

**Implantació d'un punt a punt a la Xarxa Municipal d'Alcoi per connectar un edifici aïllat i accés públic al ciutadà a la Xarxa Municipal amb tecnologia WiFi i WiMax**

## Treball Final de Màster

Especialitat [Administració de xarxes i de sistemes operatius](#)  
Consultor [Miguel Martín Mateo](#)  
Tutor extern [Manuel Llorca Alcón](#)

Autor [Emili Pla Sanchis](#)  
Data [14 de maig de 2014](#)





**Reconeixement – Compartir Igual (by-sa):** Es permet l'ús comercial de l'obra i de les possibles obres derivades, la distribució de les quals s'ha de fer amb una llicència igual a la que regula l'obra original.

[Vegeu el resum de la llicència / Vegeu el codi legal \(amb anglès\)](#)

## **Resum**

El projecte es situa en la ciutat d'Alcoi i intenta cobrir les següents tres activitats:

1. Donar accés sense fils als ciutadans a la xarxa municipal i als serveis que puga oferir.
2. Unir a la xarxa local un edifici aïllat mitjançant un punt a punt.
3. Gestionar l'accés públic als serveis públics de l'Ajuntament (incloent Internet) amb tallafocs, disseny de xarxa i tramitacions amb la CMT per autoritzar a l'Ajuntament a l'explotació de la xarxa local com operadora.

La integració ha de ser total a la xarxa municipal actual que disposen i que cobreix gran part de la població en fibra òptica.

## Taula de continguts

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 1.       | Introducció.....   | 6  |
| 2.       | Abast del projecte.....  | 6  |
| 2.1.     | Les institucions.....  | 6  |
| 2.2.     | L'entorn.....  | 8  |
| 2.3.     | Objectius.....   | 11 |
| 3.       | Mitjans de transmissió.....                                      | 11 |
| 3.1.     | Guiats.....  | 15 |
| 3.2.     | No guiats.....   | 16 |
| 3.2.1.   | Tipus d'antenes.....   | 16 |
| 3.2.2.   | Ones de ràdio.....   | 18 |
| 3.2.3.   | Zona de Fresnel.....   | 20 |
| 3.3.     | Modulació.....   | 21 |
| 3.4.     | Multiplexació.....   | 23 |
| 3.5.     | Adaptació al medi.....   | 23 |
| 3.6.     | Limitacions de la transmissió.....                               | 24 |
| 4.       | Normativa espectre radioelèctric.....                            | 25 |
| 4.1.     | Estàndards IEEE 802.....   | 27 |
| 5.       | Disseny del projecte.....  | 29 |
| 5.1.     | Arquitectura del sistema.....                                    | 29 |
| 5.1.1.   | Punt a punt Ajuntament – Edifici.....                            | 29 |
| 5.1.2.   | Accés públic a la Xarxa Municipal.....                           | 29 |
| 5.1.3.   | Nivells d'arquitectura.....                                      | 30 |
| 5.1.3.1. | Arquitectura funcional.....                                      | 30 |
| 5.1.3.2. | Arquitectura lògica.....   | 30 |
| 5.2.     | Especificació d'estàndards, normes de disseny i construcció..... | 31 |
| 5.3.     | Identificació de subsistemes.....                                | 31 |
| 5.4.     | Revisió de casos d'ús per subsistema.....                        | 31 |
| 5.5.     | Especificacions de desenvolupament i proves.....                 | 33 |
| 5.6.     | Requisits del projecte.....                                      | 33 |
| 5.7.     | Diagrames descriptius.....                                       | 34 |
| 5.8.     | Maquinari.....   | 35 |
| 5.8.1.   | Servidor.....  | 35 |
| 5.8.2.   | Punt a Punt.....   | 36 |
| 5.8.3.   | Punts d'accés públics.....                                       | 37 |
| 5.8.4.   | Programari.....  | 39 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 6.   | Planificació de la implantació.....                                 | 39 |
| 6.1. | Fases.....  | 41 |
| 6.2. | Tasques.....  | 44 |
| 6.3. | Control i seguiment.....  | 45 |
| 6.4. | Diagrama de Gantt.....  | 47 |
| 6.5. | Pressupost.....   | 47 |
| 6.6. | Gestió de riscos.....   | 48 |
| 7.   | Resultats del projecte.....   | 48 |
| 7.1. | Instal·lació WiFi IES Josep Segrelles.....                          | 50 |
| 8.   | Conclusions.....  | 54 |
|      | Referències bibliogràfiques.....                                    | 55 |
|      | Annexos.....  | 57 |
|      | Annex I. Documentació presentada a la CMT. Ajuntament operador..... | 57 |
|      | Annex II. Tallafocs. Script iptables.....                           | 71 |

## **1. Introducció**

A la següent memòria es realitzarà una anàlisi detallat del projecte dut a terme. Aquesta s'estructura amb una primera part on es presenta la seua situació, entorn, objectius a complir, requeriments, etc, per fer-nos una idea globalitzada de les dimensions i possibilitats a les que fem front.

En una segona part, s'analitzen les diverses opcions que la tecnologia actual ens proporciona per cobrir les necessitats per dur-lo a terme. Si bé és una part més tècnica, és essencial la seua comprensió per decidir quines són les millors alternatives, avaluant qualsevol factor que pugua afectar a la seua decisió d'incorporació al projecte, des de robustesa o fiabilitat fins l'econòmica. És de gran valor tota aquesta informació davant futures ampliacions o problemes que puguen sorgir, ja que disposarem de la informació necessària per fer-los front d'una manera adequada.

A continuació, en una tercera part, es cobriran els aspectes de la implantació, ja siga virtualitzada o en camp. La implantació s'ha demorat per la burocràcia de qualsevol Ens Públic en la decisió i adjudicació d'aquest tipus de projecte, que aprofundirem més endavant.

Finalment i totalment essencial en qualsevol xarxa, es veurà la secció de seguretat i monitorització de la xarxa, en la recerca d'esquerdes que puguen donar-nos informació molt valuosa de que alguna cosa no va com estava previst, i així avançar-nos a una errada al sistema que ens pot causar grans problemes i costos. Aquesta és l'essència dels manteniments, anar un pas per davant de la violació del sistema.

## **2. Abast del projecte**

### **2.1. Les institucions**

El projecte ha sigut tutelat per D. Manuel Llorca Alcón, del departament

d'Informàtica de Sistemes i Computadors de la Universitat Politècnica de València (UPV), campus d'Alcoi.

La *Universitat Politècnica de València (UPV)* al campus d'Alcoi disposa d'amples recursos materials i personals al [1] *DISCA (Departament d'Informàtica de Sistemes i Computadors)*, amb contacte continu amb les coneixements i els últims avenços en el sector, així com un dels bressols de la utilització del programari lliure. Realitzen col·laboracions en empreses, projectes altruistes i d'investigació que, encara que no tenen una incorporació directa al mercat empresarial, fan dels projectes *I+D+I* una evolució tecnològica constant, que finalment, arriba al ciutadà.

Un dels projectes relacionats amb xarxes, i en aquest cas, sense fils, era el de l'Ajuntament d'Alcoi amb la incorporació de l'accés públic a la xarxa i la connexió de zones o edificis aïllats.

El projecte global de l'Ajuntament és ambiciós, però al seu mateix moment, totalment realista. S'assabenten dels avantatges que les noves tecnologies tenen per al ciutadà i pel creixement comercial de la ciutat, i són conscients dels costos que açò suposa. El *Departament de Promoció Econòmica* de l'Ajuntament, porta endavant des de 2002, l'*Agència de Desenvolupament Local* ([2] *ADL*) on es dinamitza i es potencia del desenvolupament socioeconòmic de la zona. Disposen d'un espai gratuït de coworking, accés a la xarxa i assessorament empresarial per a qualsevol que vulga tirar endavant qualsevol idea.

L'aposta per les noves tecnologies ha fet que Alcoi dispose d'una xarxa de fibra òptica, veu IP, *CPD* d'entre altres. També s'estudia la possibilitat d'incorporació de la xarxa municipal a *guifi.net* així com donar solucions amb tecnologies sense fils a urbanitzacions amb problemes de l'última milla.

Davant aquesta sintonia entre Universitat i Ajuntament, naix una col·laboració que perdura des de fa molts anys. Així doncs, i davant la possibilitat d'escollir un projecte amb gran impacte social, es decideix portar a terme un que s'esperava realitzar des de feia anys: l'accés públic des de dispositius mòbils a la xarxa municipal en zones públiques (parcs) de la ciutat d'Alcoi.

Amb aquesta implantació, qualsevol ciutadà podrà connectar-se des del

smartphone, tablet o portàtil als serveis que ofereix l'Ajuntament. El projecte també cobreix el servei d'accés a Internet del ciutadà, el que implica notificacions a la Comissió del Mercat de les Telecomunicacions (CMT) i aspectes legals per no irrompre en una il·legalitat que pot suposar una denúncia i la pertinent sanció econòmica.

A més, existeixen edificis públics de l'Ajuntament als quals no arriba la fibra òptica de la xarxa municipal, i estan aïllats dels serveis actuals de la xarxa, com veu ip, centralització de serveis, etc. Així doncs, també s'intentarà realitzar una connexió punt a punt a un edifici públic aïllat per connectar-lo a la xarxa municipal, utilitzant tecnologia WiMax.

## **2.2. L'entorn**

El projecte que s'emprèn és un pas endavant dins d'un gran projecte global que l'Ajuntament d'Alcoi vol portar a bon port. El treball fins arribar a la infraestructura i disseny de xarxa actuals és una tasca realitzada durant anys, amb esforç, dedicació i voluntat del consistori, tècnics, col·laboradors com l'UPV, etc, amb una única finalitat, dotar a la ciutat d'Alcoi dels avenços tecnològics per apropar al ciutadà tots els avantatges que açò comporta.

La meua aportació amb el PFM a l'UPV a l'extensió d'Alcoi, la qual coopera amb l'Ajuntament, forma part d'uns objectius marcats pel Departament d'Informàtica de l'Ajuntament.

Actualment, Alcoi disposa fibra òptica per gran part de la ciutat, però, hi ha zones aïllades o de difícil accés, ja siga per l'orografia o per la dificultat de realitzar obres públiques (e.g. casc antic).

La finalitat del projecte global de l'Ajuntament es disposar d'una ciutat intel·ligent, on tothom pugua estar comunicat, i es puguin oferir serveis al ciutadà, al turista, potenciant el comerç, festivitats amb aplicacions als terminals mòbils, etc. Un pas important és donar accés a la xarxa municipal al ciutadà, amb seguretat i de bona qualitat. Aquest serà una part del meu projecte, realitzar la implantació d'una zona

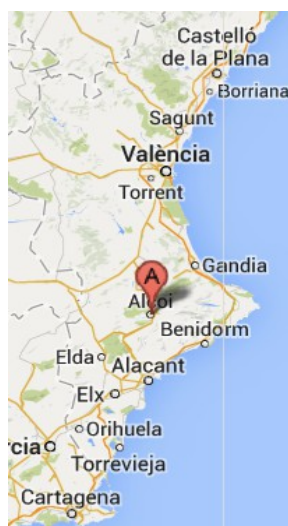


pública a la xarxa municipal. Encara que únicament siga un parc, va a ser la 'prova pilot' abans d'ampliar les cobertures a altres zones de la ciutat, tasca fàcilment realitzable, ja que tot el treball de disseny, control i seguretat serà el mateix que es realitzarà ara.

L'altra part del meu projecte serà incorporar a la xarxa municipal un edifici públic de l'Ajuntament que actualment tinga problemes de comunicació, o simplement, no estiga connectat a la xarxa municipal o a Internet. D'aquesta manera, es millora notablement l'accés als serveis municipals (centraleta, CPD) i es minimitzen les despeses en eliminar duplicitats de contractes de connexió a Internet i línies telefòniques.

### ***Ubicació geogràfica***

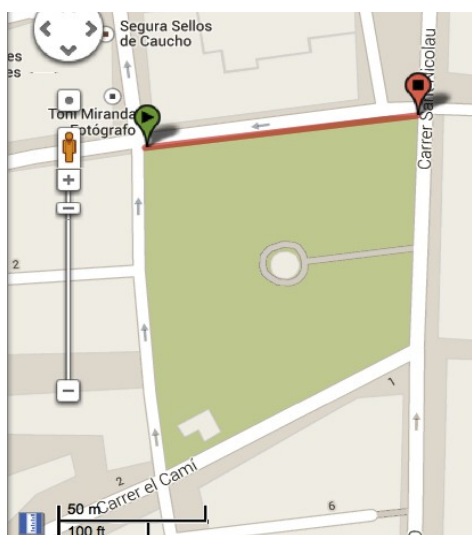
La ciutat d'Alcoi està situada al l'interior del nord de la província d'Alacant, capital la comarca de l'Alcoià. La ciutat està als peus de la serra Mariola, el que fa que la ciutat s'assente entre barrancs i desnivells. S'eleva a 562 metres sota el nivell del mar, amb hiverns gèlids i amb presència de neu tots els anys.



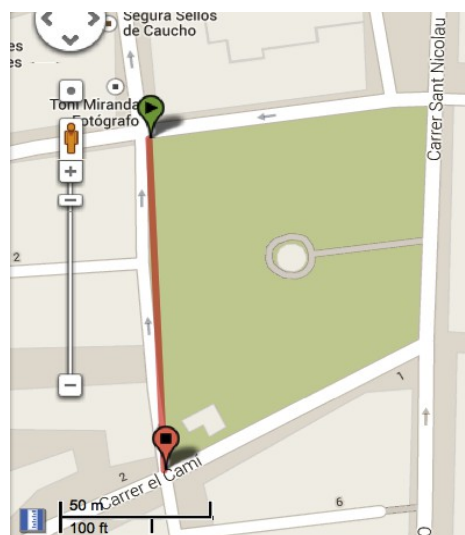
Aquestos aspectes són importants ja què els aparells que s'instal·laran seran d'exterior i han de suportar les temperatures màximes i mínimes de la zona. A més,

el manteniment d'aquests, cablejats a utilitzar i periodicitat de les revisions varien amb aquests factors.

El parc *Ramón y Cajal* és on es donarà l'accés sense fils a la xarxa municipal. Transcorre entre els carrers Sant Mateu, carrer Sant Nicolau, carrer Sant Domènec i el carrer El Camí. L'edifici confrontat al parc és municipal i disposa de connexió a la xarxa municipal mitjançant fibra òptica. El parc ocupa aproximadament uns 100 m<sup>2</sup>.



Distància total: 93.4786 m



Distància total: 118.499 m



Des d'aquest edifici es cobreix la totalitat del parc a nivell de terra, és a dir, que des

del sostre de l'edifici municipal, està el terra del parc. Açò és pel desnivell de la ciutat, el que donarà millor qualitat a la comunicació evitant les els obstacles de la vegetació dels arbres del parc.

### **2.3. Objectius**

Els objectius del projecte es centren en l'accés a la xarxa de manera segura del ciutadà i dels edificis municipals que en aquest moments no estan connectats. Els amples de banda han de ser suficients i estables per oferir els serveis de manera segura i fiable. La seguretat és un punt molt important del projecte i s'utilitzaran eines de control i tallafocs per realitzar un manteniment i gestió eficients.

El projecte també pretén realitzar tots els tràmits burocràtics amb la CMT d'explotació de la xarxa municipal. Estes tasques a realitzar deixaran un primer camí creat per a que el creixement de les zones d'accés siga ràpid, segur i còmode en futures ampliacions.

Al pla de treball, del projecte, s'han identificat els següents objectius:

- Connexió a la Xarxa Municipal de l'edifici escollit, amb garanties d'amples de banda i seguretat.
- Accés públic des del parc a la xarxa Municipal (Hotspot).
- Control dels serveis i amples de banda del Hotspot.
- Seguretat. Disseny de subxarxes i tallafocs per l'accés públic.
- Notificació a la CMT d'accés públic a la Xarxa Municipal d'Alcoi.

### **3. Mitjans de transmissió**

Les xarxes sense fils s'han implantat amb força des de principis del 2000, i són un vessant imprescindible en l'evolució tecnològica actual i futura. Els dispositius

mòbils i el creixement exponencial en l'ús de l'ample de banda fa de les tecnologies sense fils un pilar fonamental en companyies de telecomunicacions i obre portes a zones rurals i aïllades tecnològicament de disposar de connexió a Internet amb un desplegament ràpid, econòmic i amb un impacte quasi imperceptible.

Els protocols de comunicació creixen i es reinventen per millorar la qualitat, seguretat i ample de banda. Per determinar el millor mitjà de transport de la informació a la xarxa a implantar, hem de tenir en compte:

- Tipus d'instal·lació
- Topologia que suporta
- Fiabilitat i vulnerabilitat
- Influència de les interferències i factors externs
- Economia i facilitat d'instal·lació
- Seguretat. Facilitat per intervindre en el mitjà

Les xarxes sense fils utilitzen mitjans de transmissió no guiats, és a dir, no canalitzats, mentre que les xarxes cablejades utilitzen un mitjà guiat. Tot i que el projecte es centra en mitjans de transmissió no guiats, existeix una part cablejada, des dels aparells sense fils fins als encaminadors, switch i servidor que hem de tenir en compte, tant els tipus de cables, problemes que podem trobar-nos i tipus d'instal·lació que podem realitzar.

Per comprendre millor els conceptes més tècnics de les comunicacions Wifi i WiMax que més endavant es veuran, és important recordar algun aspecte teòric en la classificació dels mitjans de comunicació. Aquests els poden classificar en:

- Síncrona/Asíncrona (segons la transmissió)
- Serie/Paral·lel (segons el mitjà de transmissió)
- Analògica/Digital (segons el tipus de senyal)
- Banda Base/Banda Ampla
- Simplex/Half Duplex/Full Duplex (segons la direcció de la comunicació)

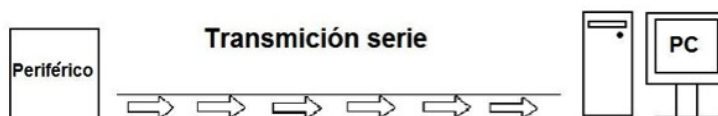
### **Síncrona/asíncrona**

Tota transmissió d'una senyal necessita un sincronisme entre emissor (TX) i receptor (RX). Definim sincronisme com el procediment pel qual TX i RX es posen d'acord sobre l'instant precís en que comença o acaba una informació que s'ha ficat al mitjà de transmissió.

Existeix sincronisme quan TX i RX sincronitzen els rellotges i transmeten cadenes de caràcters, permetent una transmissió a grans velocitats. Parlem d'una transmissió asíncrona quan en el procés de transmissió, TX i RX es sincronitzen en cada paraula transmesa (bit start, bit stop).

### **Serie/Paral·lel**

Una transmissió serie envia totes les dades en una única línia de dades seqüencialment, apropiat per a llargues distàncies, ja que estalvia cablejat. La velocitat de transmissió és constant i és pactada entre TX i RX.



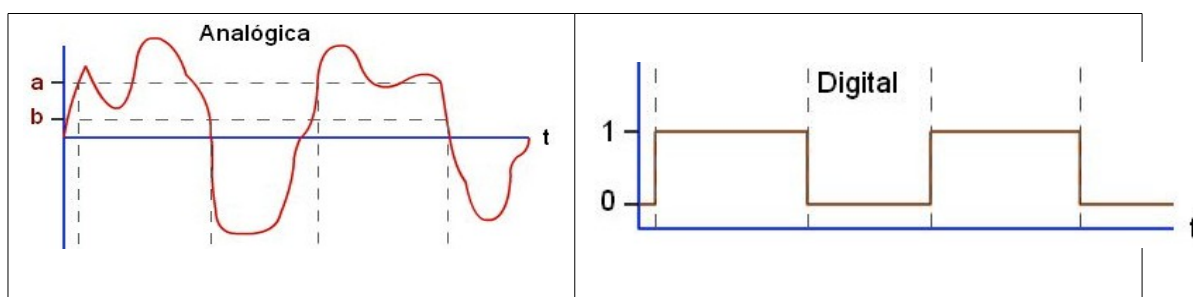
En paral·lel, es transmeten simultàniament un grup de bits, un per cada línia del canal. És 'n' vegades més ràpida que la transmissió serie, sent 'n' el nombre de línies.



### **Analògica/Digital**

Un senyal és analògic quan pot tindre tots els valors possibles dins d'un rang. Per

contra, un senyal és digital quan pot tindre un valor finit de valors dins d'un rang.

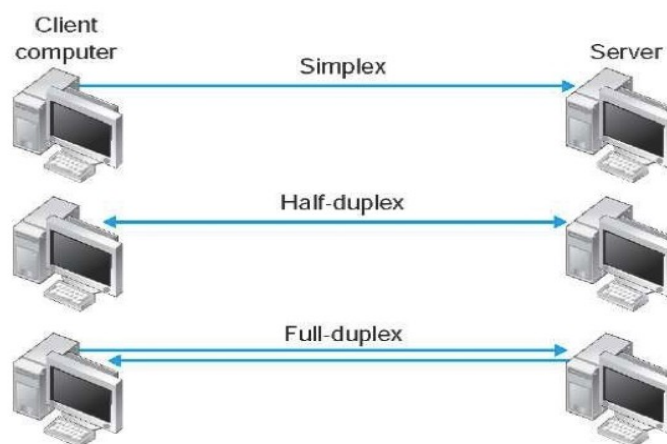


### ***Banda Base/Banda Ampla***

Quan el senyal es transmet sense rebre ninguna alteració en la freqüència, es parla de banda base (no modulada), mentre que si l'ample de banda es segmenta en diverses freqüències i es transfereixen moltes senyals pel mateix mitjà de transport, parlem de banda ampla o banda modulada (e.g. cable o fibra òptica amb transmissió simultània de vídeo, veu, dades, etc).

### ***Simplex/Half Duplex/Full Duplex***

Una comunicació es Simplex quan existeix un únic TX i un únic RX (e.g. emissió radiofònica). És Half Duplex quan la comunicació és bidireccional no simultània (e.g. radioaficionats, sols pot ocupar un el canal per parlar entre ells). La comunicació és Full Duplex quan és bidireccional simultània (e.g. conversa telefònica).



### 3.1. Guiats

Un mitjà és guiat quan l'ona electromagnètica va encapsulada, normalment cable. Exemples de LANs en entorns guiats són Ethernet, Token Ring, FDDI o ATM. A continuació, es detallen els diferents tipus de cablejats de parell trenats, ja que són els que s'utilitzen al projecte i és important disposar de la informació necessària per escollir el millor tipus depenent de la instal·lació a realitzar, si és exterior i interior, si travessa zones amb sorolls externs, etc. També existeixen cables coaxials i de fibra òptica, els quals queden fora de l'abast del projecte.

#### **Parell trenat**

És el tipus de cable està compost de dos fils de coure trenats entre si per intentar evitar interferències electromagnètiques que li puguin afectar des de l'exterior. El longitud màxima d'un segment és de 100 metres. Si volem transmetre a més distància hem d'utilitzar un repetidor entre segments que regenerarà el senyal. Existeixen tres tipus principalment:

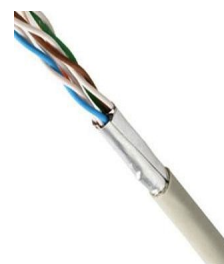
- **UTP (Unshielded Twisted Pair)**. Parell trenat sense apantallar. Molt econòmic i flexible. Impedància 100 Ohms.
- **STP (Shielded Twisted Pair)**. Parell trenat apantallat. L'apantallament intenta aïllar el soroll, i recobreix cada parell trenat. A més disposa de connexió a terra. Més car que UTP. Impedància de 150 ohms.
- **FTP (Foiled Twisted Pair)**. Parell trenat amb pantalla global. Preu intermedi entre UTP i STP Impedància de 120 ohms.



Cable UTP



Cable STP



Cable FTP

### **3.2. No guiats**

La comunicació en mitjans no guiats es realitza amb energia electromagnètica per mitjà de dos antenes que envien i reben la informació. Aquesta ha de ser analitzada, interpretada i traduïda a l'estàndard de xarxa utilitzat, tasca que realitzen les targes sense fils, punts d'accés, estacions base, subscriptors sense fils, etc. Els senyals viatgen normalment per l'aire, encara que també es pot transmetre per l'aigua.

#### **3.2.1. Tipus d'antenes**

Totes les antenes, integrades o no, tenen un guany (dB) que s'ha de tenir en compte per als càlculs totals de potència d'emissió, ja que l'acumulada entre l'antena i el punt d'accés ha d'estar dins dels límits legals del país.

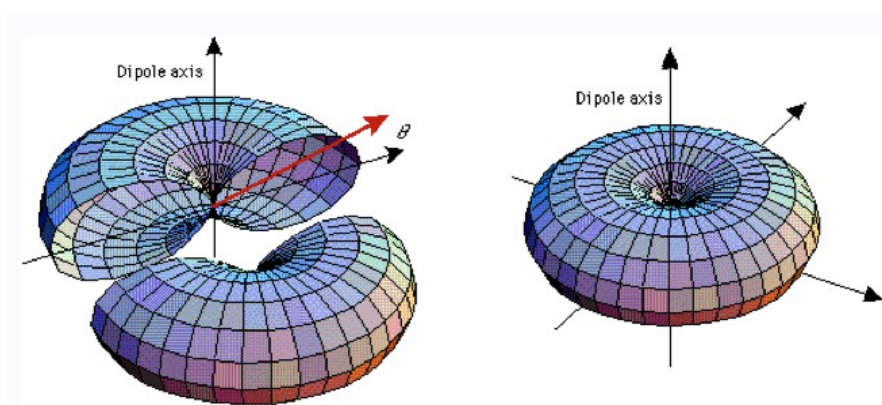
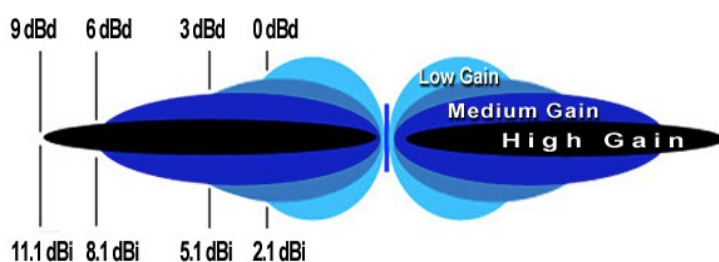
Totes les antenes tenen una sèrie de característiques:

- **Freqüència (GHz):** repeticions en una unitat de temps.
- **Potència/guany (dBi):** relació entre l'amplitud d'un senyal d'eixida respecte al d'entrada.
- **Graus:** apertura horitzontal i vertical on s'irradia el senyal (graus verticals/horitzontals).
- **Polarització:** sentit d'emissió de l'ona (horitzontal o vertical).

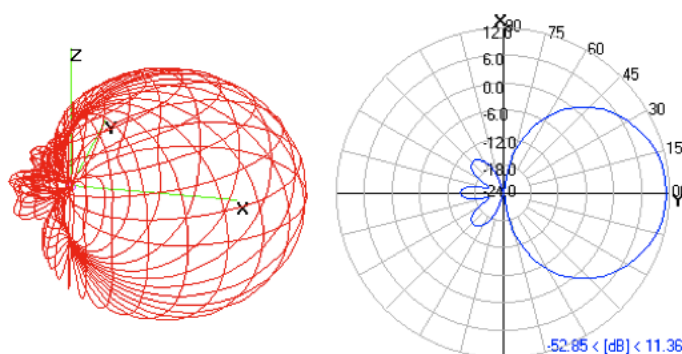
Amb aquestos conceptes definits, podem classificar les antenes en diversos tipus:

**Omnidireccional:** radia  $360^\circ$  en horitzontal i  $x^\circ$  en V, sent x els graus d'apertura vertical. Es sol utilitzar en exteriors per emetre en totes direccions. Segons la potència de l'antena, serà major l'abast de cobertura.



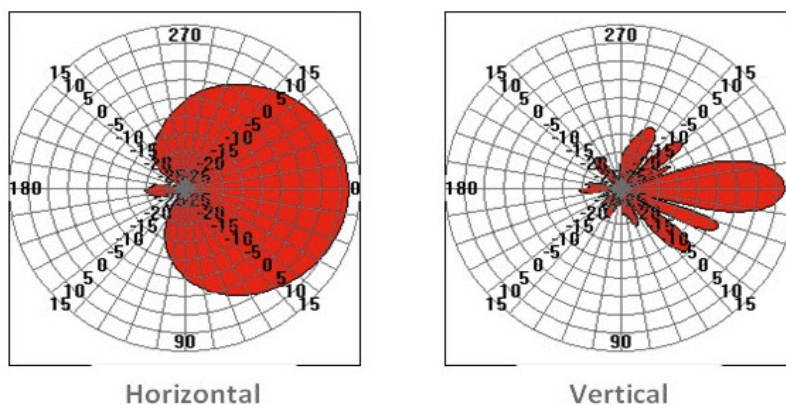


**Direccional:** radia en un angle d'apertura reduït, el que fa que l'abast de cobertura siga major que antenes amb majors graus d'apertura. Solen cobrir de 10° a 45°.



**Sectorial:** són antenes direccionals que es combinen entre elles per cobrir amples zones, però queden fora de l'abast de les omnidireccionals al ser necessari major potència o nombre de subscriptors connectats per antena. Si el càlcul de clients a suportar per una antena omnidireccional és superior al màxim establert pel

fabricant, s'adopta la solució de cobrir amb antenes sectorials els 360°, millorant la cobertura i el nombre de clients connectats. Solen tindre 60°, 90°, 120°.



**Intel·ligent:** les antenes intel·ligents també anomenades antenes de fleix tenen un moviment angular continu del fleix principal de l'antena. La direcció on emetre el fleix es calcula amb patrons de radiacions, amb el que s'aconsegueix una emissió molt direccional i al seu temps més potent que amb angles d'apertura majors. Utilitzades per companyies de telefonia mòbil en sistemes 4G.



### 3.2.2 Ones de ràdio

A les comunicacions sense fils, les ones han de viatjar entre TX i RX, amb la millor qualitat possible. Les condicions idònies són que existisca línia de vista entre tots dos, és a dir, es puga dibuixar una línia recta imaginària entre els dos punts a comunicar sense obstacle algun que s'interposi. Aquest tipus de comunicació es coneix com LOS (line of sight).

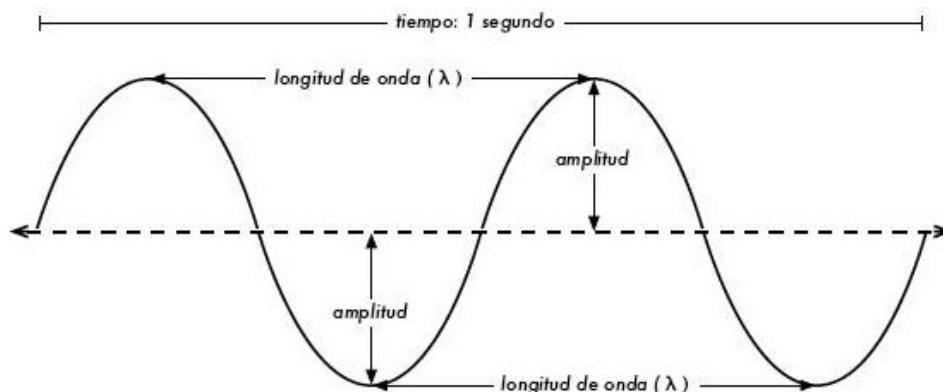
En l'altre extrem està la comunicació que es veu obstaculitzada, anomenada NLOS (no line of sight).

Segons el tipus de connexió, les comunicacions es classifiquen en:

- *Peer to Peer*. Existeix un únic TX i RX, per exemple un segment troncal d'una WAN que uneix diverses xarxes.
- *Peer to multi Peer*. TX un RX i diversos receptors, com per exemple, un punt d'accés, un hotspot, etc.

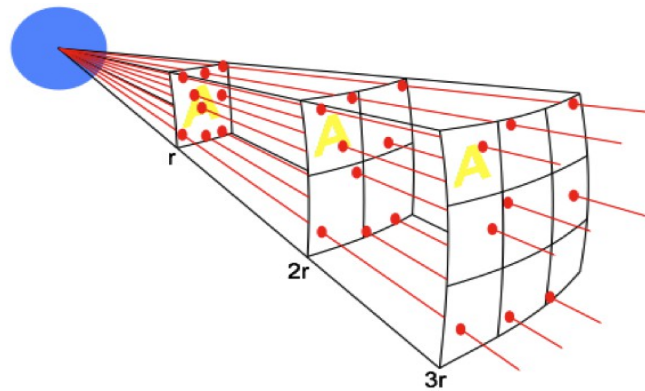
A continuació, es detallen les característiques d'una transmissió, conceptes essencials per comprendre les modulacions utilitzades en comunicacions sense fils, problemàtiques com les de Fresnel i en definitiva, l'adaptació de l'ona al medi.

- *Longitud d'ona ( $\lambda$ )*: distància que recorre un pols durant una oscil·lació completa de l'ona.
- *Fase ( $p$ )*: interval de temps que el senyal torna a tindre valor 0.
- *Freqüència ( $f$ )*: nombre de repeticions per unitat de temps.  $F = 1/T$
- *Amplitud ( $A$ )*: valor màxim del senyal en l'interval.



Longitud d'ona, amplitud i freqüència. En aquest cas, la freqüència es 2 cicles per segon, o 2 Hz.

La distància entre antenes és un dels condicionants d'una bona comunicació. A major distància major és la pèrdua del senyal. La potència del senyal disminueix quan mes ens allunyem del transmissor, amb la qual cosa, la densitat de la potència disminueix.



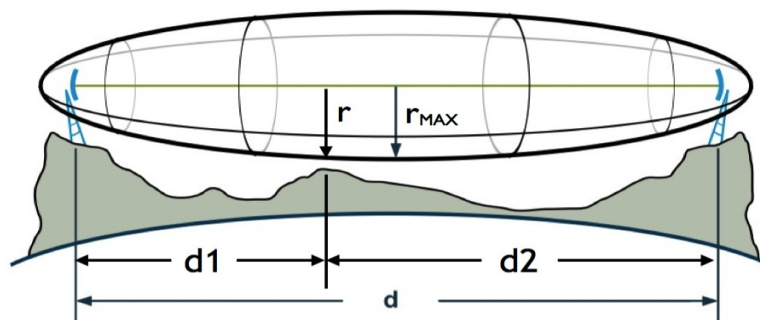
Per calcular la pèrdua per propagació d'ona ( $P_p$ ), s'utilitza la següent fórmula:

$$P_p = 32.45 + 20 \cdot \log(D) + 20 \cdot \log(f)$$

$P_p$  en dB,  $f$  en MHz i  $D$  en km

### 3.2.3. Zona de Fresnel

La comunicació entre TX i RX es realitza mitjançant ones sinusoidals. A major distància de transmissió, major ha de ser el radi ( $r$ ) que la ona necessita per a ser transmesa en condicions òptimes. Per calcular aquest valor, utilitzem:



$$r = 17.31 \cdot \sqrt{\frac{d1 \cdot d2}{f \cdot d}}$$

radio ( $r$ ) en metres

$d1, d2$ : distàncies des dels extrems fins l'obstacle

D: distancia total en metros

f: freqüència en MHz

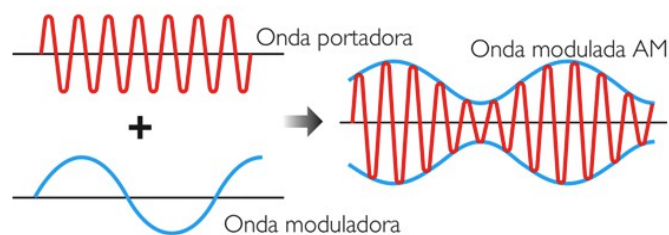
| Distància (Km) | 1a zona (m) | 70% (m) | Curvatura de la terra (m) | Altura mínima requerida (m) |
|----------------|-------------|---------|---------------------------|-----------------------------|
| 1              | 5.5         | 3.9     | 0.0                       | 3.9                         |
| 5              | 12.4        | 8.7     | 0.4                       | 9.1                         |
| 10             | 17.5        | 12.2    | 1.5                       | 13.7                        |
| 15             | 21.4        | 15.0    | 3.3                       | 18.3                        |
| 20             | 24.7        | 17.3    | 5.9                       | 23.2                        |
| 25             | 27.7        | 19.4    | 9.2                       | 28.6                        |
| 30             | 30.3        | 21.2    | 13.3                      | 34.5                        |

Taula resum altures mínimes segons distàncies

### 3.3. Modulació

Durant una comunicació, un canal transmet correctament els senyals d'una determinada freqüència, però hi ha d'altres que es transmeten erròniament. La modulació intenta aconseguir la màxima adequació del senyal per a la seua perfecta transmissió. En el cas hipotètic de disposar d'un canal perfecte, RX rebria exactament el mateix senyal que TX envia.

Es coneix com a portadora, el senyal periòdic que transporta la informació. Si a la portadora se li modifica algun paràmetre (modulació), obtenim el senyal modulad.



La portadora (p) es calcula a partir de l'amplitud d'ona (A), la freqüència (f) i la fase (p) amb la següent fórmula:

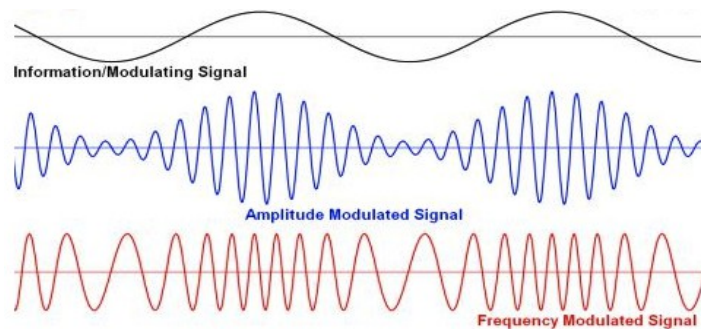
$$p(t) = A_p * \cos (f_p + p_p)$$

### **Modulació en Amplitud (ASK)**

Es representa el senyal modulat per diferents amplituds ens el senyal portadora. Es sol utilitzar en les transmissions de fibra òptica.

### **Modulació en Freqüència (FSK)**

El senyal modulat es representa per diferents freqüències (FM) al senyal portadora. Consumeix més ample de banda que la modulació en amplitud (AM). Típicament s'utilitza en emissions radiofòniques i d'alta fidelitat.



### **Modulació en Fase (PSK)**

El senyal modulat és el resultat del senyal modulador combinat amb la portadora amb variació de la fase.

### **Modulació d'amplitud quadràtica (QAM)**

Combina la modulació d'amplitud i de fase. En un cop de pols, s'envia més d'un bit. En 16-QAM existeixen 16 estats diferents, el que millora considerablement l'ample

de banda de la comunicació utilitzant aquest tipus de modulació.

### ***Modulació Orthogonal Frequently Division Multiplexing (OFDM)***

La multiplexació per divisió de freqüències ortogonals utilitza un conjunt de portadores per a diferents freqüències, modulada mitjançant QAM o PSK. És molt robusta davant interferències i és utilitzada per WiMax, WiFi, 4G, PLC, protocols d'enllaç de l'ADSL, etc.

### ***3.4. Multiplexació***

Es coneix com a multiplexació la compartició d'un canal físic establint sobre ell canals lògics. Els podem classificar en tres tipus:

- *Multiplexació per freqüència (FDM)*: cada estació té la seua freqüència (e.g. WiFi, WiMax).
- *Multiplexació en temps (TDM)*: slots de temps. Cada estació disposa de tot l'ample de banda una fracció de temps (e.g. Token Ring).
- *Multiplexació amb tècniques combinades*: combina les dos tècniques anteriors.

La capacitat del canal ha de ser major o igual a la suma de totes les capacitats de transmissió dels emissors

$$\text{CAPACITAT DE TRANSMISSIÓ} \geq \Sigma (\text{CAPACITATS DE TRANSMISSIÓ DELS EMISSORS})$$

### ***3.5. Adaptació al medi***

El nivell físic de qualsevol arquitectura (OSI, TCP/IP) és l'encarregat d'accedir al medi i emetre el senyal. Existeixen col·lisions de paquets en les comunicacions, ja que, encara que qui vaja a emetre la informació consulte el mitjà i estiga lliure, també o pot fer altre host que vulga emetre en eixe mateix instant.

*CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)* és utilitzat per Ethernet, el qual és capaç d'analitzar si hi ha algú ocupant el medi abans d'enviar informació, localitzar una col·lisió si es produeix i gestionar els paquets perduts per al seu reenviament, arbitrando un temps d'espera als qui han provocat la col·lisió.

Però en mitjans de transmissió no guiats, ja que les deteccions de les col·lisions són un gran problema, ja que el senyal s'atenua ràpidament. A més, tots els hosts d'una xarxa sense fils, no es veuen entre sí, encara que el Punt d'Accés retransmeta les trames. És el que es coneix com el problema del terminal ocult.

*CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)* evita la col·lisió transmetent en temps aleatoris i confirmant les trames rebudes amb un ACK a TX.

### **3.6. Limitacions de la transmissió**

Existeixen aspectes que degraden la velocitat i la qualitat de la transmissió, ja siga en mitjans guiats o no guiats.

- *Atenuació*: Pèrdua de potència. Tot senyal electromagnètic experimenta atenuació. Solució: utilització d'amplificadors i repetidors.
- *Distorsió*: És degut a que la velocitat de transmissió varia amb la freqüència, i la informació arriba a destí en instants de temps diferents. Solució: tècniques d'equalització.
- *Interferència*: Superposició. S'afegeix un senyal a l'actual que utilitza la mateixa freqüència.
- *Soroll*: Senyal no desitjat que es barreja amb el senyal que volem transmetre. Es mesura amb dBi. Existeixen diversos tipus de soroll:
  - *Soroll tèrmic*: agitació tèrmica dels electrons.
  - *Soroll d'intermodulació*: distintes freqüències comparteixen el mateix mitjà de transmissió.
  - *Soroll impulsiu*: polsos irregulars conseqüència d'induccions electromagnètiques.



- *Diafonia*: acoplament entre vies de transmissió, dins del mateix mitjà de transmissió (e.g. el mateix cable).
- *Signal to noise ratio (SNR)*: Relació senyal soroll.

### **Capacitat del canal**

Davant de qualsevol disseny de xarxa és important saber la capacitat del canal (C) real que ha de suportar cada segment. Depèn de la velocitat de les dades, l'ample de banda (B), soroll i la taxa d'errades. El seu càlcul es basa en el [1] Teorema de Nyquist.

$$\text{Capacitat del Canal (bps)} = B \log_2 (1+\text{SNR})$$

## **4. Normativa espectre radioelèctric**

El [1] Cuadro Nacional de Atribuciones de Frecuencias (CNAF) regula els serveis radioelèctrics i les bandes de freqüència que s'han d'utilitzar. Pertany a la Secretaria d'estat de telecomunicacions i per la societat de la informació del Ministeri d'indústria, energia i turisme.

La [2] Comissió del Mercat de les Telecomunicacions (CMT), és un organisme públic regulador independent dels mercats nacionals de comunicacions electròniques. Disposa de personalitat jurídica en àmbits públics i privats ([3] article 1 RD 1994/1996, de 6 de setembre). Té com a objectiu establir i supervisar les obligacions que tots els operadors han de complir, fomentant la competència conforme a la Llei establerta i resoldre els conflictes entre operadors que puguin sorgir entre ells, exercint com a òrgan arbitrari ([4] article 48.4 de la Llei 32/2003).

Existeixen freqüències lliures on qualsevol pot realitzar un ràpid desplegament i emetre sense notificació alguna a la CMT, com per exemple Wifi a les bandes 2.4 GHz i 5.4-5.8 GHz o WiMax en 5.8 GHz. Com a principal inconvenient, les bandes lliures acumulen interferències i saturacions per emissions que alteren el senyal,

sent necessària una òptima configuració de canals, potències i mètode de modulació. En WiMax, les bandes llicenciades de 2.5 GHz i 3.5 GHz s'eviten aquestos inconvenients, deixant una connexió sense fils molt fiable i lliure de qualsevol interferència que pertorbe la qualitat de la transmissió. És la CMT l'encarregat de gestionar els enllaços llicenciats, notificant aquesta la freqüència d'ús, coordenades on emetre i característiques tècniques de l'enllaç.

Dins de les freqüències lliures de 5 GHz per a comunicacions sense fils de banda ampla, l'Estat Espanyol contempla tres grups: 5150-5350 MHz per a interiors i 5470-5725 i 5725-5875 MHz per a comunicacions d'exterior.

### ***Banda d'emissió 5150-5350 MHz***

Regulades per la norma [5] UN-128, a la Ordre CTE/630/2002 de 14 de març i modificada a la Ordre CTE/2082/2003, de 16 de juliol, on es modifica el CNAF. S'utilitza per l'accés sense fils de comunicacions electròniques i de xarxes d'àrea local en zones d'interior. La potència isotròpica radiada equivalent màxima es situa en 200 mW ([6] p.i.r.e.).

A més, a les freqüències d'entre 5250 i 5350 GHz deuen utilitzar tècniques de control de potència (TPC), que reduïsquen un mínim de 3 dB de potència final d'eixida. Si no s'utilitzen, la potència isotròpica radiada equivalent màxima serà de 100 mW (p.i.r.e) i a les característiques indicades en la [7] Decisió de la CEPT ECC/DEC/(04)08.

### ***Banda d'emissió 5470-5725 MHz***

Pot ser utilitzada tant en interior com exterior, amb una limitació màxima de potència isotròpica radiada equivalent de 30 dBm (1W). S'han d'utilitzar tècniques de control de potència (TPC).

També és necessari disposar de la selecció dinàmica de freqüència ([8] DFS), que s'utilitza per no interferir en freqüències utilitzades i canvia automàticament a una nova.

### ***Banda d'emissió 5725-5875 MHz***

Regulada per la norma [9] UN-143, amb una potència isotròpica radiada equivalent

màxima de 36 dBm (4W). Com a les bandes anteriors, és necessari disposar de control de potència (TPC) i sistemes de selecció automàtica de freqüència (DFS).

#### **4.1. Estàndards IEEE 802**

Institute of Electrical and Electronics Engineers és l'associació mundial dedicada en part a l'estandardització. Entre elles, i un dels més coneguts el 802, que defineix la capa d'enllaç lògic i les diferents arquitectures de xarxa que es poden utilitzar.

| IEEE   | Descripció             |
|--------|------------------------|
| 802.1  | Connexió entre xarxes  |
| 802.2  | Control d'enllaç lògic |
| 802.3  | Ethernet               |
| 802.4  | LAN Token Bus          |
| 802.5  | LAN Token Ring         |
| 802.9  | Xarxes de veu i dades  |
| 802.10 | Seguretat en xarxes    |
| 802.11 | Xarxes sense fils      |
| 802.16 | WiMax                  |

A continuació, analitzarem els estàndards IEEE referents a les tecnologies sense fils, WiFi i WiMax.

#### **IEEE 802.11 Legacy**

La versió original WiFi va ser l'especificada a l'IEEE 802.11 Legacy, publicada el 1997, on es definien velocitats d'entre 1 i 2 Mbits/seg, i es transmetien amb senyals infrarojos. Una aportació important de l'estàndard que perdurarà a l'evolució de l'estàndard, és la definició de l'accés al medi CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance).

#### **IEEE 802.11a**

Al 1999 s'estandarditza però és en 2002 quan es comercialitza. Utilitza bandes lliures de 5 GHz i velocitats de 54 Mbps, amb modulació OFDM, millorant

considerablement el nombre de canals sense solapament i minimitza els efectes de les interferències.

### **IEEE 802.11b**

Aprovat al 1999, utilitza bandes lliures de 2.4 GHz, amb modulació DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), amb velocitats d'11 Mbps. Encara que té inconvenients com ara la falta de QoS i el gran nombre d'interferències a causa del nombre d'aparells electrònics que treballen en aquesta franja, encontra el seu lloc al mercat i és ben acollit i usat per l'usuari.

### **IEEE 802.11g**

Naix en 2003 amb velocitats de 54 Mbps i comptatible amb 802.11b. Suporta modulacions OFDM i DSSS. Amb equips de radio i antenes apropiades, s'han realitzat enllaços de 50 Km.

### **IEEE 802.11n**

Conegut també com a MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), incrementa considerablement les velocitats dels 54 Mbps als 600 Mbps, amb millores significatives utilitzant Multiplexat de Divisió Espacial (SDM), dos fluxos en un canal de 40 MHz. Altra de les millores que incrementen la velocitat de transmissió és el Channel Bonding, que utilitza dos canals separats sense solapament per incrementar la velocitat de transmissió.

### **IEEE 802.11s**

Conegudes com xarxes Mesh, és una adaptació per a que cada node estiga connectat a un o diversos nodes, donant cabuda a diverses opcions d'encaminament dels paquets. Disposen de totes les millores dels estandards anteriors i s'ha reforçat el QoS i la seguretat. Aquestos tipus de xarxes són molt robustes i són utilitzades en zones metropolitanas.

### **IEEE 802.16**

Publicat en 2002, També anomenades xarxes WiMax, utilitza freqüències des dels 2.3 fins als 3.5 Ghz i una transmissió de 134 Mbps. Les diferents revisions de

l'estàndard, han millorat fins el punt de disposar de l'estàndard 802.16n que contempla mobilitat. Existeixen freqüències lliures i privades, gestionades per la CMT.

## **5. Disseny del projecte**

### **5.1. Arquitectura del sistema**

#### *5.1.1 Punt a Punt Ajuntament – Edifici*

L'arquitectura serà punt a punt (*P2P*), és a dir, es realitza una comunicació únicament entre els dos aparells. Aquest enllaç realitzarà funcions de pont entre els dos edificis.

S'utilitzarà el programari intern de l'aparell per realitzar la seua configuració, activant els protocols necessaris per realitzar una configuració remota i un seguiment d'activitat (*SMNP*). Per millorar l'estructuració del disseny i afegir seguretat al punt a punt, s'utilitzarà un rang de xarxa en les IPs diferent a l'utilitzat per la resta de la xarxa. D'aquesta manera, cap dispositiu fora d'aquest rang es podrà connectar a ells.

#### *5.1.2. Accés públic a la Xarxa Municipal*

L'arquitectura a utilitzar serà punt-multipunt (*PMP*), on l'equip usuari o *CPE* (*Customer Premises Equipment*) realitza una connexió al punt d'accés (*AP*) que li donarà cobertura sense fils a les zones establertes.

La seguretat de les comunicacions es realitzarà amb el control dels usuaris. Aquests s'enregistraran abans d'utilitzar el servei, i així, disposar de tota la informació necessària d'autenticació i reconeixement personal davant qualsevol infracció que es puja realitzar per part de l'usuari. D'aquesta manera, es podria donar eixida a peticions judicials o de la *CMT* d'històrics de connexions, etc. La seguretat entre el *AP* i la xarxa troncal es realitzarà mitjançant cablejat físic i la

creació de *VLANS* per aïllar el nou servei de qualsevol altre que actualment estiga disponible en la xarxa municipal. A més es gestionarà l'accés al servidor i punts d'accés amb *logs* d'intents de connexió, així com l'anàlisi d'aquests per buscar qualsevol indicatiu d'intrusió. Tots els aparells estaran configurats amb claus segures de *root*.

La seguretat física de tot el projecte estarà formada per la col·locació dels aparells i antenes en punts de difícil accés (zones altes dels edificis i punts alts de les façanes), així com els armaris de telecomunicacions que el propi Ajuntament disposa.

### *5.1.3. Nivells d'arquitectura*

#### *5.1.3.1. Arquitectura funcional*

Es poden definir dos blocs ben diferenciats, un la connexió de l'edifici sense connexió a la xarxa amb un punt a punt, i altre amb l'accés públic a la xarxa des de zones comuns de la ciutat.

La connexió de l'edifici solucionarà el gran problema de l'aïllament de la xarxa de l'edifici, que formarà part de la xarxa municipal, aprofitant-se dels serveis que aquesta oferta.

Per part de la connexió pública a la xarxa municipal, s'utilitzaran punts d'accés que s'instal·laran a les zones públiques i oferiran serveis al ciutadà. Aquests serveis seran configurats als punts d'accés i al tallafocs de tota la secció. D'aquesta manera, es reforça la seguretat i es donen garanties als usuaris de protecció de dades i s'evita l'accés no autoritzat als dispositius informàtics (punts d'accés, telèfons mòbils, portàtils, etc.).

#### *5.1.3.2. Arquitectura lògica*

S'utilitzarà l'estàndard WiMax per al punt a punt i *Wifi a/b/g/n* per a l'accés públic. S'utilitzaran canals lliures de l'espectre radioelèctric de la zona per evitar

interferències i sorolls que perjudiquen la comunicació. Es realitzarà la configuració mínima de connexió per a garantir una bona comunicació amb els usuaris (*SNR*).

## **5.2. Especificació d'estàndards, normes de disseny i construcció**

La documentació generada es realitzarà amb l'estàndard utilitzat a l'Ajuntament (no notificat) i en la seua absència, a *XML (Extensible Markup Language)*, ja que és senzill d'utilitzar i estandarditza la documentació. A més, la seua portabilitat i accessibilitat per part d'altres llenguatges és total. Per a consultar-la es pot fer servir l'estàndard *HTML*.

Per a les tramitacions electròniques, s'utilitzarà l'estàndard *PDF*, i per crear i editar textos *ODF*. Com a norma al projecte, es comentarà el codi, scripts, etc, que es creen, i es llicenciarà baix *GPL v2*.

## **5.3. Identificació de subsistemes**

Es divideix el sistema en seccions que agrupen una mateixa funcionalitat per minimitzar la complexitat. Així doncs, obtenim:

- Subsistema de seguretat (*VLANs*, tallafocs, claus d'accés)
- Subsistema sense fils (punts d'accés i punt a punt)
- Subsistema de serveis (serveis autoritzats: *HTTP, HTTPS, POP3, SMTP ...*)
- Subsistema de base de dades (autorització usuaris registrats)
- Subsistema de xarxa física (cablejat i treballs en altura)

## **5.4. Revisió de casos d'ús per subsistema**

### *Subsistema de seguretat*

- Crear *VLAN* entre el servidor i els punts d'accés.
- Configurar tallafocs al servidor. Programari *iptables*.

- Política de negació per defecte.
- Autoritzar comunicació entre *eth0* (xarxa municipal) i *eth1* (xarxa d'accés públic).
- Autoritzar protocols *HTTP, HTTPS, POP3, SMTP, IMAP*.
- Configuració per evitar atacs *DDoS*.
- Modificació claus d'administradors i *root* (claus segures).

#### *Subsistema sense fils*

- Configuració punt a punt.
- Configuració dels punts d'accés.

#### *Subsistema de serveis*

- Autorització dels serveis *HTTP, HTTPS, POP3, SMTP* als punt d'accés.
- Configuració del servidor per autoritzar els serveis.
- Configuració de l'ample de banda disponible de connexió a la Internet al servidor.

#### *Subsistema de base de dades*

- Instal·lació i proves de la base de dades dels equips *Ubiquiti* en *Debian* [1].

#### *Subsistema de xarxa física*

- Instal·lació de les antenes i punts a punts als llocs indicats.
- Cablejar fins als punts d'ancoratge.



## **5.5. Especificacions de desenvolupament i proves**

*Servei de xarxa:* gestió d'IP amb *DHCP* server, amb accés exterior amb *NAT*.  
Servei *SSH* i *squid*.

Documentació: <http://tldp.org/HOWTO/HOWTO-INDEX/howtos.html>

*Servei de monitorització:* s'utilitzarà *Nagios* i *Cacti* per monitoritzar els punt d'accés i el punt a punt amb *SMTP*.

Documentació Nagios: <http://nagios.org>

Documentació Cacti: <http://cacti.net>

*Servei de tallafocs:* s'utilitzarà *iptables* baix *Debian*.

Documentació: <http://netfilter.org>

*Servei xarxa sense fils:* utilització de les eines de configuració dels aparells *Ubiquiti UAP-Outdoor* – *EnterpriceAP* i *PTP800* de *Motorola*.

Documentació Ubiquiti: <http://ubnt.com/unifi>

Documentació Motorola: <http://www.motorolasolutions.com>

## **5.6. Requisits del projecte**

### **Requisits funcionals**

R1. L'edifici aïllat ha de quedar connectat a la xarxa municipal i disposar dels serveis que aquesta oferta.

R2. Al parc comprés entre el carrer Sant Mateu, carrer Sant Nicolau, carrer Sant Domènec i el carrer El Camí, ha d'haver cobertura wifi per poder connectar-se amb un dispositiu mòbil als serveis oportuns que el departament informàtic de l'Ajuntament dispose.

R3. S'habilitarà un servidor que gestionarà totes les peticions de l'accés públic, així com la gestió del tallafocs.

R4. Es crearan subxarxes pels clients de l'accés públic i així afegir seguretat a la xarxa.

### **Requisits no funcionals**

R5. El rangs d'IPs a utilitzar i l'accés a serveis s'acordarà amb les reunions establertes amb els enginyers del departament informàtic de l'Ajuntament.

R6. El departament informàtic de l'Ajuntament disposarà dels recursos humans i materials necessaris per realitzar la instal·lació en altura de les pertinents antenes i punts d'accés, acollint-se així a les normatives vigents de prevenció de riscos laborals i treballs en altura.

R7. El departament informàtic de l'Ajuntament assumirà la gestió i manteniment de la nova infraestructura una vegada finalitzat el projecte.

R8. El projecte es divideix en diferents fases per agrupar i gestionar les diferents tasques a realitzar.

### **5.7. Diagrames descriptius**

Diagrama descriptiu actual:

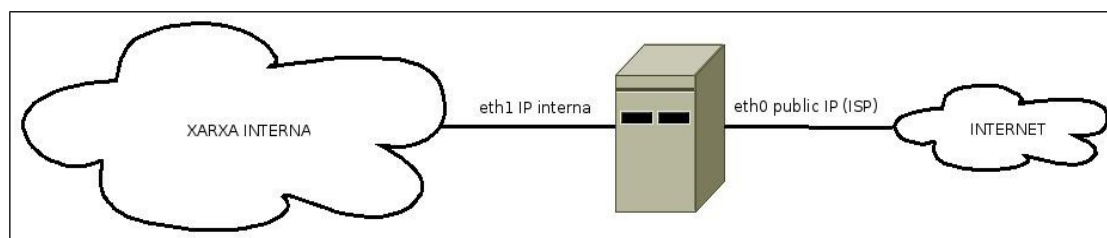
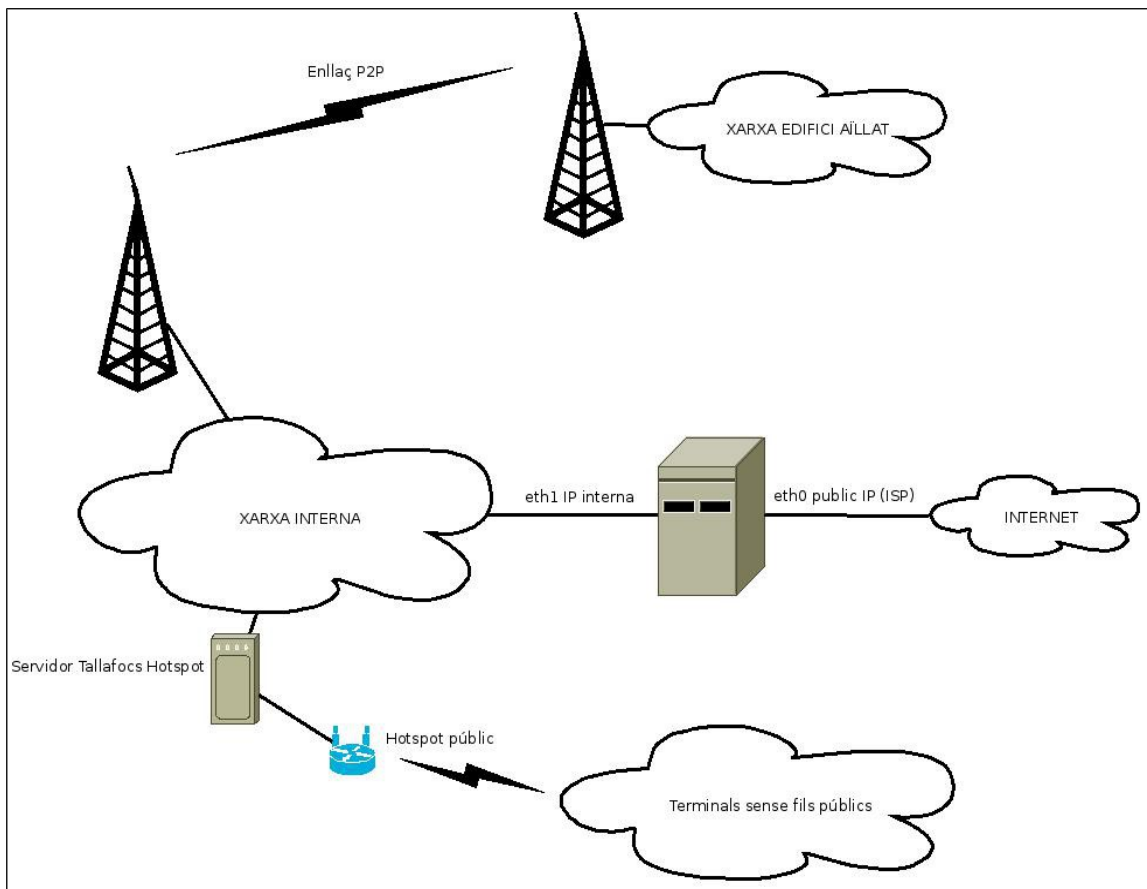


Diagrama descriptiu al finalitzar el projecte



## 5.8. Maquinari

### 5.8.1. Servidor

Els recursos necessaris del servidor són mínims, així què, qualsevol servidor en desús pot realitzar les tasques oportunes. Si bé serà l'Ajuntament qui escollisca el servidor a utilitzar dins del maquinari existent actualment, a continuació es fa referència a un model amb característiques suficients per cobrir les necessitats, en aquest cas enracable:

*Model HP PROLIANT DL320e G8*

*Processador 1 x Intel Xeon E2- 1220v2 (4 nuclis) a 3,1 GHz, 8 MB, 69 W*

*Disc Dur: 1 x 1TB 6G SAS 7.200 rpm LFF 3.5 Hot Plug*

*Interfície de xarxa: adaptador ethernet 330i de 1 Gb i 2 ports*

*Font d'alimentació 350 W*

*Enracable 1U*



Figura HP PROLIANT DL320e G8

### 5.8.2. Punt a Punt

S'utilitzarà el punt a punt llicenciat *PTP800 de Motorola*, amb un rendiment de 368 Mbps full duplex, és a dir, 735 Mbps agregats. Utilitza freqüències entre 6-38 GHz, i canals de 7 – 56 MHz.

És un equip amb una trajectòria reconeguda i rendiments reals davant les especificacions del fabricant. La banda llicenciada impedeix que cap altre aparell en les coordenades de l'enllaç pugui emetre, evitant interferències i el reenviament de paquets. Aquestes característiques milloren el [1] *SNR (Signal Noise Ratio)*. Utilitza [2] *Modulació i Codificació Adaptativa (ACM)* dinàmica, on els dos extrems de l'enllaç modulen automàticament i/o codifiquen les condicions de la trajectòria de radio, permetent a emissor i receptor la negociació a la màxima velocitat que poden suportar mútuament.



Figura Motorola PTP800

**Motorola 6 to 38 GHz Licensed Ethernet Microwave – PTP 800**

| <b>Tecnología de radio</b>                   | <b>Observaciones</b>   |
|--|--|
| Banda RF <sup>3</sup>                        | Banda de L6 GHz: 5.925 – 6.425 GHz      Banda de 18 GHz: 17.7 – 19.7 GHz<br>Banda de U6 GHz: 6.425 – 7.100 GHz      Banda de 23 GHz: 21.2 – 23.6 GHz<br>Banda de 7 GHz: 7.125 – 7.9 GHz      Banda de 26 GHz: 24.25 – 26.5 GHz<br>Banda de 8 GHz: 7.725 – 8.5 GHz      Banda de 28 GHz: 27.5 – 29.5 GHz<br>Banda de 11 GHz: 10.7 – 11.7 GHz      Banda de 32 GHz: 31.8 – 33.4 GHz<br>Banda de 13 GHz: 12.75 – 13.25 GHz      Banda de 38 GHz: 37.0 – 40.0 GHz<br>Banda de 15 GHz: 14.4 – 15.35 GHz |
| Tamaño del canal                             | Configurable entre 7 y 56 MHz  |
| Potencia de transmisión <sup>4</sup>         | Potencia de transmisión máxima de hasta 30 dBm   |
| Sensibilidad del receptor <sup>5</sup>       | -90.9 dBm en QPSK  |
| Modulación                                   | QPSK, 8PSK, 16/32/64/128/256 QAM Modo Fijo<br>o Codificación y Modulación Adaptiva (ACM)   |
| Corrección de errores                        | Código de verificación de paridad de baja densidad (LDPC, por sus siglas en inglés)  |
| Esquema dúplex                               | FDD  |
| Seguridad y codificación                     | Encriptación AES opcional de 128/256 bits que cumple con FIPS-197  |
| <b>Enlaces Ethernet</b>                      |  |
| Protocolo                                    | IEEE 802.3<br>802.1p/1Q (8 colas)<br>802.1ad (Q-in-Q)  |
| Tamaño de la trama                           | Hasta 9600 bytes   |
| Rendimiento de datos de usuario <sup>6</sup> | 10 - 368 Mbps en Ethernet (full duplex); use PTP Link Planner para determinar el rendimiento de datos real para la implementación  |
| Latencia                                     | < 115 us en máxima capacidad con 64 bytes  |
| Interfaz de tráfico de usuario               | 100 / 1000 Base T (RJ-45) – auto MDI/MDIX, 1000 Base SX opcional   |

**Potencia de transmisión**

| Modulación     | Máxima Potencia de transmisión<br>– ETSI (dBm) |      |       |      |        |      |      |      | Máxima Potencia de transmisión<br>– FCC (dBm) |      |      |        |      |
|----------------|--|------|-------|------|--------|------|------|------|---|------|------|--------|------|
|                | Frecuencia (GHz)                               |      |       |      |        |      |      |      |   |      |      |        |      |
|                | 6,7,8  | 11   | 13,15 | 18   | 23, 26 | 28   | 32   | 38   | L6  | 11   | 18   | 23, 26 | 38   |
| <b>QPSK</b>    | 30.0   | 28.0 | 26.0  | 26.0 | 25.0   | 25.0 | 23.0 | 23.0 | 22.0  | 19.0 | 23.0 | 23.0   | 20.0 |
| <b>8PSK</b>    | N/A  | N/A  | N/A   | N/A  | N/A    | N/A  | N/A  | N/A  | 22.0  | 19.0 | 22.0 | 22.0   | 19.0 |
| <b>16 QAM</b>  | 28.0   | 26.0 | 23.0  | 22.0 | 22.0   | 22.0 | 21.0 | 20.0 | 22.0  | 19.0 | 22.0 | 22.0   | 19.0 |
| <b>32 QAM</b>  | 28.0   | 26.0 | 23.0  | 22.0 | 22.0   | 22.0 | 21.0 | 20.0 | 22.0  | 19.0 | 22.0 | 22.0   | 19.0 |
| <b>64 QAM</b>  | 24.0   | 21.0 | 18.0  | 17.0 | 17.0   | 17.0 | 16.0 | 16.0 | 22.0  | 19.0 | 17.0 | 17.0   | 15.0 |
| <b>128 QAM</b> | 24.0   | 21.0 | 18.0  | 17.0 | 17.0   | 17.0 | 16.0 | 16.0 | 22.0  | 19.0 | 17.0 | 17.0   | 15.0 |
| <b>256 QAM</b> | 22.0   | 19.0 | 16.0  | 15.0 | 15.0   | 15.0 | 14.0 | 14.0 | 22.0  | 19.0 | 15.0 | 15.0   | 13.0 |

**5.8.3. Punts d'accés públics**

S'utilitzaran 3 equips d'exterior *Ubiquiti UAP-Outdoor – EnterpriseAP* per cobrir la totalitat de l'àrea del parc, un d'ells amb les antenes omnidireccionals per defecte que venen a l'equip, i els altres dos equips amb l'antena *AirMax 2G15-120 Sector 2G-15-120 Hi-Gain*, que cobreix 120°.

Els equips escollits disposen d'un programari accessible via HTTP i es pot instal·lar amb qualsevol sistema operatiu. Aquest programari unifica el SSID i realitza un manteniment còmode i senzill de tots els equips que es puguin instal·lar. En aquest primer punt de donar servei al parc, es gestionaran 3 equips, però es podrà ampliar sense necessitat d'adquirir altre sistema de gestió.



Figura Ubiquiti UAP-Outdoor – EnterpriseAP

## Specifications (UAP-AC Outdoor)

| UniFi AP-AC Outdoor                  |  |
|--------------------------------------|--|
| Dimensions                           | 340 x 180 x 65 mm (13.39 x 7.09 x 2.56 in)   |
| Weight                               | 1.55 kg (3.42 lb) with Wall Mount<br>2 kg (4.41 lb) with Pole Mount  |
| Networking Interface                 | (2) 10/100/1000 Ethernet Ports   |
| Buttons                              | Reset  |
| Antennas<br>2.4 GHz<br>5 GHz         | Integrated 5 dBi Omni (Supports 3x3 MIMO with Spatial Diversity)<br>Integrated 5 dBi Omni (Supports 3x3 MIMO with Spatial Diversity) |
| Wi-Fi Standards                      | 802.11 a/b/g/n/ac  |
| Power Method                         | Passive Power over Ethernet (48V), 802.3at Supported<br>(Supported Voltage Range: 39 to 57VDC)                                       |
| Power Supply                         | 48V, 0.5A PoE Gigabit Adapter (Included)   |
| Maximum Power Consumption            | 22 W   |
| Maximum TX Power<br>2.4 GHz<br>5 GHz | 28 dBm<br>28 dBm   |
| BSSID                                | Up to Four Per Radio   |
| Power Save                           | Supported  |
| Wireless Security                    | WEP, WPA-PSK, WPA-TKIP, WPA2 AES, 802.11i  |
| Certifications                       | CE, FCC, IC  |
| Mounting                             | Wall and Pole (Kits Included)  |
| Operating Temperature                | -30 to 60 °C (-22 to 140 °F)   |
| Operating Humidity                   | 5 - 80% Non-Condensing   |

| Advanced Traffic Management |   |
|-----------------------------|---|
| VLAN                        | 802.1Q                                    |
| Advanced QoS                | Per-User Rate Limiting                    |
| Guest Traffic Isolation     | Supported                                 |
| WMM                         | Voice, Video, Best Effort, and Background |
| Concurrent Clients          | 200+                                      |

| Supported Data Rates (Mbps) |  |
|-----------------------------|--|
| Standard                    | Data Rates   |
| 802.11a                     | 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps                          |
| 802.11n                     | 6.5 Mbps to 450 Mbps (MCS0 - MCS23, HT 20/40)              |
| 802.11ac                    | 6.5 Mbps to 1300 Mbps (MCS0 - MCS9 NSS1/2/3, VHT 20/40/80) |
| 802.11b                     | 1, 2, 5.5, 11 Mbps   |
| 802.11g                     | 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps                          |

#### 5.8.4. Programari

**Sistema Operatiu:** *Debian 7.1 (wheezy)*. Última versió estable de la distribució GNU/Linux *Debian*, molt recomanada a servidors per la seua robustesa. Es realitzarà una instal·lació i configuració mínima, amb els paquets necessaris.

**Proxy:** *Squid* per millorar l'accés dels usuaris a les peticions externes de la xarxa.

**Tallafocs:** *iptables*. Es crea un script per controlar totes les peticions d'entrada i eixida de l'accés públic (Annex II).

## 6. Planificació de la implantació

### 6.1. Plantejament general

El projecte s'ha dividit en 4 fases ben diferenciades per complir tots els requeriments anteriors.

#### FASE 1

Al tractar-se d'un projecte d'infraestructura pública, s'han de respectar els tràmits burocràtics pertinents per destinar la partida pressupostària necessària dels equips a instal·lar. Si bé la planificació del projecte està realitzada amb equips amb freqüències llicenciades, dependrà principalment de la partida econòmica disponible per fer front a aquesta despesa. Si la partida econòmica no és suficient per afrontar aquest cost, s'utilitzaran equips que treballen amb freqüències lliures, i s'assumiran els riscos afegits d'interferències que açò comporta.

Així doncs, en aquesta primera fase, es realitzaran les reunions necessàries amb l'Ajuntament i el tutor de la UPV per acordar la disposició econòmica final per l'adquisició d'equipament. Tant de bo, durant els mesos compresos entre juny i setembre s'han realitzat diverses reunions necessàries per consolidar la viabilitat del projecte i la disposició de l'Ajuntament a fer front a ell, en la temporització del projecte s'inclourà al període comprés en la Fase 1.

També es dissenyarà la xarxa amb els enginyers informàtics de l'Ajuntament d'Alcoi per que la integració de l'accés públic i del punt a punt siga acordada i no interferisca en cap servei actual.

## **FASE 2**

En el seu defecte, es condicionaran els edificis amb torretes i/o pals per ancorar les antenes, per tindre una visió directa. S'estudiarà el lloc d'ubicació, es prendran mides de freqüències, i es realitzaran els càlculs pertinents (e.g. [1] Fresnel) per determinar el lloc idoni d'ubicació de cada antena.

Durant aquesta fase, es disposarà del servidor com a tallafocs de l'accés públic a la xarxa i es crearan les subxarxes. S'instal·laran els serveis del servidor i es realitzaran les proves pertinents.

Durant aquesta fase, es realitzarà tota la tramitació amb la CMT de l'explotació de la xarxa així com de la necessitat d'utilitzar una freqüència privada per al punt a punt.

## **FASE 3**

Adquisició i configuració dels equips. Si be, l'adquisició es podria haver realitzat al començament de la fase 2 i realitzar les proves tècniques amb els equips, la disponibilitat de la compra dels equips està supeditada als tràmits públics d'un Ajuntament, i per evitar el risc del retràs en el projecte, s'ha decidit incloure'l al final d'aquest.

Els equips es configuraran i es testejaran al laboratori, deixant els últims retocs de



frequències i aspectes tècnics de distàncies, interferències, canals, etc, pel moment en el qual estiguen instal·lats.

La formació començarà en aquesta fase, amb dos vessants: enginyeria informàtica i manteniment físic. Aquesta formació finalitzarà en la fase 4.

#### **FASE 4**

Instal·lació física dels equips, testeig i ajust de la configuració. Connexió a la xarxa municipal.

Formació i manteniment de l'equip humà.

### **6.2. Tasques**

#### **FASE 1**

##### *1. Reunions i comunicació d'intencions*

###### *1.1. Reunió informativa*

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Descripció i resultat esperat       | Reunió amb el departament informàtic per explicar i detallar el projecte a realitzar. |
| Durada prevista                     | 4 h   |
| Dependència respecte altres tasques | -   |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia   |

##### *2. Anàlisi de la xarxa municipal*

###### *2.1. Recopilació d'informació tècnica*

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Descripció i resultat esperat       | Recollir informació del disseny de xarxa, llocs on realitzar el muntatge, connexions de xarxa i llum properes als punts d'ancoratge.<br>Orografia de la zona. |
| Durada prevista                     | 20 h  |
| Dependència respecte altres tasques | 1   |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia   |

*2.2. Disseny de xarxa*

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Descripció i resultat esperat       | Disseny de xarxa de les noves incorporacions. |
| Durada prevista                     | 18 h  |
| Dependència respecte altres tasques | 2.1   |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia                               |

**FASE 2***3. Estudi zona i condicionament**3.1. Estudi zona*

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Descripció i resultat esperat       | Estudi del lloc d'ancoratge, freqüències, etc. Per determinar el millor lloc. |
| Durada prevista                     | 30 h  |
| Dependència respecte altres tasques | 2.2   |
| Recursos humans necessaris          | 2 persona / dia   |

*3.2. Condicionament*

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Descripció i resultat esperat       | Condicionament dels llocs d'ancoratge (fils, amarres). |
| Durada prevista                     | 50 h   |
| Dependència respecte altres tasques | 3.1.   |
| Recursos humans necessaris          | 2 persona / dia  |

*4. Posada a punt del servidor**4.1. Instal·lació del SO i serveis*

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Descripció i resultat esperat       | Instal·lació del SO i dels serveis necessaris al servidor destinat al control dels usuaris de l'accés públic a la xarxa que l'Ajuntament destine a tal finalitat. |
| Durada prevista                     | 40 h  |
| Dependència respecte altres tasques | 2.2.  |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia   |

*5. Tramitacions amb la CMT*

*5.1. Notificació explotació Xarxa Municipal*

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Descripció i resultat esperat       | Notificació explotació xarxa municipal. |
| Durada prevista                     | 20 h                                    |
| Dependència respecte altres tasques | 3.1.                                    |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia                         |

*5.2. Petició freqüència privada*

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Descripció i resultat esperat       | Petició a la CMT d'utilització d'una freqüència privada. S'ha de realitzar una memòria i quin equipament s'utilitzarà. |
| Durada prevista                     | 30 h   |
| Dependència respecte altres tasques | 3.1.   |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia  |

**FASE 3***6. Adquisició i configuració de maquinari**6.1. Sol·licitud de pressupostos i compra del maquinari*

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Descripció i resultat esperat       | Sol·licitud de pressupostos i compra del maquinari a instal·lar. |
| Durada prevista                     | 8 h  |
| Dependència respecte altres tasques | 2.2.   |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia  |

*6.2. Configuració*

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Descripció i resultat esperat       | Configuració dels equips en laboratori (P2P i punts d'accés per l'accés públic). Instal·lació del programari al servidor per gestionar els AP. |
| Durada prevista                     | 35 h   |
| Dependència respecte altres tasques | 6.1.   |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia  |

*6.3. Formació*

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Descripció i resultat esperat | Formació del departament informàtic per al manteniment i configuració dels aparells. És important que el començament de la formació es realitze durant la configuració |
|-------------------------------|--|

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
|                                     | dels aparells al laboratori, per tindre la possibilitat de configurar i canviar paràmetres i analitzar els resultats abans de la posada en marxa dels enllaços. |
| Durada prevista                     | 60 h  |
| Dependència respecte altres tasques | 6.1.  |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia   |

#### **FASE 4**

##### *7. Instal·lació*

###### *7.1. Instal·lació física dels equips*

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Descripció i resultat esperat       | Es realitzarà la instal·lació física del P2P, dels AP al parc i del servidor al rack corresponent. |
| Durada prevista                     | 40 h   |
| Dependència respecte altres tasques | 6.2.   |
| Recursos humans necessaris          | 2 persona / dia  |

###### *7.2. Testeig i ajustos*

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Descripció i resultat esperat       | Es realitzaran les pertinents proves d'estrès als equips i s'ajustaran els paràmetres necessaris per al correcte funcionament d'ells. |
| Durada prevista                     | 60 h  |
| Dependència respecte altres tasques | 7.1.  |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia   |

###### *7.3. Fi formació*

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Descripció i resultat esperat       | Es finalitzarà la formació amb proves reals, i es formarà a l'equip humà del manteniment necessari de la nova infraestructura. Es pot utilitzar el punt 5.2 com a punt de formació i treball en equip del departament. |
| Durada prevista                     | - h  |
| Dependència respecte altres tasques | 7.1.   |
| Recursos humans necessaris          | 1 persona / dia  |

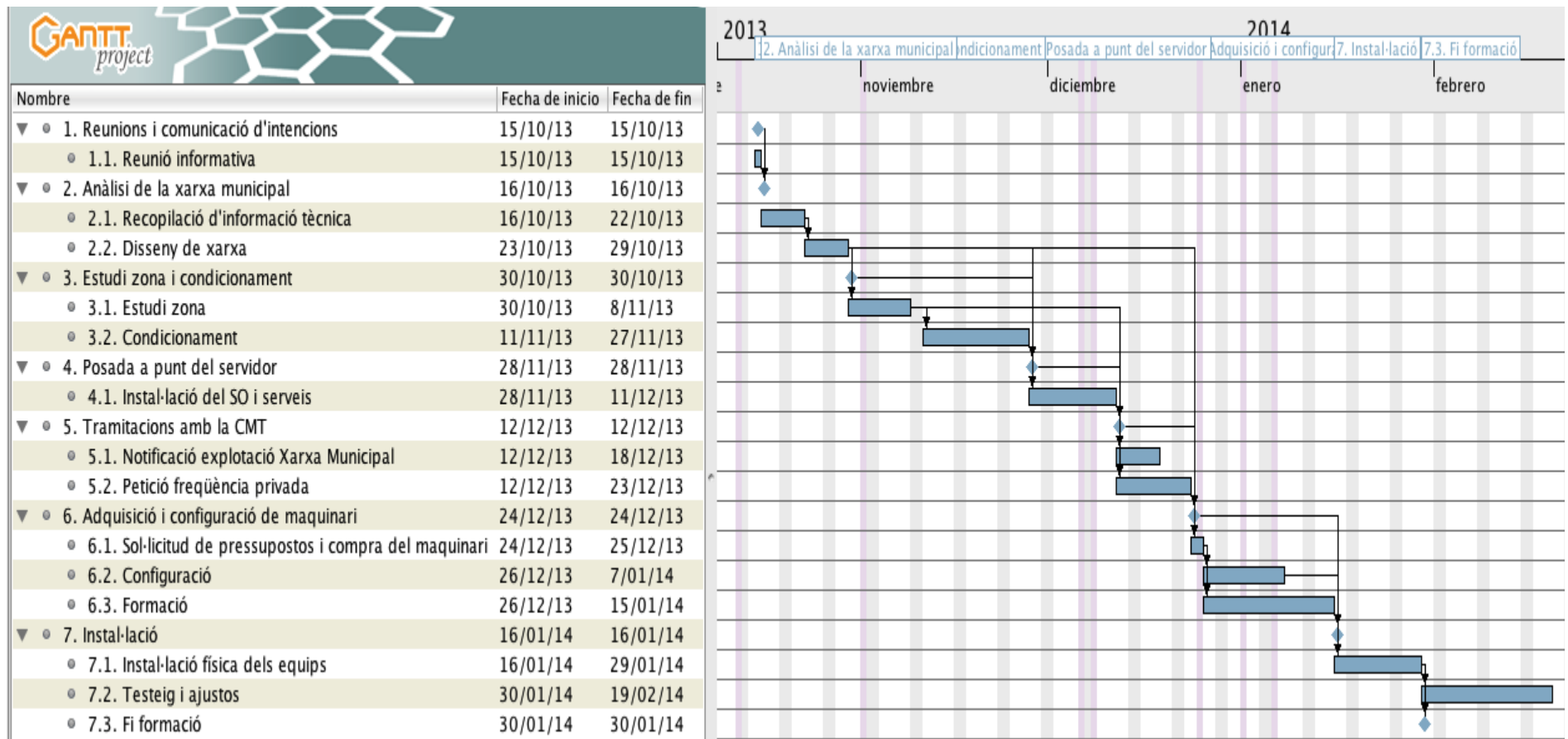
#### **6.3. Control i seguiment del projecte**

Es realitzaran fites de control per al correcte seguiment del projecte, que corresponen a la finalització de cada etapa. Durant les tasques marcades en cada fase, es realitzarà un seguiment de la planificació i dels recursos, ja que s'ha de fer ús de recursos humans, tècnics i probablement de treball en elevació que necessitaran de la coordinació de totes les parts implicades en elles.

Les incidències seran notificades immediatament que ocorregueren per minimitzar l'impacte i/o dependències amb altres tasques.

#### **6.4. Calendari (diagrama de Gantt)**

Al següent diagrama de Gantt, es detalla la planificació temporal, tenint en compte que es treballen tots els dies laborals mitja jornada (4 h/dia). Són destacables les dependències marcades gràficament.



### 6.5. Pressupost

A continuació es detalla tot el cost dels equips i els recursos humans, per tindre una perspectiva real del cost del projecte.

En aquest cas, el cost humà passa a ser 0 €, ja que es realitza amb l'aportació dels recursos de l'Ajuntament actual i la meua pròpia.

Als recursos materials, el servidor serà aportat per l'Ajuntament.

#### Recursos Materials

| Descripció                               | Preu        | Quantitat | Total              |
|--|-------------|-----------|--------------------|
| HP PROLIANT DL320e G8                    | 970,00 €    | 1         | 970,00 €           |
| PTP800 Motorola                          | 16.000,00 € | 1         | 16.000,00 €        |
| Ubiquiti UAP-Outdoor – EnterpriseA       | 96,00 €     | 3         | 288,00 €           |
| AirMax 2G15-120 Sector 2G-15-120 Hi-Gain | 94,00 €     | 2         | 188,00 €           |
| <b>TOTAL</b>                             |             |           | <b>17.446,00 €</b> |

#### Recursos Humans (50 € hora/persona)

| Descripció   | Preu    | Quantitat | Total              |
|--------------|---------|-----------|--------------------|
| Hores Fase 1 | 50,00 € | 42        | 2.100,00 €         |
| Hores Fase 2 | 50,00 € | 250       | 12.500,00 €        |
| Hores Fase 3 | 50,00 € | 103       | 5.150,00 €         |
| Hores Fase 4 | 50,00 € | 140       | 7.000,00 €         |
| <b>TOTAL</b> |         |           | <b>26.750,00 €</b> |

**TOTAL COST PROJECTE: 44.196,00 €**

TOTAL REAL A FER FRONT: 16.476,00 € (P2P, APs, antenes).

### 6. Gestió del riscos

Els riscos els podem classificar en:

**6.1. Riscos tècnics**

| Descripció                                       | Probabilitat de succés |
|--|------------------------|
| 1. Problemes amb la instal·lació de l'equipament | baixa                  |
| 2. Problemes amb la connexió a la xarxa troncal  | baixa                  |
| 3. Problemes en la configuració dels equips      | baixa                  |
| 4. Problemes de cobertura i interferències       | mitjana                |
| 5. Incompatibilitats del programari              | baixa                  |

**6.2. Riscos de gestió**

| Descripció   | Probabilitat de succés |
|--|------------------------|
| 6. Desviació de la planificació                      | alta                   |
| 7. Partida econòmica aprovada per l'Ajuntament varie | alta                   |
| 8. Negativa de la CMT enllaç llicenciat              | baixa                  |

**7. Resultats**

A continuació, s'expliquen els problemes que han aparegut durant el projecte i com s'han pres les mesures correctives pertinents:

**Fase 1**

Quasi en la seua totalitat es du a terme de manera correcta. En aquesta fase es van realitzar totes les reunions necessàries per presentar el pla de treball a l'Ajuntament, i decidiren algun aspecte menor d'aquest (freqüències públiques/privades), partida econòmica destinada, etc, tal i com s'havia planificat al pla de treball.

Les reunions amb el departament informàtic per al disseny de xarxa i connexió amb la xarxa municipal es veuen interrompudes per les traves que presenta el departament d'informàtica a legalitat de l'accés gratuït de la ciutadania a Internet, els tràmits amb la CMT, les obres menors que s'han de realitzar, etc.

Durant la fase 1, es decideix avançar la tramitació de la CMT que estava planificada a la fase 2 a la fase 1, ja que podia haver algun requeriment posterior que



ralentitzaria l'execució del projecte.

Mentre, l'Ajuntament decideix esperar fins veure si la CMT es pronuncia de manera favorable al projecte presentat.

### ***Fase 2***

Aquesta fase, com totes les següents queden congelades davant la negativa de qualsevol acció abans del pronunciament de la CMT.

Així doncs, no s'adquireixen els aparells necessaris ni s'adeqüen els llocs d'ancoratge. Durant aquesta fase, es planteja la realització virtual del projecte i deixar la implementació del mateix a l'Ajuntament d'Alcoi en un segon pla fins que es pronuncien.

### ***Fase 3***

Es realitza de manera virtual la instal·lació del servidor i es replica un disseny de xarxa per a les proves. Tots els treballs en camp no es realitzen.

### ***Fase 4***

Es segueix amb la planificació exceptuant els treballs de camp. Al final d'aquesta fase, es realitza la col·laboració amb l'IES Josep Segrelles d'Albaida i s'inclou el servidor, la configuració de xarxa i la configuració avançada dels punt d'accés.

### ***Riscos i mesures***

Els riscos analitzats a l'inici del projecte han servit per consolidar la probabilitat de succés amb la que es van prevenir. A continuació, es ressalten (roig) els que han succeït i es comenten les mesures adoptades. Amb color blau, els riscos condicionats d'altres riscos, com per exemple el R1 Problemes amb la instal·lació de l'equipament, quan el risc R7 Partida econòmica aprovada per l'Ajuntament varie.

### ***Riscos tècnics***

| Descripció  | Probabilitat de succés |
|---|------------------------|
| <i>1. Problemes amb la instal·lació de l'equipament</i> | <i>baixa</i>           |
| <i>2. Problemes amb la connexió a la xarxa troncal</i>  | <i>baixa</i>           |
| 3. Problemes en la configuració dels equips             | baixa                  |
| <i>4. Problemes de cobertura i interferències</i>       | <i>mitjana</i>         |
| 5. Incompatibilitats del programari                     | baixa                  |

### *Riscos de gestió*

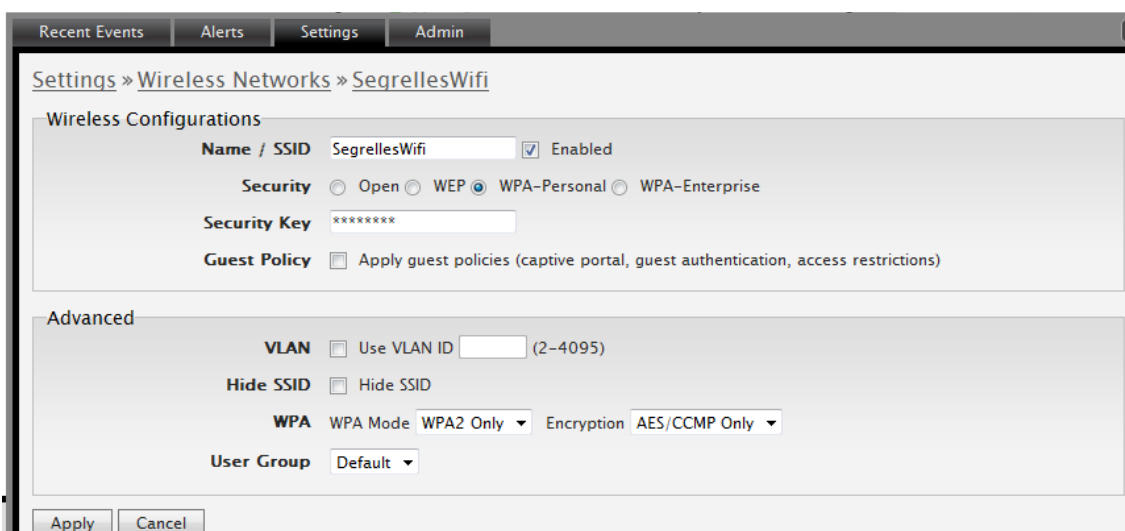
| Descripció  | Probabilitat de succés |
|---|------------------------|
| <i>6. Desviació de la planificació</i>                      | <i>alta</i>            |
| <i>7. Partida econòmica aprovada per l'Ajuntament varie</i> | <i>alta</i>            |
| 8. Negativa de la CMT enllaç llicenciat                     | baixa                  |

Les mesures preventives adoptades davant la paralització del projecte per part de l'Ajuntament, són nul·les, ja que no és un risc que pot aparèixer durant el projecte, si no, la seua paralització. Així doncs, les mesures correctives adoptades van ser realitzar reunions amb els responsables per explicar qualsevol dubte que tingueren i fer-los veure l'estalvi econòmic de realitzar el projecte amb col·laboració de la UPV (sense cap cost de recursos humans) o per una empresa externa en mesos venidors (cost elevat).

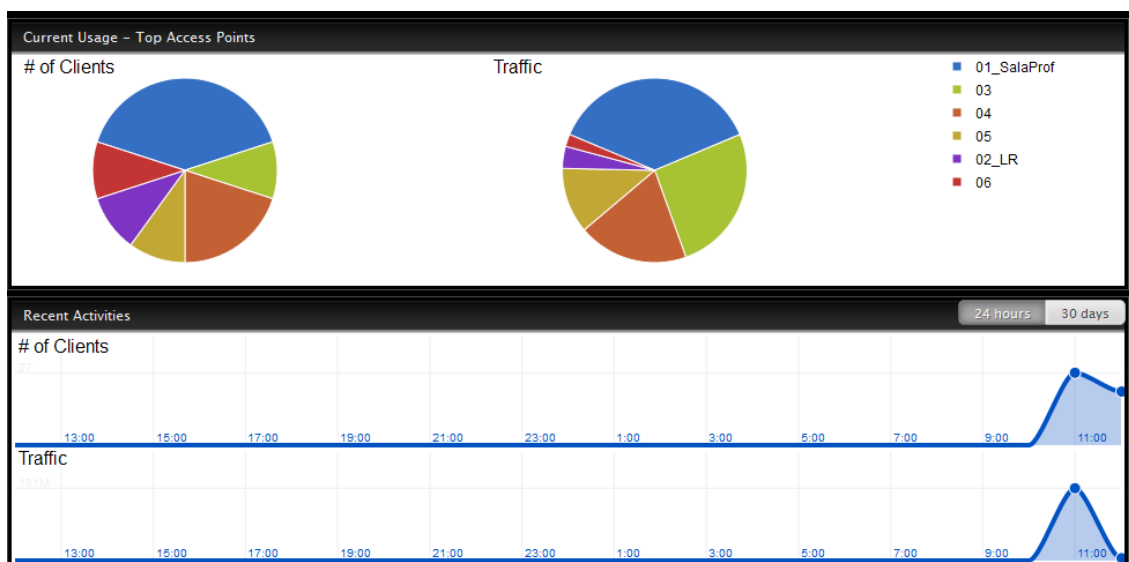
### **7.1. Instal·lació WiFi IES Josep Segrelles**

Davant la impossibilitat de realitzar la instal·lació en camp del projecte, l'IES Josep Segrelles d'Albaida (València), es va oferir a realitzar una col·laboració i així intentar millorar el disseny de xarxa actual que tenen implantat des de fa un any, i amb el qual, els vaig assessorar en l'equipament a utilitzar. Aquestos aparells són els mateixos que els que es presenten al projecte.

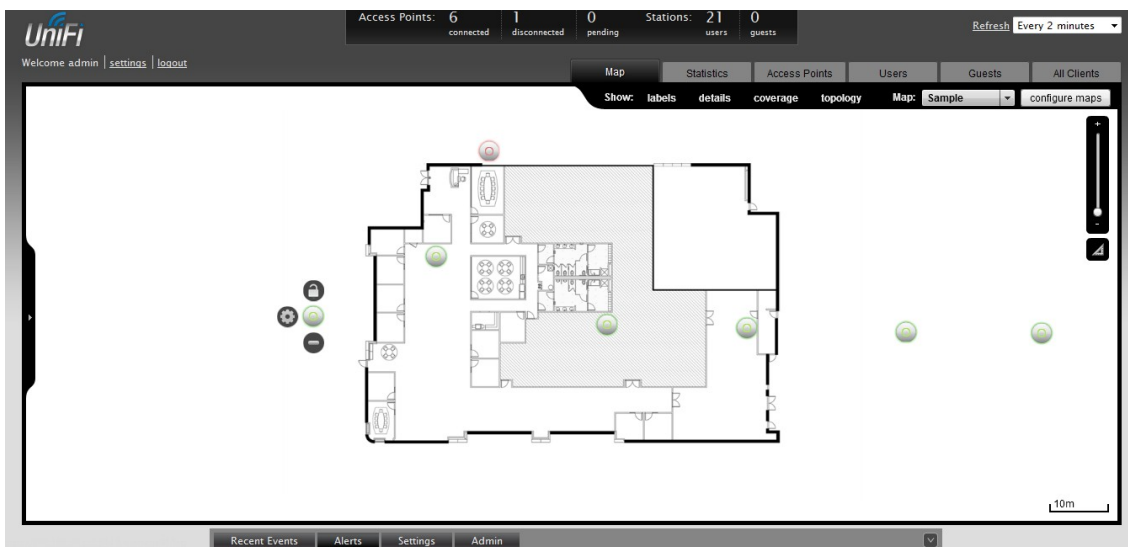
L'institut té un disseny rectangular amb tres plantes i un gimnàs en un bloc aliè a l'edifici principal. A hores d'ara, disposen de cobertura a tot l'edifici i al gimnàs, utilitzant una configuració WDS per repetir el senyal d'uns dels AP.



Programari de configuració Aps Ubiquiti



Estadístiques d'ús



Distribució d'AP



Ràdio de cobertura dels AP. En línia verda, connexió configurada com a repetidor



Instal·lació al corredor de la planta central i al hall amb connexió WDS amb el gimnàs

## **8. CONCLUSIONS**

El canvi de voluntat de l'Ajuntament d'Alcoi en ralentitzar el projecte, l'ha deixat en un estudi i disseny d'aquest, sense cap implementació i amb uns costos futurs per finalitzar-lo considerables.

L'autorització de la CMT ha sigut concedida, tal i com es va prevenir al seu estudi i amb tota la documentació i memòria del projecte a executar que vaig preparar per aquest fi. La resta de projecte s'entregarà amb la còpia de la memòria a l'Ajuntament, que podrà disposar d'ella per seguir amb ell.

Finalment, s'ha realitzat una col·laboració amb l'IES Josep Segrelles per tindre una implantació parcial del projecte i completar parcialment la planificació inicial.

## **Referències Bibliogràfiques**

- [1] Cuadro Nacional de Atribuciones de Frecuencias (CNAF).  
[www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/CNAF.aspx](http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/CNAF.aspx)
- [2] Comissió del Mercat de Telecomunicacions (CMT). [www.cmt.es](http://www.cmt.es)
- [3] article 1 RD 1994/1996, de 6 de setembre. [www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-1996-21258](http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1996-21258)
- [4] article 48.4 de la Llei 32/2003
- [5] Norma UN-128. BOE. <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-14779>
- [6] potència isotròpica radiada equivalent (p.i.r.e.)  
[es.wikipedia.org/wiki/Potencia\\_Isotròpica\\_Radiada\\_Equivalente](http://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_Isotròpica_Radiada_Equivalente)
- [7] CEPT ECC/DEC/(04)08. Electronic Communications Committee. European Commission.  
**CEPT response to the EC Mandate to harmonise technical and, in particular, operational conditions aiming at efficient spectrum use by RLANs in the bands 5150-5350 MHz and 5470-5725 MHz.** Brussels, 24 th November 2004.  
[http://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/2005\\_513\\_report\\_rlan.pdf](http://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/2005_513_report_rlan.pdf)
- [8] Dynamic Frequency Selection.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic\\_Frequency\\_Selection](http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Frequency_Selection)
- [9] Teorema de Nyquist. [http://ca.wikipedia.org/wiki/Teorema\\_de\\_mostreig\\_de\\_Nyquist-Shannon](http://ca.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_mostreig_de_Nyquist-Shannon)
- GUITAL MANSILLA, Cristian, MUNOZ BRANDAU, Eduardo y FIERRO MORINEAU, Néstor.  
**Antenas inteligentes y su desempeño en redes wireless.** Sínt. tecnol., nov. 2007, vol.3, no.2, p.97-109. ISSN 0718-025X
- SUESCA DÍAZ, Cristina, CASTAÑEDA, Ignacio. **Sistema de alimentación para una antena de haz de seguimiento.** Miembros del Grupo de Investigación en Telecomunicaciones de la Universidad Distrital GITUD. Ingeniería, 2005-00-00 vol:10 nro:1 pág:55-60.  
[revistas.udistrital.edu.co](http://revistas.udistrital.edu.co)

TELECOMUNICACIONES Y SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN. Secretaria de estado de telecomunicaciones y para la sociedad de la información. Ministerio de industria, energia y turismo. [www.minetur.gob.es/telecomunicaciones](http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones)

The Abdus Salam, International Centre for Theoretical Physics. Cálculo del presupuesto de Potencia. October 2011. [www.eslared.org](http://www.eslared.org)



## **ANNEXOS**

ANNEX I. Documentació presentada a la CMT. Autorització a l'Ajuntament com operador.

Document PDF oficial de requisits:

[http://telecos.cnmc.es:8080/c/document\\_library/get\\_file?uuid=4da4ace6-e1a1-40ae-a9ed-c6b645d18a92&groupId=10138](http://telecos.cnmc.es:8080/c/document_library/get_file?uuid=4da4ace6-e1a1-40ae-a9ed-c6b645d18a92&groupId=10138)

### **1).DOCUMENTACIÓN ADMINISTRATIVA**

#### **A) Notificación a la Comisión de Mercado de las Telecomunicaciones.**

##### **a) Indicar si es primera Notificación o modificación de una anterior.**

Es la primera notificación a la Comisión de Mercado de las Telecomunicaciones.

##### **b) Razón social.**

Ajuntament d'Alcoi.

##### **c) N.I.F.**

**-- N.I.F. --**

##### **d) Domicilio social.**

**-- domicili social --**

##### **e) Domicilio indicando a efectos de notificaciones en España y, en su caso,**

**Dirección Electrónica Única (DEU).**

**-- adreça --**

**f) Representante legal en el caso de personas jurídicas.**

**-- representant --**

**g) Persona responsable a efecto de notificaciones con domicilio en España.**

**-- responsable --**

**h) Lugar y fecha de la notificación.**

**-- lloc i data --**

**i) Firma del interesado o representante legal en su caso.**

**-- signatura del representant legal --**

**j) Compromiso expreso de someterse a las condiciones previstas para el ejercicio de la actividad que pretenda realizar (art. 6.2 de la LGTel).**

El arriba firmante se compromete a someterse a las condiciones previstas para el ejercicio de la actividad a realizar.

**k) Declaración expresa de someterse a los tribunales españoles.**

Expresamos la conformidad de someterse a los tribunales españoles.

**l) Declaración responsable del cumplimiento de los requisitos exigibles.**

El Ayuntamiento de Alcoi se hace responsable del cumplimiento de los requisitos exigibles.

**m) Si así lo desea el interesado, sumisión expresa al arbitraje de la Comisión del Mercado General de las Telecomunicaciones, en los términos establecidos en su Reglamento y en la Ley General de Telecomunicaciones, para resolver las controversias en el ejercicio de su actividad.**

Expreso la sumisión a la Comisión del Mercado General de las Telecomunicaciones para resolver las controversias surgidas en el ejercicio de la actividad.

**n) Fecha prevista del inicio de la actividad.**

01/02/2014

**o) Cuando el interesado sea una sociedad que tenga derechos exclusivos otorgados por la legislación específica en sectores como el agua, electricidad o transporte, deberá informar expresamente de tales circunstancias.**

----

**p) Cuando el interesado sea una Administración Pública o una entidad participada por una Administración Pública, deberá comunicar tales extremos expresamente, haciendo mención en su caso, al porcentaje de la participación pública.**

El interesado es el Ayuntamiento de Alcoi, con un 100% de participación pública.

**p.1) Cuando la Administración Pública exija una contraprestación a su actividad de comunicaciones electrónicas, de forma que se dé cumplimiento del principio del inversor privado en una economía de mercado, deberá remitir a la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones un plan de negocio que contenga información detallada, entre otros, del dimensionamiento de la red y/o servicio, los ingresos y costes previstos y fuentes de financiación.**

No se exige ninguna contraprestación.

**p.2) Si la Administración Pública desea realizar transitoriamente alguna de las actividades de forma gratuita o a cambio de una contraprestación inferior al coste, deberá comunicarlo de forma motivada en razón de objetivos de negocio, a la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones a fin de que ésta establezca el plazo durante el cual se podrá llevar a cabo dicha explotación o prestación y las condiciones a las que deberá ajustar su actividad durante ese periodo.**

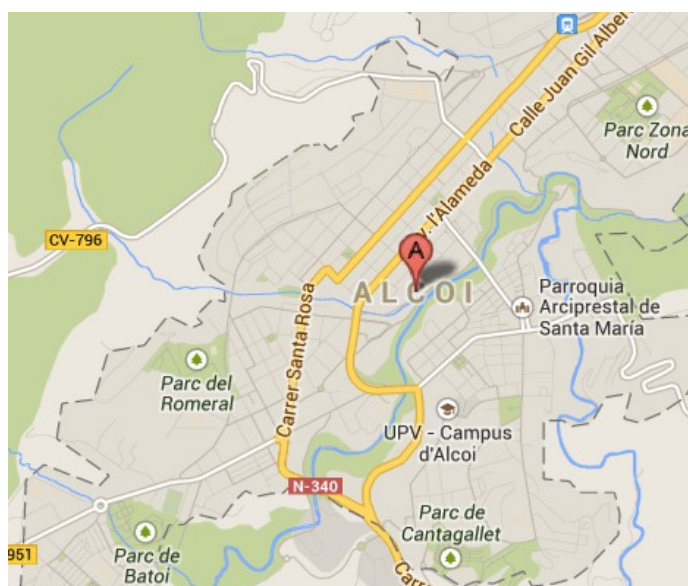
Con el proyecto se pretende dar de manera totalmente gratuito servicio de Internet, y servicios de transporte de datos, en zonas públicas sin conexión, mejorando los servicios del Ayuntamiento al ciudadano y dando acceso a servicios tecnológicos a cualquier persona que lo requiera de manera inalámbrica, ya que es imposible cubrirlas de manera cableada, como realizan otras empresas de servicios de telecomunicaciones de la zona. La motivación viene por la demanda de la población y la intención del Ayuntamiento de acercar la tecnología al ciudadano.

**p.3) En el supuesto que la Administración Pública desee explotar una red o prestar un servicio de comunicaciones electrónicas de forma gratuita (sin sujetarse al principio del inversor privado en una economía de mercado)**

**deberá remitir la documentación prevista en el artículo 10 de la Circular 1/2010 de la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones incluyendo, entre otros, los siguientes datos y documentos:**

**p.3.a) El ámbito de cobertura del servicio o de la red, indicando si hay otros operadores que prestan servicios análogos en las zonas afectadas, y aportando un mapa detallado de todo ello. Tratándose de la prestación del servicio de acceso a Internet habrán de señalarse las ubicaciones en las que dicho servicio se presta y sus características (si són exteriores o interiores y dentro de estas últimas se describirá el tipo de actividades que se llevan a cabo en las mismas).**

El servicio de acceso a la red municipal afectará a las zonas públicas de la ciudad de Alcoi, como parques públicos, zonas recreativas y deportivas. Las actividades que se realizarán será el acceso a los servicios web municipales (presentación de documentación, información al ciudadano, etc) así como acceso a un servidor proxy para el acceso a la red.



**p.3.b) Los requisitos que se establezcan por la Administración para ser beneficiario del servicio.**

Cualquier ciudadano podrá acceder a la red. Los accesos en las zonas con cobertura, serán gestionados por el Ayuntamiento.

**p.3.c) Plan de negocio, en el que se detallen, entre otros, los ingresos previstos y las fuentes de financiación.**

El acceso será libre y gratuito. La financiación será 100% del Ayuntamiento, que pretende dar un nuevo servicio tecnológico a toda su población. Por motivos de seguridad, el ciudadano se tendrá que identificar antes de acceder al servicio.

**p.3.d) Una memoria de competencia en la que se incluya un juicio de ponderación acerca de si la medida está justificada y resulta proporcional al fin que se pretende conseguir teniendo en cuenta su posible incidencia sobre la competencia. Para ello, las Administraciones Públicas tienen a disposición la "Guía para la elaboración de competencia de los proyectos normativos" publicada por la Comisión Nacional de la Competencia.**

Según el Real Decreto 1083/2009 del 3 de junio, se realiza la memoria de la competencia del proyecto.

*1. Identificación*

Efectos negativos sobre la competencia:

- Disminución de clientes. Las compañías ISP vean mermada la cartera de clientes de la zona.

*2. Justificación*

- Disminución de clientes. Las compañías ISP no van a ver disminuida su

cartera de clientes por el servicio que se va a prestar, ya que éste sera limitado en tiempo, ancho de banda y número de clientes conectados al servicio. El acceso público gratuito a los servicios de la Red Municipal, será un aliciente adicional para que el ciudadano con pocos recursos económicos y de formación tecnológica, tenga contacto con las TIC. Este primer contacto seria imposible para personas sin una necesidad personal o laboral de disponer de una linea de Internet, lo que favorece que en un futuro, estas personas contraten una linea de Internet con un ISP, al descubrir las ventajas que ello conlleva.

### *3. Alternativas*

La única alternativa recae en que las compañías de Telecomunicaciones elaboren un proyecto similar al expuesto en este documento, totalmente gratuito para subsanar esta carencia de servicio en las zonas públicas de la ciudad.

**p.3.e) Los resultados de la consulta pública que preceptivamente habrán de realizar, en terminos previstos en el apartado siguiente, para recabar las opiniones del sector sobre dicho proyecto.**

Es proyecto es demandado por la ciudadanía desde hace años. El 95% de la población está a favor de la realización del proyecto.

#### **B) Acreditación fehaciente del interesado.**

**a) Si el interesado es persona física:**

----

**b) Si el interesado es persona jurídica:**

- **Número de identificación fiscal y datos registrales.**

**-- N.I.F. --**

- **Domicilio en España a los efectos de notificaciones.**

**-- adreça --**

- **Nombre y apellidos de la persona responsable a los efectos de notificaciones.**

**-- responsable --**

- **Documentación que acredite la capacidad y representación del representante.**

Se adjunta documentación

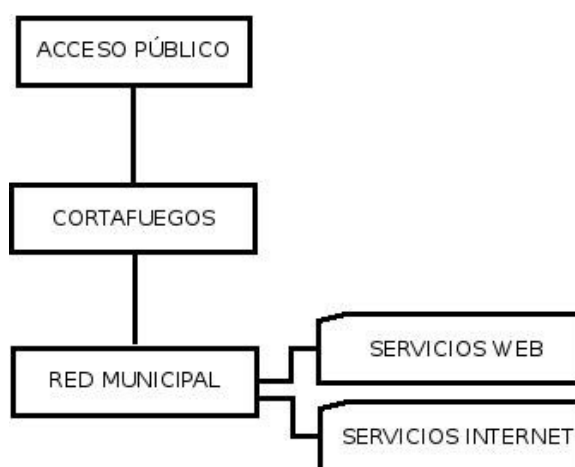


## 2).DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

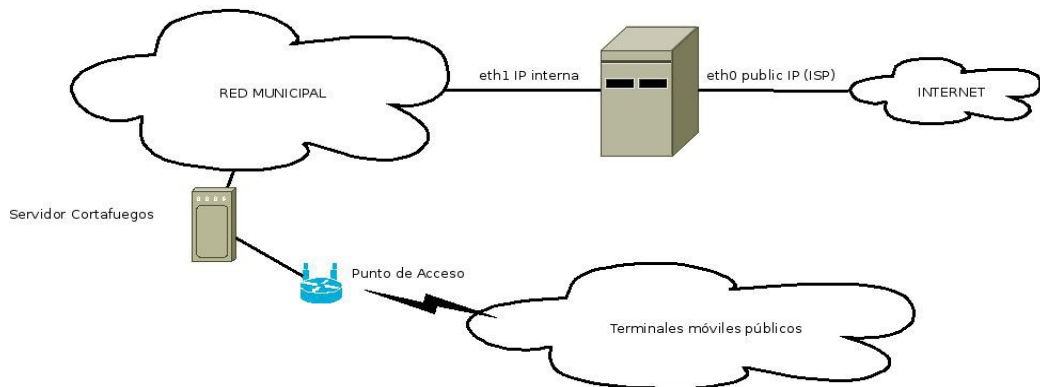
### A) Descripción de la red que se quiere explotar.

#### a) Breve descripción de la ingeniería y diseño de red, incluyendo:

- Ámbito territorial de cobertura: Parques y zonas públicas de la ciudad de Alcoi.
- Red propia.
- La implantación de la red se realizará en los edificios propiedad del Ayuntamiento.
- El servicio se realizará mediante tecnología Wifi con frecuencias libres de 2.4 y 5 GHz basadas en los estandards IEEE 802.11a/b/g.
- La red no presentará ningún servicio de radiodifusión sonora y de televisión.
- Diagrama de bloques.



El diseño de la red ha sido realizado teniendo en cuenta todos los factores que pueden impedir una perfecta comunicación entre el cliente y uno de los dos puntos de conexión. Se han tenido en cuenta aspectos como interferencias, pérdidas de señal por vegetación de los parques, anchos de banda, número de clientes por Punto de Acceso, canales, ruidos, colisiones, etc.



## b) Tipo de tecnología o tecnologías a emplear.

La tecnología a emplear será la inalámbrica, utilizando el estándar 802.11a/b/g con estructuras BSS y ESS.

- **Modo infraestructura o BBS** (*Basic Service Set*, 'Conjunto de Servicios Básicos'). En esta modalidad se añade un equipo llamado punto de acceso (AP o *Access Point*) que realiza las funciones de coordinación centralizada de la comunicación entre los distintos terminales de la red. Los puntos de acceso tienen funciones de *buffer* (memoria de almacenamiento intermedio) y de *gateway* (pasarela) con otras redes. En nuestro caso utilizaremos esta estructura para realizar zonas puntuales de conexiones donde los clientes podrán conectar sus terminales.
- **ESS** (*Extended Service Set*, 'Conjunto de Servicios Extendido'). Esta modalidad permite crear una red inalámbrica formada por más de un punto de acceso. De esta forma se puede extender el área de cobertura de la red, la cual constituida por un conjunto de celdas pegadas unas a otras. Una red ESS está formada por múltiples redes BSS. En el futuro se espera utilizar el

conjunto de servicios extendidos para poder extender la red y ofrecer mayor cobertura y de mayor calidad en las distintas zonas.

En las modalidades BSS y ESS todas las comunicaciones pasan por los puntos de acceso. Aunque dos terminales estén situados uno junto al otro, la comunicación entre ellos pasará por el punto de acceso al que estén asociados. Esto quiere decir que un terminal no puede estar configurado para funcionar en la modalidad *ad hoc* (IBBS) y de infraestructura (BSS) a la vez.

**c) Descripción de las medidas de seguridad y confidencialidad que se prevén implantar en la red.**

**Seguridad física:**

En lo referente a la seguridad en las instalaciones de los puntos de acceso y de las antenas, se garantiza que pueda soportar rachas de viento superiores a los 150Km/h, y se instalarán en propiedades municipales.

El servidor se situará en el Data Center del Ayuntamiento, dotado de todas las necesidades técnicas para el buen funcionamiento (temperatura, SAI, aislamiento, backups, etc.).

**Seguridad lógica:**

Para garantizar la confidencialidad de las transmisiones entre el usuario y el servidor se empleará la propia seguridad incorporada en las transmisiones inalámbricas de dicha clase (espectro espandido y salto en frecuencias). La encriptación a nivel de transmisión inalámbrica estará deshabilitada (WPA/WPA2).

Se realizarán copias de seguridad automatizadas de todo el sistema, tanto de los

AP como del servidor. Las comunicaciones serán totalmente privadas, y solo se utilizará información estadística referente al uso del servicio, uso de los puntos de acceso, así como cantidad de paquetes transmitidos, tipo de peticiones recibidas, etc, en general todo lo referente a la gestión de la red, será de dominio público para dotar de mayor transparencia las acciones del administrador.

El enrutado de los paquetes serán gestionados mediante el servidor instalado en el Data Center del Ayuntamiento. De modo que los clientes se conectaran a el servidor mediante la red inalámbrica y desde éste se gestionará la conexión. Todos los puntos de acceso se gestionarán mediante VLSM (variable length subnet mask) para garantizar la seguridad de las comunicaciones, tanto de los usuarios que se conecten como de la propia red Municipal.

Una vez la comunicación entre el servidor y el cliente ha quedado establecida, el servidor actua como pasarela entre el cliente y Internet. El servidor dará acceso realizando NAT entre los paquetes del cliente y los recibidos de Internet (con destino al cliente).

En un principio se dará acceso a los puertos de los servicios habituales (HTTP, HTTPS, POP3, SMTP, IMAP), los cuales podrán variar según criterio técnico de los administradores del servicio, como restricción de puertos por poco ancho de banda disponible o ampliación de éstos por poco trafico en la red o servicios nuevos a ofrecer al ciudadano. Los paquetes estan priorizados y en momentos de saturación Se intentará garantizar en la medida de lo posible acceso a navegación web, correo electrónico, mensajería en general y servicios interactivos frente a servicios de transferencia de ficheros masivos. Cabe remarcar que el cliente no dispondrá de una IP pública, sino de una IP privada/reservada signada mediante DHCP.

Se utilizarán el número de AP por zona que se considere necesario para abarcar una buena cobertura de la señal. Para ello se utilizarán tanto antenas omnidireccionales

como direccionales, según el estudio técnico lo requiera.

Para la conexión de los clientes será imprescindible una buena calidad de la señal. Se utilizarán indicadores de la comunicación para garantizar una mínima calidad del servicio. Se utilizará el servicio 'isolation client' para garantizar el aislamiento del usuario en la red, es decir, que el AP crea una VLAN única para cada una de las conexiones de los usuarios conectados. Ésto garantiza la seguridad y la confidencialidad de cada uno de los usuarios.

**d) Indicación de la red que se quiere explotar.**

Explotación de red Wifi (IEEE 802.11a/b/g/n) de dominio público radioeléctrico.

**B) Descripción del servicio que se quiere suministrar.**

**a) Descripción funcional de los servicios, incluyendo:**

Se dará acceso a la red municipal y en consecuencia a los servicios web del Ayuntamiento. También se dará acceso a Internet y correo electrónico en los parques públicos de la ciudad de Alcoi.

El espacio público radioeléctrico se emplea en este tipo de transmisiones dentro de ancho de banda definido por el estándar 802.11a/b/g/n (2,4GHz y 5,4GHz). En ningún caso se utiliza espacio radioeléctrico privado o protegido, sólo público.

La gestión de los servicios estará centralizado en un único Servidor, con un sistema operativo GNU/Linux y distribución Debian. La asignación de las IP serán dinámicas, asignadas mediante DHCP. Se gestionarán todos los paquetes mediante Qos (Quality of Service), un proxy (squid) funcionando en modo transparente y sobre el cual los clientes tendrán conocimiento, y el servicio de DNS. Todo ello forma un

conjunto de prioridades y servicios limitados y controlados que darán un servicio de alta calidad.

Para la monitorización de la red se utilizará SNMP sobre los dispositivos críticos, como los puntos de acceso y en cada uno de los servicios del servidor (squid, iptables, QoS, etc...). Los mismos Puntos de Acceso disponen de un software que centraliza la monitorización de éstos, con servicios de cambio automático de canales, histórico de clientes conectados, anchos de banda consumidos, restricciones, etc. Este software garantiza una visión centralizada de todo el sistema de acceso a la red, con un primer nivel de seguridad antes de llegar al servidor principal que realizará las tareas de cortafuegos y NAT.

La red en su totalidad es propia. Toda la arquitectura, materiales son de propiedad del Ayuntamiento y todo el software utilizado esta licenciado bajo condiciones GNU/GPL. La implantación de la red será realizada en propiedad pública, ya que los edificios donde se realizarán las instalaciones de los AP serán del propio Ayuntamiento de Alcoi.

**b) Oferta de servicios y su descripción comercial.**

Servicio de acceso a la red. Servicio gratuito que accederá a Internet y servicios web del Ayuntamiento.

**c) Indicación del servicio o servicios que se quiere prestar.**

Servicios de transmisión de datos disponibles al público (correo electrónico, proveedor de acceso a Internet).

## ANNEX II. Tallafocs

```

#!/bin/sh
echo ""
echo " ----- Execucio tallafocs -----"
echo ""
echo "Netejem regles anteriors..."
iptables -F
iptables -X
iptables -t nat -F
iptables -t nat -X
iptables -t mangle -F
iptables -t mangle -X

echo "Activacio politica DROP..."
iptables -P INPUT DROP
iptables -P OUTPUT DROP
iptables -P FORWARD DROP

iptables --table nat --flush
iptables --delete-chain

echo "Activacio NAT eth0..."
iptables --table nat --append POSTROUTING --out-interface eth0 -j MASQUERADE
iptables --append FORWARD --in-interface eth1 -j ACCEPT
iptables --append FORWARD --in-interface eth2 -j ACCEPT

#eth0 eixida i eth1 xarxa LAN
echo "acceptem tot el que genere el server..."
/sbin/iptables -A INPUT -i lo -j ACCEPT

echo "acceptem el desti port 80 i 443 (http https)..."
iptables -A FORWARD -s 192.168.2.0/24 -i eth1 -p tcp --dport 80 -j ACCEPT
iptables -A FORWARD -s 192.168.2.0/24 -i eth1 -p tcp --dport 443 -j ACCEPT

echo "acceptem consultes DNS..."
iptables -A FORWARD -s 192.168.2.0/24 -i eth1 -p tcp --dport 53 -j ACCEPT
iptables -A FORWARD -s 192.168.2.0/24 -i eth1 -p udp --dport 53 -j ACCEPT

echo "Deneguem la resta..."
iptables -A FORWARD -s 192.168.2.0/24 -i eth1 -j DROP

echo "emmascarem..."
iptables -t nat -A POSTROUTING -s 192.168.2.0/24 -o eth0 -j MASQUERADE

echo "activem bit..."
echo 1 > /proc/sys/net/ipv4/ip_forward

echo "descartem qualsevol altra cosa..."
iptables -A INPUT -s 0.0.0.0/0 -p tcp -dport 1:1024 -j DROP
iptables -A INPUT -s 0.0.0.0/0 -p udp -dport 1:1024 -j DROP

echo "Tallafocs activat "

```