



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Tecnología Electrónica

Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones

Sistemas de Telecomunicación

PROYECTO FIN DE CARRERA

Acceso a Internet vía WiFi- WiMax

Autor: Mohammed El Yaagoubi

Director: D. José Couto Vázquez

Tutor: Dr. Pedro Contreras Lallana

Leganés, Octubre de 2012

Título: Acceso a Internet vía WiFi-WiMax

Autor: Mohammed El Yaagoubi

Director: D. José Couto Vázquez

Tutor: Dr. Pedro Contreras Lallana

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día ___ de _____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Quisiera aprovechar la oportunidad que se me brinda para agradecer a todas esas personas que me han apoyado tanto durante todos estos años. En primer lugar agradecer a mis padres por darme la oportunidad de estudiar en un lugar de tanto prestigio como es la Universidad Carlos III, a mis hermanos y sobre todo mi esposa por todo su apoyo, tanto en los momentos buenos como en los más difíciles, donde nunca me han fallado.

En segundo lugar, quisiera agradecer al Dr. Pedro Contreras y a D. José Couto por ofrecerme esta oportunidad que me permite culminar la carrera e iniciar la transición al mundo laboral, siguiente etapa de mi vida en la que podré afrontar nuevos retos.

Por último, pero no por ello menos importante, a todos aquellos amigos que siempre han confiado en mí, por su apoyo y amistad que siempre te fortalecen en los momentos más difíciles, así como a todos los profesores y tutores que me han encaminado hacia este momento durante toda mi carrera universitaria.

Muchas gracias a todos

Resumen

En la última década, las redes de telecomunicaciones han tenido un notable desarrollo y un fuerte crecimiento, casi exponencial, que se han visto involucradas en la mejora de las condiciones de vida, sobre todo las soluciones basadas en tecnologías inalámbricas de corto y largo alcance con costes relativamente bajos en comparación con otras soluciones de redes fijas.

Las tecnologías utilizadas para este proyecto, WiFi IEEE-802.11 y WiMax IEEE-802.16, han tenido un gran éxito debido a las necesidades de movilidad de usuarios solitarios o grupos de trabajo puntuales y también a la flexibilidad a la hora de expansiones o cambios de topología.

El proyecto se trata de la implantación de una solución inalámbrica basada en las dos tecnologías antes mencionadas en un ayuntamiento dentro del marco de Ciudades Digitales. Se destaca la idea de tener las dos tecnologías como soluciones complementarias, el primer diseño de redes WiFi que tendrá el rol de una red de acceso en interiores de edificios y parques de corto alcance, el segundo diseño se basa en la tecnología WiMax que funcionará como la red troncal comunicando los edificios secundarios con la sede central.

Se hará un estudio del estado del arte de las tecnologías que se usaran como solución, describiendo los pasos realizados en la implantación de cada tecnología por separado citando los equipos utilizados y con un desglose económico detallado del equipamiento usado en la solución final.

Palabras clave: Tecnologías inalámbricas, WiFi, WiMax, IEEE-802.11, IEEE-802.16

Índice General

Índice General	8
Índice De Figuras	11
Índice De Tablas	13
Acrónimos	14
Capítulo 1 Introducción y objetivos	16
1.1 Objetivo del proyecto	18
1.2 Estructura de la memoria	20
1.3 Análisis DAFO	21
1.3.1 DAFO WiFi.....	21
1.3.1.1 Debilidades	21
1.3.1.2 Amenazas	22
1.3.1.3 Fortalezas.....	22
1.3.1.4 Oportunidades	22
1.3.2 DAFO WiMax	23
1.3.2.1 Debilidades	23
1.3.2.2 Amenazas	23
1.3.2.3 Fortalezas.....	24
1.3.2.4 Oportunidades	24
Capítulo 2 Estado del arte	26
2.1 Estándares IEEE:	29
2.2 WiFi	31
2.2.1 IEEE - 802.11a.....	31
2.2.2 IEEE - 802.11b.....	32
2.2.3 IEEE - 802.11g.....	33
2.2.4 ESS Red mallada IEEE - 802.11s	35
2.2.5 IEEE - 802.11n.....	36
2.2.5.1 MIMO	36
2.2.5.2 Mejoras de radio.....	37
2.2.5.3 Mejoras en la MAC	39
2.3 WiMax:	42
2.3.1 Propósito general	42
2.3.2 Características principales	42
2.3.2.1 Alta tasa de transferencia	43
2.3.2.2 Radio de la celda.....	44
2.3.2.3 Escalabilidad.....	45
2.3.2.4 Seguridad	45
2.3.2.5 Calidad de servicio (QoS).....	45

Capítulo 3	Diseño de la solución	47
3.1	La Red WiFi.....	52
3.1.1	Topología de Red	52
3.1.2	Cobertura de Radio	54
3.1.3	Equipamiento elegido	55
3.1.4	Estudio de cobertura	58
3.1.5	Procedimiento del estudio de cobertura.....	60
3.1.5.1	Herramientas utilizadas para el estudio.....	60
3.1.5.1.1	Hardware	60
3.1.5.1.2	Software:.....	61
3.1.6	Método de despliegue de puntos de acceso	65
3.1.7	Modelización de propagación en interiores	68
3.1.7.1	Pérdidas en el espacio libre	68
3.1.7.2	Pérdidas con un único obstáculo.....	69
3.1.8	Estudio práctico de cobertura	71
3.1.8.1	Ayuntamiento (Sede CS)	71
3.1.8.1.1	Visita Previa. Análisis de entorno.....	71
3.1.8.1.2	Premuestreo.....	72
3.1.8.1.3	Potencia de Señal (Signal Strength)	73
3.1.8.1.4	Interferencias	74
3.1.8.1.5	Relación señal/ruido (Signal to Noise Ratio).....	75
3.1.8.1.6	Data Rate.....	76
3.1.8.1.7	Localización de los puntos de acceso.....	77
3.1.8.2	Parque municipal.....	78
3.1.8.2.1	Visita Previa. Análisis de entorno.....	78
3.1.9	Comparación teórico práctica	79
3.1.9.1	Planta baja CS.....	81
3.1.9.2	Primera planta	82
3.2	Conexión Pre-WiMax punto a punto.....	84
3.2.1	Esquema de conexionado.....	88
3.2.1.1	Equipamiento en CS.....	89
3.2.1.2	Equipamiento en Estaciones A, B, C, D y E	89
3.2.2	Configuración WiMax.....	90
3.2.3	Pruebas de conectividad	94
3.2.3.1	Ayuntamiento – Sede A	96
3.2.3.2	Ayuntamiento – Sede B	96
3.2.3.3	Ayuntamiento – Sede C	96
3.2.3.4	Ayuntamiento – Sede D	97
3.2.3.5	Ayuntamiento – Sede E	97
Capítulo 4	Seguridad y gestión de red	99
4.1	Seguridad.....	100
4.1.1	SSID Datos.....	100
4.1.2	SSID Invitados. Portal Cautivo	101
4.1.3	SSID Datos WPA-PSK	102
4.2	Gestión de red	104
4.2.1	Gestión centralizada	104

4.2.2	Segmentación de la red.....	106
4.2.3	Gestión Centralizada - WCS.....	107
Capítulo 5	Gestión y desglose económico	109
5.1	Gestión de proyectos	110
5.1.1	Gestión de recursos humanos.....	110
5.1.2	Gestión comercial.....	110
5.1.3	Gestión financiera.....	111
5.2	Desglose económico	111
5.2.1	Ingeniería y configuración	112
5.2.2	Equipamiento y servicios WiFi.....	113
5.2.3	Equipamiento y servicios WiMax	115
5.2.4	Switches y Routers necesarios	116
Referencias	119

Índice De Figuras

<i>Figura 1 – 1.1 – Topología de la solución</i>	20
<i>Figura 2 – 2.1 – Estándares inalámbricos del IEEE</i>	30
<i>Figura 3 – 2.1 – Algunos operadores que implantan soluciones WiMAX</i>	31
<i>Figura 4 – 2.2 – Marcas comerciales de WiFi</i>	32
<i>Figura 5 – 2.2 – Relación alcance-velocidad de las normas IEEE 802.11</i>	35
<i>Figura 6 – 2.2 – Transmit beamforming (Interferencia constructiva)</i>	37
<i>Figura 7 – 2.2 – Canales de 20MHz y 40MHz de ancho de banda</i>	39
<i>Figura 8 – 2.2 – Cabecera de la trama 802.11</i>	40
<i>Figura 9 – 2.2 – Frame aggregation</i>	40
<i>Figura 10 – 2.3 – Modulación adaptativa</i>	45
<i>Figura 11 – 3 – Topología de la red</i>	51
<i>Figura 12 – 3.1 – Arquitectura WiFi</i>	53
<i>Figura 13 – 3.1 – Controlador LAN Cisco 4400 Serie</i>	56
<i>Figura 14 – 3.1 – Analizador de espectros</i>	62
<i>Figura 15 – 3.1 – EKAHU Site Survey 2.1, Build 381</i>	62
<i>Figura 16 – 3.1 – Potencia de la señal (Plantas Baja, Primera y Segunda)</i>	74
<i>Figura 17 – 3.1 – Interferencias (Plantas Baja, Primera y Segunda)</i>	75
<i>Figura 18 – 3.1 – Relación señal a ruido (SNR) (Plantas Baja, Primera y Segunda)</i>	76
<i>Figura 19 – 3.1 – Data Rate (Plantas Baja, Primera y Segunda)</i>	77
<i>Figura 20 – 3.1 – Localización de puntos de acceso (Plantas Baja, Primera y Segunda)</i>	78
<i>Figura 21 – 3.1 – Parque Municipal</i>	79
<i>Figura 22 – 3.1 – Cobertura inalámbrica del Parque Municipal</i>	79
<i>Figura 23 – 3.1 – Escenario del cálculo de distancia entre el AP y el usuario</i>	80
<i>Figura 24 – 3.1 – Planta Baja, Recorrido del cálculo</i>	82
<i>Figura 25 – 3.1 – Comparación teórico práctica de la potencia recibida</i>	83
<i>Figura 26 – 3.1 – Primera Planta, Recorrido del cálculo</i>	84
<i>Figura 27 – 3.1 – Comparación teórico práctica de la potencia recibida</i>	84

<i>Figura 28 – 3.2 – Antena punto a punto BreezeNET B</i>	<i>86</i>
<i>Figura 29 – 3.2 – Solución WiMax</i>	<i>88</i>
<i>Figura 30 – 3.2 – Equipamiento WiMax en CS</i>	<i>90</i>
<i>Figura 31 – 3.2 – Equipamiento WiMax en A, B, C, D y E.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 32 – 3.2 – WiMax Singnaling</i>	<i>92</i>
<i>Figura 33 – 3.2 – Configuración DL de WiMax</i>	<i>93</i>
<i>Figura 34 – 3.2 – Configuración UL de WiMax</i>	<i>94</i>

Índice De Tablas

<i>Tabla 1 – 2.2 – Especificaciones técnicas de estándares 802.11</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 2 – 2.2 – Estándares IEEE-802.11</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3 – 3.1 – Equipamiento para el estudio de cobertura</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 4 – 3.1 – Relación entorno de propagación con n.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 5 – 3.1 – Potencias de trabajo del AP1130</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 6 – 3.1 – Velocidad de transmisión frente al alcance</i>	<i>81</i>

Acrónimos

<i>ADSL</i>	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
<i>AP</i>	<i>Access Point</i>
<i>Banda ISM</i>	<i>Industrial, Scientific and Medical Band</i>
<i>BS</i>	<i>Base Station</i>
<i>BSS</i>	<i>Basic Service Set</i>
<i>CDMA</i>	<i>Code division multiple access</i>
<i>DAFO</i>	<i>Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades</i>
<i>DL</i>	<i>Downlink</i>
<i>DSL</i>	<i>Digital Subscriber Line</i>
<i>DSSS</i>	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
<i>EAP</i>	<i>Extensible Authentication Protocol</i>
<i>EAP-TLS</i>	<i>EAP For Transport Layer Security</i>
<i>EPE</i>	<i>Ekahau Positioning Engine</i>
<i>ESS</i>	<i>Extended Service Set</i>
<i>FCS</i>	<i>Frame Check Sequence</i>
<i>FDM</i>	<i>Frequency Division Multiplexing</i>
<i>IDU</i>	<i>InDoor Unit</i>
<i>IEEE</i>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
<i>IP</i>	<i>Internet Protocol</i>
<i>LAN</i>	<i>Local Area Network</i>
<i>LOS</i>	<i>Line of Sight</i>
<i>LWAPP</i>	<i>Lightweight Access Point Protocol</i>
<i>MAC</i>	<i>Medium Access Control</i>
<i>MIMO</i>	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
<i>MPDU</i>	<i>MESSAGE PROTOCOL DATA UNIT</i>
<i>MSCHAPv2</i>	<i>Microsoft Challenge-Handshake Authentication Protocol version 2</i>
<i>MSDU</i>	<i>MAC SERVICE DATA UNIT</i>
<i>MTU</i>	<i>Maximum Transmission Unit</i>
<i>NLOS</i>	<i>Non Line of Sight</i>
<i>ODU</i>	<i>OutDoor Unit</i>
<i>OFDM</i>	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
<i>PDH</i>	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i>
<i>PEAP</i>	<i>Protected Extensible Authentication Protocol</i>
<i>PKI</i>	<i>Public Key Infrastructure</i>
<i>PSK</i>	<i>Phase Shift Keying</i>
<i>PSK</i>	<i>Pre-shared key</i>
<i>QAM</i>	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
<i>QoS</i>	<i>Quality of Service</i>

<i>QPSK</i>	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
<i>RF</i>	<i>Radio Frecuency</i>
<i>RRM</i>	<i>Radio Management Resource</i>
<i>RSSI</i>	<i>Receive Signal Strength Indication</i>
<i>SFTP</i>	<i>Shielded and Foiled Twisted Pair</i>
<i>SIM/USIM</i>	<i>Subscriber Identity Module/ Universal Subscriber Identity Module</i>
<i>SNR</i>	<i>Signal to Noise Ratio</i>
<i>SSID</i>	<i>Service Set IDentifier</i>
<i>SU</i>	<i>subscriber unit</i>
<i>TCP</i>	<i>Transport Control Protocol</i>
<i>TG</i>	<i>Task Group</i>
<i>TKIP</i>	<i>Temporal Key Integrity Protocol</i>
<i>UDP</i>	<i>User Datagram Protocol</i>
<i>UL</i>	<i>Uplink</i>
<i>UNII</i>	<i>Unlicensed National Information Infrastructure</i>
<i>UTP</i>	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
<i>WCS</i>	<i>Wireless Control System</i>
<i>WDS</i>	<i>Wireless Distribution System</i>
<i>WEP</i>	<i>Wired Equivalent Privacy</i>
<i>WIFI</i>	<i>Wireless Fidelity</i>
<i>WIMAX</i>	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
<i>WLAN</i>	<i>Wireless Local Area Network</i>
<i>WLC</i>	<i>Wireless LAN Controller</i>
<i>WPA</i>	<i>Wi-Fi Protected Access</i>

Capítulo 1

Introducción y objetivos

1. Introducción

Hasta el día de hoy, todas las entidades públicas y privadas disponen de redes de comunicaciones fijas que se deben a unas decisiones de implantación de soluciones que en su momento cumplían las necesidades de los usuarios en servicios como es el teléfono, la televisión, internet, etcétera, que suponían unas inversiones muy elevadas.

Las redes de telecomunicación actuales disponen de una gran variedad de técnicas de acceso. Una de las técnicas de acceso de más éxito es mediante una comunicación inalámbrica. Esta técnica permite aprovechar las ventajas de la propagación de las ondas vía radio para ofrecer al usuario el acceso a la red sin cables de red y, por lo tanto, mayor movilidad.

La comunicación inalámbrica ha evolucionado hasta el punto de que es apta para ofrecer conectividad a Internet a un gran número de usuarios repartidos en áreas extensas.

Las redes Wireless tienen mayor ventaja por su bajo coste en entornos rurales y municipios con carencia de un acceso a internet vía ADSL, solución que es difícil de realizar por causa de los costes elevados de obra civil.

1.1 Objetivo del proyecto

El proyecto consta de un ejemplo de diseño e implantación de una solución un acceso a internet mediante dos tecnologías inalámbricas, WiFi y WiMax, donde una complementa a la otra.

La red WiFi jugará el rol de una red de acceso se implementará en interiores de edificios de un ayuntamiento así como en un parque municipal mientras que la tecnología WiMax servirá de enlace entre los edificios como una red troncal que centraliza la información en la sede central del ayuntamiento.

Las tecnologías utilizadas son las pioneras en el mercado de telecomunicaciones, para la red WiFi se trabajará con el fabricante Cisco y para la red troncal WiMax se utilizaran equipos de Alvarion que es un fabricante internacional de antenas.

En principio las distancias entre el edificio central y las sedes secundarias no superan los 1000 metros con una visión directa entre las antenas. Se incluirá un Switch y un Router para encaminar la información hacia internet mediante un enlace primario de 30 Mbps en el ayuntamiento redundado con otro enlace secundario en otra sede (B).

La estructura de red tendrá la ventaja de flexibilidad a la hora de plantear cambios de topología o cualquier crecimiento de red.

En este ejemplo de soluciones ofertadas a varios ayuntamientos, el cliente ya dispone de un conmutador 3COM en el edificio central que formará el núcleo de la red que habrá que añadirle un router Cisco para el acceso a internet.

Además de estas tecnologías, los dos fabricantes gozan de dos sistemas de control y gestión de red, el primero es WCS (Wireless control System de Cisco) que trata de gestionar los Access Point en todos los edificios de forma centralizada y el segundo es Alvaristar utilizado para la gestión de la conexión WiMax y sus equipamientos en toda la red. La Figura 1 muestra lo expuesto:

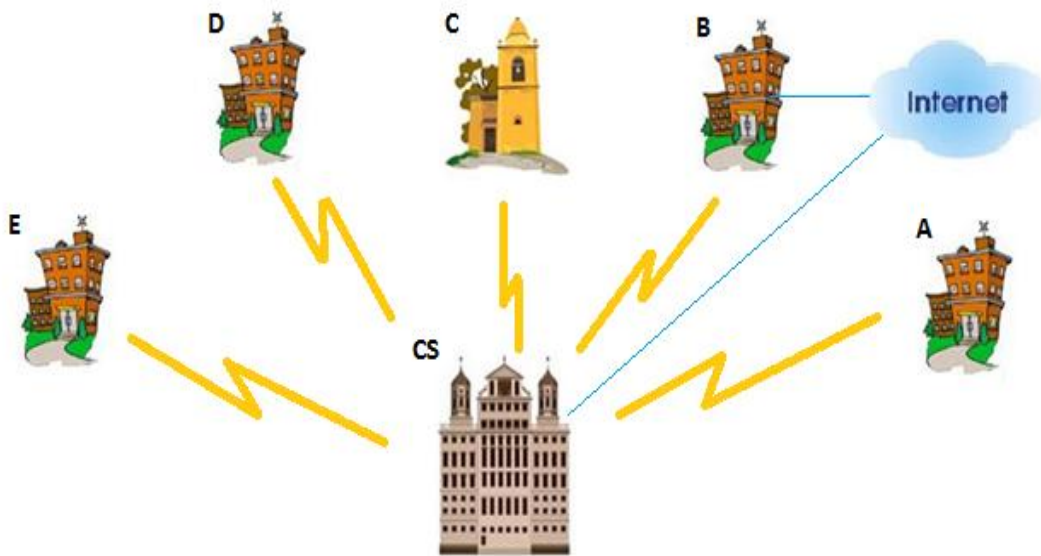


Figura 1 – 1.1 – Topología de la solución

1.2 Estructura de la memoria

La memoria se estructura en tres bloques, el primero tratará de estudiar las tecnologías utilizadas WiFi y WiMax y los estándares que los regulan, se estudiará en detalle las diferentes especificaciones que están en constante desarrollo. La segunda parte trata la solución técnica tratando de explicar por separado las dos implantaciones, WiFi y WiMax aunque al final serán integrantes de una única red. En la última parte se abordará el estudio de los aspectos económicos, comerciales así como un breve estudio de la parte de gestión del proyecto.

1.3 Análisis DAFO

La solución elegida se estructura en dos grandes bloques, el primero consta de una red de acceso vía WiFi basada en tecnologías en desarrollo diario. El segundo bloque trata la red troncal inalámbrica representada por la tecnología WiMax que a su vez está en constante desarrollo.

El estudio de este apartado consiste en dar una visión comercial sobre la solución a partir de un análisis del DAFO que representa las Debilidades a tener en cuenta a la hora de tomar la decisión de implantación, las Amenazas que le pueden afectar y finalmente las Fortalezas y Oportunidades de estas tecnologías en el mercado.

1.3.1 DAFO WiFi

1.3.1.1 Debilidades

WiFi presenta dos puntos débiles que se están tratando de eliminar, no ofrece Calidad de Servicio QoS ni diferenciación entre los flujos de servicio. Y por otro lado, no es muy estable en cuestión de velocidad de transmisión para distancias lejanas del punto de acceso.

1.3.1.2 Amenazas

Comparada con las demás tecnologías de redes de acceso, el modo de acceso al medio supone una amenaza de seguridad debida al medio compartido en el que cualquier equipo que tiene alcance a la señal puede escuchar la comunicación, un reto que se está tratando de superar en las nuevas especificaciones.

1.3.1.3 Fortalezas

En comparación con las tecnologías existentes, una de las características fuertes del WiFi es su precio a la hora de hablar de despliegues con largas distancias, lo que permite ver su dominio del mercado a largo plazo.

También podemos mencionar la facilidad de implantación o integración de equipamiento en interiores como en exteriores así como su configuración y puesta en marcha.

El bajo consumo de potencia por los equipos WiFi influye de manera directa en coste de sus soluciones que seguirán teniendo el éxito a medio-largo plazo.

1.3.1.4 Oportunidades

Como se ha mencionado en la introducción de este capítulo, el desarrollo continuo y actualizaciones de éste estándar y sus

especificaciones sobre todo en temas de Calidad de Servicio (802.11e) son el punto clave del dominio del mercado de estas soluciones.

1.3.2 DAFO WiMax

1.3.2.1 Debilidades

El precio de las soluciones WiMax supone un punto débil, añadiendo la incertidumbre y la desconfianza de los clientes debidos a la falta de proyectos implantados con esta tecnología.

1.3.2.2 Amenazas

La principal amenaza se debe al excesivo crecimiento de las soluciones WiMax, al tener solamente una banda de uso libre habrá que asumir las interferencias en entornos que contienen varias soluciones basadas en WiMax.

El incremento de usuarios a largas distancias con el uso de una modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) supone una degradación de la calidad de servicio ofertado por dicha solución que se puede notar en el decremento de la velocidad de comunicación y las pérdidas de cobertura.

Los obstáculos también suponen una amenaza a los proyectos de implantación WiMax, esto se debe a la construcción de nuevos edificios en el medio del enlace radioeléctrico obstruyendo la transmisión, aunque

se pueden asumir con un replanteo NLOS (sin visión directa) y quedando con una capacidad reducida de la ofertada inicialmente con LOS (visión directa).

1.3.2.3 Fortalezas

La tecnología está pensada para largas distancias por lo que no se hace necesario hablar de adaptación de tecnologías de distintos fabricantes.

Al contrario de WiFi, las implantaciones WiMax garantizan servicios con QoS y con diferenciación de flujos.

Con un ancho de banda extenso aumenta el número de usuarios soportados además de las mejoras en la tasa de bits debidas al uso de las modulaciones OFDM.

La facilidad y sencillez de instalaciones así como la existencia de interfaces intuitivas de gestión, control y seguridad de la red, además de la flexibilidad a la hora de pensar en hacer modificaciones en la red.

1.3.2.4 Oportunidades

La posibilidad de movilidad y la interoperabilidad debida al uso de interfaces IP permiten la agregación de nuevos equipos y topologías en cualquier emplazamiento de la red.

Capítulo 2

Estado del arte

2. Redes inalámbricas

La tecnología Inalámbrica es un sistema de comunicaciones que ha ganado la confianza de un gran número de usuarios por el hecho de liberarles de las limitaciones de conexasión por cable y por su flexibilidad a la hora de implementarlo como una extensión o como alternativa de una red por cable.

Además de minimizar la necesidad de conexiones por cable, la utilización del espectro electromagnético combina la comunicación de datos con la movilidad de los usuarios con acceso a la información en tiempo real. Esta movilidad soporta productividad y oportunidades de servicio imposibles con redes cableadas.

La popularidad de la tecnología inalámbrica ha llegado a tocar las puertas de un gran número de clientes y mercados como es el caso de universidades, hospitales, ayuntamientos, empresas, etc, por la productividad generada con la utilización de equipos móviles para la comunicación en tiempo real entre los agentes desplazados y los servidores centrales de procesamiento.

Actualmente. existe una variedad en las aplicaciones de las redes inalámbricas de las cuales su implantación en monumentos históricos de difícil acceso para la instalación de cableado, la flexibilidad total a los cambios de topologías de red, redes de área local para zonas rurales o

para casos de emergencia, la movilidad de los usuarios en hospitales y empresas, la creación de grupos de trabajo y reuniones de duraciones limitadas y la interconexión de diferentes sedes industriales en condiciones ambientales severas.

Las redes inalámbricas están diseñadas para operar en rangos de frecuencia de carácter libre, lo que da lugar a unos costos de uso mucho menores que las redes basadas en sistemas celulares. El uso de un espacio de frecuencias de carácter libre también supone un aumento en los posibles riesgos de seguridad de la red y la aparición de interferencias.

La inversión inicial requerida para el hardware de una WLAN puede ser más alta que el coste de equipamientos de una LAN cableada, pero si se plantea un estudio a largo plazo, los beneficios son más altos ante entornos dinámicos que requieran flexibilidad a cambios frecuentes y escalabilidad reflejada en los sistemas WLANs. Éstos pueden ser configurados en una variedad de topologías fácilmente cambiadas desde redes punto a punto adecuadas para un pequeño número de usuarios, a redes de infraestructuras enteras de miles de usuarios que permiten Roaming sobre una amplia área.

2.1 Estándares IEEE:

El organismo de estandarización IEEE ayudó demasiado al desarrollo de una variedad de familias de especificaciones de muchos estándares para comunicaciones inalámbricas. En este estudio se abordará el estudio de las dos tecnologías utilizadas en el proyecto, IEEE-802.11 (WiFi) y IEEE-802.16 (WiMax).

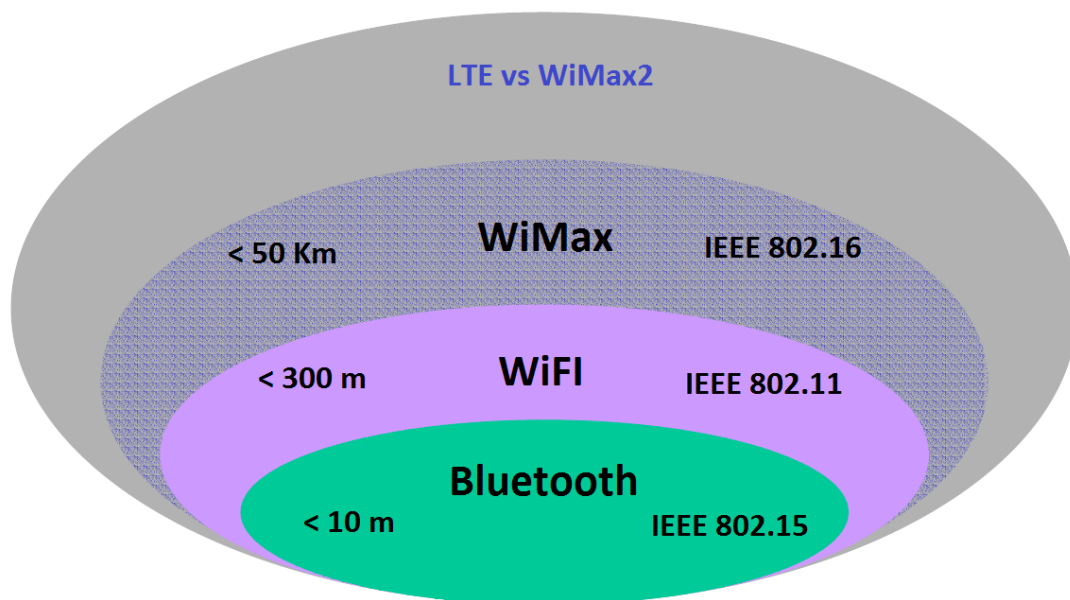


Figura 2 – 2.1 – Estándares inalámbricos del IEEE

Actualmente las redes inalámbricas están trabajando con tres estándares, Bluetooth (802.15 con alcance máximo de 10 metros) el segundo es WiFi (802.11 que llega a alcanzar los 300 metros) y el WiMax (IEEE 802.16 que puede alcanzar más de 50 Km).

Las nuevas tecnologías 4G, LTE (Long Term Evolution) y WiMax2, están intentando conquistar el mercado de las redes con velocidades de 100 Mbps (LTE) y hasta 120 Mbps (WiMax2) que hasta hace años eran imaginarias. En la Figura 3 se muestra algunos de los operadores que implantan soluciones WiMAX



<http://redeswimax.jimdo.com/wimax>

Figura 3 – 2.1 – Algunos operadores que implantan soluciones WiMAX

2.2 WiFi

Es la tecnología más conocida, basada en el estándar 802.11 del organismo IEEE, que ha conquistado el mercado desde el primer momento de aprobación de la especificación 802.11-b en 1999. La Figura 4 muestra el logo de las marcas comerciales WiFi:



Figura 4 – 2.2 – Marcas comerciales de WiFi

A continuación se analizan con más detalle las especificaciones más usadas hasta actualidad.

2.2.1 IEEE - 802.11a

Estandarizado por el IEEE en julio de 1999 pero no llega a comercializarse hasta mediados del 2002, alcanzando 54Mbps en la banda de 5 GHz denominada UNII (Infraestructura de Información Nacional sin Licencia) con modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que ayuda a minimizar las interferencias y aumenta el número de canales sin solapamiento. Una desventaja es que limita el radio de alcance a 50 m debido a un mayor índice de absorción, lo que

implica instalar más puntos de acceso para cubrir la misma superficie que si se utilizase 802.11b.

Esta norma no es compatible con los productos de 802.11b, ya que no utilizan el mismo rango de frecuencias.

2.2.2 IEEE - 802.11b

Es el estándar principal de redes inalámbricas aprobado por IEEE en septiembre 1999 y conocido como WiFi. Empleando una modulación DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), alcanza una velocidad de 11 Mbps operando dentro de la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) 2,4 GHz que tampoco necesita licencia. Con una potencia máxima de 100 mW puede soportar hasta 32 usuarios por AP (Punto de Acceso).

Además de presentar los inconvenientes de 802.11a, como es la falta de QoS, se plantean varios inconvenientes a la hora de trabajar en la banda 2,4 GHz, debido a que presenta varias fuentes de interferencias debidas al uso de la misma banda por varios equipos electrónicos (teclados y ratones inalámbricos, teléfonos, etc).

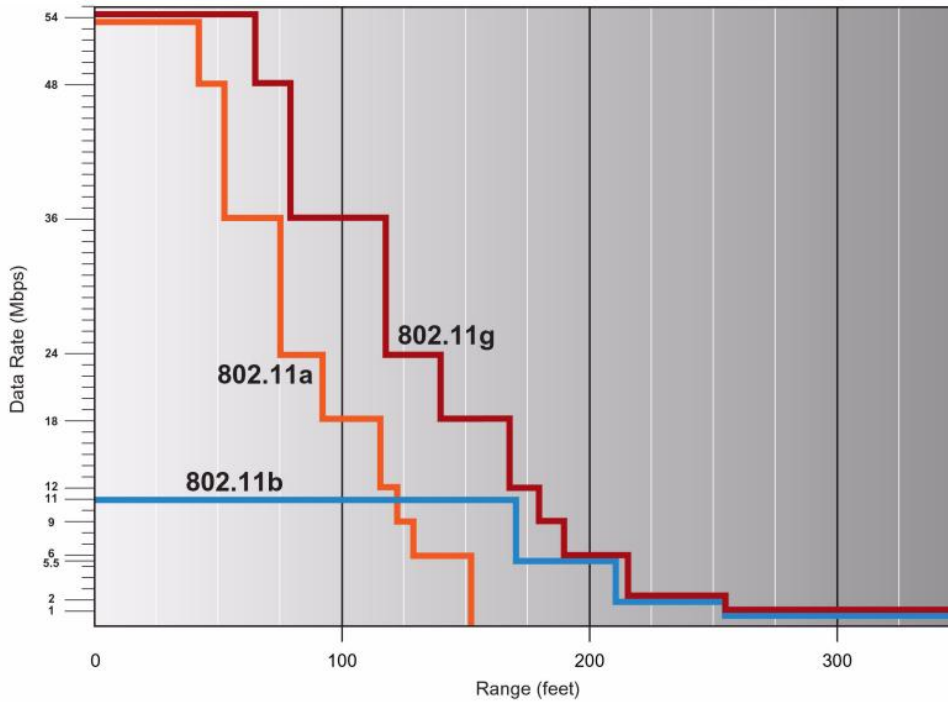
Al contrario que la especificación anterior, 802.11b ha ganado la aceptación en el mercado a pesar de sus desventajas. Esto se debe a su coste bajo, su velocidad aceptable y la compatibilidad ganada al ser certificado por la WiFi Alliance.

2.2.3 IEEE - 802.11g

Compatible con los productos 802.11b y utilizando la misma frecuencia de trabajo, puede alcanzar velocidades de hasta 54 Mbps soportando modulaciones DSSS y OFDM, consiguiendo las mismas características de propagación que el estándar 802.11b y manteniendo la fiabilidad de transmisión con la reducción de la tasa de transmisión.

Los equipos que adoptan la especificación 802.11g llegaron al mercado antes de la publicación oficial del estándar. Esto se debió en parte a que los equipos ya fabricados para el estándar 802.11b se podrían adaptar para trabajar sobre el nuevo 802.11g. A partir del año 2005, la mayoría de los equipos comercializados en el mercado de redes inalámbricas siguen la revisión 802.11g aportando una compatibilidad hacia 802.11b.

A continuación, en la Figura 5 se muestran las tasas de transmisión de las 802.11a, b y g a diferentes rangos (en pies):



Broadcom-White Paper iEEE802.11g-The new Mainstream Wireless LAN Standard

Figura 5 – 2.2 – Relación alcance-velocidad de las normas IEEE 802.11

Se puede observar que las señales propagantes en la banda de 5 GHz (802.11a) tienen peores características con respecto al rango de cobertura, es más limitado que en las especificaciones b y g del estándar 802.11.

En la Tabla 1 se muestra un resumen de lo visto hasta ahora:

Estándar	Banda de trabajo (GHz)	Modulación	Alcance (m)	Velocidad Máxima (Mbps)	Canales sin solapamiento
802.11 a	5	OFDM	50	54	12
802.11 b	2.4	DSSS	100	11	3
802.11 g	2.4	OFDM	100	54	3

Tabla 1 – 2.2 – Especificaciones técnicas de estándares 802.11

2.2.4 ESS Red mallada IEEE - 802.11s

También conocidas como redes Mesh, 802.11s, es la especificación desarrollada por el IEEE Task Group (TGs) para redes WiFi malladas. Una topología de red donde cada nodo está conectado a uno o a varios nodos dando lugar a diferentes caminos para transmitir la información de un nodo para otro.

Para satisfacer las necesidades de comunicación de los ayuntamientos y los servicios de emergencia, ha surgido la idea de implantar estos sistemas económicos de redes WiFi Mesh, lo cual ha tenido mucha demanda en los últimos años como es el caso del proyecto que estamos desarrollando en el que tenemos una parte donde se construye la red mallada WiFi de un parque.

La autoconfiguración de rutas entre puntos de acceso mediante WDS (Wireless Distribution System) del estándar 802.11s ha tenido una mayor demanda en redes WLAN. Para conseguir este hito se ha modificado la especificación BSS (Basic Service Set) por ESS (Extended Service Set).

El 802.11s ha ganado todas las mejoras de las especificaciones anteriores (802.11e, i y n) que responden a las necesidades de una alta tasa binaria (802.11n), QoS (Calidad de servicio en la especificación 802.11e) y sobretodo en temas de seguridad (802.11i).

2.2.5 IEEE - 802.11n

Los cambios en el formato de trama, MIMO (Multiple Input – Multiple Output) han sido los cambios más relevantes de este nuevo estándar implantado por el grupo TGn incrementando la velocidad de transmisión entre equipos WiFi hasta 600 Mbps.

2.2.5.1 MIMO

Con el objetivo de incrementar la relación señal-ruido (SNR), MIMO (Multiple-input multiple-output), el estándar 802.11n usa una técnica llamada transmit beamforming, que permite coordinar la señal enviada por el transmisor. El transmisor dispone de más de una antena de transmisión, el objetivo de esta técnica es mejorar de forma sustancial la señal recibida por el receptor, tal y como se muestra en la Figura 6:

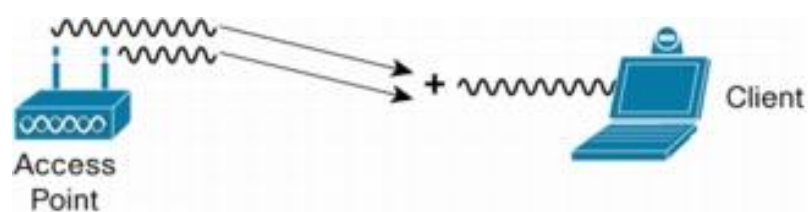


Figura 6 – 2.2 – Transmit beamforming (Interferencia constructiva)

El transmit beamforming es muy práctico cuando se transmite a un sólo receptor, pero no se usa para transmisiones multicast o de difusión porque no es posible optimizar la fase de la señal transmitida.

2.2.5.2 Mejoras de radio

El 802.11n incluye unas mejoras en el uso del entorno radio con el fin de mejorar el caudal neto de la WLAN. Los cambios más importantes son: el incremento del ancho del canal, el aumento en la velocidad de la modulación y la reducción de las cabeceras.

A continuación se detallan estas mejoras.

- **Incremento del canal de transmisión:** A diferencia del estándar 802.11b que usa un canal con un ancho de banda de 22MHz, y los estándares 802.11a/g de 20MHz, el 802.11n usa canales con un ancho de banda de 20MHz y 40MHz. Un canal de 40MHz está formado por dos canales de 20MHz adyacentes. La idea de este solapamiento es aprovechar el ancho de banda de las cabeceras de inicio del canal y las cabeceras de la cola del canal para enviar datos. Al unir dos canales adyacentes la cola del primer canal (que se usa para reducir la interferencia entre canales adyacentes) y la cabecera del segundo canal ya no tienen ninguna utilidad y el ancho de banda que ocupan pasa a ser usado para la transmisión de datos. Al sumarlos se obtiene un canal de 40MHz., tal como lo muestra la Figura 7:

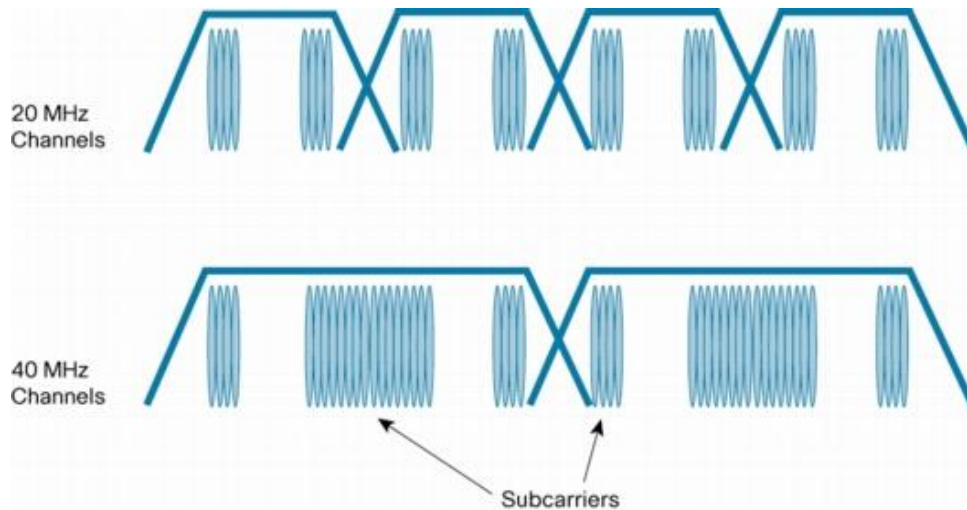


Figura 7 – 2.2 – Canales de 20MHz y 40MHz de ancho de banda

- Alta tasa de modulación:** El estándar 802.11n usa la modulación OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing) al igual que 802.11a/g de 4 símbolos por microsegundo. OFDM divide un canal de transmisión en varios subcanales, cada subcanal tiene su propia subportadora y cada subportadora puede transportar información independientemente de las otras portadoras. El aumento del ancho de banda de los canales de 802.11n a 40MHz proporciona más portadoras y esto se traduce en un aumento de la velocidad de transmisión que puede alcanzar hasta los 600Mbps.
- Reducción de cabeceras (intervalo de guarda):** El intervalo de guarda es un periodo de tiempo usado para minimizar la interferencia entre símbolos. Este tipo de interferencia se debe a las señales con multitrayectoria, cuando el nuevo símbolo llega antes de que haya finalizado la recepción del símbolo que le precede. El 802.11a/g tienen un intervalo de guarda de 800

nanosegundos, lo cual permite una diferencia de trayectorias de 245 metros. El 802.11n en su modo por defecto, también usa un intervalo de guarda de 800 nanosegundos, pero también puede utilizar un intervalo de guarda de 400 nanosegundos, esto se traduce en una reducción del tiempo de transmisión de un símbolo que pasa de ser de 4 a 3.6 microsegundos, lo que produce un aumento de la tasa de transferencia.

2.2.5.3 Mejoras en la MAC

Cada fragmento transmitido en un equipo 802.11 tiene un campo de cabecera fijo que le asocia el preámbulo radio y el campo de MAC, esto reduce el caudal efectivo. La Figura 8 muestra dicha cabecera:

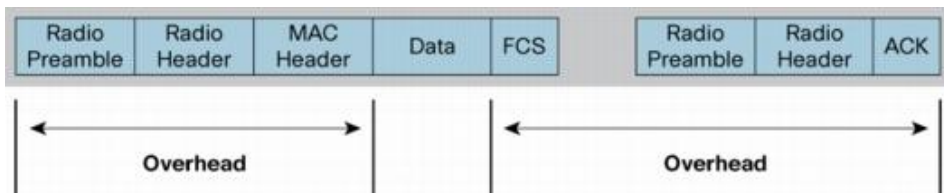


Figura 8 – 2.2 – Cabecera de la trama 802.11

Para reducir esta cabecera, 802.11n introduce lo que se llama Frame Aggregation. Consiste en el envío de dos o más fragmentos en una sola transmisión como se muestra en la Figura 9:



Figura 9 – 2.2 – Frame aggregation

El estándar 802.11n define dos métodos de frame aggregation: Mac Service Data Unit (MSDU) aggregation y Message Protocol Data Unit (MPDU) aggregation. Con esta técnica, el tamaño de la trama aumenta de 4KB a 64KB y el número de colisiones se ve reducido de forma drástica. La limitación que tiene esta técnica es que las tramas agregadas en la transmisión tienen que tener el mismo destino.

A continuación se incluye un pequeño resumen de todas las especificaciones de todos Task Group:

802.11a	Operando en 5 GHz ISM band con data rate de más de 54 Mbps
802.11b	Operando en 2.4 GHz ISM band con data rate de más de 11 Mbps
802.11e	QoS y Prioridades
802.11f	Handover
802.11g	Operando en 2.4 GHz ISM band con data rate de más de 54 Mbps
802.11h	Control de potencia
802.11i	Autenticación y encriptación
802.11j	Interworking
802.11k	Informe de medidas
802.11n	Operando en 2.4 and 5 GHz ISM bands con data rate de más de 600 Mbps
802.11s	Redes Mesh
802.11ac	Operando en 6GHz con un máximo data rate de 1Gbps Para operaciones multi-estación y 500 Mbps para un único enlace
802.11ad	Muy alto throughput a frecuencias mayores de 60GHz
802.11af	Wi-Fi en el espectro TV, white spaces (se suele llamar White-Fi)

Tabla 2 – 2.2 – Estándares IEEE-802.11

2.3 WiMax:

2.3.1 Propósito general

El estándar IEEE 802.16, también llamado WiMax fijo, fue diseñado especialmente para proveer acceso de banda ancha con rendimientos similares a una conexión DSL. Con el objetivo de dar cobertura y rendimiento en terrenos complicados, el uso de las arquitecturas de tipo mallado parecía bastante deseable. Por ello, desde el principio se incorporó en el estándar un modo Mesh en el que, al contrario que en las redes celulares tradicionales, los nodos podían operar sin tener conexión directa con la estación base. Pero se trata más bien de una serie de recomendaciones que se han quedado obsoletas, y prueba de ello es que, pese al gran número de implantaciones de WiMAX basadas en 802.16d, son raros los casos en los que se han realizado configuraciones de tipo mallado.

2.3.2 Características principales

WiMax está basado en la modulación OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales), muy efectiva a la hora de transmitir datos sobre canales con ancho de banda superior a 5MHz. Por debajo de ese ancho de banda, los actuales sistemas 3G basados en CDMA (Code division multiple access) son comparables en cuanto a rendimiento, pero a medida que aumentamos el ancho de banda, estos

sufren demasiadas pérdidas a causa de la interferencia entre símbolos, y es ahí donde OFDM marca la diferencia.

OFDM está basado en la transformada de Fourier, por el cual se habilitan 52 canales que se pueden solapar sin perder sus características individuales (Ortogonalidad). Esta es una forma óptima de aprovechar el espectro y, a su vez, permite que los canales se puedan procesar y recibir más eficientemente.

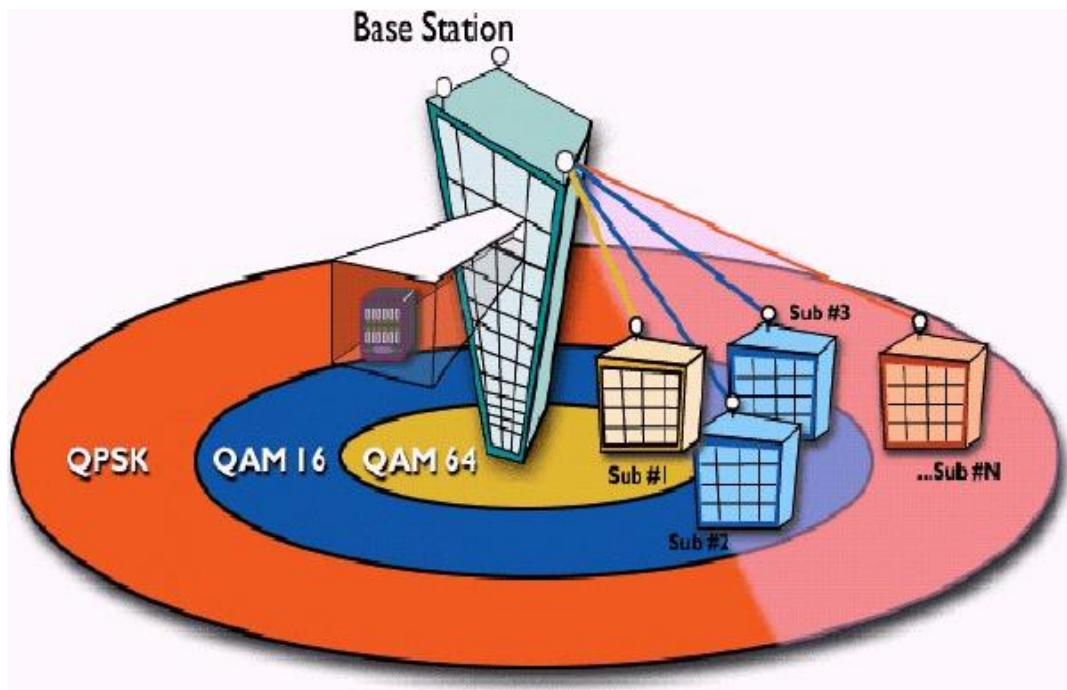
OFDM es una modulación que consiste en enviar la información modulando en QAM (Quadrature Amplitude Modulation) o PSK (Phase Shift Keying) un conjunto de portadoras de diferentes frecuencias.

OFDM está bastante extendido en las comunicaciones inalámbricas gracias a su resistencia a las interferencias y a las degradaciones de señal. Esto se consigue debido a que las frecuencias, siendo ortogonales entre ellas, eliminan (teóricamente) las interferencias entre canales. Por ello, usando OFDM se consigue alcanzar y asegurar una distancia mayor con menos interferencias.

2.3.2.1 Alta tasa de transferencia

El estándar 802.16d incluye técnicas MIMO (Multiple Input Multiple Output) junto con esquemas flexibles de sub-portadoras, codificación avanzada y modulación de hasta 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation). De esta manera, la celda se divide en tres áreas

concéntricas con diferente modulación en función de la distancia a la estación base, proporcionando modulaciones más agresivas a los clientes más cercanos, que tendrán mejor relación señal ruido, y modulaciones más robustas para los más alejados. Como se puede ver en el gráfico de la Figura 10, los clientes más cercanos trabajarán con modulación 64QAM, los siguientes con 16QAM, y los más alejados QPSK.



<http://dc218.4shared.com/doc/9TAQB9qs/preview.html>

Figura 10 – 2.3 – Modulación adaptativa

2.3.2.2 Radio de la celda

Esta especificación del estándar permitirá trabajar sin línea de visión con radios de celda de 5 hasta 10 km, y con línea de visión alcanzando los 50 Kilómetros.

2.3.2.3 Escalabilidad

La tecnología WiMax, como está diseñada para poder trabajar con diferentes anchos de banda, desde 1.25 hasta 20 MHz, puede cumplir con la gran variedad de requerimientos espectrales existentes. Esto también permite dar un servicio más adaptado a la economía y a las necesidades de cada región, ya sea proveer de Internet en zonas rurales o dar servicio de banda ancha móvil en zonas urbanas.

2.3.2.4 Seguridad

El estándar 802.16d soporta gran cantidad de sistemas de seguridad, por ejemplo: tarjetas SIM (Subscriber Identity Module)/USIM (Universal Subscriber Identity Module), tarjetas inteligentes, certificados digitales o esquemas de tipo usuario/contraseña. Sin embargo, pese a ser una tecnología bastante segura, presenta un problema importante, la falta de autenticación mutua entre la estación base y el usuario.

2.3.2.5 Calidad de servicio (QoS)

Una de las premisas fundamentales de la arquitectura MAC de la familia de estándares 802.16 es la QoS. Se definen diferentes flujos de servicio, que permiten variar la calidad de servicio extremo a extremo. Además, los esquemas de sub-canales suponen un mecanismo flexible para un reparto óptimo de los recursos de frecuencia, espacio y tiempo.

Capítulo 3

Diseño de la solución

3. Diseño de la solución

El Ayuntamiento se alinea con las demandas de los ciudadanos a los que sirve y está inmerso en un proceso de modernización de su administración. En coordinación con el denominado Plan Avanza y Ciudades Digitales, tiene entre sus objetivos conseguir la adecuada utilización de las tecnologías de información y las comunicaciones (TIC) para contribuir al éxito de un modelo de crecimiento económico basado en el incremento de la competitividad y la productividad, la promoción de la igualdad social y regional, y la mejora del bienestar y la calidad de vida de los ciudadanos.

De acuerdo con todo lo expuesto, el Ayuntamiento está abordando un proceso de reforma con fin último de optimizar sus recursos sirviendo mejor al ciudadano.

Para llevar a cabo esta reforma, el Ayuntamiento, pretende dotar de la infraestructura de comunicaciones adecuada entre sus edificios como base de la futura e-administración. Además de esta infraestructura de comunicaciones, la cual se basa en la interconexión de 6 edificios públicos entre sí, se pretende dotar conexión a la red para los ciudadanos, en lugares públicos, como parques y polideportivos.

Esta red de comunicaciones del Ayuntamiento, tiene como misión futura, la tramitación de expedientes de forma electrónica y su implantación en la Administración Pública para conseguir objetivos como:

- ✓ Flexibilidad, capacidad de respuesta y eficiencia en la administración local.
- ✓ Disponer de un sistema de información integrado y homogéneo que dé soporte al conjunto de procesos, integrando la información de otros sistemas de gestión existentes o futuros.
- ✓ Avanzar hacia la eliminación del soporte papel a través de la gestión integral de expedientes electrónicos, generando de esta forma valor añadido para la organización.

La solución de la arquitectura de red que se presenta a continuación está basada en el análisis del tamaño de la red, que la plataforma debe soportar, en función del volumen de tráfico y el número de usuarios, que se estima en 25000 usuarios, ofreciendo una plataforma de comunicaciones escalable y de fácil adaptación a cualquier cambio o crecimiento futuro de la red.

La topología de la red que se muestra en la Figura 11 ofrece una capacidad de emular una red única con todos los usuarios conectados entre sí mediante la plataforma que ofrece la solución, la cual permite conectar las sedes remotas que están distanciadas de hasta 1 Kilómetro.

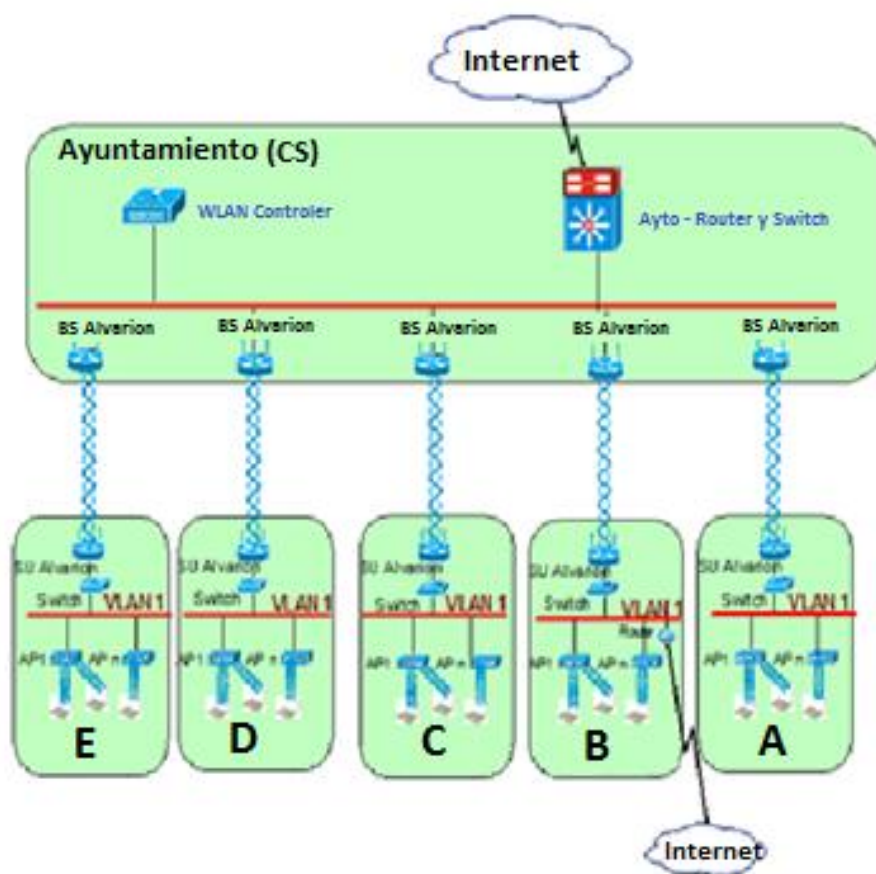


Figura 11 – 3 – Topología de la red

Para poder lograr buenos resultados de diseño y ejecución de la solución habrá que seguir los siguientes puntos clave:

- Estudio previo del proyecto, reunión inicial con el cliente
- Estudio práctico visitando los edificios del ayuntamiento
- Diseño de la solución
- Planificar la configuración de los equipos y su instalación
- Puesta en marcha de la solución
- Plan de mantenimiento y de formación
- Reunión de cierre del proyecto

A continuación se desarrollará en dos grandes partes la solución planteada, primero se abordará el estudio de un ejemplo de la plataforma de red inalámbrica WiFi en cada edificio para pasar en la segunda fase al estudio de la solución WiMax elegida para la interconexión de las sedes de forma remota.

3.1 La Red WiFi

3.1.1 Topología de Red

Los controladores deben de estar conectados en alta disponibilidad a los equipos de distribución de la red del Ayuntamiento, mientras que los puntos de acceso lo estarán a los equipos de acceso que dan servicio a las plantas. El mapa topológico físico de la parte inalámbrica es el mostrado en la Figura 12:

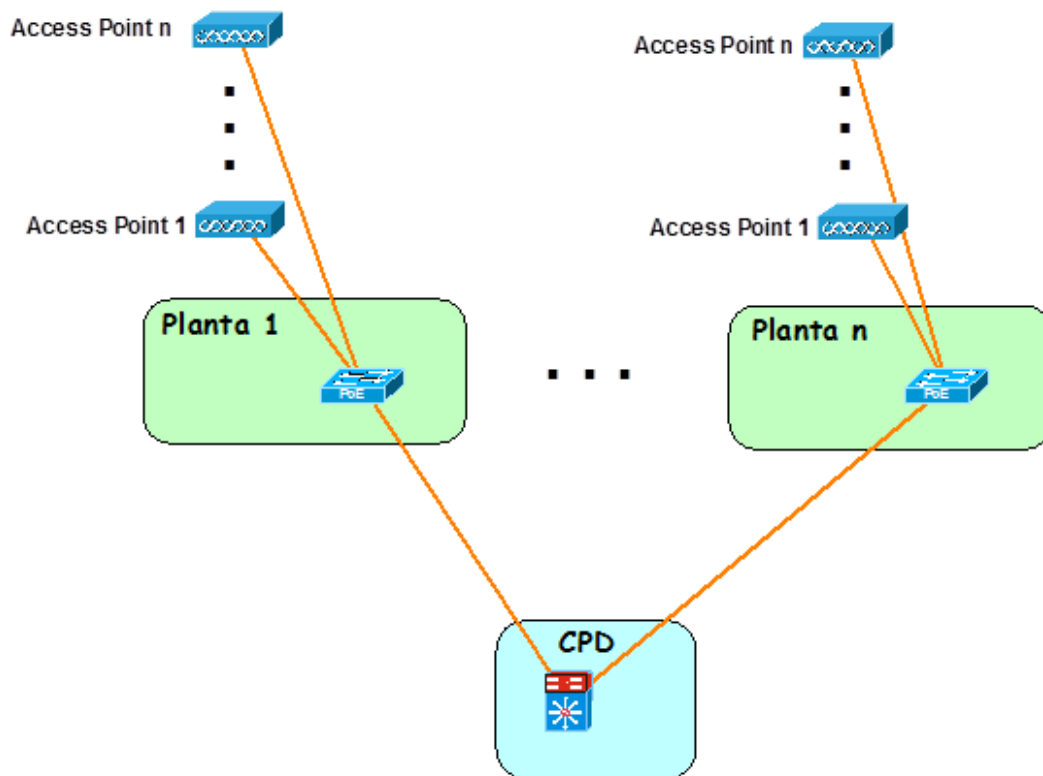


Figura 12 – 3.1 – Arquitectura WiFi

El proceso de asociación es el siguiente:

Los puntos de acceso propagarán los SSIDs (Service Set Identifier) de las WLANs específicas. Los clientes wireless seleccionarán a que red se quieren conectar utilizando la WLAN local para poder llegar al SSID deseado. Los puntos de acceso responderán al cliente con el SSID correspondiente con la siguiente información:

- Data-Rates (Tasas de transferencia) soportados por la WLAN. Los clientes se conectarán teniendo en cuenta la velocidad de transmisión de datos.
- Requisitos de cliente para la WLAN. Por ejemplo encriptación TKIP (Temporal Key Integrity Protocol).

Durante el intercambio de autenticación, el cliente y el controlador negocian el Data-Rate, el método de autenticación y otras opciones.

En un dominio de movilidad, un cliente móvil es un cliente inalámbrico que puede cambiar su punto de vinculación de una red a otra dentro del dominio. Un cliente recibe una dirección IP en una red, el cliente puede irse en cualquier momento de su red de origen y desplazarse a otra red dentro del dominio de movilidad.

3.1.2 Cobertura de Radio

El replanteo WiFi de cada edificio se realizará según las siguientes premisas:

- Dar cobertura a todo el Edificio.
- La cobertura deberá poder soportar servicios de Datos a los clientes WiFi asociados. Para ello siempre deberá estar por encima de los 10-15 dB de relación señal a ruido.

Con el replanteo se logrará dar en cualquier punto una velocidad de 54 Mbps conectado a 802.11b/g. Lo que permite un uso funcional de la red inalámbrica.

El informe de replanteo, con la localización de los puntos de acceso, se desarrollará en el apartado 3.1.8.

3.1.3 Equipamiento elegido

Se han usado dos controladores inalámbricos modelo AIR-WLC4402, mostrado en la Figura 13, uno de los controladores está activo y el segundo es de reserva para asegurar la redundancia. Estos dispositivos proporcionan servicios para usuarios wireless en una misma plataforma y permiten la gestión del dominio RF, seguridad y movilidad en entornos empresariales con movilidad.



Figura 13 – 3.1 – Controlador LAN Cisco 4400 Series

El sistema propuesto se apoya en una división lógica de las funciones propias de los protocolos 802.11 entre los controladores y los puntos de acceso. Así, estos controladores concentran las funcionalidades relativas a la autenticación y asociación de los usuarios, así como a la conversión de tramas y la conmutación de las mismas.

En el controlador se ha situado la aplicación informática Radio Resource Management (RRM), que actúa como un ingeniero de radiofrecuencia (RF) para proporcionar constantemente la gestión en tiempo real de la RF de la red inalámbrica. RRM monitoriza

continuamente la siguiente información proveniente de los puntos de acceso ligeros que tenga asociados:

- Carga de tráfico, el ancho de banda total usado para transmitir y recibir tráfico.
- Interferencia, la cantidad de tráfico que viene de otras fuentes 802.11.
- Ruido, la cantidad de tráfico no-802.11 que está interfiriendo con el canal asignado actualmente.
- Cobertura, la potencia de la señal recibida (RSSI) y la SNR para todos los clientes conectados.

Usando esta información, RRM reconfigura periódicamente la radio frecuencia usada, si es necesario, con el objeto de mejorar la eficiencia de la red inalámbrica. RRM detecta automáticamente y configura las funciones:

- Monitorización de los recursos de radio
- Asignación dinámica del canal
- Control de la potencia de transmisión
- Detección y corrección de las sombras de cobertura
- Equilibrado de la carga de los clientes en la red

Los controladores se ubican en el ayuntamiento. Respecto a los puntos de acceso, se han utilizado dos modelos diferentes de puntos de acceso, ambos de la familia Aironet de Cisco, el modelo 1131AG con

antena integrada diseñado para interiores de edificios y el modelo 1522AG con antenas externas. Ambos modelos soportan en modo ligero el protocolo LWAPP, que es el que se utiliza para la comunicación con los controladores. Los dos modelos de puntos de acceso están conectados a los conmutadores de acceso de las sedes.

Para los puntos de acceso en malla (que se usan en el parque municipal) es requisito indispensable tener un punto de alimentación cercano, ya sea a través de las farolas del parque, o mediante un enchufe directo.

3.1.4 Estudio de cobertura

El estudio de cobertura se ha realizado en cada una de las sedes para utilizar sólo los puntos de acceso necesarios para asegurar la cobertura en todas las zonas de las mismas. Este estudio de cobertura se realiza con la aplicación informática EKAHAU Site Survey 2.1, con un punto de acceso CISCO 1130, y una tarjeta de red WiFi de Cisco 802.11 a/b/g Wireless Cardbus Adapter.

Con el estudio de cobertura se ha pretendido:

- Identificar los obstáculos para identificar el nivel de potencia de radio-frecuencia necesario.
- Inspeccionar visualmente las instalaciones para buscar los obstáculos potenciales a la señal de RF: armarios, muros, etc.
- Identificar las áreas muy utilizadas por los usuarios. Para poder dar un ancho de banda adecuado.
- Determinar la ubicación de los puntos de acceso

Para ello se han medido los siguientes parámetros:

- ✓ Potencia de la señal en dBm.
- ✓ Relación señal a Ruido.
- Especificaciones Técnicas

- ✓ Cobertura: Cobertura total para Datos en los edificios medidos. No se contempla cobertura en zona de baños, escaleras y ascensores.

- ✓ Muestreo: Las muestras se van a realizar para dar servicio de datos, por lo que se han definido unos requisitos mínimos en cuanto a calidad de señal, ancho de banda etc.
 - ❖ Relación Señal Ruido: SNR superior a 10 - 15 dBm

 - ❖ Data Rate: 54Mbps

 - ❖ Estándar: 802.11b/g

3.1.5 Procedimiento del estudio de cobertura

El siguiente apartado pretende describir el procedimiento y técnicas empleados para realizar este estudio de cobertura

3.1.5.1 Herramientas utilizadas para el estudio

3.1.5.1.1 Hardware

Puntos de Acceso Cisco Aironet 1130	Cliente Cisco 802.11 a/b/g Wireless Cardbus Adapter
<div data-bbox="383 907 630 1097" data-label="Image"> </div> <p>Estándares: 802.11 a,b,g.</p> <p>Velocidades: 11Mbps en .11b 54Mbps en .11a y g</p> <p>Alimentación: Inline Power (vía UTP) o bien con fuente externa. Solo para interiores.</p> <p>Antenas internas: 2.4GHz - 3dBi</p>	<div data-bbox="957 896 1204 1086" data-label="Image"> </div> <p>Estándares: IEEE 802.11a/b/g</p> <p>Velocidades: 1, 2, 5.5, 6, 9, 11 Mbps 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps</p> <p>Antenas : Antena dual de 2,4 – 5 Ghz. Ganancia efectiva 1dBi</p>

Tabla 3 – 3.1– Equipamiento para el studio de cobertura



Figura 14 – 3.1– Analizador de espectros

El analizador de espectros nos da la información sobre el nivel de saturación del espectro, interferencias y canales ocupados en el medio de medidas.

3.1.5.1.2 Software:



Figura 15 – 3.1– EKAHU Site Survey 2.1, Build 381

Ekahau es el único software que hay en el mercado basado en tiempo real para sistemas de localización. Se basa en la calibración de la fuerza de señal y las huellas digitales que emiten las radiobalizas de la red Wireless. Funciona tanto en interior como en exterior siempre que haya cobertura Wireless.

Se trata de un sistema que es compatible tanto con los dispositivos pasivos de Ekahau: etiquetas o Tags T201, como con dispositivos activos: ordenadores portátiles, PDA's o cualquier elemento tecnológico con conectividad Wireless. Goza de una precisión de hasta 1 metro en las mejores condiciones de la red y del estado de los APs, lo que permite localizar muchos dispositivos a la vez y sobre el mismo mapa de situación, ya sean estos dispositivos activos o pasivos. La información de posición incluye las coordenadas x, y, el edificio, el piso, la habitación y la zona y funciona sobre cualquier estándar 802.11.

Para empezar a usar este sistema, además de la red Wireless necesitamos que el dispositivo del cliente tenga instalado el software Ekahau Client y un entrenamiento para calibrar los mapas del área de localización.

Ekahau utiliza el método del vector de potencia para calcular la posición del usuario a partir de la potencia de los APs. La fase de entrenamiento de los dispositivos se realiza midiendo las señales que se reciben de los APs en puntos de calibración y el cálculo de los vectores de posición se realiza de manera distinta según si el dispositivo es activo (PDA, ordenador) o pasivo (tags).

En la fase de estimación, para cada punto de la localización se compara la intensidad de señal que emiten los APs con la base de datos

creada en la fase de entrenamiento y así determinar la posición del usuario.

Los elementos que conforman el sistema Ekahau son:

- EPE (Ekahau Positioning Engine): Es el software de Ekahau que se utiliza como Centro de Control y es el que se encarga de hacer de plataforma de localización, es decir, desde donde se calcula y controla la posición de todos los dispositivos clientes de Ekahau.
- Los Access Points en el área de localización: Permiten enviar la información de la red cableada hacia los clientes. En este sistema hay una condición para poder realizar la localización, como mínimo tres de los APs tienen que ser de nuestra red.
- Ekahau Client: Es el software que se debe instalar en el dispositivo del cliente (PDA, Tag, portátil...). Tiene que estar dotado de una tarjeta de red que incluya un transceptor radio y una antena, para poder ser localizado.

Para calcular la posición Ekahau, se usa la técnica del WiFi Mapping o Vector de Potencia además de una heurística de movimiento para mejorar la precisión del sistema. Por eso la fase de entrenamiento es la base para la localización del dispositivo. Para el cálculo de la posición en los dispositivos activos hay que instalar el software de

Ekahau Client, ya que este software se encarga de medir las señales que provienen y se envían a los APs y crear el vector de potencias.

3.1.6 Método de despliegue de puntos de acceso

Con el estudio de cobertura se pretende lo siguiente:

- Identificar los obstáculos para identificar el nivel de potencia de Radio Frecuencia.
- Inspeccionar visualmente las instalaciones para buscar obstáculos potenciales de la señal RF: armarios, muros, etc.
- Identificar áreas muy utilizadas por el usuario. Para poder dar un ancho de banda adecuado.
- Determinar la ubicación de los puntos de acceso

Para realizar el despliegue de los puntos de acceso en las plantas se realiza lo siguiente:

- Se coloca el punto de acceso dentro de la zona que debe tener cobertura WiFi, teniendo en cuenta el área a la que se debe dar servicio. Con esa medida se determina la primera zona cubierta con la relación señal ruido que sea necesaria para el tipo de tráfico de la red, en el caso tratado en el presente trabajo, al tratarse de una red para servicio de datos, la relación señal a ruido mínima estará en torno a 10-15 dB.
- Se realizaran las medidas necesarias para cubrir la zona.

Es muy importante la exactitud de estas medidas, ya que si no se hace correctamente, el número de puntos de acceso para cubrir toda la zona aumentará, incrementando los costes de la solución definitiva, o no cubrirá la zona de forma adecuada, repercutiendo en el rendimiento de la solución final.

Dentro de un compromiso entre coste y rendimiento, es deseable que exista un cierto grado de solapamiento entre las zonas de influencia de los diferentes puntos de acceso, de tal forma que si un punto falla el cliente tenga otra fuente disponible a la que poder conectarse.

En las instalaciones medidas se han tenido en cuenta tanto las fuentes de señal RF que actualmente hay instaladas en las zonas en las que existe cobertura, como las fuentes de los equipos de prueba portados por los técnicos.

➤ **Toma de muestras:**

El muestreo se realizará mediante un equipo PC preparado con una interfaz capaz de tomar medidas de calidad de señal RF. En este caso un Cisco 802.11a/b/g Wireless Cardbus Adapter.

Este equipo dispone del software para estudios de cobertura “Ekahau”. Dicho software necesita la carga de planos de planta así como definir la escala de dichos planos para poder mostrar un informe detallado de cobertura, con un mapa en el que, en función de la

temperatura del color, se representan los distintos parámetros medidos a lo largo de la zona de interés. La toma de muestras se realiza en función de la posición del equipo de medida en dicho plano. A mayor número de muestras mejor estimación de las zonas de cobertura.

➤ **Análisis:**

Tras la toma de muestras se estudian los resultados, recolocando, si fuera necesario los puntos de acceso para definir posiciones mejores. Se emplearán métodos de prueba y error, basándose en la experiencia del personal técnico que realiza el estudio. En esta fase se establecen posiciones definitivas y se evalúa la calidad de la señal en el entorno estudiado.

Por último se genera una estimación de los recursos necesarios previo a la fase de implantación (instalación de la red Wireless).

3.1.7 Modelización de propagación en interiores

3.1.7.1 Pérdidas en el espacio libre

Las pérdidas en el espacio libre se deben a la atenuación de la señal radiada desde una fuente isotrópica en el vacío. Para poder definir la propagación de una señal emitida desde una antena isotrópica, ésta transmite una potencia P_t que se extiende de manera uniforme sobre la superficie de una esfera de radio d que determina la distancia de la fuente. La densidad de potencia viene dada por la siguiente ecuación:

$$S_r = \frac{P_t}{4\pi d^2}$$

Si colocamos una antena receptora a una distancia d , la potencia recibida $P_r = S_r A_e$:

$$P_r = \frac{P_t A_e}{4\pi d^2}$$

Donde A_e es el área efectiva de la antena receptora y su relación viene en la siguiente ecuación:

$$A_e = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi}$$

Con G_r la ganancia de la antena receptora y λ es la longitud de onda en metros. Reemplazando:

$$P_r = \frac{P_t G_r \lambda^2}{(4\pi d^2)}$$

Si reemplazamos la fuente isotrópica con una antena transmisora, la ecuación sería:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

Las pérdidas en decibelios serían:

$$P_L(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{G_r G_t \lambda^2}{(4\pi d)^2} \right)$$

Podemos aplicar la última ecuación a una distancia $d = 1$ m y a la frecuencia de trabajo WiFi 801.11 (b/g) 2.4 GHz, $G_t = 3$ dB y $G_r = 1$ dB:

$$P_L = 35,27 \text{ (dB)}$$

Para cualquier otra distancia d_i en donde no tengamos obstáculos:

$$P_L(d_i) = 35,27 + 20 \log(d_i) \text{ [dB]}$$

3.1.7.2 Pérdidas con un único obstáculo

Éste modelo se basa en la propagación en el espacio libre teniendo en cuenta la atenuación de la señal que depende del entorno en el que estamos trabajando:

$$P_L(d) = P_L(d_0) + 10 n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

Donde d_0 representa la distancia del transmisor al obstáculo con n el exponente que representa el entorno de propagación. La Tabla 3 muestra los valores típicos de este escalar:

Entorno de propagación	n
Espacio libre	2
Sistema celular en zona urbana	2.7 a 4
Sistema celular en zona urbana con obstáculos	3 a 5
Edificios con visión directa	1.6 a 1.8
Fabricas con visión directa	1.6 a 2
Planta sin visión directa	2 a 4
Edificio con obstáculos	4 a 6
Fabricas con obstáculos	2 a 3

Tabla 4 – 3.1– Relación entorno de propagación con n

En este estudio vamos a elegir un valor de $n = 3.5$ ya que estamos tratando una planta en el caso de líneas sin visión directa NLOS (con obstáculos)

3.1.8 Estudio práctico de cobertura

3.1.8.1 Ayuntamiento (Sede CS)

3.1.8.1.1 Visita Previa. Análisis de entorno

Suelos y Techos

Hay techo técnico con losetas plásticas disponible, pero no suelo técnico.

Paredes

Se trata de un edificio antiguo, con gruesos muros de carga, pero con paredes de pladur, que no representan un gran obstáculo para la señal de radiofrecuencia, entre las dependencias. Confinamiento alto dentro del edificio, pero aislamiento variable en función del tipo de pared.

Ventanas

En todas las aulas existen ventanas de cristal delgado. Confinamiento medio de señal.

Puertas

Las puertas son todas de madera. Aislamiento bajo de señal.

Mobiliario de oficina

Se trata fundamentalmente de sillas y mesas, que no suponen un obstáculo para la señal de RF.

3.1.8.1.2 Premuestreo

El premuestreo pretende analizar la cantidad de fuentes de posible interferencia encontradas en el entorno, previo a la fase de muestreo. Este premuestreo permite conocer qué canales son los más ocupados y cuáles son más débiles frente a interferencias.

Además permite conocer el nivel de ocupación radio y posibles fuentes o focos de problema previo a la realización de este estudio.

Permite además definir los canales que se van a emplear en la etapa de implantación, siempre de manera orientativa.

3.1.8.1.3 Potencia de Señal (Signal Strength)

El diagrama Signal Strength muestra el mayor valor de potencia normalizada (Received Signal Strength Intensity, RSSI medida en dBm) recibida desde el punto de acceso de pruebas. Este diagrama muestra la cobertura de la red wireless. Permite descubrir zonas especialmente débiles en cobertura. En la Figura 16 se muestra el diagrama de potencia de señal en el edificio del ayuntamiento.

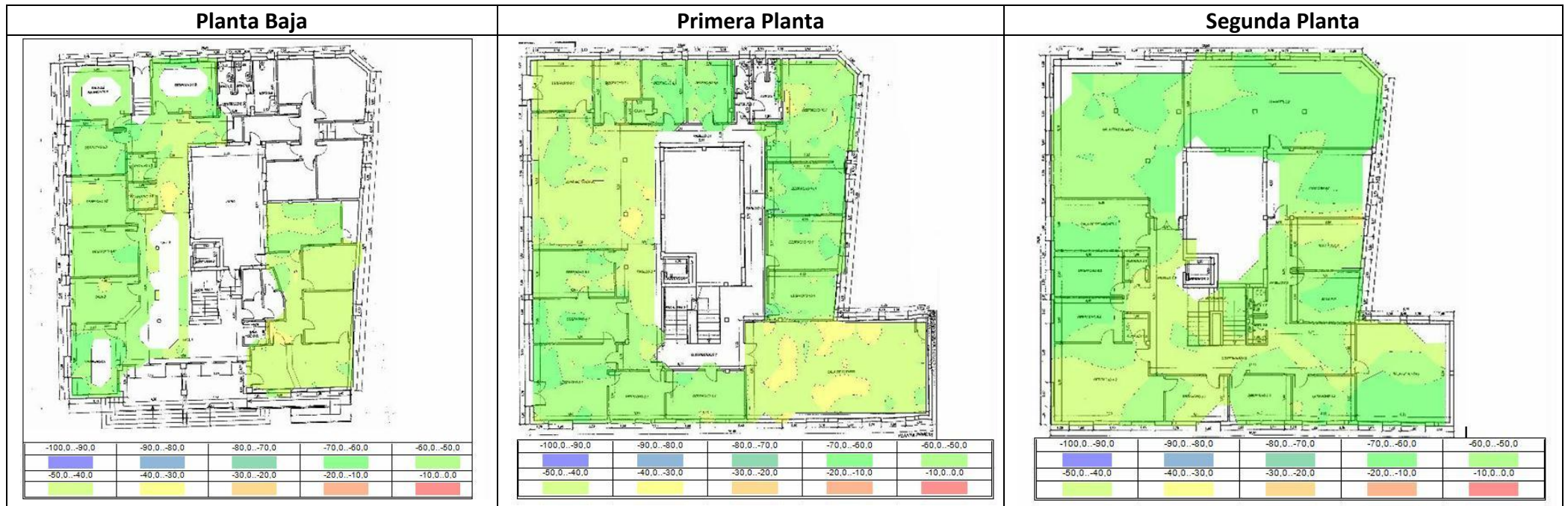


Figura 16 – 3.1 – Potencia de la señal (Plantas Baja, Primera y Segunda)

3.1.8.1.4 Interferencias

Este esquema representa las áreas en las que se han encontrado interferencias. Áreas en las cuales existen otras fuentes Wireless, equipos clientes PC con interfaces configuradas como redes Ad-hoc, u otros puntos de acceso.

El cálculo de este esquema, asume que la principal fuente de señal es la del punto de acceso de prueba al que se ha asociado el PC de recogida de muestras. El resto de señales por tanto, corresponden a fuentes de interferencia.

Se recomienda limpiar o minimizar las zonas de interferencia mediante la deshabilitación de dichas fuentes o reconfiguración de las mismas para operar en canales no solapables Wifi según estándar 802.11 b/g.

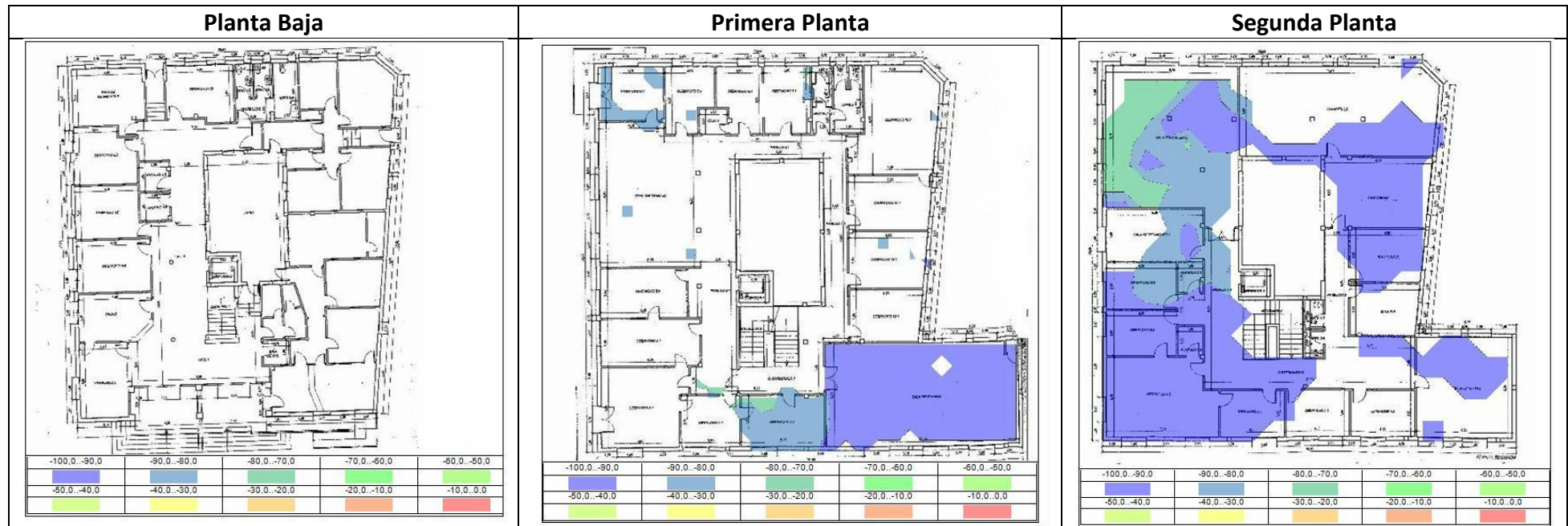


Figura 17 – 3.1 – Interferencias (Plantas Baja, Primera y Segunda)

3.1.8.1.5 Relación señal/ruido (Signal to Noise Ratio)

El esquema SNR muestra la relación entre la potencia de señal Wi-Fi (RSSI) frente a la potencia de ruido o interferencias. En condiciones adecuadas, sin que otros puntos de acceso interfieran por trabajar en canales solapables, el valor de SNR debería ser cercano al valor RSSI. Cuando las interferencias son elevadas, la relación SNR puede alcanzar valores cercanos a cero, imposibilitando la transferencia de datos. La relación SNR se calcula como sigue:

$$\text{Signal to Noise Ratio (SNR)} = \text{RSSI} - \text{Noise Level}$$

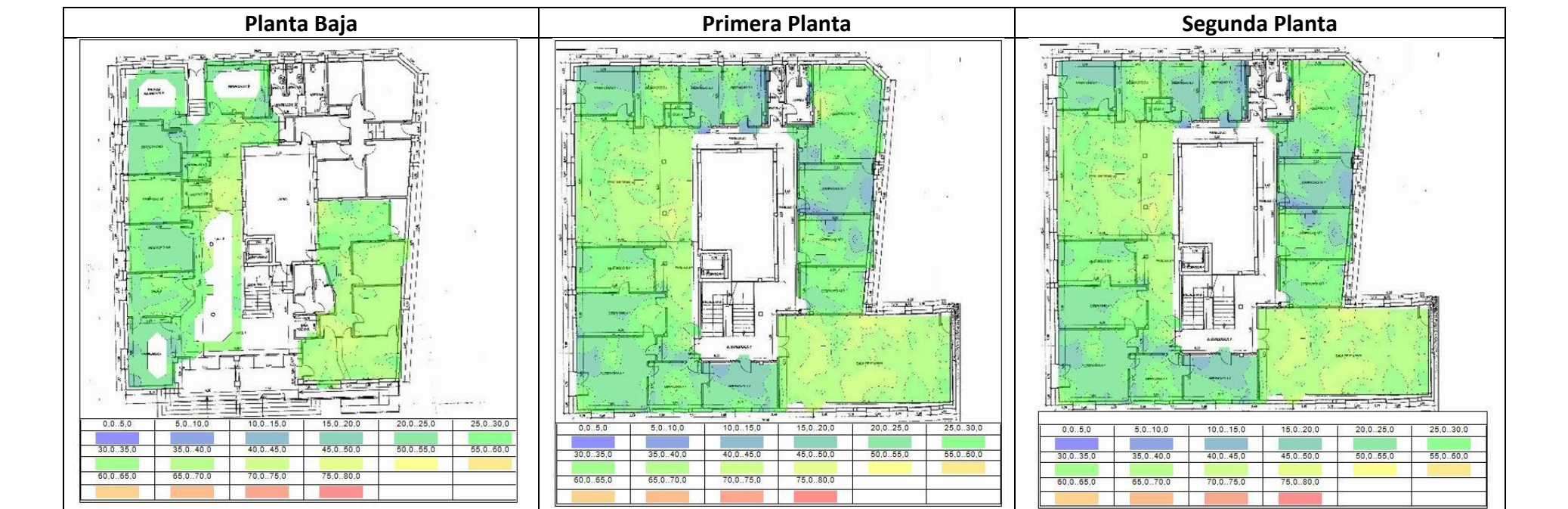


Figura 18 – 3.1 – Relación señal a ruido (SNR) (Plantas Baja, Primera y Segunda)

3.1.8.1.6 Data Rate

El esquema de DR representa un cálculo del Data Rate estimado. Para realizar esta estimación se ha tenido en cuenta la carga máxima de tráfico en la red, los equipos empleados y la relación Señal Ruido (SNR) muestreada en cada posición. La solución final consistirá en equipos basados en el estándar 802.11g, con lo que el Data Rate máximo será de 54 Mbps. La Figura 19 muestra el diagrama de transferencia de datos para el edificio del ayuntamiento.

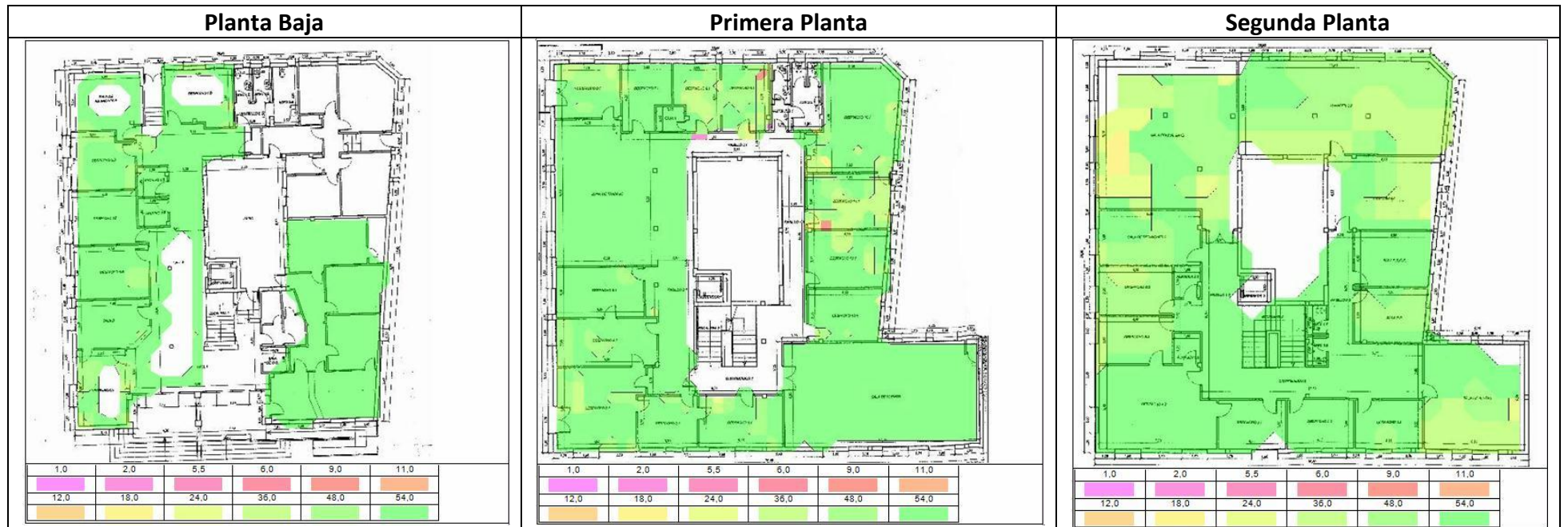


Figura 19 – 3.1– Data Rate (Plantas Baja, Primera y Segunda)

3.1.8.1.7 Localización de los puntos de acceso

Tras realizar los muestreos pertinentes para dotar a todo el edificio de cobertura inalámbrica, el análisis de estas medidas nos da la localización de los puntos de acceso. Esta ubicación de los puntos de acceso se muestra en la Figura 20.

◆ Punto de acceso inalámbrico.

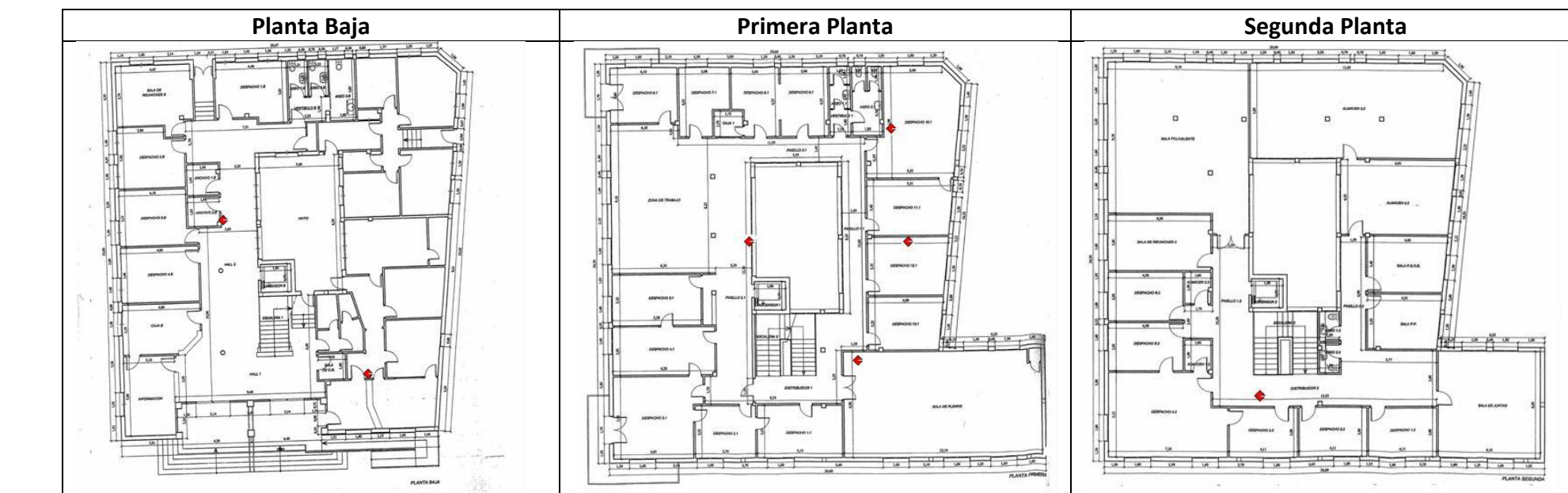


Figura 20 – 3.1 – Localización de puntos de acceso (Plantas Baja, Primera y Segunda)

3.1.8.2 Parque municipal

3.1.8.2.1 Visita Previa. Análisis de entorno

Los planos de las Figuras 21 y 22 muestran la solución inalámbrica exterior del parque municipal:



Figura 21 – 3.1 – Parque Municipal

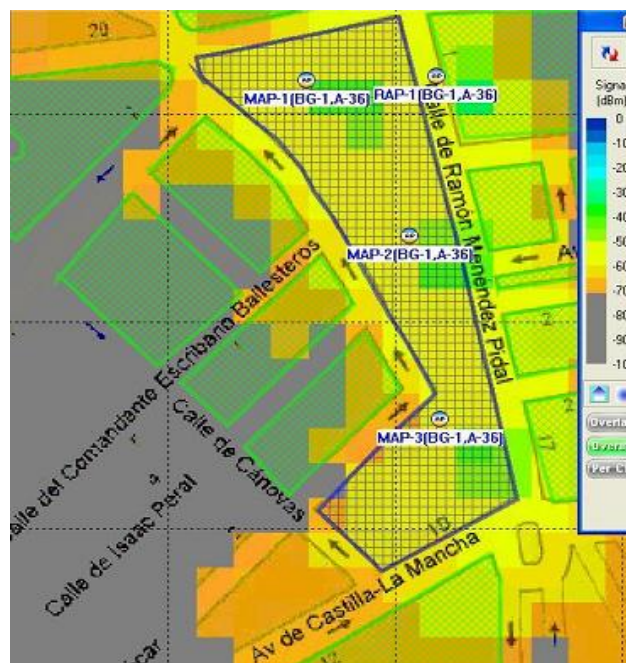


Figura 22 – 3.1 – Cobertura inalámbrica del Parque Municipal

3.1.9 Comparación teórico práctica

La Figura 23 nos muestra el planteamiento para poder calcular la distancia d que separa el punto de acceso y el receptor teniendo en cuenta 3m de la altura de la sala y 1m de altura que representa la posición vertical del usuario.

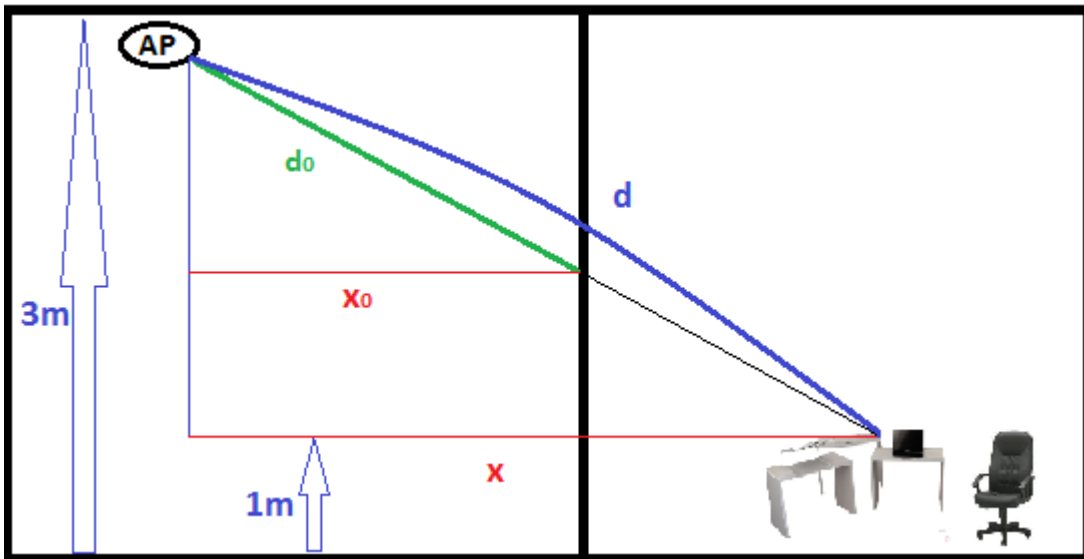


Figura 23 – 3.1 – Escenario del cálculo de distancia entre el AP y el usuario

Las distancias x_0 y x representan respectivamente la distancia plana del punto de acceso al obstáculo (muro) y la distancia plana del punto de acceso al equipo receptor. Éstas las podemos despejar directamente de los planos.

A partir del desglose técnico del equipamiento que se utilizará en la parte práctica del estudio de cobertura tenemos los valores necesarios para proceder al cálculo de la potencia recibida restando las pérdidas a la potencia transmitida por el punto de acceso:

- La potencia de trabajo del punto de acceso AP1130 varía entre 1 y 50 mW (entre -1 y 17 dBm) para la especificación 802.11g que tiene una frecuencia de trabajo de 2,4 GHz y una ganancia de la antena de 3 dBi. Las posibles potencias de trabajo del punto de acceso AP1130 se muestran en la Tabla 4.

P_t (mW)	1	2	3	6	12	25	50
P_t (dBm)	-1	2	5	8	11	14	17

Tabla 5 – 3.1 – Potencias de trabajo del AP1130

- Con los datos del punto anterior y en condiciones de estudio de cobertura en interiores (Indoor), el alcance de velocidad de transmisión puede llegar a 54 Mbps en un radio de 30 metros (en la práctica se utiliza un punto de acceso en un radio de 20 metros para aprovechar el solapamiento de las zonas cubiertas en el caso de caída de un punto de acceso). En la Tabla 5 se presenta la velocidad de transmisión frente a alcance obtenido

Data-Rate (Mbps)	54	48	36	24	18	12	11
Distancia (m)	30	53	76	84	100	107	110

Tabla 6 – 3.1 – Velocidad de transmisión frente al alcance

A continuación se procederá al cálculo de algunas distancias entre el punto de acceso y el equipo receptor dentro de la planta en estudio para poder calcular seguidamente las pérdidas del enlace.

Habrá que dividir el problema en dos partes, calcular las pérdidas antes del obstáculo y luego pasándolo.

Primero se evaluarán los resultados con algunas mediciones teórico-prácticas en el edificio central, teniendo en cuenta la posición final de los puntos de acceso.

3.1.9.1 Planta baja CS



Figura 24 – 3.1 – Planta Baja, Recorrido del cálculo

Aplicando las fórmulas teóricas anteriormente estudiadas se obtienen las curvas mostradas en las Figura 25.

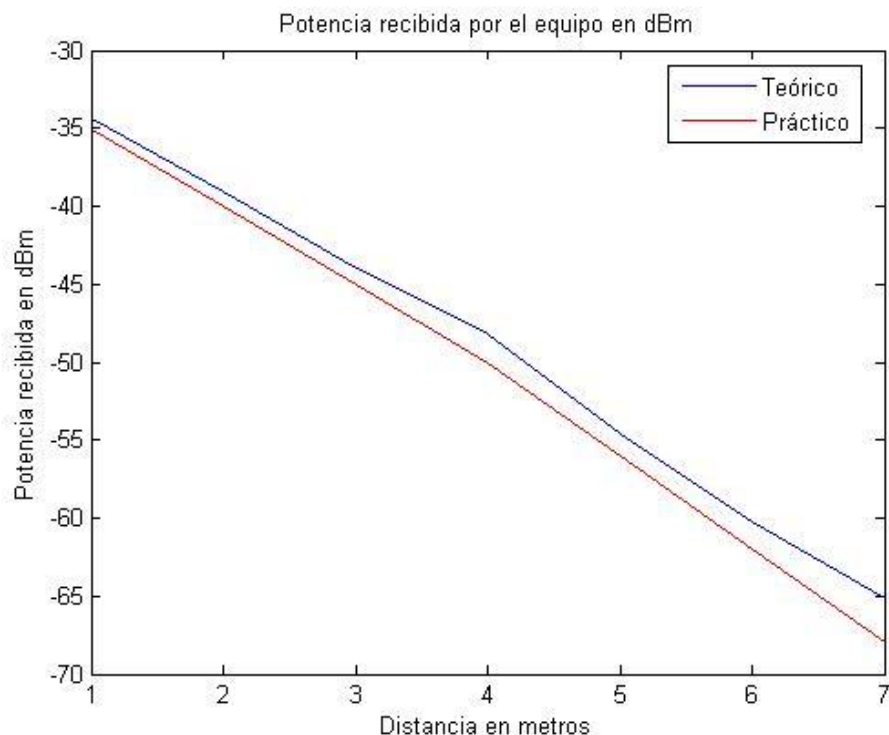


Figura 25 – 3.1– Comparación teórico práctica de la potencia recibida

Se puede observar que efectivamente se consigue prácticamente lo esperado teóricamente con un pequeño margen de pérdidas que se deben al material de oficina, armarios y a las personas que estaban en el medio durante la toma de medidas.

3.1.9.2 Primera planta

Al igual que ocurre con la planta baja, también se consigue lo esperado con un margen de pérdidas en la práctica debido al material de oficina y personas que estaban en el medio de medidas.



Figura 26 – 3.1 – Primera Planta, Recorrido del cálculo

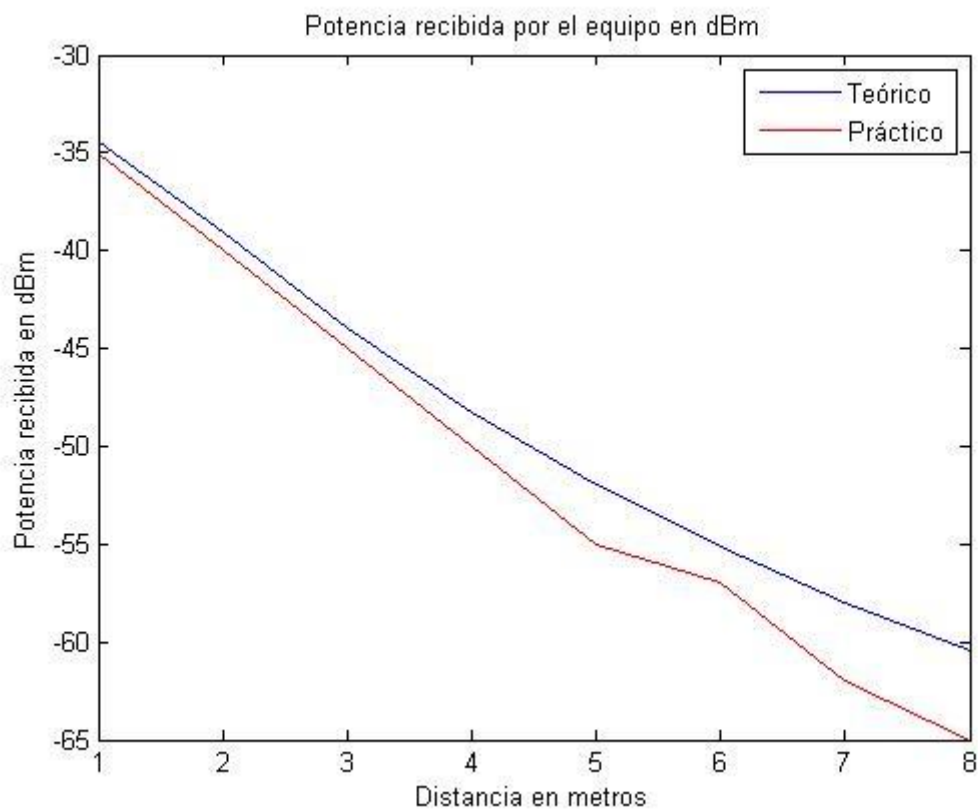


Figura 27 – 3.1 – Comparación teórico práctica de la potencia recibida

3.2 Conexión Pre-WiMax punto a punto

En la segunda fase de este proyecto se desarrollará el estudio de la solución WiMax elegida para la interconexión de las sedes de forma remota. La solución técnica se basa en conexiones WiMax en banda de uso común de 5.4 GHz, entre la estación principal y las estaciones secundarias. La tecnología WiMax está pensada para ofrecer:

- Conexión de banda ancha que se considera la mejor opción para este tipo de comunicaciones.
- Facilidad de integrar cualquier tipo de aplicación futura aprovechando la utilización de una interface IP por la tecnología WiMAX.

La utilización de la banda de uso libre de 5,4 GHz. Se debe a que no se pueden pedir frecuencias de uso exclusivo otorgado a las operadoras IBERBAND y NEOSKY que trabajan sobre la banda dedicada 3,5 GHz. Con esta elección se destaca el ahorro debido a la utilización de la banda de uso libre de forma gratuita aunque se tiene que asumir el efecto de interferencias, pero como estamos ante un despliegue de la solución en un entorno de un pueblo alejado de las grandes ciudades donde puede existir la tecnología WiMax, el riesgo se considera asumible.

En cualquier caso, se recomienda que las aplicaciones de comunicación críticas (en este caso el telecontrol) dispongan siempre de otro medio de transmisión, así que se deberá mantener la red vía cable actualmente en servicio, como red de reserva. En estas condiciones, se considera que el sistema WiMax respaldado por las comunicaciones de cable, podrá ofrecer servicios de comunicación de banda ancha con un nivel de fiabilidad muy elevado. Por otro lado, la tecnología WiMax permite ofrecer un despliegue por todo el territorio a bajo coste, dado que una estación determinada puede dar servicio a muchos puntos remotos. La posibilidad de establecer conexiones aunque no haya línea de visión entre los extremos es otra gran ventaja de esta decisión.



Figura 28 – 3.2 – Antena punto a punto BreezeNET B

Las conexiones punto a punto en tecnología WiMax se harán entre CS y las sedes A, B, C, D y E utilizando las estaciones base del fabricante Alvarion. Estos equipos están pensados para enlaces punto-a-punto:

- NLOS (Non-Line-of-Sight; donde una señal alcanza el receptor a través de reflexiones, dispersión y difracciones, con una mínima pérdida de velocidad)
- OLOS (enlaces con visión parcialmente obstruida) mediante OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing); son capaces de procesar señales que han sido afectadas por:
 - ❖ Absorción plana para todas las frecuencias (Flat Fading).
 - ❖ Absorción selectiva de alguna frecuencia e interferencias multicamino.

La familia de soluciones inalámbricas punto a punto que trabaja en la banda libre de los 5.4GHz que combina simplicidad, largo alcance y alta capacidad, con una excelente relación calidad precio es: BreezeNET B. Está disponible en cuatro modelos BreezeNET B14, BreezeNET B28, BreezeNET B100 y BreezeNET B10.

El modelo elegido para los enlaces (CS – A), (CS – B), (CS – C) es BreezeNET B100 con una tasa de transmisión de 100 Mbits/s. Para los enlaces (CS – D) y (CS – E) se emplearán el BreezeNET B28. Todas las estaciones que quieran incorporarse en un futuro podrán colgar del edificio CS.

Al tratarse de una plataforma IP, todo será configurable con un software que se obtiene al comprar los equipos. Se tendrá que habilitar

una sesión remota para acceder a la configuración de cualquier elemento de la red desde el centro de control.

Con esta solución, las sedes remotas tienen la capacidad de conectarse entre sí, emulando una misma red en la que todos los usuarios estén juntos. Cuando en realidad las sedes están incluso a 1000 metros una de otra.

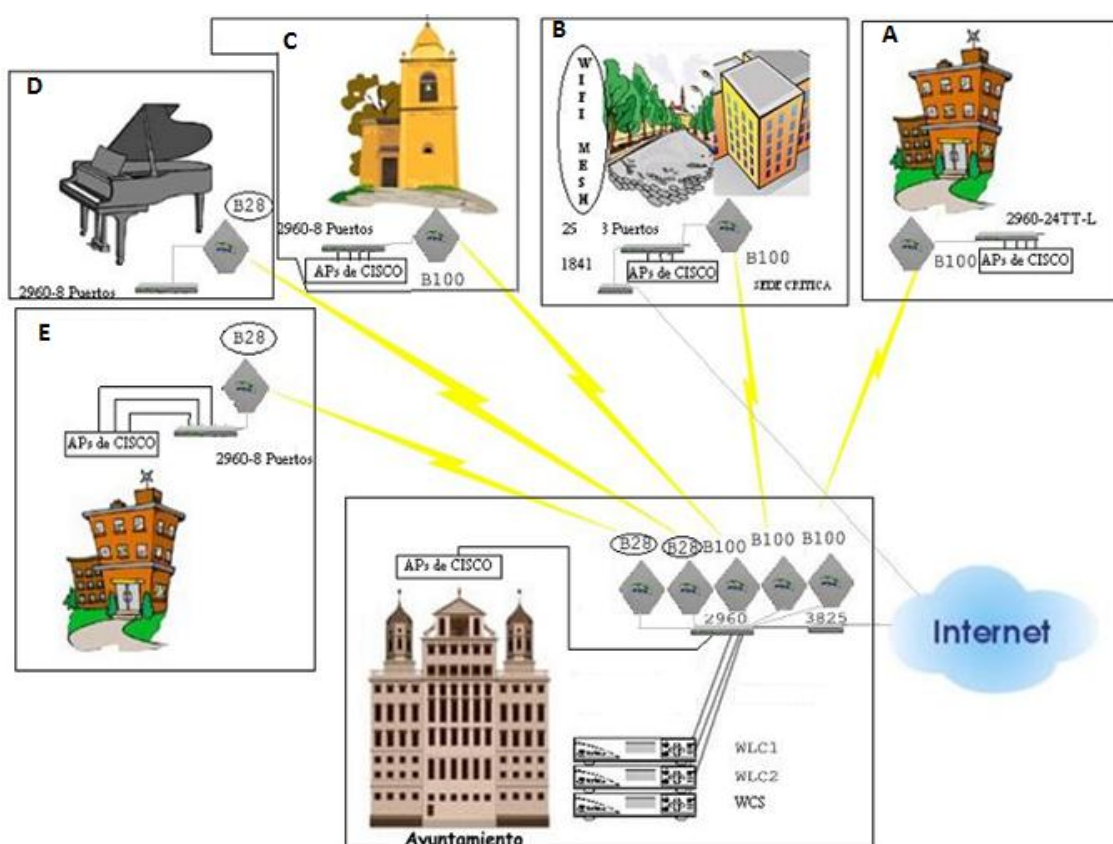


Figura 29 – 3.2 – Solución WiMax

Con esta solución se debe elevar el ratio de acceso en el municipio, proveer de servicios avanzados de comunicación, tales como Telefonía IP y acceso a Internet de Banda Ancha, a los habitantes del

municipio, instituciones municipales y empresas en las sedes anteriormente descritas.

Es la alternativa a las costosas líneas alquiladas, ya que establece un enlace rápido y robusto para la conexión con las oficinas remotas y los edificios aislados, en campus o zonas industriales.

3.2.1 Esquema de conexionado

A continuación se muestra la configuración de la conexión de los equipos en cada emplazamiento. Se utilizará el cable coaxial como conexión entre unidades de interior (IDU) y unidades de exterior (ODU), mientras que los enlaces WiMAX se basan en cable UTP mallado (o SFTP “Shielded and Foiled Twisted Pair”). Para la conexión entre las unidades de interior y la red local (LAN) existente se empleará el cable UTP (Unshielded Twisted Pair) CAT5e.

3.2.1.1 Equipamiento en CS

En la Figura 30 se muestra el equipamiento requerido para la implementación de WiMax en el Ayuntamiento, sede CS

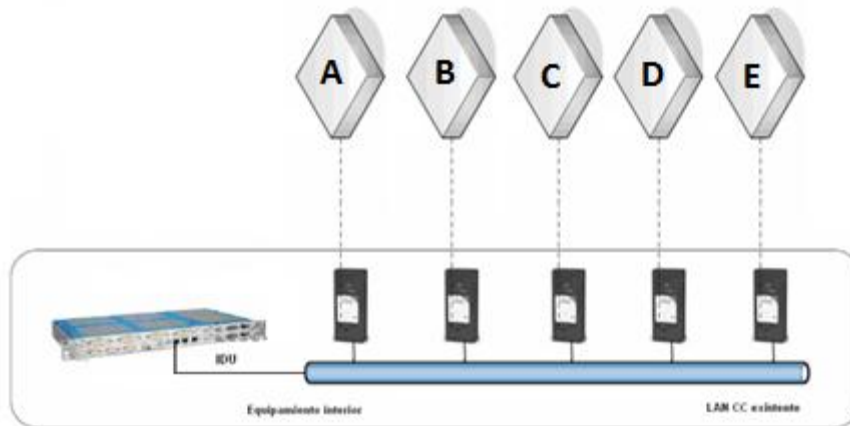


Figura 30 – 3.2 – Equipamiento WiMax en CS

3.2.1.2 Equipamiento en Estaciones A, B, C, D y E

En la Figura 31 se muestra el equipamiento requerido para la implementación de WiMax en el resto de sedes.

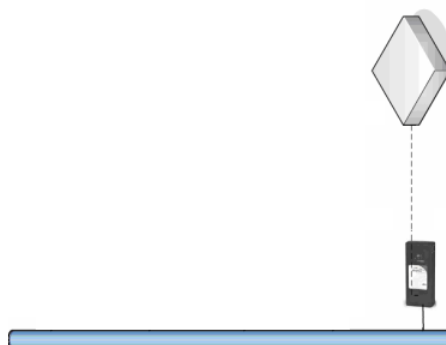


Figura 31 – 3.2 – Equipamiento WiMax en A, B, C, D y E

3.2.2 Configuración WiMax

Alvarión proporciona el software BreezeConfig para poder configurar el enlace punto a punto. Se trata de una interface gráfica muy intuitiva y de fácil gestión. Por defecto las unidades de red vienen pre-configuradas con la misma dirección IP 10.0.0.1/8, esto ayuda a la hora de verificar si la conexión está bien pudiendo observar el equipo secundario.

El primer paso sería dar una dirección IP que concuerde con el plan de direccionamiento de toda la red y modificar los parámetros de la estación secundaria, luego se establece la contraseña de seguridad para el enlace.

Esto se realiza para todos los enlaces instalados, en el apartado 3.2.3 se mostraran las pruebas de conectividad realizadas.

Los pasos a seguir son los siguientes:

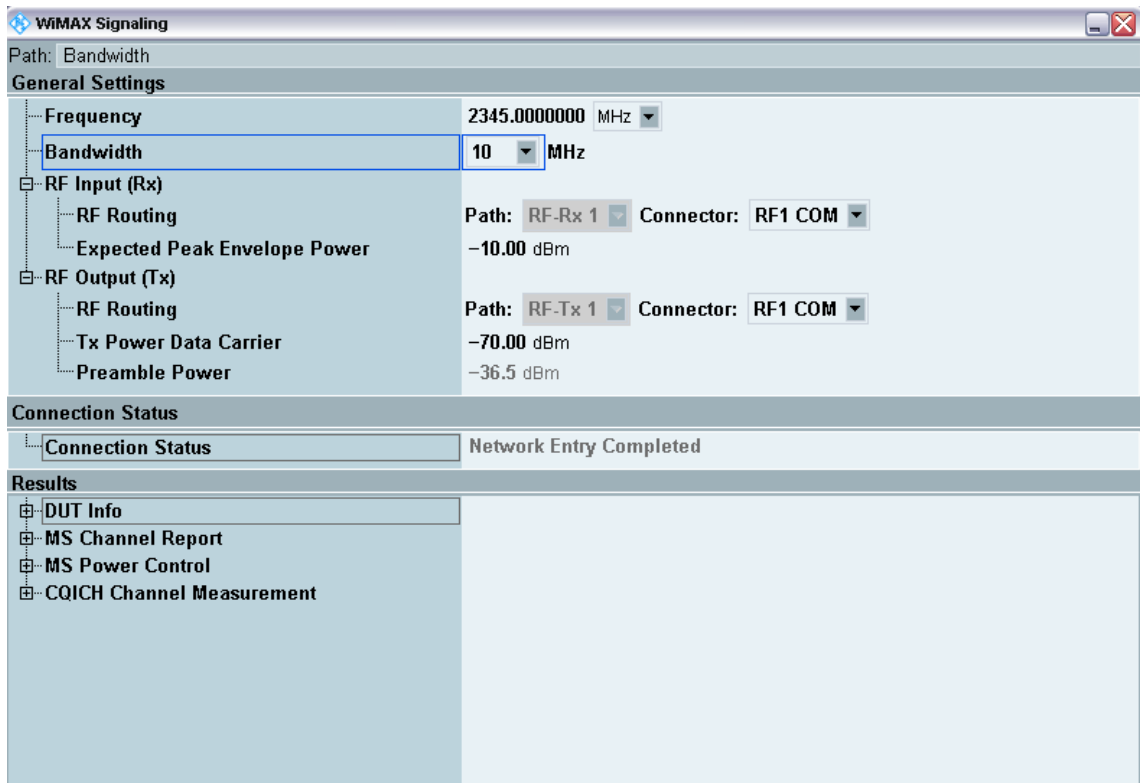


Figura 32 – 3.2 – WiMax Singnaling

- Inicializar WiMax Singnaling,
- Establecer frecuencia y ancho de banda empleando la ventana mostrada en la Figura 32

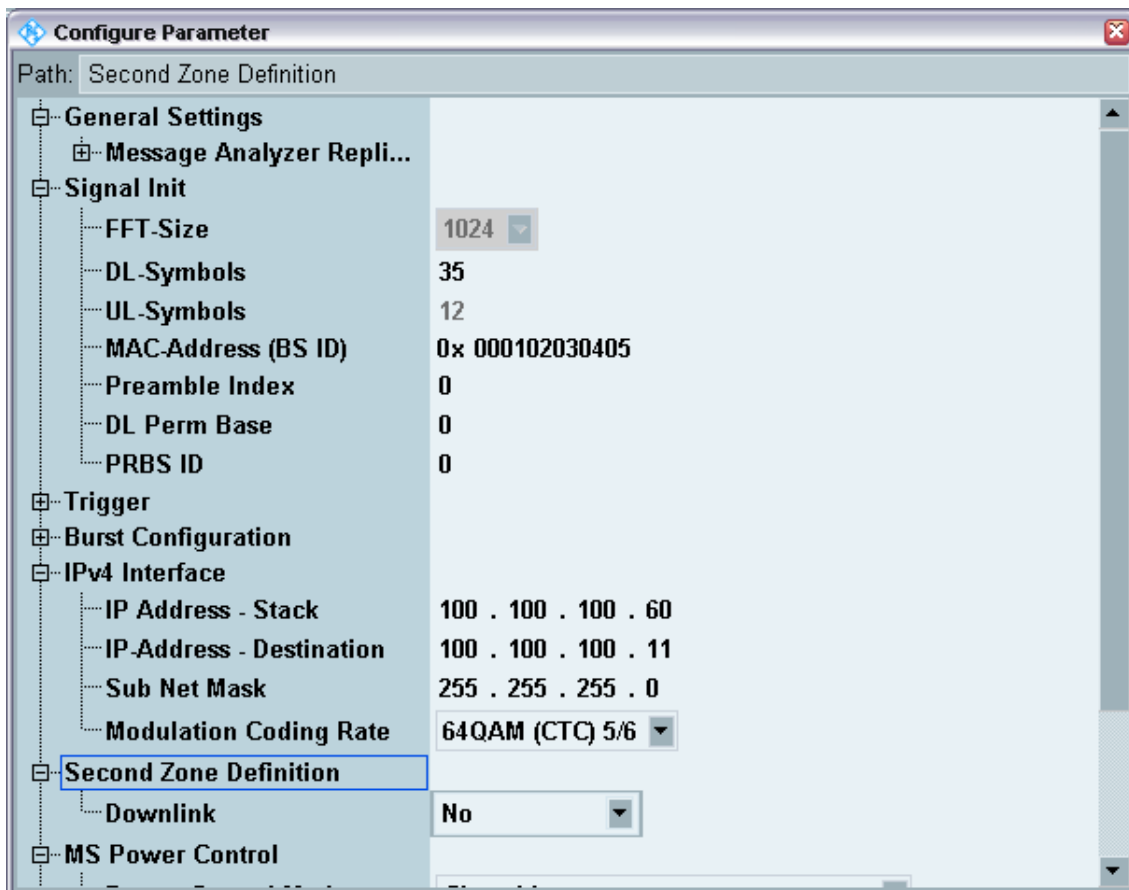


Figura 33 – 3.2 – Configuración DL de WiMax

- Abrir Configuration
- Configurar los parámetros para el máximo throughput de DL (Down Link) utilizando la pantalla mostrada en la Figura 33.
 - DL-Symbols
 - Dirección IP Destino
 - Modulación utilizada

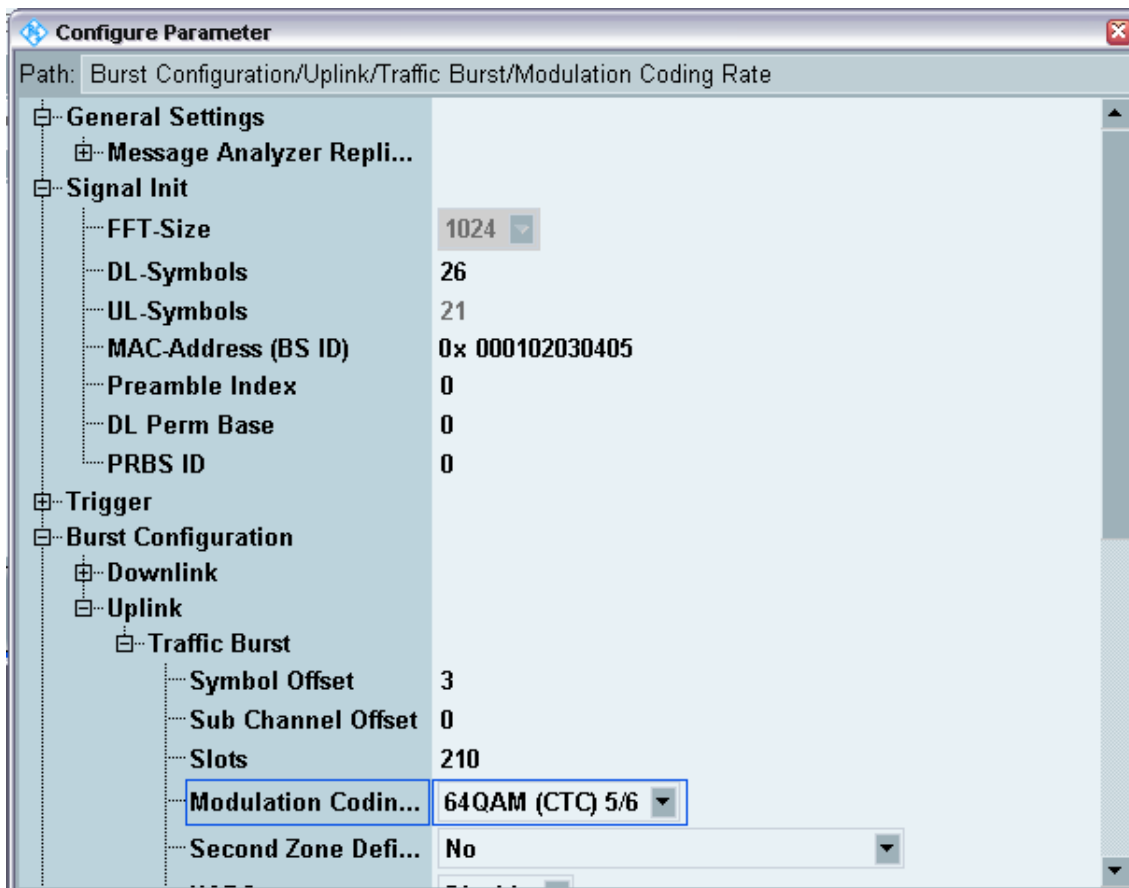


Figura 34 – 3.2 – Configuración UL de WiMax

- Configurar los parámetros para máximo throughput de UL (Up Link) como se muestra en la Figura 34:
 - DL-Symbols
 - Slots
 - Modulación utilizada

3.2.3 Pruebas de conectividad

A continuación, se muestra una breve descripción de las opciones del comando IPERF que sirve para medir el Throughput entre dos nodos determinados de una red. Se establecen transmisiones entre un cliente y un servidor de la siguiente manera:

- Configurar varios parámetros y características para paquetes TCP como UDP.
- Ejecutar el programa en un nodo "en modo servidor" y en el otro nodo se ejecuta "en modo cliente" para establecer la conexión.

```
C:\Aplicaciones\Iperf>iperf -help
Usage: iperf [-s|-c host] [options]
       iperf [-h|--help] [-v|--version]
```

Client/Server:

```
-f, --format [kmKM] format to report: Kbits, Mbits, KBytes, MBytes
-i, --interval # seconds between periodic bandwidth reports
-l, --len #[KM] length of buffer to read or write (default 8 KB)
-m, --print_mss print TCP maximum segment size (MTU - TCP/IP header)
-o, --output <filename> output the report or error message to this specified file
-p, --port # server port to listen on/connect to
-u, --udp use UDP rather than TCP
-w, --window #[KM] TCP window size (socket buffer size)
-B, --bind <host> bind to <host>, an interface or multicast address
-C, --compatibility for use with older versions does not sent extra msg
-M, --mss # set TCP maximum segment size (MTU - 40 bytes)
-N, --nodelay set TCP no delay, disabling Nagle's Algorithm
-V, --IPv6Version Set the domain to IPv6
```

Server specific:

```
-s, --server run in server mode
-D, --daemon run the server as a daemon
-R, --remove remove service in win32
```

Client specific:

```
-b, --bandwidth #[KM] for UDP, bandwidth to send at in bits/sec
                        (default 1 Mbit/sec, implies -u)
-c, --client <host> run in client mode, connecting to <host>
-d, --dualtest Do a bidirectional test simultaneously
-n, --num #[KM] number of bytes to transmit (instead of -t)
-r, --tradeoff Do a bidirectional test individually
-t, --time # time in seconds to transmit for (default 10 secs)
-F, --fileinput <name> input the data to be transmitted from a file
-I, --stdin input the data to be transmitted from stdin
-L, --listenport # port to receive bidirectional tests back on
-P, --parallel # number of parallel client threads to run
-T, --ttl # time-to-live, for multicast (default 1)
```

Miscellaneous:

```
-h, --help print this message and quit
-v, --version print version information and quit
```

[KM] Indicates options that support a K or M suffix for kilo- or mega-

The TCP window size option can be set by the environment variable TCP_WINDOW_SIZE. Most other options can be set by an environment variable IPERF_<long option name>, such as IPERF_BANDWIDTH.

3.2.3.1 Ayuntamiento – Sede A

Capaz de transmitir a más de 60 Mbits/seg, como muestra la captura realizada in-situ.

```
C:\>iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[168] local 10.0.0.5 port 5001 connected with 10.0.0.25 port 1075
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[168] 0.0-10.0 sec  80.6 MBytes 67.7 Mbits/sec
```

3.2.3.2 Ayuntamiento – Sede B

Alrededor de 60 Mbits/seg de throughput, como muestra la captura in-situ:

```
C:\Aplicaciones\Iperf>iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[168] local 10.0.0.7 port 5001 connected with 10.0.0.25 port 1182
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[168] 0.0-10.0 sec  81.5 MBytes 68.3 Mbits/sec
```

3.2.3.3 Ayuntamiento – Sede C

Alrededor de 20 Mbits/seg, como muestra la siguiente captura:

```
C:\Aplicaciones\Iperf>iperf -c 10.0.0.25
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[176] local 10.0.0.7 port 5001 connected with 10.0.0.25 port 1451
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[176] 0.0-10.0 sec  24.0 MBytes 20.1 Mbits/sec
```


3.2.3.4 Ayuntamiento – Sede D

Capaz de transmitir a más de 20 Mbits/seg

```
C:\Aplicaciones\Iperf>iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[172] local 10.0.0.7 port 5001 connected with 10.0.0.25 port 1087
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[172] 0.0-10.0 sec  22.0 Mbits  19.13 Mbits/sec
```

3.2.3.5 Ayuntamiento – Sede E

Alrededor de 20 Mbits/seg, como muestra la captura:

```
C:\Aplicaciones\Iperf>iperf -c 10.0.0.25
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 8.00 KByte (default)
-----
[176] local 10.0.0.7 port 5001 connected with 10.0.0.25 port 1088
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[176] 0.0-10.6 sec  21.6 MBytes  18.16 Mbits/sec
```

Las capturas muestran la capacidad de los enlaces entre los edificios. Hay que aclarar que las velocidades alcanzadas en la práctica serán mayores, ya que las pruebas se hicieron sin fijar los Alvarion B100 en las localizaciones finales, cuando se realice la instalación final las velocidades en algunos enlaces llegarán a 70 Mbits/seg.

Capítulo 4

Seguridad y gestión de red

4. Seguridad y gestión de red

4.1 Seguridad

Los servicios que se van a implantar con los métodos de autenticación y cifrado son los siguientes:

- SSID (Service Set Identifier) para datos

- SSID para invitados

- SSID para datos 2.

En estos servicios ofrecidos se podrán conectar todo los tipos de clientes, estos serán: ordenadores portátiles, Tablets, PDAs, etc.

4.1.1 SSID Datos

Este será el SSID corporativo que usarán los trabajadores de los edificios:

EAP-MSCHAPv2 es el término técnico para lo que comúnmente se conoce como "PEAP". Detrás de EAP-TLS, PEAPv0/EAP-MSCHAPv2 es el segundo estándar EAP más utilizado en el mundo.

Los protocolos de seguridad implementados son EAP-MSCHAPv2 en la parte de autenticación y WPA (Wi-Fi Protected Access) en la parte

de cifrado ya que el primero soluciona la debilidad de otros protocolos frente a los ataques de diccionario y el segundo el problema de ruptura de clave de WEP que permitan la captura y descifrado del tráfico.

PEAPv0 es el método de autenticación exterior y es el mecanismo que crea el túnel seguro TLS (Transport Layer Security) para proteger las transacciones de autenticación posterior. EAP-MSCHAPv2, es el método de autenticación que proporciona al usuario o dispositivo de autenticación

Si fuera necesaria autenticación contra servidor LDAP se usaría el protocolo de seguridad PEAP-GTC en la parte de autenticación y WPA en la parte de encriptación, que proporcionan la máxima seguridad sin usar infraestructuras de PKI (Public Key Infrastructure).

4.1.2 SSID Invitados. Portal Cautivo

Esta, será una red completamente abierta en sus mecanismos de seguridad inalámbrica lo que permitirá que cualquier cliente conecte con la misma, pero poseerá un portal cautivo configurado en el LAN Controller que interceptará el primer tráfico del cliente y solicitará un usuario y/o contraseña que habrá sido prefijada por los administradores y que será cambiada con frecuencia.

Se trata de una conexión de cortesía. Estas claves serán generadas y proporcionadas por el personal responsable de su

operación. Se podrá generar un tipo de usuario de acceso al Controlador para que las personas que generen este tipo de credenciales no tengan acceso a la configuración de controlador, siendo su acceso exclusivo para la generación de las credenciales de usuario invitado.

Para mantener el entorno de Invitados seguro, se separará la red del resto de redes corporativas en la red.

4.1.3 SSID Datos WPA-PSK

Este es el SSID corporativo que usarán los trabajadores del Edificio. Este SSID provee conectividad a las redes corporativas a aquellos dispositivos que sean pertenecientes al Centro y no permitan la configuración PEAP.

El protocolo de seguridad implementado es WPA+TKIP con clave pre-compartida, que mejora la seguridad ya que no sufre de problemas de ruptura de clave WEP que permitan la captura y descifrado del tráfico. La clave pre-compartida se configura en los WLCs (Wireless LAN Controller) y en los dispositivos de cliente.

Aun cuando la vulneración de la seguridad de esta red es ahora mismo considerada imposible, siempre que la clave pre-compartida sea robusta, hay que tener en cuenta que en este SSID no se dispone de autenticación y por tanto no es posible conocer la identidad de los

dispositivos que se conectan, por lo que el equipo que termina el nivel 3 establecerá filtros de seguridad que controlen el tráfico permitido.

Se desactiva la propagación del SSID, de forma que un usuario que realice wardriving no sea capaz de detectarlo

La pérdida de un dispositivo de cliente que use este SSID puede suponer un acceso no autorizado a la red. Habrá que saber cuando un dispositivo de estas características se extravía y cambiar la clave pre-compartida para evitar accesos no deseados.

4.2 Gestión de red

4.2.1 Gestión centralizada

El sistema de gestión de la red Wireless que se va a implantar en los edificios del ayuntamiento está diseñado para proporcionar soluciones de red inalámbrica 802.11.

Además de las características de gestión de cualquier red centralizada, la red inalámbrica del ayuntamiento permitirá el uso de Roles por usuario. Cada cliente en un Controller se asocia con una función de usuario, que determina lo que un cliente puede hacer, dónde y cuándo pueden operar, con qué frecuencia se debe re-autenticar, que ancho de banda será aplicado.

Para definir estos roles de usuario se deberá tener la licencia adecuada en el controlador.

ARM actúa como un ingeniero de RF para proporcionar constantemente la gestión en tiempo real del RF de la red Wireless. Los APs crean su configuración de potencia/canal basadas en el entorno de RF. El resultado es un entorno de RF altamente escalable y fiable, además reduce significativamente el tiempo que los APs se adaptan al cambio en el entorno de RF.

Los APs escanean todos los canales válidos a intervalos regulares y computa las siguientes métricas por canal:

- Índice de Cobertura: Relación señal ruido para todos los puntos de acceso válidos
- Índice de Interferencias: Relación señal ruido para todos los puntos de acceso.

Estas métricas son usadas por los puntos de acceso para decidir el mejor canal y transmitir ajustes de potencia para una cobertura óptima.

Además del índice de interferencia, los puntos de acceso usan el índice de canal libre para decidir la configuración de canal óptimo. El índice de canal libre es un parámetro configurable en el switch utilizado por un AP para calificar un canal antes de pasar a él. Un AP optará por cambiar a un nuevo canal sólo si su índice de interferencia actual es mayor que el índice de interferencia en el nuevo canal por un valor mayor o igual al índice de canal libre. Si no se reúnen estos criterios, el AP se mantendrá en el canal actual.

La decisión de asignación de potencia está basada en el índice de cobertura de los APs. La referencia utilizada es el índice de cobertura ideal. Se trata de unos parámetros configurables en el switch. El AP aumenta o disminuye su ajustes de potencia sobre la base de la

diferencia entre el valor de su actual índice de cobertura de canales y el ideal.

4.2.2 Segmentación de la red

Al ser esta una red en la que podrá haber un gran número de usuarios simultáneos, se ha decidido segmentarla para así limitar los dominios de nivel 2. Para realizar esta segmentación se empleará la función “AP Groups” de los Wireless LAN Controller de Cisco.

El funcionamiento, una vez habilitada y configurada esta funcionalidad será el siguiente:

- En primer lugar, los usuarios asociados a este SSID, entrarán a formar parte de la VLAN de usuarios WiFi de la planta en la que estén.
- A continuación, obtendrán direccionamiento de la VLAN correspondiente a la planta en la que se encuentre el AP al que estaban asociados en el momento de la autenticación y obtención de la dirección IP.
- Tras ser autenticado y haber obtenido direccionamiento IP, el cliente podrá moverse a través de toda la red inalámbrica sin cambiar ni de VLAN ni de dirección IP (siempre y cuando no se produzca una pérdida de cobertura que provoque una desconexión y renovación de IP).

De esta manera, se consigue segmentar la red inalámbrica y que los tiempos de hand-over entre puntos de acceso se vean afectados.

4.2.3 Gestión Centralizada - WCS

La red inalámbrica dispone de sistema de gestión de red, es la Solución Unificada de Redes Wireless. Más conocido como Wireless Control System (WCS)

WCS monitoriza la red inalámbrica en tiempo real. Cualquier cambio de configuración se realizará mediante esta plataforma, por ejemplo, configuración de controladores o actualización de software.

WCS permite ver la ubicación de los puntos de acceso, así como los clientes asociados a la red. Además de poder detectar puntos de acceso y clientes rogue que se instalan sin el conocimiento de los departamentos IT, y no están por lo general configurados con algún mecanismo de seguridad, lo cual deja abierta la posibilidad de un acceso no autorizado. Con la ayuda de los planos de las plantas del edificio se conocerá donde se encuentran los dispositivos. La notificación de alarmas se realizará en el WCS, ya que recibe los traps de cualquier evento.

Capítulo 5

Gestión y desglose económico

5. Gestión y desglose económico

5.1 Gestión de proyectos

La gestión de un proyecto de telecomunicaciones se basa en dos grandes polos, uno tecnológico y el otro comercial y de gestión. En el presente capítulo se ilustrará el desarrollo de un proyecto desde el punto de vista comercial.

5.1.1 Gestión de recursos humanos

El responsable del proyecto es un manager que tiene como misión gestionar y organizar el equipo de trabajo de la mejor manera posible. Estará a cargo de la seguridad de los integrantes de su equipo tratando con un respeto mutuo y con las legislaciones vigentes y de la gestión del horario de trabajo así como las conductas de seguridad y del respeto del medio ambiente.

5.1.2 Gestión comercial

El comercial del proyecto está en contacto constante con el responsable del proyecto por un lado y con el cliente por otro lado tratando de negociar la solución antes de pasar la mano al departamento de preventa que se responsabiliza del diseño de la solución a la

problemática propuesta por el cliente y la generación de la oferta tecnológica y económica.

5.1.3 Gestión financiera

La gestión de la parte financiera consta de la evaluación de los costes de la mano de obra, compras y gastos. La contabilidad analítica trata de determinar el precio total y las ganancias generadas:

- Anualmente se elabora un informe de los resultados conseguidos
- Se establecen los resultados analíticos cada trimestre
- Se hace el seguimiento mensual de los proyectos

5.2 Desglose económico

A continuación se expone la propuesta económica con todos los detalles:

5.2.1 Ingeniería y configuración

Ítem	Un.	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
Ingeniería y configuración				
Ingeniería	1	<p>Horas de trabajo de los componentes del equipo de trabajo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ DIRECTOR DE PROYECTO 80 Horas ✓ CONSULTOR SENIOR DE RED INALÁMBRICA 120 Horas ✓ INGENIERO SENIOR DE RED INALÁMBRICA 56 Horas ✓ INGENIERO JUNIOR DE RED INALÁMBRICA 96 Horas ✓ INGENIERO JUNIOR DE RED 26 Horas <p>Ingeniería de instalación física:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ configuración de equipamiento propuesto ➤ supervisión de trabajos ➤ plan de pruebas y formación 	26.967,92 €	26.967,92 €
Cableado	1	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instalación y orientación de 10 antenas B100 de Alvarion en distintas Sedes del Ayuntamiento ➤ Instalación y anclaje de 3 mástiles de 6 metros sobre tejado e instalación y anclaje de 4 mástiles de 3 metros sobre tejado y fachada para dicha antenas. ➤ Canalización y cableado para la correcta instalación de 2 antenas B100 de Alvarion. Incluso parte proporcional de pequeño material, marcado y certificado ➤ Instalación y anclaje de 5 mástiles de 3 metros para suelo, y sobre ellos 5 puntos de acceso WIFI exteriores, además anclaje para 2 APs más con su instalación física. ➤ Cableado e instalación de 30 APs por diversas Sedes del Ayuntamiento incluso parte proporcional de pequeño material, marcado y certificado 	20.620,00 €	20.620,00 €
			Subtotal	47.587,92 €

5.2.2 Equipamiento y servicios WiFi

Equipo	Un.	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
Wifi Indoor				
AIR-LAP1131AG-E-K9 • Incluye: AIR-PWR-CORD-CE • Incluye: AIR-PWR-A • Incluye: S113RK9W-12311JX	29	802.11ag LWAPP AP Integrated Antennas ETSI Cnfg • AIR Line Cord Central Europe • Pwr Sply In:100-240VAC Out:48VDC 380mA -1100,1130AG,1200,521 • Cisco 1130 Series IOS WIRELESS LAN LWAPP RECOVERY	292,36 €	8.478,44 €
AIR-PWRINJ3	29	Power Injector for 1100, 1130AG, 1200 1230AG, 1240AG, 521	24,68 €	715,72 €
Servicio Mantenimiento 3 años	29	ONSITE 24X7X4 802.11ag LWAPP AP Intgd Ant ETSI Cfg	38,85 €	1.126,58 €
Wifi Outdoor				
AIR-LAP1522AG-E-K9 • Incluye: SWLAP1520-IOS-K9	4	802.11a,b/g Outdoor Mesh AP, ETSI Cfg • 1520 Series AP Software Image - IOS	1.672,62 €	6.690,48 €
AIR-ANT2450V-N	12	2400-2483.5 MHz, 5.0 dBi Omni Ant. with N Connect	199,51 €	2.394,12 €
AIR-ANT5180V-N	4	4900-5850 MHz, 8.0 dBi Omni with N Connect	104,15 €	416,60 €
AIR-CORD-R3P-40UE=	4	1520 Series AC Power Cord, 40 ft. unterm, EU Harmonized	125,06 €	500,24 €
AIR-ACCPMK1520=	4	1520 Series Pole Mount Kit	53,96 €	215,84 €
Servicio Mantenimiento 3 años	4	Servicio de Mantenimiento a 3 años M3: ONSITE 24X7X4 802.11a,b/g Outdoor Mesh AP, ETSI Cfg	221,64 €	886,56 €
Equipo Iron Port para filtrado de contenido web				
WBUN-2A-GV-AB-3Y	1	HW (2 uds. S360)+URL Filtering+Wep Reputation Incluye 3 años de mantenimiento y soporte	31.300,00 €	31.300,00 €

Controladores				
AIR-WLC4402-50-K9				
<ul style="list-style-type: none"> Incluye: AIR-PWR-CORD-CE Incluye: SWLC4400K9-50 	2	4400 Series WLAN Controller for up to 50 Lightweight APs <ul style="list-style-type: none"> AIR Line Cord Central Europe Cisco Unified WLAN Controller SW Release 5.0 	8.363,09 €	16.726,18 €
GLC-T	4	1000BASE-T SFP	165,21 €	660,84 €
Servicio Mantenimiento 3 años	2	24X7X4 4400 Series WLAN Controller	1.108,21 €	2.216,42 €
Sistema de gestión de puntos de acceso				
WCS-APBASE-100				
<ul style="list-style-type: none"> WCS-STANDARD-K9 	1	Option Of WCS-Standard-K9 100 APs. One License. <ul style="list-style-type: none"> WCS Top Level SKU for AP capacity options. 	2.507,46 €	2.507,46 €
			Sub-total	74.835,48 €

5.2.3 Equipamiento y servicios WiMax

Equipo	Un.	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
Conexión CS con A, B, C				
BU/RB-B100-5.4	6	(854281RU).- 5.4GHz Unidad Base / Unidad Remota (configurable) para Enlace Punto a Punto de 108Mbps brutos/ 70Mbps netos agregados. Fabricante: ALVARION Ltd. Equipo Incluye: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Unidad Radio Outdoor (ODU) con Antena Integrada de 21 dBi y 10.5º apertura ➤ Unidad Indoor (IDU) con conexión Ethernet y alimentación PoE, protección antirrayos, Cable CAT5 de 20 metros ➤ Cable de Alimentación 1.5 metros. 	3.015,58 €	18.093,51 €
Conexión CS con D y E				
BU/RB-B28-5.4	4	(854281) 5.4 GHz, 28 Mbps, Base Unit/Remote Bridge (User configurable) Incluye: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Outdoor Unit (ODU) with integrated 21dBi 10.5 degrees antenna ➤ Indoor Units (IDU) with Lightning 	2.300,00 €	9.200,00 €
			Sub-total	27.293,51€

5.2.4 Switches y Routers necesarios

Equipo	Un.	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
Router 3825				
CISCO 3825. Incluye: <ul style="list-style-type: none"> • CAB-ACE • S382IPB-12417 • PWR-3825-AC • ROUTER-SDM-CD • MEM3800-256D-INCL • MEM3800-64CF-INCL 	1	3825 w/AC PWR, 2GE,1SFP, 2NME, 4HWIC, IP Base, 64F/256D <ul style="list-style-type: none"> • Power Cord Europe • Cisco 3825 IP BASE W/O CRYPTO • Cisco 3825 AC power supply • CD for SDM software • 256BM SDRAM default memory for 3800 • 64MB Cisco 3800 Compact Flash Memory Default 	3.973,46 €	3.973,46 €
NM-4T	1	4-Port Serial Network Module	1.254,78 €	1.254,78 €
Servicio Mantenimiento 3 años	1	24X7X4 3825 w/AC PWR, 2GE,1	720,94 €	720,94 €
Switch 2960 24 puertos con PoE				
WS-C2960-24PC-L <ul style="list-style-type: none"> • Incluye: CAB-ACE 	1	Catalyst 2960 24 10/100 PoE + 2 T/SFP LAN Base Image <ul style="list-style-type: none"> • Power Cord Europe 	1.252,69 €	1.252,69 €
SWITCHES SEGÚN EL NÚMERO DE PUESTOS				
WS-C2960-24TT-L para la sede central				
WS-C2960-24TT-L <ul style="list-style-type: none"> • Incluye: CAB-ACE 	1	Catalyst 2960 24 10/100 + 2 1000BT LAN Base Image <ul style="list-style-type: none"> • Power Cord Europe 	567,67 €	567,67 €
Servicio Mantenimiento 3 años	1	24X7X4 Catalyst 2960 24 10/100 + 2 1000BT LAN	82,00 €	82,00 €
WS-C2960-8TC-L Para las demás sedes				
WS-C2960-8TC-L <ul style="list-style-type: none"> • Incluye: CAB-ACE-RA 	5	Catalyst 2960 8 10/100 + 1 T/SFP LAN Base Image <ul style="list-style-type: none"> • Power Cord Europe, Right Angle 	392,33 €	1.961,63 €
Servicio Mantenimiento 3 años	5	24X7X4 Catalyst 2960 8 10/1	45,00 €	225,00 €

LA SEDE CRÍTICA B

Router CISCO 1841

CISCO1841 • Incluye: CAB-ACE • Incluye: S184IPB-12404T • Incluye: MEM1800-32CF • Incluye: ROUTER-SDM-CD	1	Modular Router w/2xFE, 2 WAN slots, 32 FL/128 DR • Power Cord Europe • Cisco 1841 IOS IP BASE W/O CRYPTO • 32MB Cisco 1800 Compact Flash • CD for SDM software	611,50 €	611,50 €
HWIC-1ADSL	1	1-port ADSLoPOTS HWIC	328,76 €	328,76 €
Servicio Mantenimiento 3 años	1	ONSITE 24X7X4 Modular Router w/2xF	92,00 €	92,00 €
Switch WS-C2960-8TC-L				
WS-C2960-8TC-L • Incluye: CAB-ACE-RA	1	Catalyst 2960 8 10/100 + 1 T/SFP LAN Base Image • Power Cord Europe, Right Angle	392,33 €	392,33 €
Servicio Mantenimiento 3 años	1	24X7X4 Catalyst 2960 8 10/1	45,00 €	45,00 €
			Sub-total	11.507,76€

“El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de 161.224,67 EUROS (IVA NO INCLUIDO).

Leganés a 22 de Octubre de 2012

El ingeniero proyectista

Fdo. Mohammed El Yaagoubi

Referencias

- WiMAX forum, <http://www.wimaxforum.org>
- www.wimaxforum.org
- Instituto para ingenieros eléctricos y electrónicos, www.ieee.com
- <http://www.ieee802.org/16/tgd/>
- www.ieee802.org/11/
- www.wifialliance.org
- WiFi, Wireless Fidelity, www.wi-fi.org
- www.wi-fiplanet.com
- www.coit.es
- Cisco, www.cisco.com
- Alvarion, www.alvarion.com
- Fundamentos de redes inalámbricas, Academia Networking de Cisco Systems
- Vijay Ahuja, AP Professional, Network & Internet Security
- IBM , Tecnología WiMAX, manual del estudiante
- Andrew S. Tanenbaum, Cuarta edición, Pearson , Redes de computadores
- Luis F. Méndez, Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación Manual sobre preparación de proyectos técnicos de infraestructuras comunes de telecomunicación
- José Manuel Huidobro Moya, Thomson Paraninfo, Redes y servicios de telecomunicaciones
- Telecomunicaciones rurales, Comité consultivo internacional telegráfico y telefónico, Unión internacional de telecomunicaciones

- Jeffrey Wheat, Randy hiser, Jackie Tucker. Ed. Syngress , Designing a wireless network
- José Manuel Huidobro, Thomson Paraninfo Tecnologías avanzadas de telecomunicaciones
- Gómez Pedraz Salvador, Contribución a la seguridad en redes Wi-Fi 802.11
- IEEE802.11-1999. Standard: Wireless LAN Medium Access Control (MAC)and Physical Layer(PHY) Specifications. IEEE Computer Society, September 1999.
- IEEE802.11a-1999. Standard: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in 5GHz Band. IEEE Computer Society, September 1999.
- IEEE802.11-2007. Standard: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY).
- IEEE Standard for: Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks. Specifications: Part 11.
- Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Computer Society, Marzo 2007.
- IEEE 802.16-2004 Standard for local and metropolitan area networks: Air interface for Fixed and Movil Broadband Wieless Access Systems.
- IEEE 802.16-2009 Standard for local and metropolitan area networks: Air interface for Fixed and Movil Broadband Wieless Access Systems.

