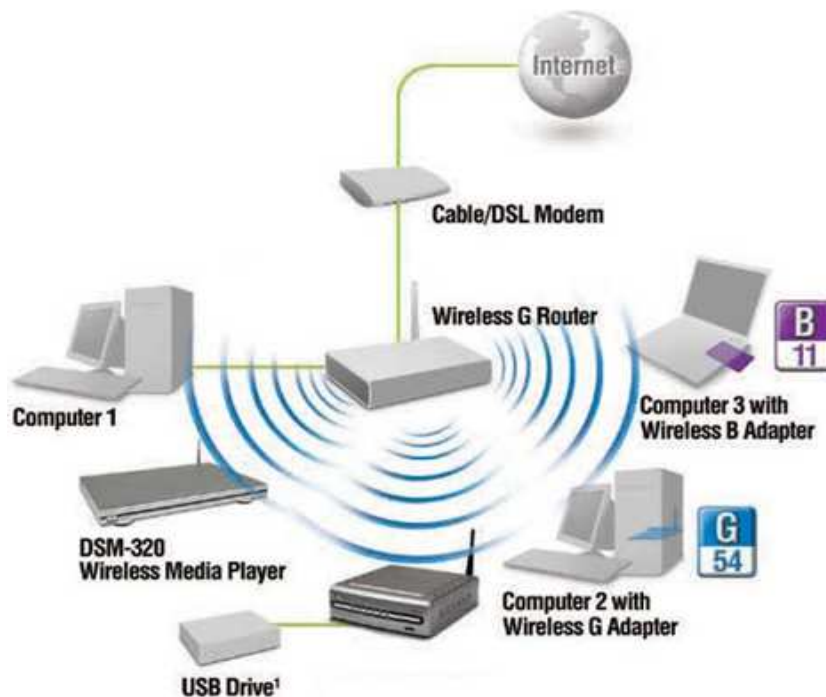


Fig. 3: Esquema de una xarxa WLAN típica (IEEE).

Aquesta comunicació es desenvolupa seguint les especificacions tècniques que s'ajusten a la tecnologia 802.11, que és un protocol de comunicacions registrat per l'Institut d'Enginyers Elèctrics i Electrònics (Per les seves sigles en anglès IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers).

El IEEE és una associació professional mundial que entre altres coses ha establert els protocols i les normes de funcionament dels sistemes de comunicació sense fils. Els estàndard WiFi es va crear per ser utilitzat en xarxes locals LAN (Local Area Network), per dotar als seus ordinadors de una connexió a Internet sense tenir que patir els inconvenients que suposa haver de cablejar la sala.

La tecnologia 802.11 va ser creada a 1997 i el seu boom es situa als voltants del any 2004, on es calcula va generar un volum de negoci de 1.739 milions de euros, segons dades del Col·legi Oficial de Enginyers en Telecomunicació COIT. Al principi, l'expressió WiFi era utilitzada únicament per als aparells amb tecnologia 802.11b, que funciona en una banda de freqüències de 2,4 GHz i permet la transmissió de dades a una velocitat de fins a 11Mbps. Aquest és l'estàndard dominant en el desenvolupament de les xarxes sense fils i gaudeix d'una acceptació pràcticament universal, de manera que per tal d'evitar confusions en la compatibilitat dels aparells i la interoperabilitat de les xarxes sense fils, el terme WiFi es va estendre a tots els aparells proveïts amb variants de la tecnologia 802.11.

Normas (capa física y de acceso al medio)	Velocidad transmisión máxima (Mbps)	Throughput máximo típico (Mbps)	Numero máximo de redes colocalizadas	Banda de frecuencia	Radio de cobertura típico (interior)	Radio de cobertura típico (exterior)
IEEE 802.11a/h	54 Mbps	22 Mbps	14 (5.7 GHz)	5 GHz	85 m	185 m
IEEE 802.11b	11 Mbps	6 Mbps	3	2.4 GHz	50 m	140 m
IEEE 802.11g	54 Mbps	22 Mbps	3	2.4 GHz	65 m	150 m
IEEE 802.11n (40 MHz)*	>300 Mbps	>100 Mbps	1 (2.4 GHz) 7 (5.7 GHz)	5 GHz	120 m	300 m
IEEE 802.11n (20 MHz)*	144 Mbps	74 Mbps	3 (2.4 GHz) 14 (5.7 GHz)	2.4 GHz y 5 GHz	120 m	300 m

Fig. 4: Taula comparativa de les tecnologies 802.11.

1.8 Modes de operació

Per tal de poder dotar a la xarxa de la flexibilitat i la escalabilitat necessària per tal de poder donar un bon servei als habitants de Sant Joan de Labritja, s'ha determinat que els equips de la mateixa hauran de ser compatibles, com a mínim, amb els tres següents modes de operació:

1. Mode de operació Punt a Punt (PTP): A aquest mode de operació els canals de dades dels equips son emprats per comunicar únicament dos equips a llarga distància. Els equips de la capa de distribució han de ser compatibles amb el mode PTP, ja que estaran a alguns kilòmetres de distancia, i les connexions WiFi compatibles PTP, son molt fiables quan es tracta de cobrir aquestes distancies.
2. Mode de operació Punt a Multipunt (PTMP): Aquest mode de operació es utilitzat per a donar connectivitat a varies estacions emprant un sol equip. Donat que es fa necessari que la xarxa sigui fàcilment escalable emprarem equips PTMP a les capes de distribució i de accés, el que farà que sigui fàcil afegir noves estacions per a donar cobertura a més zones, ja que així podem connectar varies estacions de la capa de accés amb un sol equip. Aquest mode es capaç també de cobrir distancies de varis quilometres, amés de dotar a la xarxa de flexibilitat.
3. Mode de operació Punt de Access al Servei (AP): Els equips AP creen zones de cobertura local per a donar servei als clients WiFi. Donat que la distancia que poden cobrir aquets equips es típicament menor a les dels modes de operació PTP i PTMP, els equips AP hauran de ser col·locats el més prop possible de la zona on es desitja crear la zona de cobertura local.

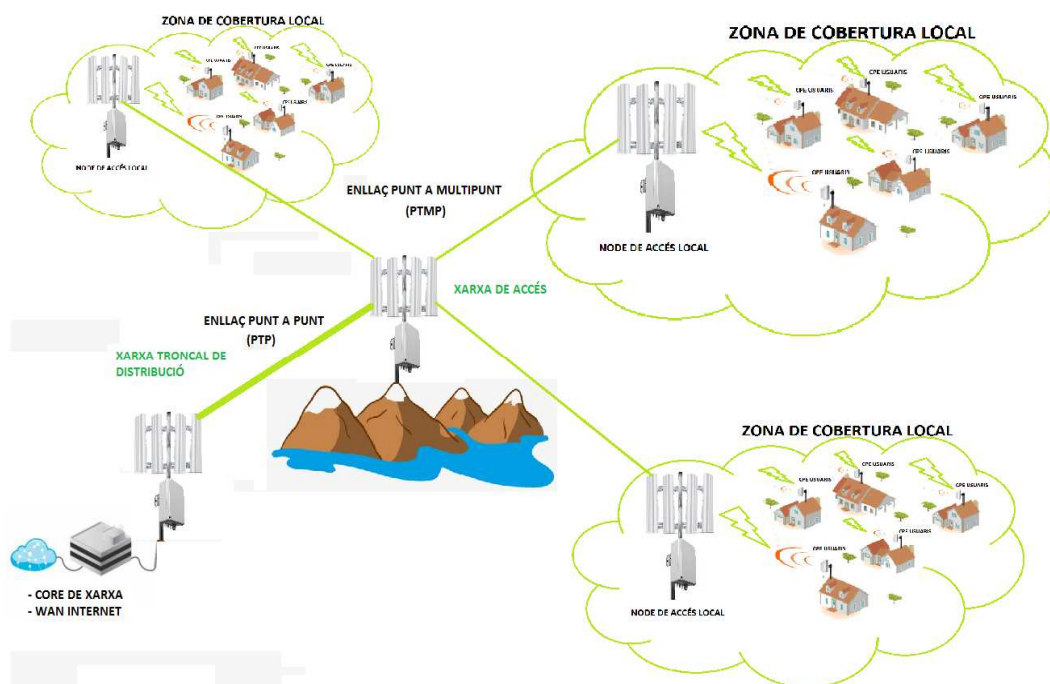


Fig. 5: Esquemes de connectivitat emprats.

1.9 Equips disponibles al mercat

No resulta fàcil adoptar la decisió de elegir els equips que compondran la nostra xarxa WiFi. Fent una petita cerca per Internet un sen dona compte de la multitud de tecnologies i fabricants existents al mercat actual, i encara que la finalitat del projecte es clara, resulta molt complicat prendre les decisions adequades per a trobar el “com” del nostre projecte.

Donat que el abastament del projecte esta clar, les superfícies a donar cobertura estan ben acotades, i les distàncies a cobrir no son molt elevades, no te sentit incorporar a la xarxa equips capaços de cobrir distàncies de fins a 100 km i que treballin a una freqüència molt elevada, que ames requereix de una llicència per al seu funcionament. Aquets requisits sobrepassen les necessitats del nostre projecte, i entren en contradicció amb un dels seus objectius, que es el de contenir al màxim el cost del projecte, però sense renunciar a una solució professional.

Decisió sobre el disseny de la xarxa:

✚ Es mirarà de contenir al màxim el cost de la mateixa, però sense renunciar a una solució robusta, flexible i fàcilment escalable.

S’observa que les distàncies a cobrir dins el municipi no son molt elevades (van de uns centenars de metres fins a uns kilòmetres com veurem més endavant), la velocitat de dades dels enllaços de radio a la capa de accés del usuaris no resulta un factor decisiu, donat que la majoria de connexions a Internet existents al municipi estan entre 1 i 3 Mbps, encara que sí resulta un factor determinant a la capa de distribució o core de la xarxa, donat que aquestes capes concentren tot el transit de dades dels usuaris de la capa de accés.

Per tal de simplificar i dotar de flexibilitat el projecte, es vol que els elements de radio de totes les capes de la xarxa siguin compatibles, per el que la tecnologia del equipament finalment escollit tendra que ser la adequada, tant si el equip forma part de la capa de accés, com si el equip forma part de la capa de distribució o de core.

Per tant una de les primeres decisions que hem de prendre sobre el disseny de la xarxa WiFi, es la freqüència de funcionament dels equips de radio que implementa.

1.10 Bandes lliures de llicència (ISM & U-NII)

Com havíem comentat anteriorment, per tal de contenir al màxim el cost de la nostra xarxa de comunicacions, es pretén que la freqüència de funcionament del equips de radio que la componen, estiguin dins una de les bandes que no requereixen de llicència per al seu funcionament.

La Comissió Federal de Comunicacions (per les seves sigles en anglès FCC, Federal Communications Comissions) estableix un parell de bandes de freqüència lliures de llicència per que siguin emprades per els equips que componen la comunitat equips de comunicacions sense fils (Bandes ISM & U-NII).

Encara que aquest espectre de freqüències es troba cada dia mes saturat, segueix sent una plataforma molt bona per a establir enllaços Punt a Punt i Punt a Multipunt de baix preu i alt rendiment.

La FCC estableix tres bandes lliures de llicència, així que el primer que sa fet es un petit estudi de les mateixes i una taula comparativa resum per a ajudar a elegir la millor de elles:

	900 MHz	2,4 GHz	5 GHz
Popularitat	Molt baixa	Molt alta	Alta
Velocitat	Baix Throughput	Alt Throughput	Alt Throughput
Preu dels equips	Baix	Raonable	Raonable
Us de la freqüència	Saturat	Molt saturat	Baix
Abast	Poc abast	Abast mitg	Abast mitg i alt
Aplicacions	Mesh, PTP	Mesh, PTP, PTMP	Backhaul, PTP, PTMP

Fig. 6: Taula comparativa de les bandes lliures de llicència.

De la taula anterior podem extreure les següents conclusions:

La banda de freqüència de 900 MHz té un espectre de freqüències poc saturat donat que quasi no es usa avui en dia. El preu dels seus equips és baix, però per altra banda el seu rendiment també és baix i no compleix els requisits mínims que el fan adequat per el funcionament dels equips de la nostra xarxa de comunicacions (No suporta enllaços PTMP).

La banda de freqüència de 2.4 GHz és molt popular, per el que resulta fàcil trobar equips compatibles i aquests equips tenen un preu raonable. El seu abast i rendiment és bo i a més compleix els requisits mínims de la nostra xarxa. Per altra banda aquest espectre es troba molt saturat avui en dia ja que inclús els microones o els telèfons sense fils empen aquesta freqüència.

La banda de freqüència de 5 GHz no és tant popular com la anterior, per el que aquesta banda de freqüència es troba poc saturada. El abast i rendiment dels seus equips és el millor de les tres, a més compleix els requisits mínims de la nostra xarxa. Per altra banda, és possible que sigui difícil trobar equips compatibles amb aquesta freqüència o que el preu dels mateixos sigui alt.

De totes les conclusions anteriors haurem de decidir la freqüència final de funcionament dels nostres equips. A priori descartem la freqüència de 900 MHz donat que els seus equips no compleixen els requisits mínims de la xarxa.

1.11 Freqüència de funcionament dels equips

A la taula anterior podem veure que les freqüències més populars són les de 2.4 i 5 GHz. Com s'ha pogut comprovar, cada una presenta avantatges e inconvenients, per el que resulta necessari fer un estudi en detall de les mateixes per finalment decidir a quina freqüència han de treballar els nostres equips.

Fent un estudi en detall s'ha pogut comprovar que durant molt de temps les xarxes sense fils han treballat dalt la freqüència de 2.4 GHz. A mida que aquestes xarxes s'han fet populars i han anat creixent, han començat a aparèixer també les seves limitacions. Dins àrees amb una densitat de població alta, són més comuns cada vegada les antenes Wifi que treballen a aquesta freqüència, això ha fet que les contínues interferències i conflictes

entre els dispositius comencin a ser un greu problema. Altre problema es que la popularitat de aquesta freqüència ha fet que multitud de dispositius treballin dins la bada de 2.4 GHz, com poden ser telefonia sense fils, microones e inclús aparells musicals sense fils. Tot això ha fet que aquest espectre de freqüències es trobi actualment molt saturat, fent que els equips que treballen dins aquesta banda de freqüència creïn conflictes amb altres dispositius, o be redueixin el seu rendiment a mida que el nombre de equips augmenta.

Per altre banda, les xarxes a 5 GHz no son noves ja que duen funcionant molts anys sota el estàndard 802.11a. Encara així no resulten tant populars con les de 2.4 GHz ja que sempre sa dit que els equips de 5 GHz resulten molt mes cars i son difícils de trobar. Això darrer podem dir que avui en dia no resulta ser cert del tot, com ja veurem mes endavant.

Podem concloure que les xarxes de 5 GHz resulten ser la solució per els problemes del espectre saturat de 2.4 GHz, ja que aquestes tenen una senyal més neta i disposen de més canals. Actualment aquest tipus de xarxa te menys transit de dades, i els seus canals poden ser combinats per a obtenir una velocitat més alta, el que esta fent que poc a poc vagin guanyant mes popularitat. Les 5 GHz treballen a un espectre mes ampli, amb canals que no comparteixen amb ninguna xarxa més. Cada canal te 20 MHz de ample de banda dedicat, el que es garantia de una millor velocitat si ho comparem amb les WiFi de 2.4 GHz, ja que la banda completa només te 80 MHz de ample.

Encara que paregui que emprar la freqüència de 5 GHz son tot avantatges, això no es així, ja que es presenten també alguns inconvenients. Les xarxes a 5 GHz no traspassen objectes sòlids (les de 2.4 GHz sí ho fan), el que fa que aquesta freqüència nomes sigui aconsellable quan es presenta un escenari de línia de visió directe entre les seves estacions (LOS).

Però el pitjor dels inconvenients de les xarxes de 5 GHz, per el escenari que se ens presenta, es que quan més alta es la freqüència de una senyal WiFi menor es el seu abastament. Això podria ser un problema si volem implementar aquesta freqüència a la nostre xarxa de distribució.

A continuació se ha creat una taula comparativa de resum de les avantatges i desavantatges entre les freqüències de 2.4 i 5 GHz.

	2,4 GHz	5 GHz
Avantatges	Major nombre de dispositius compatibles	Antenes de més guany a igual preu
	Millor rendiment a interiors	Senyal mes neta i més canals
	Major tolerancia a obstacles	Banda poc saturada
Desavantatges	Nomes tres canals	Adequada només per escenaris LOS
	Banda molt saturada	Major preu equips???
	Major zona de Fresnel	Menys abast???

Fig. 7: Taula comparativa bandes 2.4 i 5 GHz.

Dins aquesta taula comparativa he volgut remarcar dues de les principals desavantatges teòriques que presenta la banda de 5 GHz. Es diu que els equips que funcionen dins aquesta banda tenen un preu molt més elevat i sa pogut comprovar que avui en dia això no es així, donat que els equips que funcionen dins aquesta banda actualment tenen un preu molt similar, si els comparem amb els equips que funcionen dins la banda de 2.4 GHz. Per altre banda, es diu que al funcionar a una freqüència superior, teòricament aquests equips tenen menys abast. La realitat es que avui en dia això tampoc es així, donat que els fabricants han incorporat protocols propietaris als seus equips que fan que el seu abast sigui molt superior i que s'incrementi notablement el seu rendiment, com ja veurem al següent apartat.

Si a tot això ajuntem que les antenes de 5 GHz presenten més guany a igual preu, i que la senyal de aquests equips es més neta, donat que es tracta de una banda menys saturada, i que es disposa de més canals, el que fa augmentar la velocitat de dades quan es combinen, pareix que la decisió sobre la freqüència de funcionament a emprar per la nostra xarxa es clara.

[Decisió sobre el disseny de la xarxa:](#)

✚ Els equips de la nostra xarxa funcionaran dins la banda lliure de 5 GHz.

1.12 Elecció del fabricant dels equips

Pareix raonable que ara entrem a valorar les característiques de algunes de les solucions que ofereixen alguns dels fabricants més reconeguts de equips per a xarxes sense fils, que funcionen dins de la banda lliure de 5 GHz.

Encara que no es vol que aquesta comparativa sigui molt extensa, sa considerat que era necessari valorar solucions dins de tots els segments de equips dels fabricants, per el que es compararan solucions tant de les games altes en rendiment i preu, com de les games mitja i baixa, per si aquestes poden aportar alguna cosa. Tot això sempre amb la premissa de contenir al màxim el cost de la xarxa, però sense renunciar a una solució de qualitat i alt rendiment.

El estudi ha consistit en la recerca, i finalment la elaboració, de una taula comparativa amb les característiques que sa considerat resultaven més interessants, per a un equip que pugui funcionar com a Punt de Accés (AP) a la xarxa i que amés serveixi per a crear les zones de cobertura locals necessàries per a dotar de connectivitat als equips de les diferents capes de la xarxa.

Entrarem més endavant amb més detall amb els equips que componen cada capa de la xarxa, ara només es tracta de comparar el que ofereix cada fabricant. Cal indicar que només sa entrat a valorar els equips que compleixin els esquemes mínims de connectivitat (PTP, PTMP, AP), necessaris per al desplegament de la xarxa.

Dins aquest estudi se ha incorporat el fabricant TP-Link com a representatiu del segment baix de equips, als fabricants Ubiquiti i Mikrotik com a representatius del segment mig, i finalment als reconeguts fabricants Cisco i Ruckus com a representatius del segment alt.

Una vegada finalitzat el estudi anterior sa creat la següent taula resum comparativa, en la que entrem a valorar algunes de les característiques que semblen mes interessants, per a finalment incorporar els equips de aquets fabricants dins de la nostra xarxa sense fils de darrera generació.

Una vegada finalitzat el estudi detallat de les característiques més rellevants, sa obtingut la següent taula comparativa:

Marca i model	TP-LINK CPE510	UBIQUITI NSM5	MIKROTIK RB-912UAG	CISCO 1532I	RUCKUS ZF-7731
Freqüència	Entre 5,15-5,85 GHz	Entre 5,17-5,87 GHz	Entre 4,9-5,92 GHz	Entre 5,18-5,82 GHz	Entre 5,15-5,87 GHz
Potència	500 mW	500 mW	1000 mW	500 mW	6300 mW
Velocitat	Fins a 300 Mbps	Fins a 300 Mbps	Fins a 300 Mbps	Fins a 300 Mbps	Fins a 300 Mbps
Antena integrada	13 dBi	16 dBi	no	5 dBi	17 dBi
Usuaris simultanis	De 10 a 16	De 100 a 120	De 200 a 250	De 25 a 30	Fins a 500
Consum màxim energia	13 W	8 W	14W	30 W	12 W
Distància	fins a 10 km	fins a 15 km	de 3.5 a 6 km	fins a 3,22 km	fins a 15 km
Inclou POE	si	si	si	si	si
Connector per antena exterior	no	no	si	si	si
Protocol millorat	si (MAXtream)	si (AirMAX)	si (Nstreme)	no	si (BeamFlex)
Preu	66 €	81 €	93 €	779 €	més de 1000€
Modes de Operació	Access Point	Access Point	Access Point	Access Point	Access Point
	Client	Client	WDS	Mesh Network	Client
	Bridge	Repeater	Firewall	WDS Bridge	WDS
	Repeater	Repeater WDS	Bridge	Workgroup Bridge	PTP, PTMP Bridge
	AP Router Mode		Router	Serial Backhaul	
	AP Client Mode		Advanced Load-Balancing		
Compleix esquemes de connectivitat mínims?	si	si	si	si	si

Fig. 8: Taula comparativa de fabricants.

De la mateixa es podem extreure les següents conclusions:

Totes les marques ofereixen velocitats de dades altes per als equips que treballen dins la freqüència de 5 GHz. Amés, totes les marques compleixen els esquemes mínims de connectivitat necessaris. Se observa també que la gama de preus per a un mateix equip resulta ser molt alta (va dels 66, als més de 1000 euros per a un mateix equip). Sorprèn veure que les distàncies cobertes per els equips son totes molt bones, a no ser en el cas de Cisco, considerat un dels fabricants de referència, i que presenta la distancia de cobertura més petita de la comparativa. Si ho mirem en detall, això pot ser degut a que Cisco resulta ser la única marca que no incorpora una tecnologia pròpia per a millorar el protocol de comunicacions dels seu equips, cosa que faria incrementar la cobertura i la velocitat real de dades (Throughput).

La gama de potencies emprades per els equips va dels 500 als 1000 mW típicament. Sorprèn veure la potencia de 6300 mW del equip del fabricant Ruckus, aquesta potència es considera exagerada per les distàncies que es pretenen cobrir dins el municipi de Sant Joan de Labritja, i suposa un increment de preu considerable sobre el equip.

Si fem un anàlisi del segment alt, veiem que el fabricant Ruckus incorpora al seu equip les antenes que presenten un millor guany, amés de ser el equip que suporta més usuaris simultanis per equip. Encara que aquest fabricant presenta les millors característiques, aquestes sobrepassen amb molt a les que serien les recomanades per els equips de la nostra xarxa. Això juntament amb que el preu és el més alt per equip, fan que finalment descartem aquest fabricant.

Dins el segment alt també tenim el fabricant Cisco, però sorprèn veure com el seu equip presenta un rendiment baix, un nombre molt petit de usuaris simultanis, un baix radi de cobertura (tal vegada per la poca qualitat de les seves antenes), i un alt consum de energia elèctrica. Si a tot això sumem que el preu del equip es el segon mes alt (779 euros), fan que aquest fabricant obtingui la pitjor relació entre preu i prestacions de la comparativa, cosa que fa que el descartem, ja que precisament el que cerquem és la millor relació entre preu i prestacions i un alt valor afegit per les característiques dels equips.

El fabricant TP-Link ofereix bones característiques al preu més baix, però el nombre de usuaris simultanis del punt de accés es el més baix de la comparativa, no es considera una solució professional i finalment també el descartem.

Hem considerat que els fabricants Ubiquiti i Mikrotik resultaven representatius de la gama mitja de equips Wifi. Tots dos presenten bones característiques i un preu en els seus equips moderat, inclús es pot dir que quasi no hi ha diferencia de preu de un fabricant al altre (uns 12 euros per equip). Mikrotik presenta un major nombre de usuaris simultanis per equip (fins a 250), però per altre banda els seus equips no incorporen antenes i les hem de afegir, cosa que incrementa el preu. La seva potencia de radio també es bona, arribant als 1000 mW, amb els que el fabricant indica que pot cobrir una distancia de fins a 6 kilòmetres. També és el que presenta una millor compatibilitat de freqüències dins la gama de 5 GHz, amés de incorporar un protocol propi millorat per a les comunicacions WiFi (Nstreme), i unes característiques per al balanceig de càrrega excel·lents.

El fabricant Ubiquiti per la seva banda presenta la segona millor antena de la comparativa (16 dBi, en front dels 17 dBi de Ruckus), amb la que diu cobrir la distancia mes elevada de la comparativa (15 kilòmetres com fa Ruckus). La capacitat de usuaris simultanis

també resulta ser molt elevada (fins a 120), el consum de energia elèctrica dels seus equips és el més reduït de la comparativa (només 8W), i també incorpora un protocol millorat (AirMAX).

Una vegada descartats els fabricants de la gama baixa i alta, per el que sa explicat anteriorment, es fa molt difícil elegir entre un dels dos fabricants de la gama mitja, ja que segons pareix tenen característiques que es complementen.

Per a ajudar a decidir un fabricant, ens hem fixat amb el estudi que va fer la consultora Tolly Research. Aquesta companyia es líder en la prova i el estudi del rendiment dels equips WiFi de terceres parts, és coneguda per ser una empresa independent, el que ha fet que acumuli un reconegut prestigi als Estats Units.

Tolly Research ha fet un estudi sobre el rendiment, i la velocitat de dades real (Throughput) obtinguda per els equips WiFi, dins la banda de 5 GHZ, dels principals fabricants del món. El resultat de aquest estudi és el següent.

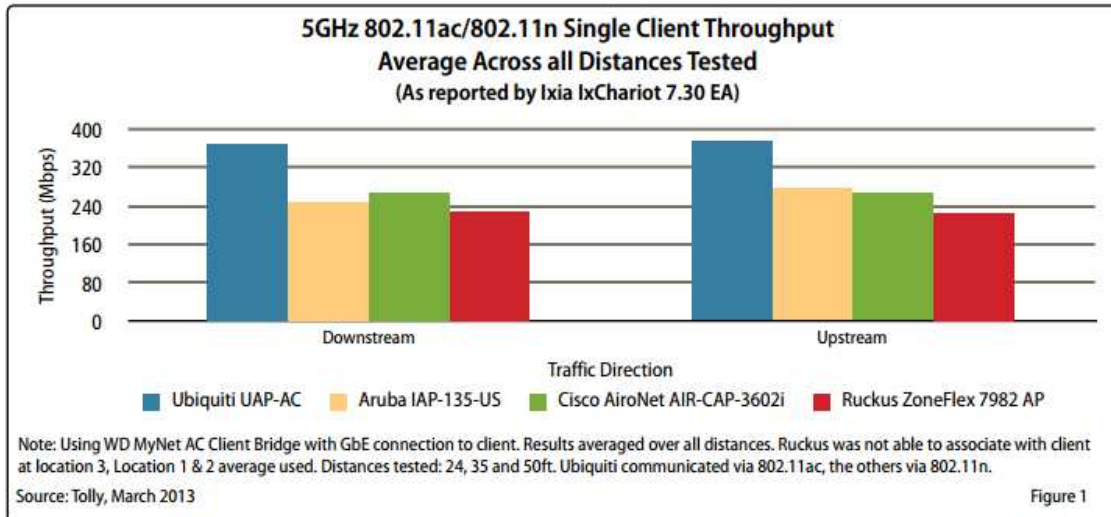


Fig. 9 Throughput real dels equips dins la banda de 5 GHz (Tolly).

Com podem veure a la taula comparativa anterior, els equips del fabricant Ubiquiti obtenen els valors de Throughput més alts, si els comparem amb altres fabricants de referència. Aquest rendiment es de fins a un 20 per cent superior, en la velocitat real de

dades per a un enllaç de 5 GHz. El estudi fet per Tolly Research es exhaustiu ja que està fet valorant totes les distàncies possibles i més sorprèn veure com Ubiquiti s'ha imposat a fabricants de referència com Cisco o Ruckus.

Però no tot és bo amb el fabricant Ubiquiti, ja que també s'ha descobert que encara que el Throughput dels seus equips resulta ser el més elevat, les seves característiques en el balanceig de càrrega no són les més avançades, ja que per exemple no permeten la gestió del ample de banda per usuari (Mikrotik sí ho permet), només permeten una gestió del ample de banda global del enllaç, i tampoc disposen de un Firewall avançat per a la gestió de la seguretat i evitar atacs. El fabricant Mikrotik sí que disposa de característiques avançades per al balanceig de la càrrega i també disposa de un Firewall excel·lent.

Finalment s'ha decidit que la millor solució passa per incorporar a la xarxa equips dels dos fabricants, ja que per les seves característiques es complementen. Ubiquiti per a cobrir la part de radio enllaços, i equips de Mikrotik per a efectuar el treball de balanceig de càrrega i de Firewall, allí on sigui necessari. Encara així obtenim la millor relació entre qualitat, preu i prestacions.

Decisió sobre el disseny de la xarxa:

✚ Sa elegit el fabricant de equips Ubiquiti per a cobrir la part WiFi i el fabricant Mikrotik per a cobrir la part de balanceig de càrrega.

Capítol 2 – Estudi del municipi de Sant Joan de Labritja:

2.1 Situació actual del municipi

El municipi de Sant Joan de Labritja està situat a la zona nord de l'illa de Eivissa, i al contar amb una extensió de 121 Kilòmetres quadrats, és el segon més petit de l'illa. La seva població resident ronda els 5.600 habitants. Conta amb quatre parròquies o nuclis de població principals, que son Sant Joan, Sant Miquel, Sant Vicent i Sant Llorenç.

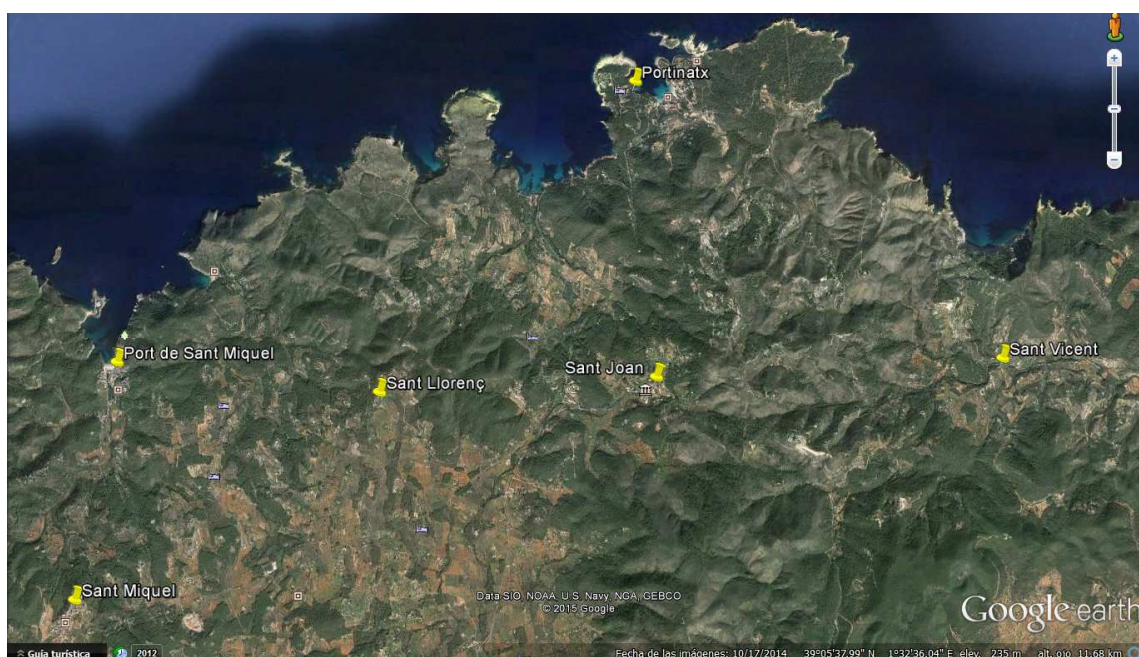


Fig. 10: Situació dels principals nuclis de població del municipi.

Els seus nuclis urbans són de mida petita, ja que la major part de la població de Sant Joan es troba disseminada i resideix en habitatges unifamiliars que es troben dispersats per tota la geografia del seu terme municipal.

Tot això fa que les tecnologies disponibles al municipi per al accés a Internet siguin obsoletes i cares, ja que les grans companyies de telecomunicacions no tenen interès en el desplegament de les seves xarxes donat al alt cost que suposaria (La empresa Movistar ja ha comunicat que aquest serà el únic municipi de Eivissa on no efectuarà el desplegament de fibra òptica).

El alt cost ambiental i la riquesa paisatgística del municipi també desaconsellen aquest desplegament, com a millor solució a aquesta problemàtica s'ha trobat que alguna empresa, o el propi ajuntament, hauria de assumir el cost de la implantació de una xarxa WiFi de darrera generació perquè els habitants de aquest municipi gaudeixin de un Internet de qualitat.

2.2 Nuclis de població

La característica principal del municipi es la gran dispersió de la població resident, els nuclis rurals de població son petits i la majoria de la població es troba disseminada en petites cases unifamiliars per tot el municipi. Aquesta alta dispersió de població fa que emprar tecnologies cablejades es faci inviable, i que les tecnologies existents al municipi per a tenir accés a Internet siguin cares i obsoletes, es per això que aquest projecte es centra exclusivament en les tecnologies sense fils de darrera generació.

Com s'ha comentat anteriorment, hi ha quatre nuclis principals de població i les seves principals característiques son les següents:

1. Sant Joan: El nucli de Sant Joan és la capital del municipi. Com tots els que integren el municipi, es tracta d'un petit nucli de població que consta de aproximadament uns 169 habitants en el nucli principal i 726 habitants de població disseminada. Dins d'aquesta població es troba Portinatx, una de les zones turístiques més importants del municipi, compost per un nucli turístic amb hotels i apartaments, amb capacitat per a unes 5.000 places. Sant Joan es caracteritza també per estar entre dues cadenes muntanyoses poblades de pins.
2. Sant Miquel: El nucli de Sant Miquel, és el poble més gran del municipi. Conté un nucli de població d'uns 314 habitants i 910 habitants de població disseminada. Té una zona turística de gran importància, el Port de Sant Miquel, que compta amb uns hotels a la vessant de la muntanya que són lloc d'afluència per un gran nombre de turistes. La població turística d'aquest complex és d'un total de 1.500 places i es troba rodejat de muntanyes.

3. Sant Vicent: És un altre dels pobles que integren el municipi, on el nucli de població és gairebé inexistent, són 8 el nombre d'habitants censats en el mateix, la resta de 289 habitants, es tracta de població disseminada. Aquest poble té una part de costa amb dos hotels i una urbanització emmarcada en la muntanya, amb vista a la costa. La Cala de Sant Vicent és també una zona turística, en menor escala que les altres, que compta amb unes 1.000 places



Fig. 11: Zones turístiques de Port de Sant Miquel i Portinatx.

4. Sant Llorenç: És l'únic poble que no té zona costanera, ja que se situa en la zona centre de l'illa. Té un alt nombre de població disseminada, d'uns 1.232 habitants aproximadament, i el nucli de la població està pràcticament deshabitat; constant únicament de l'Església i de alguns edificis comercials i públics, com les escoles.



Fig. 12: Nuclis de població de Sant Joan i Sant Llorenç.

2.3 Dispersió de la població

Emprant les darreres dades de les que disposa el Institut Nacional de Estadística (INE), el padró municipal de Eivissa a data gener de 2014, contava amb les següents densitats de habitants per kilòmetre quadrat.

Municipi	Població (hab)	Superfície (km2)	Densitat (hab/km2)
Eivissa	49.693	11,14	4.460,77
Santa Eularia	36.189	153,58	235,64
Sant Josep	25.362	159,38	159,13
Sant Antoni	23.359	126,80	184,22
Sant Joan	5.668	121,66	46,59
Total Eivissa:	140.271	572,56	244,99

Fig. 13: Dades del padró municipal.

Podem observar que el municipi de Sant Joan es el que presenta una densitat de població més baixa, encara que també observem que disposa de una superfície similar als municipis més grans de l'illa.

Encara que ens adonem que la gran dispersió de la població, a priori, pot suposar un greu problema, s'ha decidit que els serveis que transporta la xarxa tenen que estar presents en les quatre parròquies del municipi (Sant Joan, Sant Miquel, Sant Vicent i Sant Llorenç). Es donarà prioritat a donar cobertura a la major part de cada parròquia, ja que els equips s'instal·laran en llocs estratègics, i aquesta cobertura sempre haurà de incloure els principals nuclis de població. Amés els equips estaran disposats de tal manera que, en una segona fase del projecte, serà possible donar cobertura a les zones turístiques de la parròquia.

Decisió sobre el disseny de la xarxa:

- ✚ Els serveis que transporta la xarxa han de estar presents en la major part dels quatre nuclis principals de població del municipi.

2.4 Anàlisi de les zones de cobertura als municipis

La xarxa està dissenyada en torn a la instal·lació de uns nodes de accés a cadascuna de les quatre parròquies, per tal de establir les zones de cobertura locals. Aquests equips disposen de unes antenes que proporcionen cobertura als usuaris i equips WiFi que tenim als voltants de aquestes estacions base (son les anomenades cel·les de cobertura). Depenent de multitud de factors, però sobretot del tipus i de la potencia de les antenes, aquest radi de cobertura pot ser mes gran o mes petit.

Donada la naturalesa de les ones de radio, resulta impossible avaluar manualment tots els factors que determinen la cobertura exacta de una xarxa sense fils. La solució més pràctica i professional, passa per emprar un reconegut programari de simulació WiFi, prèviament configurat amb mapes de la zona, amés de totes les especificacions dels equips que formen la nostre xarxa. Aquestes característiques tècniques les podem treure de les pagines web dels fabricants.

El programari emprat per a analitzar en detall les cobertures de la xarxa al municipi, ha set Radio Mobile en la seva darrera versió 11.5.

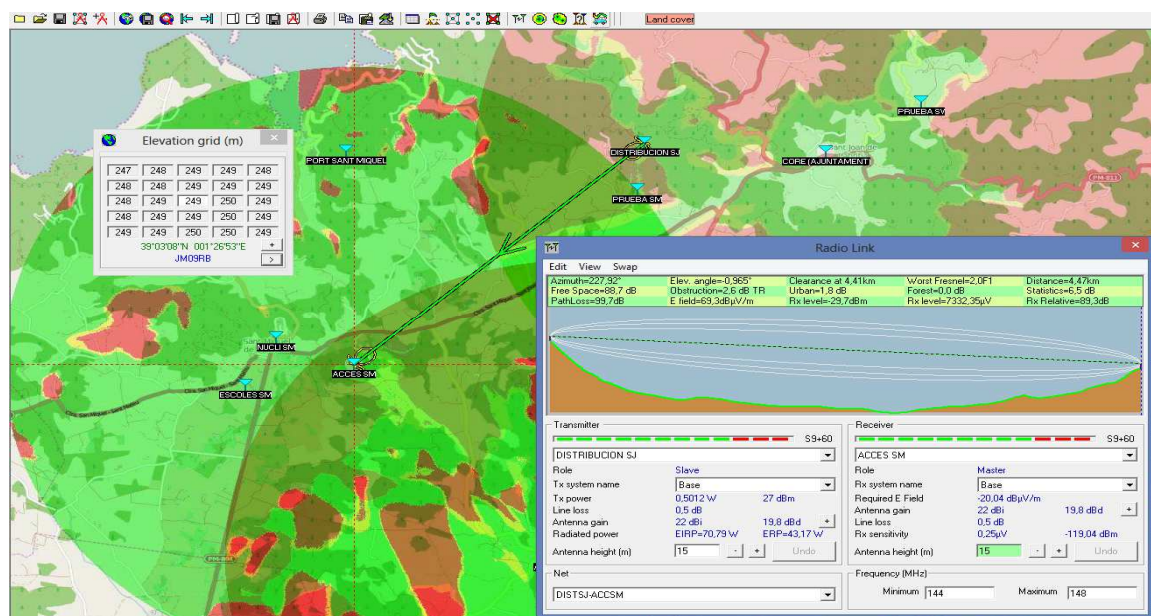


Fig. 14: Programari de simulació Radio Mobile.

2.5 Estudi en detall

A continuació sa configurat el programari Radio Mobile amb les dades del escenari que sens planteja, i sa realitzat una primera simulació per a determinar el radi màxim de cobertura de una sola cel·la.

Al repassar les característiques dels equips WiFi avaluats anteriorment, ens fixem que es necessari tenir present una potencia de senyal de al menys -75 dBm al receptor per tal de obtenir una connexió de dades estable a 54 Mbps.

Al realitzar una simulació sobre el terreny, sa comprovat que amb un radio enllaç que te una distància de 5,6 kilòmetres entre emissor i receptor, la potencia del senyal present en el receptor de la antena es de -74,8 dBm. Per tant, la distància de 5,6 kilòmetres estaria en torn al límit de la sensibilitat dels equips emprats.

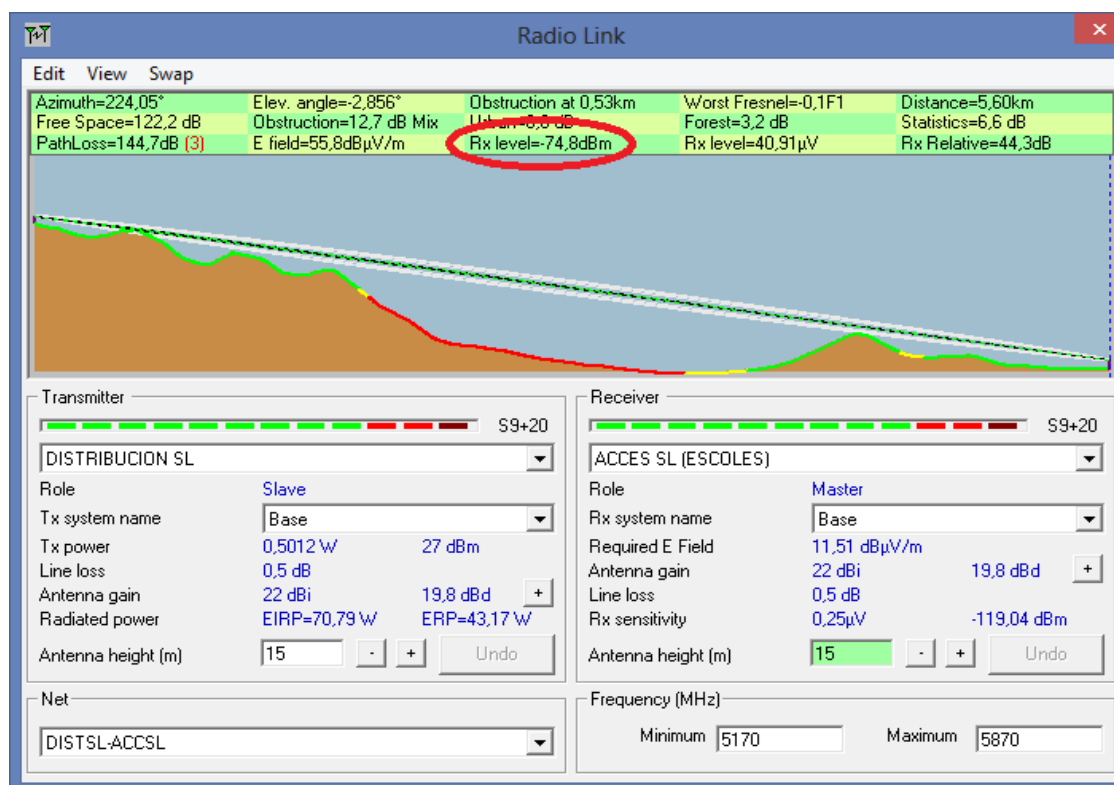


Fig. 15: Simulació sobre el escenari plantejat de un radio enllaç.

Per altre banda, es veritat que amb una potencia de senyal inferior a -75 dBm també podem obtenir una connexió de dades estable, encara que ho faríem a una velocitat bastant inferior, i hem determinat que volem que la qualitat de les connexions de la nostra xarxa sigui alta, per tant sa decidit que la velocitat mínima de connexió per als equips dels usuaris ha de ser de 54 Mbps.

Al realitzar les següents simulacions, i sempre pensant en el pitjor dels casos, sa determinat que el radi òptim de cobertura, de les cel·les per als nodes de la capa de accés, finalment estarà en torn als 4 kilòmetres com a màxim.

La explicació es que, amb aquest radi, donam cobertura a una superfície de 50.26 kilòmetres quadrats per node, per el que amb 4 nodes podem cobrir sobradament tota la superfície del municipi de Sant Joan (recordem que es de 121.66 Km², i estem donant cobertura a una superfície de 201 Km², així hi haurà un solapament de les zones de cobertura), tot això simplement situant un node de accés a cadascuna de les 4 parròquies amb les que conta el municipi.

També hi ha que dir que sa considerat que resulta important que existeixi aquest solapament de les zones de cobertura en els nodes de accés, de aquesta manera, de no tenir la possibilitat de connectar amb el node local de la zona, sempre hi haurà la possibilitat de fer-ho amb un node proper.

Decisió sobre el disseny de la xarxa:

- La velocitat mínima de connexió serà de 54 Mbps, la xarxa tindrà 4 nodes de accés, i cadascun donarà cobertura als habitants que estiguin dins un radi de 4 kilòmetres.

També entrarem a valorar els terrenys o els edificis que estiguin disponibles per a la instal·lació dels nodes o els equips (com les oficines municipals o les torres de comunicacions existents en la zona). Es pretén emprar prioritàriament els edificis, les infraestructures existents, o bé en últim cas o cas de necessitat, la col·laboració dels propietaris dels terrenys del municipi, tot això per a contenir al màxim el cost de desplegament la xarxa.

Finalment sa emprat el programari Radio Mobile, aquesta vegada ja correctament configurat per el escenari actual, i sa demanat que realitzi una simulació de la cobertura de la xarxa, fent servir 4 nodes de accés situats de manera estratègica. Sa fet servir un radi de cobertura màxim de 4 kilòmetres, i el resultat de la simulació ha set satisfactori, amb el que es poden donar per bones les premisses fetes sobre la xarxa. Podem concloure que la simulació indica que el nombre de nodes es òptim i que les característiques inicials dels equips son les adequades.

Les cel·les locals de cobertura per a cada parròquia quedarien configurades de la següent manera. Es pot observar com el límit de la cobertura de les cel·les de la xarxa el trobem en el poble de Sant Carles, Santa Eulària i Santa Gertrudis, en la zona sud-est, i en Sant Mateu en la zona oest, tots aquests pobles ja no pertanyen al municipi de Sant Joan.



Fig. 16: Cel·les de cobertura del servei al municipi.

Amb 4 nodes a la capa de accés donam cobertura als principals nuclis de població de cada parròquia, amés de a la major part de la superfície del municipi, amb el que també podem donar accés a la xarxa a la gran quantitat de població disseminada.

Capítol 3 – Infraestructura de xarxa

3.1 Possibles usuaris del servei

Al punt 2.3 es va decidir les zones on es volia donar cobertura per als serveis que transporta aquesta xarxa. A continuació es passa a fer un recompte de possibles usuaris, amb el que tindrem les dades per a fer un primer dimensionat de la infraestructura.

Consultant les darreres dades disponibles al INE, amb data gener de 2014, podem trobar que a les Illes Balears tenim una mitja de 2,6 habitants per casa unifamiliar, amb el que podem estimar el nombre màxim de connexions a la nostra xarxa, ja que hem suposat que, com a molt, els habitants del municipi disposaran de una connexió a la xarxa per casa unifamiliar.

Parroquia	Població nucli	Població dispersa	Connexions possibles
Sant Joan	169	726	344
Sant Miquel	314	910	471
Sant Vicent	8	289	114
Sant Llorenç	-	1.232	474
Total Sant Joan:	491	3.157	1.403

Fig. 17: Possibles usuaris del municipi per parròquies.

De la taula anterior podem comprovar com la capacitat global de la nostra xarxa haurà de ser de un mínim de 1403 connexions simultànies, si volem donar cobertura a tot el municipi. Tot el transit de dades de aquestes connexions es concentraran a la capa de core. En la capa de accés tenim 474 connexions simultànies, data que pertany a la parròquia de Sant Llorenç. Volem que tots els nodes de accés siguin iguals, per el que aquesta capacitat de connexions serà la mínima suportada per a cada node de la capa de accés o distribució.

De les dades del INE també obtenim informació sobre l'ús que fan els habitants residents al territori espanyol de les TIC, entre persones de 16 a 74 anys. Les dades son del període 2006 a 2014, i aquestes dades les podem trobar a la següent taula:

Evolución del uso de TIC por las personas de 16 a 74 años
Serie homogénea 2006-2014. Total nacional (% de personas)

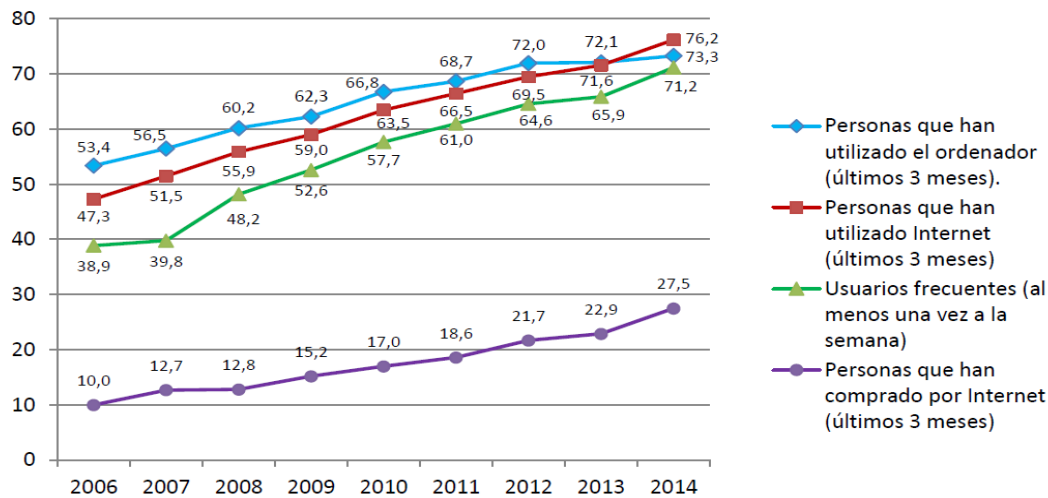


Fig. 18: Ús de les TIC al territori nacional (INE).

Podem comprovar com al territori nacional, un 76,2 per cent de les persones han emprat Internet als darrers 3 mesos. Aquesta xifra a les Balears es inclús superior, ja que es tracta de una de les comunitats que realitza un ús més intensiu de Internet. Si mirem en detall les dades per comunitats, trobem que a les Illes Balears el percentatge anterior es incrementa fins a un 79.1 per cent.

Ara tenim totes les dades necessàries per a fer una primera quantificació de possibles usuaris, ja que si sabem que al municipi de Sant Joan de Labritja hi ha 5668 habitants, i que es possible que un 79.1 per cent de aquests habitants facin un ús intensiu de Internet, aleshores tenim un total de 4483 possibles usuaris de la xarxa de comunicacions al municipi.

Decisió sobre el disseny de la xarxa:

📡 La capacitat inicial de la xarxa serà de un mínim de 4483 usuaris amb 1403 connexions simultànies.

3.2 Elecció del model de xarxa i esquema de la mateixa

Per al disseny de la xarxa s'ha adoptat un model jeràrquic de tres capes. Una de les raons principals, és que les xarxes dissenyades en torn a aquest model resulten molt fiables i són fàcilment escalables, a la vegada que resultem més fàcils de expandir i resulta més fàcil implementar canvis. També tenen més avantatges que no es veuen a primera vista, ja que si hem definit bé les funcions de cada capa a la etapa de disseny de la xarxa, la mateixa es tornarà molt predictable, el que farà que aquesta xarxa sigui més fàcil de administrar i de mantenir.

El esquema de xarxa emprat es el següent:

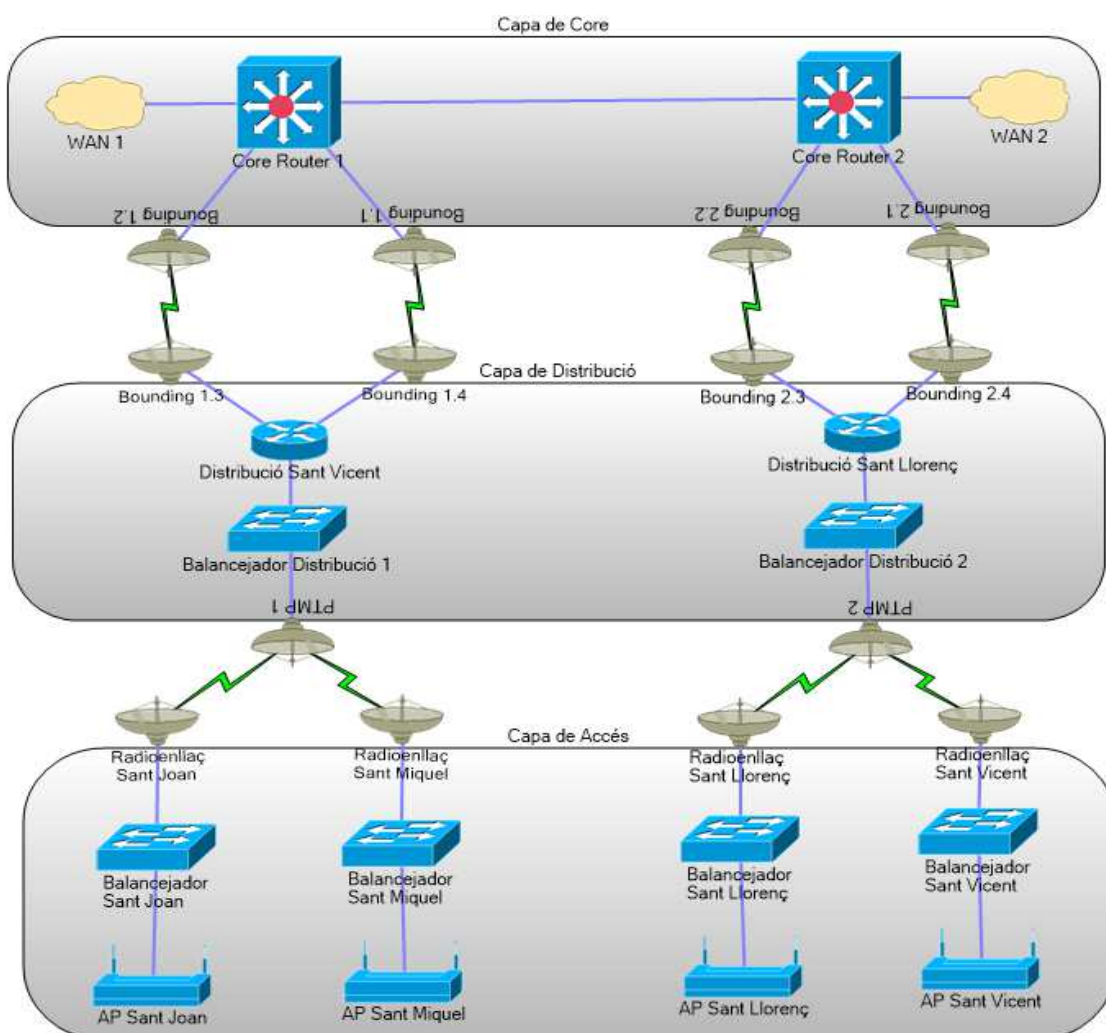


Fig. 19: Esquema de la xarxa.

3.3 Especificacions tècniques i funcionals

Una vegada tenim clar el esquema de xarxa emprat, es passa a fer un resum en detall de les funcions que s'han estimat necessàries per a cadascuna de les tres capes del nostre model de xarxa:

3.3.1 Capa de Core o Nucli de la xarxa

Aquesta es la capa principal i constitueix literalment el nucli de la xarxa. La seva funció principal es la de processar tot el transit de dades de les capes inferiors de la xarxa i dirigir els paquets de dades cap a la seva destinació final. També s'encarrega de controlar el transit de entrada i de sortida cap a Internet, i de establir mecanismes per a poder augmentar el cabdal de dades de Internet de manera dinàmica, a mida que la xarxa va creixent, requereix per tant una capacitat de procés de dades molt elevada.

Cal notar també que una fallada a aquesta capa de la xarxa podria deixar sense servei a cents de usuaris, o en el pitjor dels casos, deixar la xarxa inutilitzable, per tant es considera necessari establir algun mecanisme de redundància en els equips de comunicacions presents a aquesta capa, en les connexions entre els equips de aquesta capa i la capa de distribució i també en les connexions de dades contractades per a la sortida a Internet.

També es considera crític que la instal·lació de aquets equips es faci en un entorn controlat, tant de temperatura com de humitat, i en una sala de accés restringit. Es considera també fonamental que els equips de comunicacions de aquesta capa estiguin situats dins un rack de comunicacions dedicat, tancat amb clau, i que tingui el suficient espai per a futures ampliacions dels serveis que transporta la xarxa.

Puc suggerir que un lloc indicat per a la instal·lació dels equips podria ser la sala de Informàtica i de Sistemes del Ajuntament. En altre cas, es podrien instal·lar en qualsevol sala dedicada de alguna de les oficines municipals, o be en la sala de Sistemes de una empresa privada que vulgui explotar el servei.

Els equips indicats per aquesta capa de la xarxa son encaminadors de dades de altes prestacions, instal·lats en parelles per a tenir equips redundants, connexions de radio

enllaços de altes prestacions amb algun mecanisme redundat (per a que en ningun moment es puguin tallar les comunicacions entre la capa de core i les altres capes), connexions de dades redundants contractades amb un proveïdor de serveis de Internet de nom reconegut, i finalment, fer les connexions entre tots els equips de comunicacions anteriors amb un medi de qualitat, com pot ser la fibra òptica o cables de par trenat de alta categoria.



Fig. 20: Encaminador de altes prestacions una vegada instal·lat dins el rack.

3.3.2 Capa de Distribució de la xarxa

La capa de distribució constitueix una capa intermèdia al nostre disseny, i la seva funció principal es la de comunicar les capes de core i la de accés. També son funcions de aquesta capa la de encaminament de dades i la de filtre, ja que s'encarrega de processar tot el transit de dades de la capa de accés i determinar quines peticions tindran accés a Internet, i per tant, passar tota aquesta informació a la capa de core.

Sa considerat necessari establir mecanismes de redundància per tal de que aquesta capa mai perdi la comunicació amb la capa de core, però no resulta necessari incloure aquests mateixos mecanismes per a la comunicació amb la capa de dades de accés, donat que els equips que san escollit resulten molt fiables, amés de que el nombre de usuaris afectats, en comparació, resulta petit.

També resultarà necessari establir mecanismes de balanceig de la carrega a aquesta capa, ja que en un moment donat, un alt volum de peticions cap a la capa de core pot arribar a col·lapsar els equips de aquesta o a esgotar el ample de banda disponible, amb el que es veurien afectats tots els usuaris del servei.

Per altre banda, es considera crític que la instal·lació de aquests equips es faci a un lloc estratègic, donat que depenent del nivell i de la qualitat del senyal que donen les antenes de aquests nodes, els usuaris de la capa de accés obtindran un bon servei o no.

Els nodes de aquesta capa consisteixen en unes antenes que van instal·lades dalt de uns màstils metàl·lics. Dalt de aquests màstils també va instal·lada una caixa estanca elèctrica per a exterior, dins la que quedaran instal·lats els altres equips que constitueixen el node de comunicacions de la capa de accés.

Es considera necessari que la instal·lació de aquests equips es faci en un entorn de accés restringit, però no es necessari que el entorn estigui tant controlat com la sala on aniran instal·lats els equips de core.

Es considera també fonamental que els equips de comunicacions de aquesta capa estiguin situats a un lloc el més alt possible, donat que, si per lògica situem el core de la xarxa a la població principal del municipi, que es el poble de Sant Joan de Labritja, aquest lloc es troba rodejat per cadenes muntanyoses poblades de pins (El puig de Sant Joan, Puig de Sant Vicent i el Puig de Sant Llorenç), amb les que no tenim una línia de visió directe entre les antenes que comuniquen els equips del core de la xarxa i les antenes que comuniquen les zones de cobertura locals que es creen amb els nodes de accés.

Vull recordar aquí que la tecnologia escollida per a cobrir els radioenllaços (comunicacions en la banda lliure de 5 GHz), té unes molt bones prestacions per establir comunicacions a unes distàncies mitges, però no es la indicada en un escenari que no hi ha una línia de visió directe entre les antenes.

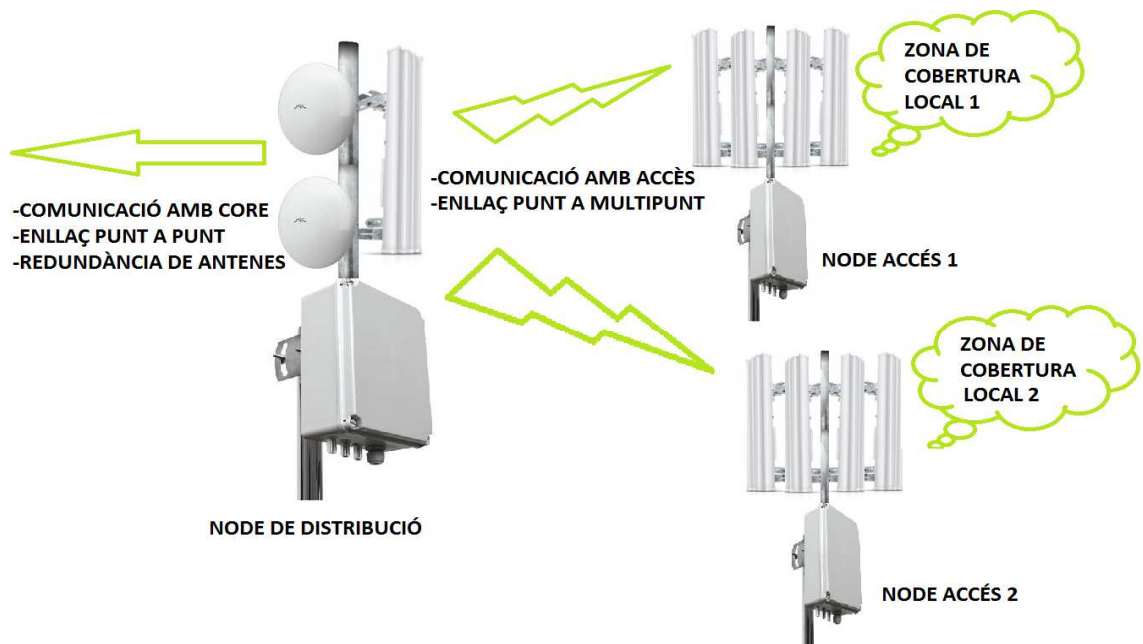


Fig. 21: Aspecte dels nodes de la capa de distribució i de accés.

Es pot dir que els nodes de aquesta xarxa tenen una triple funció, ja que per una banda estableixen les comunicacions entre les capes de core i la de accés, per altre banda, efectuen un balanceig de la càrrega de la xarxa, i finalment també ajuden a esquivar els desnivells del terreny.

Puc suggerir que el lloc indicat per a la instal·lació dels nodes de la capa de accés es troba precisament a dalt de alguna de les serralades de muntanyes que rodegen el poble de Sant Joan. En cada cas s'haurà de elegir un punt el més alt possible, per tal de que la visibilitat entre els equips sigui la més bona possible. Ens pot ajudar també que a alguns punts elevats de aquestes muntanyes ja es troben instal·lades altres antenes de comunicacions (de televisió i telefonia mòbil principalment), per el que el municipi ja conta amb una infraestructura de comunicacions que pot ser aprofitable.

Els equips indicats per aquesta capa de la xarxa son balancejadors de dades de altes prestacions, i equips per a establir les comunicacions amb les altres capes de la xarxa, com poden ser equips de radio enllaços dobles de altes prestacions i alta disponibilitat. Per a les comunicacions amb la capa inferior, seran necessàries antenes sectorials de

altes prestacions. Les connexions entre tots els equips del node de comunicacions hauran de estar fetes amb cable de par trenat de alta categoria.

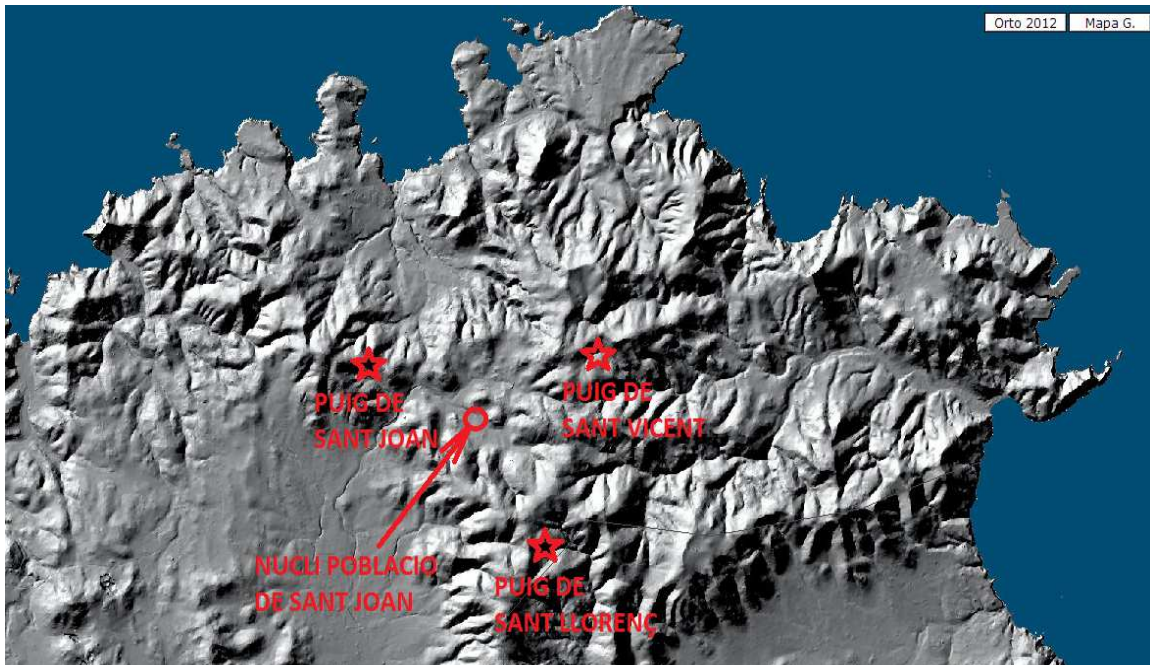


Fig. 22: Detall de la topografia de la zona.

3.3.3 Capa de Accés de dades

La funció principal de la capa de accés de dades es la de comunicar els usuaris del servei amb la xarxa troncal de distribució, que esta formada per les capes superiors, que son les capes de core i la de distribució.

També son funcions de aquesta capa, encara que a menor escala, la de encaminament de dades i la de filtre, ja que s'encarrega de processar tot el transit de dades dels usuaris i determinar quines peticions tindran accés a la xarxa troncal de distribució.

Al igual que la capa de distribució, també resultarà necessari establir mecanismes de balanceig de la carrega, ja que un alt volum de peticions de la capa de accés pot arribar a col·lapsar un node de la capa de distribució, amb el que es veurien afectats els usuaris connectats a aquest node de la xarxa. També serà necessari incloure mecanismes de control de accés a la xarxa, donat que de no ser així, qualsevol persona amb un equip

adequat i alguna de les contrasenyes de accés a la xarxa, podria intentar connectar-se sense permís, el que representaria un greu problema de seguretat.

El aspecte físic dels nodes de aquesta capa es molt similar als nodes que hem vist en la capa de distribució, ja que també consisteixen principalment en unes antenes i unes caixes elèctriques per a exterior que van instal·lades dalt de uns màstils metàl·lics. La diferència principal es que un node de la capa de accés constitueix un node modificat de la capa de distribució, ja que encara que els equips en essència son els mateixos i els mateixos models, en aquest cas no s'opta per instal·lar antenes redundants que els comuniquen amb els altres nodes de les capes superiors, donat que la fiabilitat dels equips així ho permet.

També s'ha modificat la antena de sortida del node. La diferència fonamental es que en la capa de distribució s'empren antenes sectorials per a concentrar el senyal i donar cobertura als nodes de zones determinades (nodes de accés locals de cada parròquia), però en aquest cas, el que cerquem es donar la millor cobertura en un radi als voltants del node, per el que les antenes de sortida son agrupacions de aquestes antenes sectorials per a donar una cobertura completa de 360 graus, en un radi estimat de 4 kilòmetres als voltants del node, son les anomenades cel·les de cobertura locals.

Es considera necessari que la instal·lació de aquests equips es faci en llocs públics o edificis municipals. En cas de necessitat es podria negociar amb el propietari del terreny o del edifici, però no es considera que això sigui necessari, ja que els nuclis rurals son molt petits, i un sol node pot donar cobertura a una superfície aproximada de 50 kilòmetres quadrats, amb el que simplement es tractarà de elegir un punt elevat adequat (i preferiblement gratuït) per a instal·lar el node de accés.

Pot ajudar també que les oficines municipals, o alguns edificis, ja contenen amb instal·lacions i torres de telecomunicacions, per el que alguna de elles pot ser aprofitable.

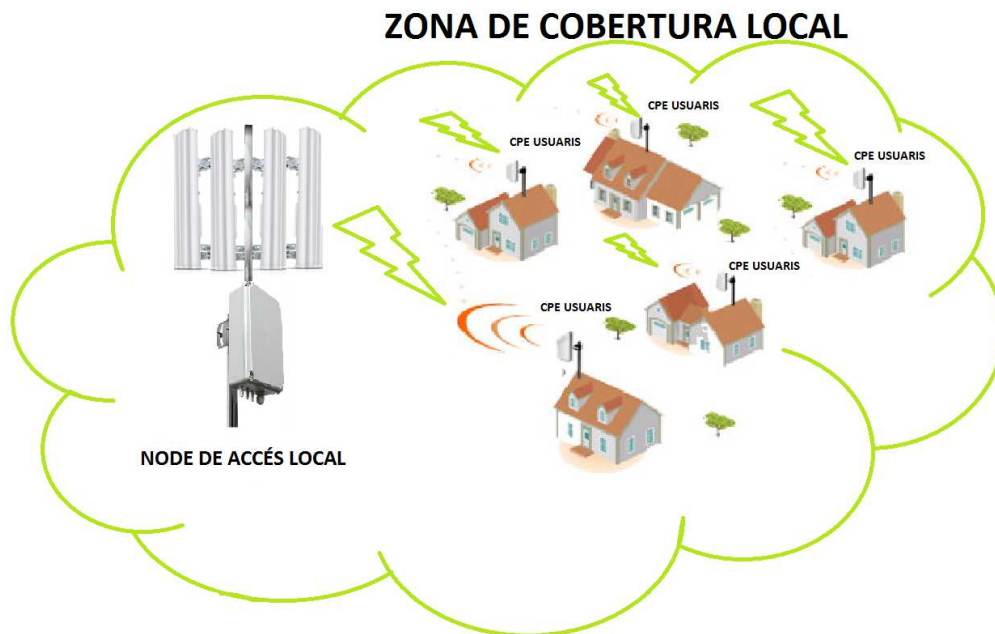


Fig. 23: Aspecte dels nodes de la capa de accés i CPE dels usuaris.

Els equips indicats per aquesta capa són bàsicament els mateixos que en la capa de distribució, balancejadors de dades de altes prestacions, equips de radioenllaç simple per a establir les comunicacions amb les altres capes, i antenes sectorials per a establir les zones de cobertura local. Les connexions entre els equips del node també es faran amb cable de par trenar de alta categoria.

Per altre banda, els usuaris que desitgin connectar-se al serveis que ofereix el node de accés local, hauran de disposar de uns equips anomenats CPE (Customer Premises Equipment), prèviament configurats per a obtenir accés a la xarxa WiFi.

3.4 Xarxa troncal de distribució

La xarxa troncal de distribució (o troncal de la xarxa), està formada per les capes de core i de distribució, que treballen de manera conjunta i coordinada.

Es una part fonamental de la nostra xarxa, ja que la seva funció principal, es la de rebre totes les peticions, per part dels usuaris, dels serveis presents a la xarxa, (Internet, correu electrònic, xarxes socials, vídeo... etc...), i se les retorna completades, una vegada las ha resolt.

Per altre banda la xarxa troncal ha de estar dissenyada de tal manera que la fallada de un equip, o un enllaç, no pugui deixar a bona part dels usuaris sense servei, o en el pitjor dels casos, la xarxa inutilitzable.

La tècnica emprada per a aconseguir enllaços confiables i de alt rendiment a les xarxes, i sobretot a les xarxes WiFi, s'anomena Bonding. Amb aquesta tècnica s'aconsegueixen agrupar dos o mes radioenllaços, i es fan funcionar com si fos un tot sol (físicament tenim dos o mes radioenllaços, però el router els veu com si fos un sol enllaç). Els beneficis de aquesta tècnica son molts e immediats, ja que al fer servir agrupacions de enllaços de dades de manera simultània, la fallada de un equip fa que tinguem menys ample de banda disponible al enllaç, però en ningun moment els usuaris veuran una fallada o un tall de comunicacions als seus equips.

També hi ha que dir que amb aquesta tècnica es possible afegir més enllaços de dades de manera dinàmica, tot això sense causar molèsties als usuaris de la xarxa, per el que la capacitat de la xarxa es pot anar ampliant a mida que la xarxa va creixent sense haver de fer una parada en el servei.

De la mateixa manera, també podem reduir la capacitat de la xarxa sense causar molèsties, com per exemple si volem donar de baixa dues connexions de Internet, que només han set contractades per a augmentar la capacitat de la xarxa, en la temporada alta estival.

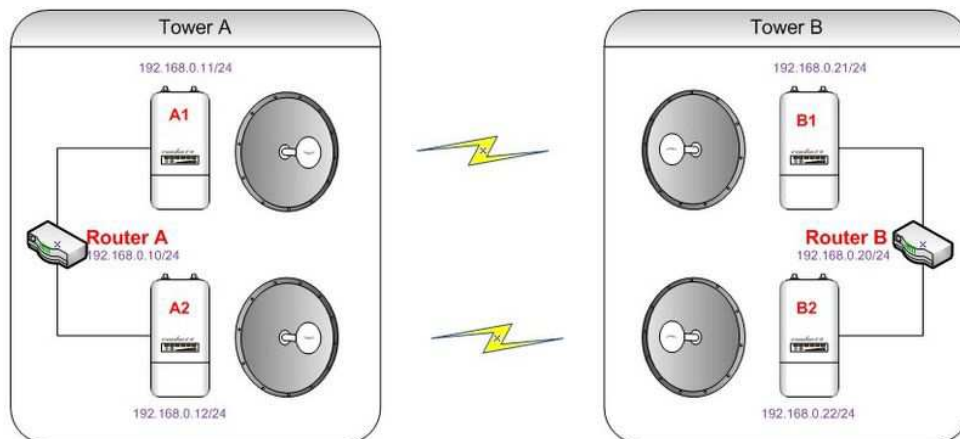


Fig. 24: Tècnica de enllaços de radio redundants o Bounding (Ubiquiti Wiki).

Si observem amb detall la xarxa troncal, veiem que a la capa de core san incorporat equips de alt rendiment, que amés resulten compatibles amb la tècnica de Bounding. Aquests equips son encaminadors amb especificacions de core i radioenllaços de 5 GHz de alt rendiment i alta disponibilitat. Tots els equips i els enllaços entre equips es troben duplicats a aquesta capa.

Si ara observem la capa de distribució, veiem que san incorporat equips de alta fiabilitat i alt rendiment, que també resulten compatibles amb Bounding. Aquests equips son encaminadors de alt rendiment i alta disponibilitat (però no es necessari que siguin tant potents com els de la part de core), balancejadors de càrrega per al control dels recursos de la capa de accés, i per simplificar, els mateixos radioenllaços que trobem a la part de core.

Les antenes de sortida, en aquest cas son sectorials, ja que proporcionen un millor rendiment en aquesta situació, i son compatibles amb els enllaços PTMP, necessaris per a donar connectivitat als nodes de accés.

Donat que en aquesta capa els equips físicament van instal·lats a una caixa elèctrica amb un espai limitat, (i també per restar complexitat als nodes, reduir costos, i aprofitar el espai), només es troben duplicats els enllaços que comuniquen amb la capa de core.

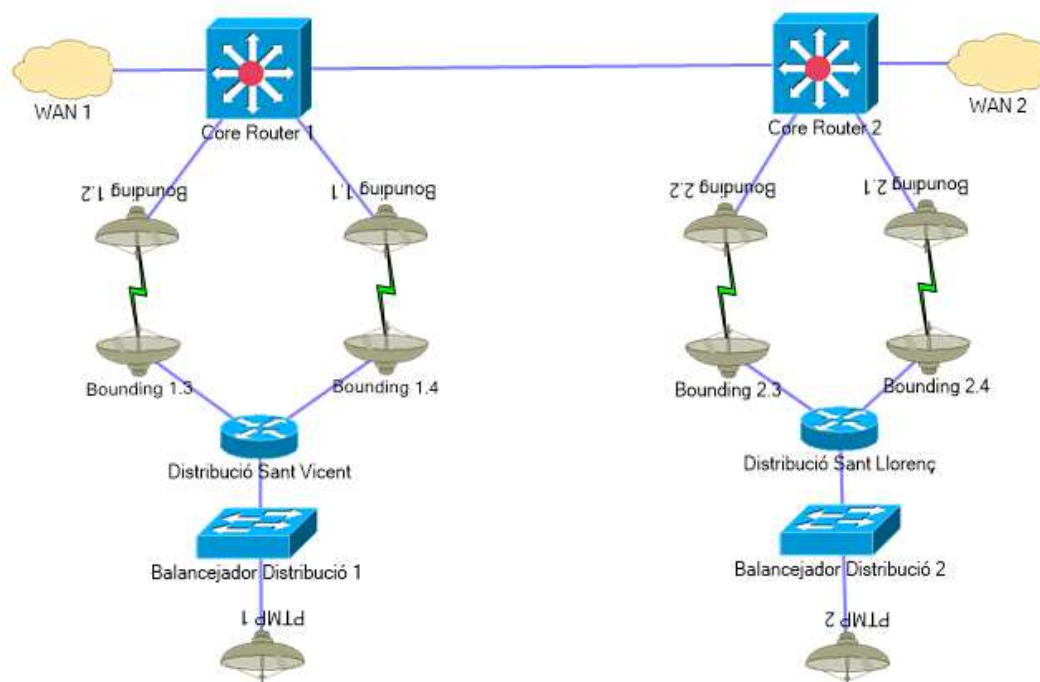


Fig. 25: Esquema de la xarxa troncal de distribució.

3.5 Situació dels elements

Donades les característiques de la xarxa, es considera imprescindible el trobar la millor ubicació possible per a tots els nodes de la xarxa, però sobretot per els nodes de distribució, ja que son els encarregats de connectar totes les capes de la xarxa. Ja hem comentat que la característica principal del municipi es que la població principal de Sant Joan es troba rodejada per tres cadenes muntanyoses, que son el puig de Sant Joan (342 m.), el Puig de Sant Vicent (363 m.) i el Puig de Sant Llorenç (384 m.). En el centre de les tres muntanyes trobem la població principal, que es el nucli de població de Sant Joan, i darrere de les muntanes trobem els altres tres nuclis principals de població.

3.5.1 Situació dels nodes de distribució

En un primer moment es va pensar que la millor solució passava per ficar un node de distribució a cadascuna de les tres muntanyes, amb el que tenim visibilitat a tot el municipi. Sa pogut comprovar a les simulacions de cobertura que, en igualtat de condicions, el node situat al Puig de Sant Vicent proporciona una millor cobertura a tot el

municipi que el node situat al Puig de Sant Joan (degut principalment a que es troba a més altura).

Tant al puig de Sant Vicent com el de Sant Llorenç trobem instal·lacions de telecomunicacions amb torres que podem aprofitar (cosa que no passa al Puig de Sant Joan), tot això ha fet que finalment sa decidit eliminar el node que en un primer moment pensàvem calar en aquesta muntanya, ja que no resulta necessari.

El node de Sant Llorenç encara esta situat a més altura (384 m.), però només amb aquest node, no podem donar cobertura al nucli de població de Sant Llorenç i amés donar cobertura a la gran quantitat de població disseminada que hi ha entre els nuclis de població de Sant Llorenç i de Sant Miquel (cosa que sí fa el node de distribució de Sant Vicent), per el que la capa de distribució ha quedat finalment configurada amb dos nodes.

De les simulacions de cobertura fetes amb Radio Mobile podem concloure que la forma optima per a donar cobertura a tot el municipi passa per incloure dos nodes de distribució a la xarxa, un situat al Puig de Sant Vicent, i el altre situat al Puig de Sant Llorenç.

3.5.2 Situació dels nodes de Accés i Core de la xarxa

Els nodes de accés els hem situat en terrenys propers als nuclis principals de població, principalment en petites elevacions, amb el que tenim una bona visibilitat de tota la zona, el que ajuda al establir les zones de cobertura locals.

De manera alternativa es poden instal·lar als edificis de les oficines municipals de la parròquia o a altres edificis públics. En aquest cas la situació final dels nodes no resulta tant critica ja que les antenes de comunicacions a on situem els dos nodes de distribució son visibles en la pràctica totalitat del municipi.

De les simulacions de cobertura podem concloure que amb una altura de les antenes de 15 metres ja obtenim cobertura a la major part de la parròquia. De no tenir la possibilitat de connectar a un usuari directament amb el node de accés, hi ha la possibilitat de connectar-lo a través del node de distribució, si resulta visible.

La elecció de la situació final del core de la xarxa no resulta un tema crític, ja que sempre es poden reorientar les antenes cap als nodes de distribució, el que sí pot causar, es una parada en els serveis de la xarxa mentrestant es reubiquen els equips. Hem considerat, per simplicitat, que els equips del node local de accés de Sant Joan i els del core de la xarxa han de estar situats en el mateix lloc. En aquest cas sa suposat que un lloc indicat son les oficines del Ajuntament de Sant Joan.

Les estacions de la nostra xarxa estaran situades a les següents ubicacions:

Node de la xarxa	Latitut	Longitut
Core de Xarxa (Ajuntament)	39º 04' 40,8" N	1º 30' 38,2" E
Distribució Sant Vicent	39º 04' 48,4" N	1º 31' 23,6" E
Distribució Sant Llorenç	39º 03' 54,1" N	1º 31' 20,9" E
Accés Sant Joan (Ajuntament)	39º 04' 40,8" N	1º 30' 38,2" E
Accés Sant Miquel	39º 03' 07,7" N	1º 26' 53,2" E
Accés Sant Llorenç	39º 01' 43,8" N	1º 28' 38,6" E
Accés Sant Vicent	39º 04' 09,0" N	1º 33' 56,2" E

Fig. 26: Situació GPS dels nodes principals de la xarxa.

3.6 Mapa topogràfic de la xarxa

De les dades que es troben a la taula del apartat anterior, que ens donen la situació GPS dels elements de la xarxa, obtenim el següent mapa topogràfic, que ens mostra la situació real dels nodes.

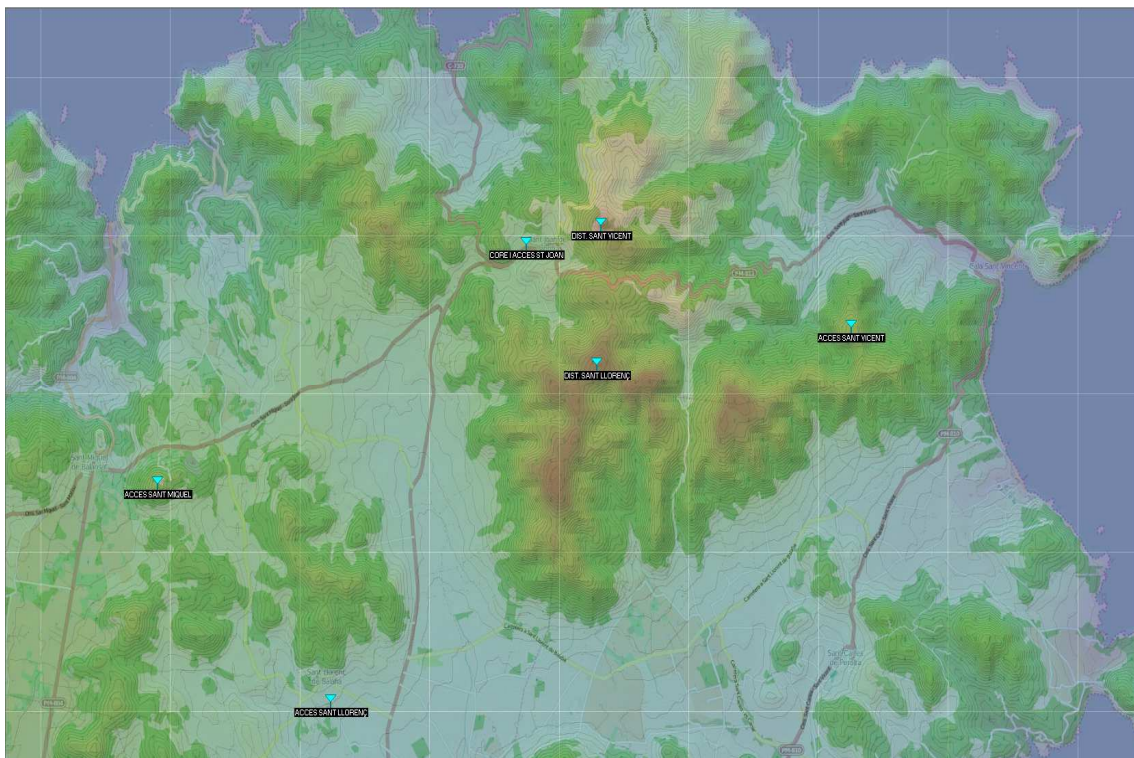


Fig. 27: Mapa topogràfic de la xarxa.

Podem comprovar que al situar els nodes de manera òptima obtenim la màxima cobertura de la xarxa amb el mínim de nodes. Els nodes de la capa de distribució, situats al Puig de Sant Vicent i al Puig de Sant Llorenç, serveixen per a esquivar els desnivells del terreny i connectar totes les capes de la xarxa.

Amb aquesta situació estratègica obtenim zones de cobertura solapades, amb el que els usuaris sense cobertura del node de accés local, poden obtenir cobertura de altres nodes propers. També es possible obtenir cobertura directe dels nodes de distribució sempre que el usuari tingui visibilitat directe.

3.7 Elecció dels elements i esquemes de connexionat

3.7.1 Routers de dades i balancejadors de càrrega

A les capes de core i de accés (xarxa troncal de distribució) s'han incorporat equips de alt rendiment i compatibles amb la tècnica de Bounding. La capa de core és la que s'encarrega de fer el treball dur (rep les peticions de tots els usuaris de la xarxa), per el que hem incorporat equips amb especificacions de core de xarxa i alta disponibilitat, com son els Mikrotik CCR1009. Aquests equips incorporen fonts de alimentació elèctrica redundants i la seva construcció es molt robusta, per el que aquests equips de comunicacions estan considerats com a "Carrier Class", el que els fa adequats per a la majoria dels proveïdors de Internet.

A la capa de distribució hem incorporat el equip Mikrotik RB951G, que també proveu funcions de enrutament de dades i de balanceig de la càrrega. Aquest equip té un rendiment excepcional en comparació amb el seu ajustat preu, i amés conta amb unes dimensions petites i una fabricació robusta, el que el fan l'adequat per a la seva instal·lació a espais reduïts o caixes exteriors.

Com ja vàrem comentar, els nodes de la capa de accés es tracten de una versió modificada dels nodes de la capa de distribució. El volum de feina de aquests nodes es alt donat que s'encarreguen d'establir les zones de cobertura locals. Per a qüestions de compatibilitat i simplicitat, també hem incorporat a aquests nodes els balancejadors Mikrotik RB951G.



	RB951G	CCR1009
Codi producte	RB951G-2HnD	CCR1009-8G-1S-1S+
Nombre de CPUs	1	1 amb 9 cores
Velocitat CPU	600 MHz	1200 MHz
RAM instalada	128 MB	2 GB
Ports Ethernet	5 a 1Gbps	8 a 1Gbps
Ports GBIC	0	2
Dimensions	113x138x29mm	444x175x47mm
Sistema Operatiu	RouterOS	RouterOS
Rendiment	983.7 Mbps	11,841.6 Mbps
Preu	79,77 €	489,45 €

Fig. 28: Característiques balancejadors i Core Router.

3.7.2 Antenes i equips per els radioenllaços

San cercat equips de alt rendiment i alta fiabilitat per a donar connectivitat a totes les capes de la xarxa, amés resulta necessari establir enllaços PTP i PTMP. Per a connectar les capes de core i de distribució necessitem un equipament molt robust i fiable, ja que les distancies a cobrir poden ser elevades, per això necessitem antenes que ens donin el millor rendiment al establir els enllaços punt a punt necessaris per a donar connectivitat a aquesta part de la xarxa. Amés aquets equips seran instal·lats en parelles per a dotar de redundància a la xarxa i poder guanyar en disponibilitat i fiabilitat.

El millor equip que hem trobat per a poder establir els enllaços PTP necessaris per a connectar els equips de la xarxa troncal de distribució ha set el Ubiquiti NanoBeam M5. Aquest equip conta amb el millor rendiment de la seva classe, incorpora una antena integrada de 25 dBi i el fabricant indica que es capaç de efectuar una connexió PTP fiable a una distancia de fins a 15 Km.

Per a connectar les capes de distribució i de accés necessitem equips de alt rendiment i fiabilitat, amés de ser capaços de crear les cel·les de la xarxa i les zones de cobertura locals. Aquestes capes de la xarxa necessiten enllaços PTMP, donat que es necessari connectar varis equips amb un sol node. Per a solucionar aquesta part sa incorporat al disseny una antena sectorial Ubiquiti 5G20 de 90 graus de obertura, juntament amb la estació base Rocket M5, del mateix fabricant.



	NanoBeam M5	Sectorial AirMax 90° + Rocket M5
Codi producte	NBE-M5-400	5G20-90 + Rocket M5
Tipus enllaç	PTP	PTMP
Velocitat CPU	560 MHz	400 MHz
RAM instalada	64 MB	64 MB
Connexions simultànies	fins a 120	fins a 200
Antena integrada	25 dBi	20 dBi
Dimensions	420x420x275mm	700x145x93mm
Compatibilitat WiFi	802.11n de 5 GHz	802.11n de 5 GHz
Distància	fins a 15 Km.	fins a 10 Km.
Preu	96,80 €	230,86 €

Fig. 29: Característiques radioenllaços PTP i PTMP.

3.7.3 Altre equipament per la xarxa

Serà necessari incloure a la xarxa, encara que en menor mida, altre equipament addicional per a completar la correcte instal·lació dels equips.

Dins de aquest material està un rack de telecomunicacions de 42 altures per a instal·lar tot el equipament de core, màstils i caixes elèctriques, estanques de exterior, per a instal·lar el equipament dels nodes de comunicacions i equips de alimentació elèctrica sense talls (SAI).

També serà necessari incorporar un cablejat apropiat per a connectar-ho tot, i dins aquest cablejat tenim tant cables de fibra òptica, com també tenim cables de parells trenats.



Nom producte	Rack	Poste	SAI	Cable fibra	Cable UTP
Tipus	Rack de comunicacions de 42 altures.	Caixa elèctrica, màstil i tornilleria per equips de comunicacions WiFi.	Sistema de alimentació elèctrica sense talls.	Cable de connexió.	Cable de connexió.
Funcions	Emmagatzemar els equips de la capa de core de la xarxa	Emmagatzemar els equips dels nodes de la xarxa. Fixar les antenes exteriors.	Evitar que els equips s'apaguin quan hi ha una fallada del suminiestre electric.	Connexions a alta velocitat entre equips.	Connexions a alta i mitja velocitat entre equips.
Preu	428 €	Sobre 250€	Segons capacitat, de 50 a 3000€	Barat, sobre 12€	Barat, sobre 8€

Fig. 30: Característiques altre equipament de la xarxa.

3.7.4 Connexionat dels equips de la capa de Core

Amb el que hem vist al punt anterior ja tenim tot el equipament necessari per a posar en funcionament la nostra xarxa. Amés resultarà necessari saber la manera correcta de connectar els equips, per el que a continuació tenim el esquema de connexionat per als equips de la capa de core:

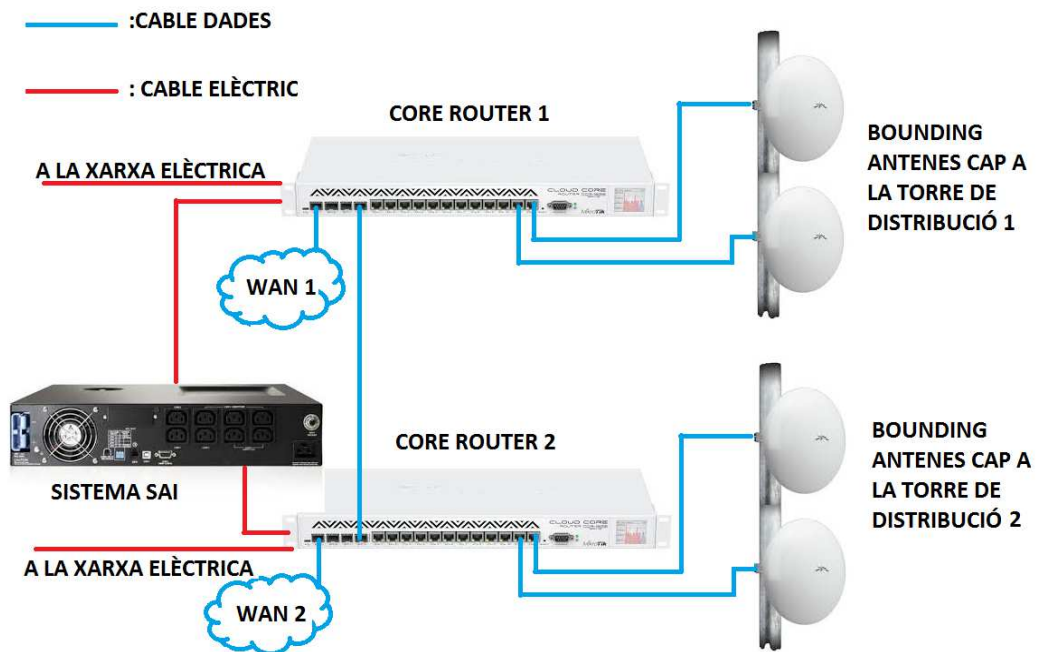


Fig. 31: Diagrama de connexions dels equips a la capa de core.

Podem observar al mateix com les connexions per les fonts redundants de alimentació elèctrica san repartit entre la xarxa elèctrica i el equipament de SAI per a gestionar eficaçment les fallades de la alimentació elèctrica.

El ample de banda de Internet està repartit entre els dos equips core de xarxa, si es vol ampliar aquesta capacitat només sa de contractar una nova connexió a Internet i afegir-la al grup de enllaços de fibra del router, que estan configurats amb la tècnica de Bounding.

Cal observar també com la carrega dels nodes de distribució sa repartit de manera intel·ligent entre els dos routers de core. Si en un futur pròxim es vol ampliar la cobertura de la xarxa, i cal afegir més nodes, simplement els hem de anar repartint entre els ports lliures que hem deixat a cada equip core de xarxa.

3.7.5 Connexionat dels equips de la capa de distribució

A aquesta capa trobem els nodes de distribució repartits per cada parròquia. El seu diagrama de connexions es el següent:

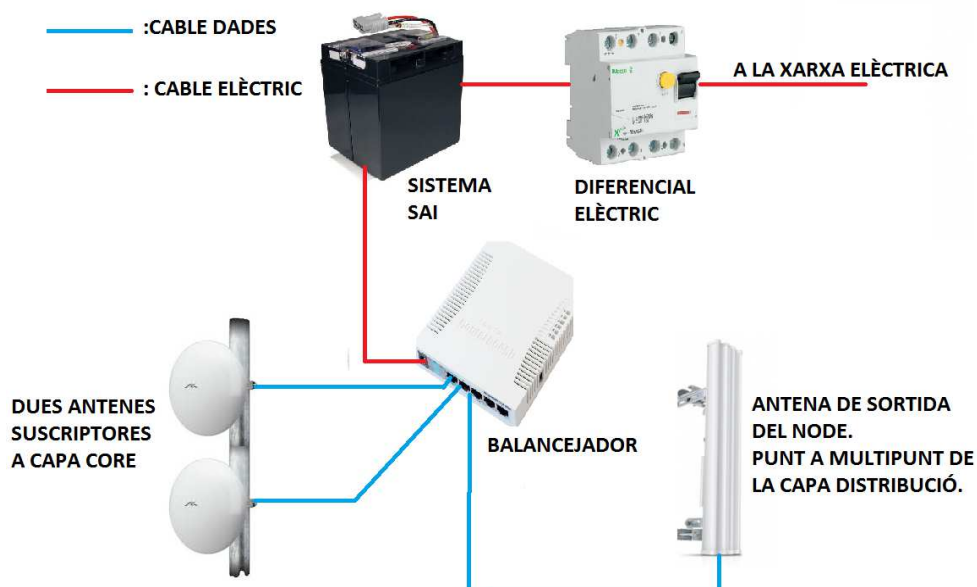


Fig. 32: Diagrama de connexions dels equips a la capa de distribució.

Podem observar com el equip principal de cada node de distribució es el equip balancejador de la càrrega, que també ens proporciona funcions de encaminament del tràfic de dades. Aquest node també disposa de un petit equip de SAI instal·lat dins la seva caixa elèctrica estanca de exterior. Tot això a la seva vegada va connectat a un interruptor diferencial, que es el encarregat de protegir el node de les pujades de tensió de la xarxa elèctrica.

Al balancejador de carrega van connectades un parell de antenes, que son les encarregades de connectar el node amb la capa de core. En aquest cas, el altre extrem del Bounding de enllaços sa configurat en el mateix equip balancejador.

Finalment tenim connectada la antena de sortida del node, que es tracta de una antena del tipus sectorial, que es la encarregada de crear les zones de cobertura locals per a connectar els nodes de la capa de accés.

El equipament va configurat que tal manera que, en cas de necessitat, ens resulta possible connectar als usuaris directament a la antena de sortida del node de distribució. Vull recordar aquí que la capacitat dels equips de aquestes antenes es de 200 connexions simultànies (tant dona si son altres nodes com connexions directes de usuaris), per el que hi ha capacitat sobrada per a connectar nodes i usuaris de manera simultània.

3.7.6 Connexionat dels equips de la capa de accés

Com havíem comentat anteriorment, els nodes de accés resulten ser una versió modificada dels nodes de distribució. El diagrama de connexions de aquests nodes es el següent:

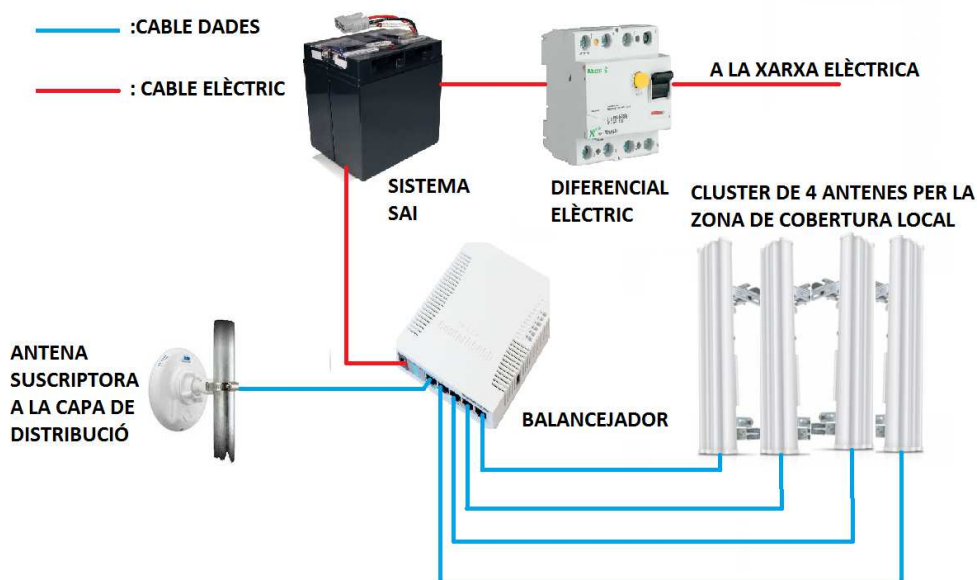


Fig. 33: Diagrama de connexions dels equips a la capa de accés.

La diferencia principal la trobem en les antenes de sortida, que en aquest cas tenim 4 antenes sectorials per a obtenir una cobertura de 360 graus i establir les zones de cobertura locals. També es pot observar com en aquest node només tenim una antena que el connecta amb la capa de distribució. La capacitat de aquests nodes es de 800 connexions simultànies.

3.8 Equipament local dels usuaris o CPE

Els usuaris hauran de disposar de uns equips prèviament configurats per a obtenir accés a la xarxa WiFi. Aquests equips els anomenem de manera comú equipament local de usuari o CPE (Customer Premises Equipment), i consisteix en una antena que te que ser configurada per a connectar amb la xarxa. Encara que la feina la sol realitzar un tècnic professional, la configuració e instal·lació dels equips resulta molt senzilla i la poden realitzar els mateixos usuaris, només resulta necessari tenir un parell de dades de configuració de la xarxa Wifi. Ubiquiti ja subministra un kit complet amb tot aquest equipament, per un preu unitari de uns 81 euros.

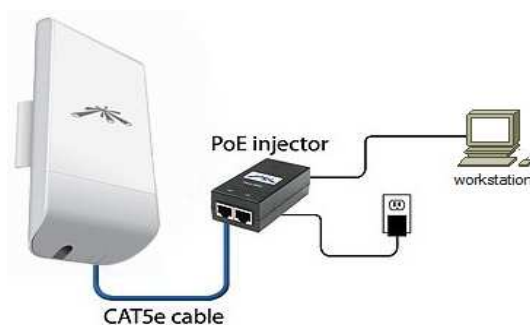


Fig. 34: Equipament CPE i diagrama de connexions.

3.9 Ampliació dels serveis de la xarxa

Amb el disseny fet, tenim la possibilitat de ampliar els serveis que ofereix la xarxa simplement afegint, al espai disponible dins el rack de la capa de core, les capçaleres IP per als nous serveis. Una vegada hem afegit aquest equipament a la xarxa, caldrà estudiar quin resulta ser el equipament CPE més adequat per a proveir aquets serveis als usuaris.



Fig. 35: Capçaleres digitals de Hypermedia.

3.10 Línia de connexió principal a Internet

Resulta necessari contractar amb un proveïdor de serveis (ISP) una connexió per a poder proporcionar Internet als usuaris de la xarxa. Donada la naturalesa de la nostra xarxa, i que esta enfocada per a proveir un servei públic per al municipi, sa estimat convenient que el proveïdor de serveis finalment contractat, es tracti de una empresa fiable i de reconegut prestigi.

Encara que Movistar ha comunicat que no realitzarà el desplegament de la fibra òptica de manera generalitzada al municipi, sí resulta possible contractar aquets productes a institucions o a empreses privades, es per tant, de les poques empreses que ofereix aquest tipus de connexions al municipi de Sant Joan de Labritja. Movistar es una empresa de reconegut prestigi, i amés no ofereix productes similars als que pot proporcionar aquesta xarxa, per el que resulta un bon complement per a dotar de una connexió a Internet fiable a la Infraestructura.

Sa estimat necessari contractar dues línies de 300 Mbps per a dotar de serveis de Internet a la xarxa. El ample de banda real disponible a la xarxa serà per tant de 600 Mbps i el seu cost anual el següent:

Servei a contractar	Especificacions	Unitats	Cost unitari mensual	Cost anual final	Notes
Internet Fibra Base 300 Mb	Línea de connexio principal a Internet amb tecnologia de fibra òptica, amb un ample de banda real de dades de 300 Mb de baixada i 30 Mb de pujada.	2	44,02	1056,48	
Manteniment	Manteniment de les linees de dades les 24h del dia amb una atenció preferent i un temps de resposta baix.	1	17,40	208,8	
Equips de dades	Equips de comunicacions necessaries per a connectar les connexions de fibra òptica amb el core de xarxa.	2	0	0	No son necesaris. Ja que disposen de aquets equips al core de xarxa.
Total anual:				1.265,28 €	

Fig. 36: Cost anual de la connexió principal a Internet.

Capítol 4 – Disseny final de la xarxa i simulació

4.1 Topografia i model digital de la zona per al simulador

Per a realitzar les simulacions de cobertura s'utilitza el reconegut programari Radio Mobile, en conjunció amb la base de dades SRTM. Aquesta resulta, avui en dia, una de les maneres més precises i ràpides de avaluar la cobertura de una xarxa WiFi de exterior, que dona cobertura a un àrea de més de 100 kilòmetres quadrats, amb cel·les de cobertura locals de 50 Km², com és el nostre cas.

La base de dades SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) és una base de dades gratuïta de altimetria mundial, que pot ser descarregada per Internet. Una vegada incorporada al programa Radio Mobile, obtenim un model digital de dades molt precís que pot ser utilitzat per el programa per a efectuar les simulacions de cobertura.

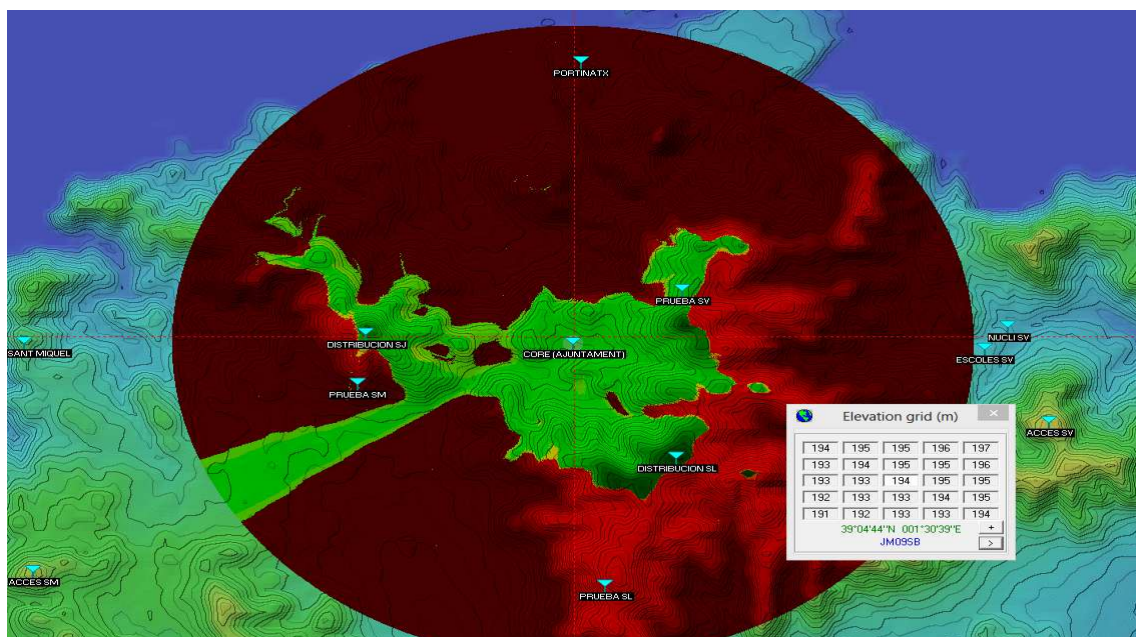


Fig. 37: Simulacions de cobertura amb Radio Mobile i SRTM.

Les simulacions efectuades inclouen tant la valuació dels nivells de senyal de tots els radioenllaços de la xarxa, com la valuació de les zones de cobertura local, proporcionades per els nodes de accés situats a cada parròquia.

4.2 Simulació de tots els radioenllaços.

Hem configurat el programa amb les especificacions de la xarxa, i li demanem que, una vegada feta la simulació, ens mostri una línia verda entre els nodes, si el nivell de senyal rebut en el receptor de la antena es el suficientment alt com per a establir una comunicació fiable. Una vegada simulada la xarxa amb Radio Mobile, comprovem que el establiment de les comunicacions entre tots els radioenllaços dels nodes, es el correcte.

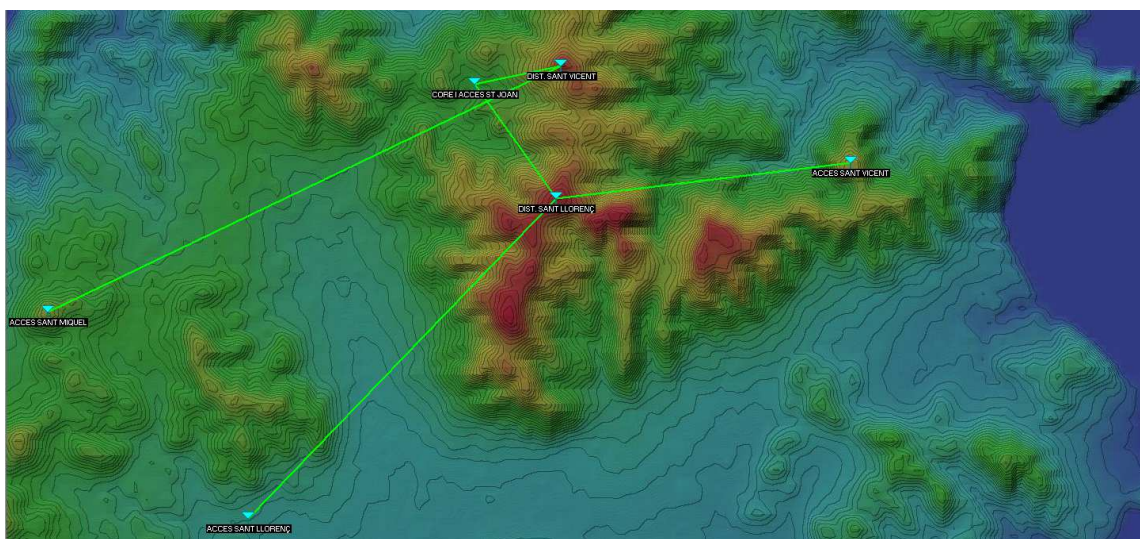


Fig. 38: Simulació de la xarxa troncal i la capa de accés.

4.3 Simulacions de les zones de cobertura locals.

Una vegada hem comprovat el correcte establiment de les comunicacions entre els nodes, passem a simular la cobertura dels nodes de accés.

4.3.1 Zona de cobertura local de Sant Joan

De la simulació de cobertura feta observem que es presenten en vermell moltes zones sense cobertura local del servei. Era d'esperar, ja que aquesta zona es troba rodejada de muntanyes. No es un problema, ja que en previsió de que això passaria, es va dissenyar la xarxa amb zones de cobertura solapades, i les zones sense cobertura la reben de altres nodes propers, com la estació de Sant Vicent.

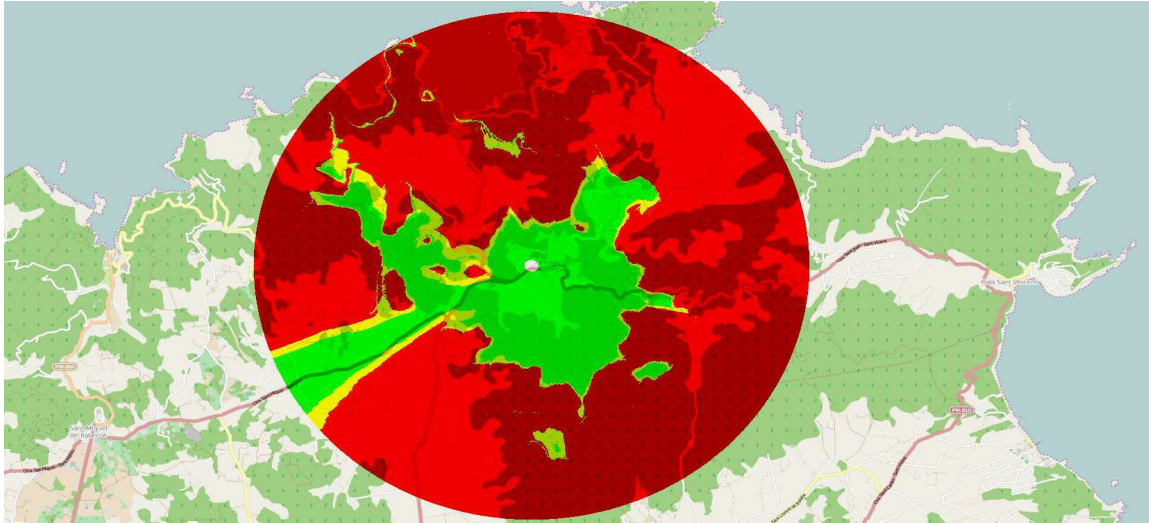


Fig. 39: Simulació de la cobertura del node de accés de Sant Joan.

4.3.2 Zona de cobertura local de Sant Miquel

De la simulació de cobertura feta observem que es presenten algunes zones sense cobertura local del servei en la zona de Sant Llorenç i en la de la zona del Port de Sant Miquel. Les zones sense cobertura del node local queden cobertes per estacions properes, com la de Sant Llorenç. El resultat és el esperat i es pot observar com la zona de cobertura, creada per aquest node, es de bona qualitat.

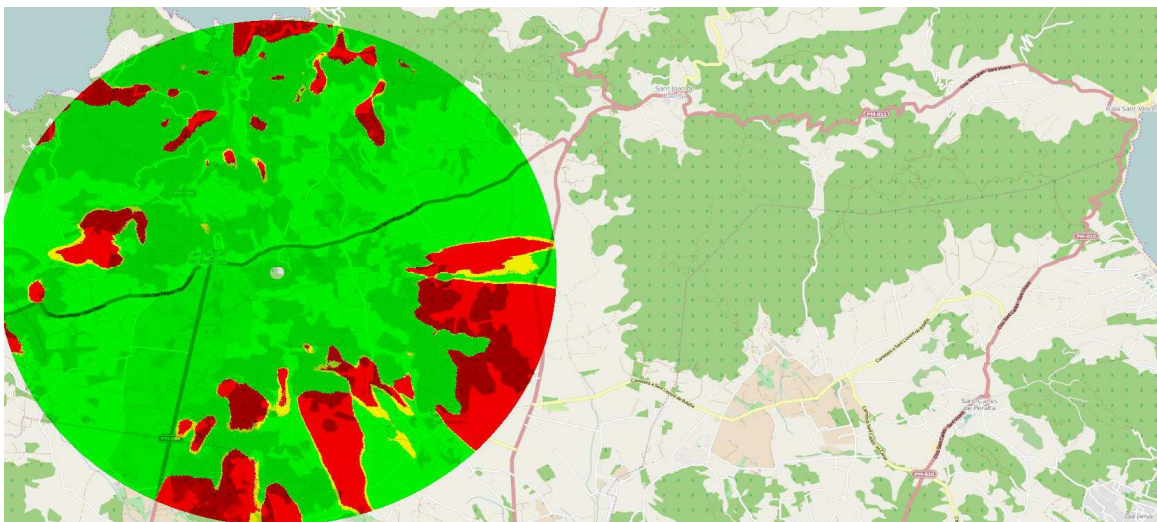


Fig. 40: Simulació de la cobertura del node de accés de Sant Miquel.

4.3.3 Zona de cobertura local de Sant Llorenç

Observem que es presenten algunes zones sense cobertura en la zona nord-oest, que queden cobertes per nodes propers, com el node local de Sant Miquel.

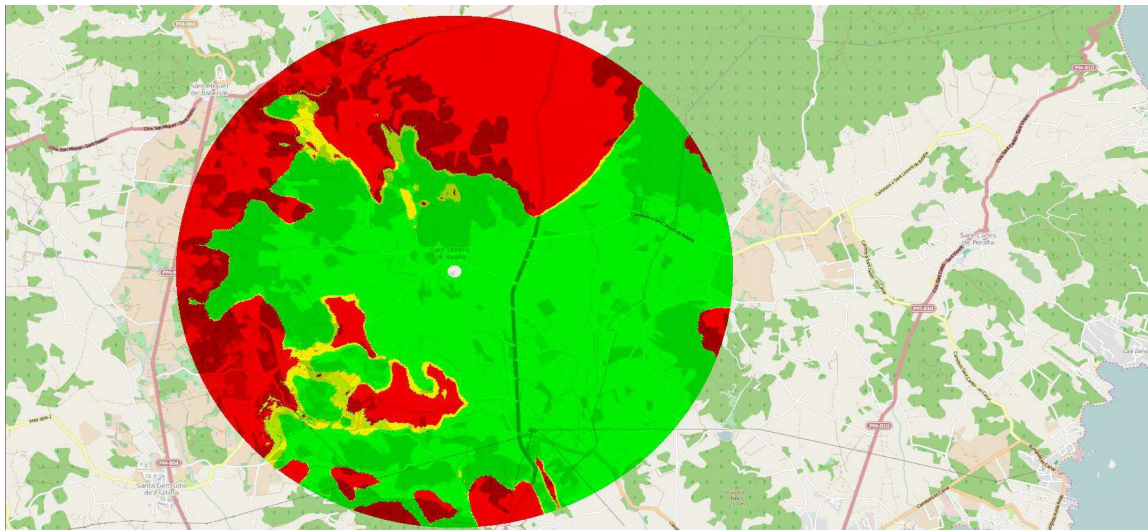


Fig. 41: Simulació de la cobertura del node de accés de Sant Llorenç.

4.3.4 Zona de cobertura local de Sant Vicent

Observem que es presenten bastantes zones sense cobertura. El resultat es el esperat, ja Sant Vicent també es troba rodejat de muntanyes. Aquestes zones queden cobertes per nodes propers con el del Puig de Sant Llorenç i de Sant Joan.

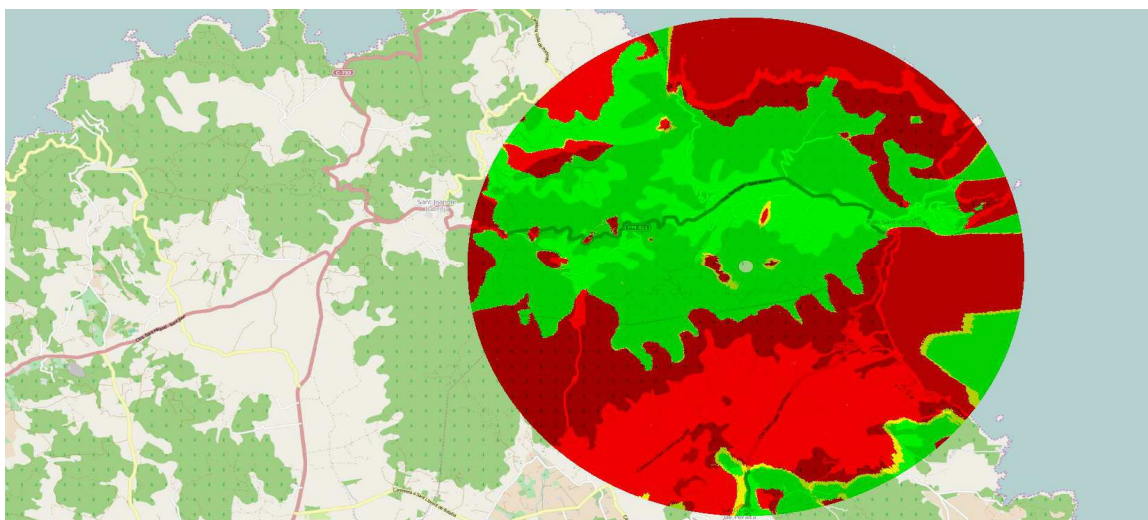


Fig. 42: Simulació de la cobertura del node de accés de Sant Vicent.

4.4 Cobertura real de la xarxa

Una vegada efectuades les simulacions de cobertura individuals, obtenim la simulació conjunta de cobertura. Obtenim una instantània de tot el municipi, amb la cobertura real de la xarxa. El límit real de cobertura, el trobem a pobles de altres municipis, com Sant Carles i Sant Mateu, que ja no pertanyen a Sant Joan. La cobertura real de la xarxa arriba a la practica totalitat del municipi.

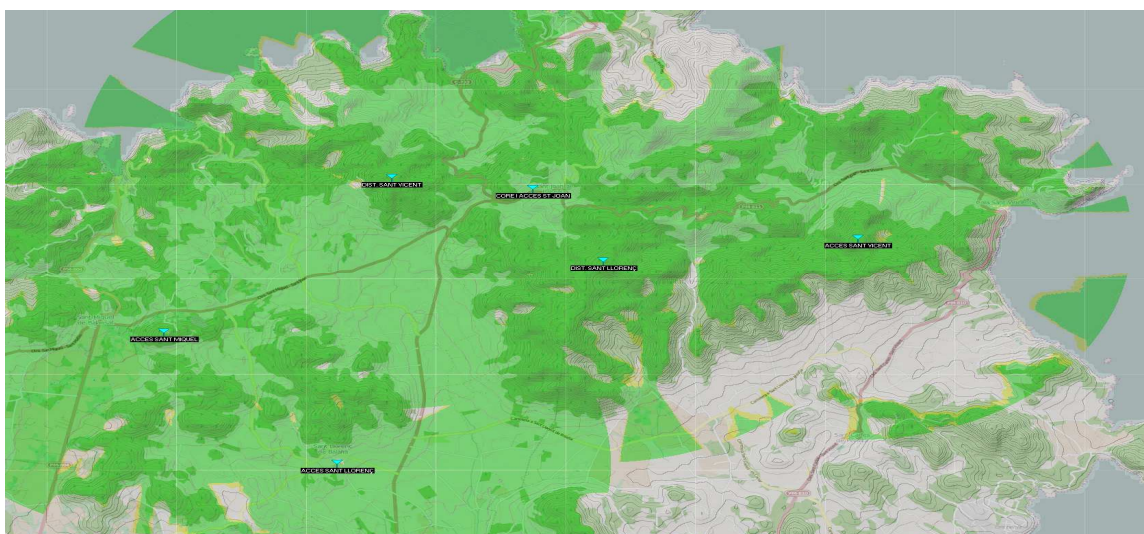


Fig. 43: Simulació de la cobertura real de la xarxa.

4.5 Dimensionat dels equips i nombre de usuaris simultanis

Una vegada sa comprovat que la cobertura de la xarxa es bona i que arriba pràcticament a tot el municipi, es vol saber el nombre real de usuaris al que pot prestar servei la xarxa. Podem observar com la capacitat inicial de la xarxa sobrepassa les especificacions mínimes inicials fetes (4483 usuaris mínim inicial).

Node de la xarxa	Equips de accés PTMP Ubiquiti instalats (NanoBeam M5)	Usuaris possibles per equip de accés PTMP (llevant les connexions ocupades per la xarxa)	Equips de accés AP Ubiquiti instalats (5G20-90 + Rocket M5)	Usuaris possibles per equip de accés AP (llevant les connexions ocupades per la xarxa)	Total usuaris del node
Core de xarxa	4	118	-	-	472
Node distribució Sant Vicent	2	119	1	118	356
Node distribució Sant Llorenç	2	119	1	118	356
Node accés Sant Joan	1	119	4	200	919
Node accés Sant Miquel	1	119	4	200	919
Node accés Sant Llorenç	1	119	4	200	919
Node accés Sant Vicent	1	119	4	200	919
Total usuaris de la xarxa:					4860

Fig. 44: Nombre de usuaris als nodes.

4.6 Configuració de la xarxa

Apart de la configuració específica dels equips, resulta necessari que hi hagi una planificació en les freqüències emprades per els nodes, per tal de que els equips no es puguin interferir els uns amb els altres. Els nodes que pertanyen a la xarxa troncal de distribució (capes de core i distribució), han de emprar freqüències úniques, donat que la seva funció es crítica per al bon funcionament de la xarxa i hi ha que evitar al màxim interferències entre ells.

Els nodes de la capa de accés necessiten emprar 4 freqüències diferents, donat que cada node es compon de 4 estacions base amb la seva antena. Si a més tenim dos nodes amb cel·les de cobertura solapades, cada una emprarà les seves pròpies freqüències, i les freqüències de la capa de accés sempre seran diferents de les emprades en la capa de core i de distribució. Tenim a continuació el esquema de un pla de freqüències adequat per el escenari que sens presenta* :

Extrem de comunicacions	Canal	Extrem de comunicacions	Canal
Extrem de la capa de Core		Extrem de la capa de Distribució	
Enllaç de Core a Distribució: Bounding 1.1	CH 1	Enllaç de Core a Distribució: Bounding 1.3	CH 1
Enllaç de Core a Distribució: Bounding 1.2	CH 2	Enllaç de Core a Distribució: Bounding 1.4	CH 2
Enllaç de Core a Distribució: Bounding 2.1	CH 3	Enllaç de Core a Distribució: Bounding 2.3	CH 3
Enllaç de Core a Distribució: Bounding 2.2	CH 4	Enllaç de Core a Distribució: Bounding 2.4	CH 4
Extrem de la capa de Distribució		Extrem de la capa de Accés	
Node de Distribució del Puig de Sant Vicent: PTMP 1	CH 5	Node de accés de Sant Joan	CH 5
	CH 6	Node de accés de Sant Miquel	CH 6
Node de Distribució del Puig de Sant Llorenç: PTMP 2	CH 7	Node de accés de Sant Llorenç	CH 7
	CH 8	Node de accés de Sant Vicent	CH 8
Extrem de la capa de Accés		Zona local de cobertura	
Node de accés de Sant Joan	CH 5	Estació base del node local. Antena 1	CH 9
		Estació base del node local. Antena 2	CH 10
		Estació base del node local. Antena 3	CH 11
		Estació base del node local. Antena 4	CH 12
Node de accés de Sant Miquel	CH 6	Estació base del node local. Antena 1	CH 13
		Estació base del node local. Antena 2	CH 14
		Estació base del node local. Antena 3	CH 15
		Estació base del node local. Antena 4	CH 16
Node de accés de Sant Llorenç	CH 7	Estació base del node local. Antena 1	CH 17
		Estació base del node local. Antena 2	CH 18
		Estació base del node local. Antena 3	CH 19
		Estació base del node local. Antena 4	CH 20
Node de accés de Sant Vicent	CH 8	Estació base del node local. Antena 1	CH 13
		Estació base del node local. Antena 2	CH 14
		Estació base del node local. Antena 3	CH 15
		Estació base del node local. Antena 4	CH 16

Fig. 45: Pla de freqüències de la xarxa.

*Condicionat a disponibilitat de les mateixes, una vegada efectuades les medicions sobre el terreny.

Capítol 5 – Pressupost i consideracions finals

5.1 Pressupost de la xarxa

Se ha fet una estimació dels costos directes de la xarxa, amb els costos de tots els materials, amés de una estimació de hores de la mà d'obra directe necessària, per a tenir tots els nodes operatius.

La estimació de la mà de obra sa fet pensant, tant el la fase de instal·lació i posada en marxa dels equips, com en les fases de configuració i prova final. Al cost total de la xarxa hi ha pressupostades una borsa addicional de hores de mà de obra, necessàries per a cobrir imprevistos.

Se ha considerat que la feina de instal·lació i posada en marxa la ha de fer un tècnic instal·lador, i la de configuració i prova final la de fer un tècnic especialista en comunicacions, de aquí que el preu de la hora de mà de obra és diferent. Al pressupost tenim cada concepte desglossat.

Se ha considerat també que el bon funcionament de la mateixa, depèn de un tècnic de comunicacions professional, amb un contracte a jornada completa, per a les tasques de operació, gestió i manteniment, tant preventius com correctius, de la xarxa.

No estan incloses al pressupost altres despeses com pot ser, taxes de operador der la Administració General del Estat, registre de activitat davant la Comissió del Mercat de les Telecomunicacions, i demés, per el que els costos indirectes de la mateixa queden fora de aquest estudi.

A continuació tenim el pressupost total de la xarxa de telecomunicacions per al municipi de Sant Joan de Labritja.

Concepte	Cost unitari	Unitats	Subtotal
Core de la xarxa			
Router altes prestacions Mikrotik CCR1009 per a core de xarxa	489,45 €	2	978,90 €
Radionellaç de altes prestacions Ubiquiti NanoBeam M5	96,80 €	4	387,20 €
Mòdul mini-GBIC SFP 1000Base-LX monomode per a ports de fibra del router	85,90 €	4	343,60 €
Sistema SAI Marca HP R1500 UPS 1,5 kVA 1U per a rack	899,00 €	1	899,00 €
Rack de comunicacions professional de 42U tancadura clau de seguretat	428,00 €	1	428,00 €
Regleta de connexions elèctriques per a rack	25,00 €	2	50,00 €
Cablejat de fibra òptica per a core de xarxa	12,00 €	8	96,00 €
Cablejat UTP CAT6 per a core de xarxa	8,00 €	24	192,00 €
Bobina Cable LSHF FTP Cat.6 26AWG Flexible per a les antenes (100m)	72,50 €	1	72,50 €
Conectors i panel de connexions Systimax CAT6	165,91 €	1	165,91 €
Mà de obra tècnic instalador	26,50 €	30	795,00 €
Mà de obra tècnic especialista comunicacions	42,50 €	15	637,50 €
Total unidad Core de xarxa			5.045,61 €
Node de distribució			
Balancejador altes prestacions Mikrotik RB951G	79,77 €	1	79,77 €
Radionellaç de altes prestacions Ubiquiti NanoBeam M5	96,80 €	2	193,60 €
Coberta exterior del radioenllaç Ubiquiti Radome 400mm	25,00 €	2	50,00 €
Equip antena sectorial i estació base Ubiquiti Rocket M5	230,86 €	1	230,86 €
Sistema SAI marca Coolbox SCUDO 600 VA	73,45 €	1	73,45 €
Caixa elèctrica, màstil i tornilleria del node.	250,00 €	1	250,00 €
Interruptor diferencial Legrand LEG411616 25 A, 30 mA, tipus A	79,71 €	1	79,71 €
Cablejat UTP CAT6 del node	8,00 €	5	40,00 €
Bobina Cable LSHF FTP Cat.6 26AWG Flexible per a les antenes (100m)	72,50 €	1	72,50 €
Mà de obra tècnic instalador	26,50 €	20	530,00 €
Mà de obra tècnic especialista comunicacions	42,50 €	10	425,00 €
Total unidad Core de xarxa			2.024,89 €
Node de accés			
Balancejador altes prestacions Mikrotik RB951G	79,77 €	1	79,77 €
Radionellaç de altes prestacions Ubiquiti NanoBeam M5	96,80 €	1	96,80 €
Coberta exterior del radioenllaç Ubiquiti Radome 400mm	25,00 €	1	25,00 €
Equip antena sectorial i estació base Ubiquiti Rocket M5	230,86 €	4	923,44 €
Sistema SAI marca Coolbox SCUDO 600 VA	73,45 €	1	73,45 €
Caixa elèctrica, màstil i tornilleria del node.	250,00 €	1	250,00 €
Interruptor diferencial Legrand LEG411616 25 A, 30 mA, tipus A	79,71 €	1	79,71 €
Cablejat UTP CAT6 del node	8,00 €	5	40,00 €
Bobina Cable LSHF FTP Cat.6 26AWG Flexible per a les antenes (100m)	72,50 €	1	72,50 €
Mà de obra tècnic instalador	26,50 €	20	530,00 €
Mà de obra tècnic especialista comunicacions	42,50 €	10	425,00 €
Total unidad Core de xarxa			2.595,67 €
Xarxa de telecomunicacions WiFi per a Sant Joan de Labritja			
Concepte	Cost unitari	Unitats	Subtotal
Cost total core de la xarxa	5.045,61 €	1	5.045,61 €
Cost total node de distribució	2.024,89 €	2	4.049,78 €
Cost total node de accés	2.595,67 €	4	10.382,68 €
Mà de obra adicional del tècnic instalador	26,50 €	20	530,00 €
Mà de obra adicional del tècnic especialista en comunicacions	42,50 €	10	425,00 €
Manteniment de la xarxa anual	22.000,00 €	1	22.000,00 €
Cost anual de la connexió principal a Internet	1.265,28 €	1	1.265,28 €
Total xarxa de telecomunicacions			43.698,35 €

Fig. 46: Pressupost de la xarxa de telecomunicacions.

5.2 Viabilitat del projecte

Com hem vist en la taula anterior, els costos directes de la xarxa son de 43.698,35 euros. Si tenim en conte que la xarxa, només incloent el servei de connexió a Internet, té un potencial de 4483 usuaris (entre la població resident al municipi), això representa un cost per usuari de 9.75 euros. Només que contem amb 100 usuaris inicials, els costos directes de la xarxa suposen 436.98 euros per persona, el que sembla un import assumible.

El afegir nous serveis a la xarxa, o ampliar la cobertura de la mateixa a nuclis turístics, farà augmentar el nombre de usuaris, amb el que augmentarà el benefici i reduirà el cost per usuari de la xarxa. La etapa de disseny s'ha fet amb la previsió de afegir nous serveis, o ampliar la cobertura de la xarxa, per el que fer això resulta senzill. El projecte sembla viable econòmicament.

5.3 Conclusions

Les variants actuals de la tecnologia sense fils 802.11 (WiFi) estan desbancant a les tecnologies per cable. La fiabilitat i flexibilitat de les mateixes fa que ens plantejem un futur sense fils. La multitud de fabricants i tecnologies WiFi al mercat, fa que resulti difícil elegir un equip, encara així trobem tecnologies que destaquen per dalt de les altres, com el equipament WiFi en la banda lliure de 5 GHz de alguns fabricant.

El cost de una xarxa WiFi no té perquè ser elevat, sempre que s'hagi fet una bona feina a les etapes de disseny i planificació. Si situem els nodes de la xarxa de manera estratègica, podem donar cobertura a àrees de cents de kilòmetres quadrats amb un nombre reduït de nodes. El solapament de les zones de cobertura afegeix redundància a la xarxa.

Afegir nous serveis a la xarxa representa un cost petit en comparació amb els beneficis que pot retornar. De la manera que està dissenyada la xarxa, només s'ha de afegir la capçalera del servei al rack de core de la xarxa i adquirir el equipament per els usuaris, la infraestructura de distribució i accés al nou servei serà la mateixa. Encara que hi hauria que fer un estudi amb més detall, el projecte sembla viable econòmicament.

Bibliografia:

- [1] <http://www.ieee.org>
Pàgina Web de la associació professional de Enginyers Elèctrics i Electronics.
- [2] <http://www.coit.es>
Pàgina Web del Col·legi Oficial de Enginyers en Telecomunicació
- Informe: "La situación de las Tecnologías WLAN basades en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes WiFi"
- Informe: "Uso de las Bandas Libres de 5470-5725 MHz y 5725-5875 MHz en España"
- [3] <http://www.ine.es>
Pàgina Web del Institut de Estadística de Espanya.
- [4] <http://www.tolly.com>
Pàgina Web de la consultora Tolly Research.
- [5] <http://earth.google.es>
Pàgina Web de amb la cartografia mundial Google Earth.
- [6] <http://www.santjoandelabritja.com>
Pàgina Web del Ajuntament de Sant Joan de Labritja.
- [7] <http://www.cplus.org>
Pàgina Web del programari de simulació Radio Mobile.
- [8] <http://www.cisco.com>
Pàgina Web del fabricant de dispositius de comunicacions Cisco.
- [9] <http://www.ruckuswireless.com>
Pàgina Web del fabricant de dispositius de comunicacions Ruckus.
- [10] <http://www.mikrotik.com>
Pàgina Web del fabricant de dispositius de comunicacions Mikrotik.
- [11] <http://www.ubnt.com>
Pàgina Web del fabricant de dispositius de comunicacions Ubiquiti.
- [12] <http://wiki.ubnt.com>
Pàgina Web de formació en la configuració de dispositius de Ubiquiti.

Index de figures:

Capítol 0 – Introducció

Fig. 1. Situació del municipi de Sant Joan de Labritja.....Pàgina 04

Capítol 1 – Estat del art

Fig. 2: Detall de la orografia de la zona.....Pàgina 05

Fig. 3: Esquema de una xarxa WLAN típica.....Pàgina 06

Fig. 4: Taula comparativa de les tecnologies 802.11.....Pàgina 07

Fig. 5: Esquemes de connectivitat emprats.....Pàgina 08

Fig. 6: Taula comparativa de les bandes lliures de llicència.....Pàgina 10

Fig. 7: Taula comparativa bandes 2.4 i 5 GHz.....Pàgina 13

Fig. 8: Taula comparativa de fabricants.....Pàgina 15

Fig. 9 Throughput real dels equips dins la banda de 5 GHz.....Pàgina 17

Capítol 2 – Estudi del municipi de Sant Joan de Labritja

Fig. 10: Situació dels principals nuclis de població del municipi.....Pàgina 19

Fig. 11: Zones turístiques de Port de Sant Miquel i Portinatx.....Pàgina 21

Fig. 12: Nuclis de població de Sant Joan i Sant Llorenç.....Pàgina 21

Fig. 13: Dades del padró municipal.....Pàgina 22

Fig. 14: Programari de simulació Radio Mobile.....Pàgina 23

Fig. 15: Simulació sobre el escenari plantejat de un radio enllaç.....Pàgina 24

Fig. 16: Cel·les de cobertura del servei al municipi.....Pàgina 26

Capítol 3 – Infraestructura de xarxa

Fig. 17: Possibles usuaris del municipi per parròquies.....Pàgina 27

Fig. 18: Ús de les TIC al territori nacional.....Pàgina 28

Fig. 19: Esquema de la xarxa.....Pàgina 29

Fig. 20: Encaminador de altes prestacions una vegada instal·lat dins el rack.....Pàgina 31

Fig. 21: Aspecte dels nodes de la capa de distribució i de accés.....Pàgina 33

Fig. 22: Detall de la topografia de la zona.....Pàgina 34

Fig. 23: Aspecte dels nodes de la capa de accés i CPE dels usuarisPàgina 36

Fig. 24: Tècnica de enllaços de radio redundants o BoundingPàgina 38

Fig. 25: Esquema de la xarxa troncal de distribució.....Pàgina 39

Fig. 26: Situació GPS dels nodes principals de la xarxaPàgina 41

Fig. 27: Mapa topogràfic de la xarxa.....Pàgina 42

Fig. 28: Característiques balancejadors i Core Router.....	Pàgina 43
Fig. 29: Característiques radioenllaços PTP i PTMP.....	Pàgina 44
Fig. 30: Característiques altre equipament de la xarxa.....	Pàgina 45
Fig. 31: Diagrama de connexions dels equips a la capa de core.....	Pàgina 46
Fig. 32: Diagrama de connexions dels equips a la capa de distribució.....	Pàgina 47
Fig. 33: Diagrama de connexions dels equips a la capa de accés.....	Pàgina 48
Fig. 34: Equipament CPE i diagrama de connexions.....	Pàgina 49
Fig. 35: Capçaleres digitals de Hypermedia.....	Pàgina 49
Fig. 36: Cost anual de la connexió principal a Internet.....	Pàgina 50

Capítol 4 – Disseny final de la xarxa i simulació

Fig. 37: Simulacions de cobertura amb Radio Mobile i SRTM.....	Pàgina 51
Fig. 38: Simulació de la xarxa troncal i la capa de accés.....	Pàgina 52
Fig. 39: Simulació de la cobertura del node de accés de Sant Joan.....	Pàgina 53
Fig. 40: Simulació de la cobertura del node de accés de Sant Miquel.....	Pàgina 53
Fig. 41: Simulació de la cobertura del node de accés de Sant Llorenç.....	Pàgina 54
Fig. 42: Simulació de la cobertura del node de accés de Sant Vicent.....	Pàgina 54
Fig. 43: Simulació de la cobertura real de la xarxa.....	Pàgina 55
Fig. 44: Nombre de usuaris als nodes.....	Pàgina 55
Fig. 45: Pla de freqüències de la xarxa.....	Pàgina 56

Capítol 5 – Pressupost i consideracions finals

Fig. 46: Pressupost de la xarxa de telecomunicacions.....	Pàgina 58
--	------------------

Glossari:

AP	Zona de cobertura local del servei
CAT6	Cable de comunicacions adequat per a velocitats de dades de 1000 Mbps
COIT	Collegi Oficial dels Enginyers en Telecomunicació
CPE	Equipament local del usuari
FCC	Comissió Federal de Comunicacions
FTP	Cable de par trenat amb aïllament
GPS	Sistema de Posicionament Global
IEEE	Institut de Enginyers Elèctrics i Electrònics
INE	Institut Nacional de Estadística
IP	Protocol de Internet
ISP	Empresa proveïdora de serveis de Internet
LAN	Xarxa de àmbit local
LOS	Escenari de comunicacions amb línia de visió directe entre les estacions
LSHF	Cable de parell trenat lliure de halògens
NLOS	Escenari de comunicacions sense línia de visió directe entre les estacions
PTMP	Enllaç de comunicació Punt a Punt
PTP	Enllaç de comunicació Punt a Multipunt
SAI	Sistema de alimentació elèctrica sense talls
SRTM	Base de dades mundial de altimetria
TIC	Tecnologies de la Informació i les Comunicacions
UTP	Cable de par trenat
WiFi	Tecnologia emprada en les xarxes sense fils
WLAN	Xarxa sense fils de àmbit local

Contraportada.