

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Proyecto Final de Carrera

Estudio de Implantación de una Red WiMAX en la Ciudad de Murcia



AUTOR: Rubén Palomares Marín
DIRECTOR: María Dolores Cano Baños
Octubre / 2015

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas que me han apoyado en los malos momentos, que son las de verdad cuentan.

Dedicado a mis padres

Tabla de Contenidos

1) Memoria	10
1.1) Objetivo	10
1.2) Abstract	10
1.3) Introducción.....	10
1.4) Normativa Aplicable	11
1.5) Especificaciones de la red inalámbrica	11
1.5.1) Red de Distribución	11
1.5.1.1) Requerimientos de las Estaciones Base	11
1.5.1.2) Ubicación de las Estaciones Base.....	12
1.5.2) Red de Transporte.....	13
1.5.3) Red de Acceso WiFi	14
1.6) Servicios.....	19
1.6.1) Servicios Fijos:	19
1.6.2) Servicios móviles:.....	20
1.7) Sistema de gestión WiFi	21
1.8) Sistema de gestión de Ancho de Banda	21
1.9) Descripción de la solución de red propuesta	22
1.9.1) Red de Transporte.....	22
1.9.1.1) Equipamiento Propuesto.....	23
1.9.2) Red de Distribución	24
1.9.2.1) Elementos Radiantes	31
1.9.3) Red de Acceso WiFi	31
1.10) Equipamiento Propuesto.....	34
1.10.1) Puntos de acceso WiFi para la ciudad	34
1.10.2) Puntos de acceso WiFi para las pedanías	36
1.10.3) Controlador inalámbrico	37
1.10.4) Elementos Adicionales	38
1.11) Diseño de la red resultante	40
1.11.1) Ciudad de Murcia	40
1.11.2) Pedanías	45
1.11.3) Cobertura estimada de las Estaciones Base.....	47
1.11.4) Cobertura estimada de los nodos WiFi	48
1.11.5) Emisiones Radioeléctricas	52
1.11.6) Cálculo de la distancia de seguridad para la banda de frecuencia de 5.8 GHz.	52
1.11.7) Cálculo de la distancia de seguridad para la banda de frecuencia de 5.4 GHz.	53

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

1.11.8) Cálculo de la distancia de seguridad para la banda de frecuencia de 2.4 GHz.	53
2) Pliego de Condiciones Particulares	55
2.1) Condiciones particulares de la red inalámbrica	55
2.2) Bandas ISM/UNII	55
2.3) La familia del estándar IEEE 802.11	55
2.3.1) Arquitectura IEEE 802.11	56
2.3.1.1) La capa física (PHY)	57
2.3.1.2) La capa de enlace de datos	58
2.3.2) El estándar IEEE 802.11b	58
2.3.2.1) Bandas de frecuencia	60
2.3.2.2) Potencia de transmisión.....	60
2.3.3) El estándar IEEE 802.11a	60
2.3.3.1) Bandas de frecuencia	61
2.3.3.2) Potencia de transmisión.....	62
2.3.4) El estándar IEEE 802.11g	62
2.3.4.1) Bandas de frecuencias	63
2.3.4.2) Potencia de transmisión.....	63
2.3.4.3) Capa de control y acceso múltiple	63
2.3.5) El estándar IEEE 802.11n	64
2.4) Características de las unidades de cliente.....	66
2.5) Características de los puntos de acceso	66
2.6) Características de los cables y conectores.....	67
2.6.1) Cables de alimentación	67
2.6.2) Cables y conectores de red cableada	67
2.6.3) Cables y conectores de radiofrecuencia	68
2.7) PreWiMAX.....	69
2.7.1) Características de la capa física.....	71
2.7.2) Capa de control y acceso múltiple.....	71
2.7.3) Potencia de transmisión	72
2.7.4) Equipos PtPM.....	72
2.7.5) Cables y conectores de radiofrecuencia	72
2.7.6) Cables y conectores de red cableada	73
3) Pliego de Condiciones generales	74
3.1) Legislación aplicable a las instalaciones de redes inalámbricas	74
3.2) De seguridad entre instalaciones.....	75
3.3) De accesibilidad	76

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

3.4) De compatibilidad electromagnética	76
3.4.1) Tierra local.....	76
3.4.2) Interconexiones equipotenciales y apantallamiento	77
3.4.3) Accesos y cableados.....	77
3.4.4) Compatibilidad electromagnética entre sistemas	77
3.4.5) Cortafuegos	77
4) Planos.....	79
4.1) Esquema general de red.....	79
4.2) Ubicación de las Estaciones Base	80
4.3) Ubicación de los nodos WiFi.....	80
4.3.1) Ubicación de los nodos WiFi en la ciudad.....	80
4.3.2) Ubicación de los nodos WiFi en Pedanías	84
4.4) Mapa de Cobertura de las Estaciones Base	86
4.5) Mapa de Cobertura de los nodos WiFi.....	87
5) Presupuesto.....	91
6) Conclusiones	93
7) Glosario	94
8) Bibliografía.....	97
9) Anexos.....	98
9.1) Sistema de Gestión de Red WiMAX Alvaristar.	98
9.2) Sistema de control centralizado WiFi WCS	111
9.3) Sistema de control de ancho de banda NetEnforcer	116

Tabla de Figuras

Figura 2.1) Localización de las Estaciones Base WiMax	13
Figura 2.2) Interconexión de las distintas Estaciones Base WiMAX	14
Figura 2.3) Zonas de cobertura WiFi a cubrir	17
Figura 2.4) Red de Transporte.....	23
Figura 2.5) Conversor de medios	24
Figura 2.6) Estación Base WiMAX.....	24
Figura 2.7) Unidad suscriptora WiMAX SU-54	27
Figura 2.8) Características técnicas Estación Base BreezeACCESS VL.....	31
Figura 2.9) Nodo WiFi Ciudad	35
Figura 2.10) Nodo WiFi Pedanía	36
Figura 2.11) Controlador inalámbrico	38
Figura 2.12) Ejemplo de Estación Base completa	39
Figura 2.13) Red inalámbrica diseñada	40
Figura 2.14) Ubicación nodos WiFi EB1	42
Figura 2.15) Ubicación nodos WiFi EB2	43
Figura 2.16) Ubicación nodos WiFi EB3	44
Figura 2.17) Ubicación nodos WiFi EB4	45
Figura 2.18) Cobertura estimada Estaciones Base WiMAX	47
Figura 2.19) Cobertura estimada nodos WiFi EB1	48
Figura 2.20) Cobertura estimada nodos WiFi EB2	49
Figura 2.21) Cobertura estimada nodos WiFi EB3	50
Figura 2.22) Cobertura estimada nodos WiFi EB4	51
Figura 3.1) IEEE 802.11 y el modelo OSI.....	56
Figura 3.2) Red Ad hoc.....	56
Figura 3.3) Red en Infraestructura	57
Figura 3.4) Canales WiFi IEEE 802.11b	60
Figura 3.5) Multiplexación OFDM	61
Figura 3.6) Canales WiFi IEEE 802.11a	62
Figura 3.7) Canales 802.11g	63
Figura 5.1) Diagrama general de la red	79
Figura 5.2) Localización de las Estaciones Base WiMax	80
Figura 5.3) Ubicación de los nodos WiFi de la estación base EB1	81
Figura 5.4) Ubicación de los nodos WiFi de la estación base EB2	82
Figura 5.5) Ubicación de los nodos WiFi de la estación base EB3	83
Figura 5.6) Ubicación de los nodos WiFi de la estación base EB4	84
Figura 5.7) Cobertura estimada de cada Estación Base	86
Figura 5.8) Cobertura estimada nodos WiFi EB1	87
Figura 5.9) Cobertura estimada nodos WiFi EB2	88
Figura 5.10) Cobertura estimada nodos WiFi EB3	89
Figura 5.11) Cobertura estimada nodos WiFi EB4	90
Figura 10.1) Componentes de la solución de red Alvarion	99
Figura 10.2) Alertas AlvariSTAR.....	99
Figura 10.3) Gestión de fallos AlvariSTAR	100
Figura 10.4) Modos de visualización	100
Figura 10.5) Monitorización en tiempo real.....	100
Figura 10.6) Diseño de la aplicación.....	101
Figura 10.7) Gestión de las ubicaciones.....	102

Figura 10.8) Eventos activos	103
Figura 10.9) Histórico de eventos	104
Figura 10.10) Filtro de gestión de eventos	105
Figura 10.11) Plantillas para los eventos	106
Figura 10.12) Gestor de secuencias de comando	107
Figura 10.13) Editor de eventos NBI	108
Figura 10.14) Gestor de tareas	109
Figura 10.15) Gestor de contactos	109
Figura 10.16) Gestor de licencias	109
Figura 10.17) Perfiles de usuario	110
Figura 10.18) Sistema de gestión WCS	111
Figura 10.19) Gestión de los parámetros radio	112
Figura 10.20) Diagrama de coberturas	112
Figura 10.21) Gestión de la seguridad IDS e IPS	113
Figura 10.22) Detección de FakeAP	114
Figura 10.23) Generación de informes	115
Figura 10.24) Sistemas IP de control inteligente a través de DPI	116
Figura 10.25) Soluciones de red Allot	117
Figura 10.26) NetEnforcer AC-404	118
Figura 10.27) NetXplorer	119
Figura 10.28) Interfaz de gestión NetXplorer	120
Figura 10.29) Análisis de red en tiempo real	120
Figura 10.30) Exportación de análisis	121
Figura 10.31) Políticas de seguridad	121

Tabla de Imágenes

Tabla 2.1) Localización de las Estaciones Base WiMAX.....	12
Tabla 2.2) Velocidad de las diferentes modulaciones de la Estación Base WiMAX.....	26
Tabla 2.3) Velocidad de las diferentes modulaciones de la unidad suscriptora WiMAX	28
Tabla 2.4) Ventajas redes malladas	33
Tabla 2.5) Distancia de seguridad en 5.8 GHz	53
Tabla 2.6) Distancia de seguridad en 5.4 GHz	53
Tabla 2.7) Distancia de seguridad en 2.4 GHz	54
Tabla 3.1) Esquemas de modulación IEEE 802.11b	59
Tabla 3.2) Esquemas de modulación IEEE 802.11a	61
Tabla 3.3) Esquemas de modulación IEEE 802.11g	62
Tabla 3.4) Esquemas de modulación IEEE 802.11n	66
Tabla 3.5) Limitaciones de la red cableada	68
Tabla 3.6) Atenuación de los cables de RF a 2.4 GHz.....	69
Tabla 3.7) Tipos de cable equipamiento WiMAX.....	72
Tabla 3.8) Especificaciones técnicas cableado Estaciones Suscriptoras WiMAX.....	73
Tabla 4.1) Valores máximos de campo eléctrico	77
Tabla 6.1) Presupuesto de Ejecución	92

1) Memoria

1.1) Objetivo

El presente proyecto tiene como objetivo realizar un estudio de implantación de una red de banda ancha inalámbrica bajo la tecnología WiMAX para la ciudad de Murcia, centralizada en el edificio principal de Glorieta, que permita la conexión inalámbrica entre diferentes edificios municipales y además, permita el despliegue de diferentes nodos WiFi ubicados en el exterior de plazas, jardines y principales calles de la ciudad. Así mismo, también se pretende extender esta red de acceso WiFi a las diferentes pedanías que pertenecen al municipio de Murcia, si bien, en este caso, se pretende utilizar para ello circuitos de datos existentes tipo ADSL.

1.2) Abstract

This project concerns a study of implementing a wireless broadband WiMAX network under the city of Murcia, centralized in the main building of Glorieta, that allows wireless connections between different municipal buildings and in addition, allowing the deployment of different WiFi nodes located in squares, gardens and main streets of the city. Likewise, it also aims to extend this WiFi network access to different districts belonging to the municipality of Murcia, although in this case is to be using existing data circuits ADSL type.

1.3) Introducción

El proyecto consta de dos partes principales. Una primera parte, en la cual, se pretende diseñar una red troncal inalámbrica de datos de banda ancha que permita interconectar diferentes dependencias municipales pertenecientes al Ayuntamiento de Murcia. Por otro lado, apoyándose en la red troncal inalámbrica, se establecerá una red de acceso WiFi que dará cobertura a exteriores, en plazas, jardines y principales calles de la ciudad de Murcia. Además, se pretende extender la red de acceso WiFi a los lugares más significativos de todas las pedanías de Murcia, utilizando para ello circuitos de datos existentes tipo ADSL.

Mediante esta extensión inalámbrica de la red, se hace posible instalar nuevos servicios utilizando redes de telecomunicaciones inalámbricas en la modalidad, o según el término, que entre otras es empleado en la Ley General de Telecomunicaciones del 2014 y que a su vez utiliza la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones como “Régimen de autoprestación”, tales como video vigilancia, telefonía IP, acceso inalámbrico al correo municipal, a la intranet, servicios de seguridad de Policía Local y Bomberos, labor en campo de Inspectores municipales, etc.

Por otra parte, el municipio de Murcia^[1], se caracteriza por su gran dispersión geográfica, 56 pedanías en 882 km² y con una población de 439.712 habitantes. Dentro de este proyecto se dotará además a cada una de ellas de un punto WiFi, ubicado en la plaza principal de cada lugar, y conectado con la red municipal mediante las líneas ADSL ya existentes, alquiladas a un operador, en este caso Telefónica.

La red inalámbrica deberá ser segura, así que todos los enlaces deberán estar cifrados y protegidos. Los equipos finales a instalar deberán estar preparados para el uso en exterior y se preservará en su instalación los aspectos estéticos.

1.4) Normativa Aplicable

- Ley 9/2014, de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones[2].
- RD1066/2001 y Orden CTE/23/2002 de regulación de emisiones radioeléctricas[3].
- Orden IET/787/2013, de 25 de abril, por la que se aprueba el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias[4].
- Orden IET/614/2015, de 6 de abril, por la que se modifica la Orden IET/787/2013, de 25 de abril, por la que se aprueba el cuadro nacional de atribución de frecuencias[5]

1.5) Especificaciones de la red inalámbrica

1.5.1) Red de Distribución

1.5.1.1) Requerimientos de las Estaciones Base

Se pretende implantar una red inalámbrica WiMAX[6] que dé cobertura a la ciudad de Murcia y cuyas estaciones base estarán ubicadas en las siguientes dependencias municipales:

- Edificio de Glorieta
- Pabellón Príncipe de Asturias
- Pabellón Palacio de los Deportes
- Cuartel de Bomberos Infante

En cada una de estas ubicaciones se instalará una estación base punto-multipunto (PtMP) WiMAX que dará conexión a la red de acceso WiFi[7] a través de diferentes nodos ubicados en plazas, jardines y principales calles del municipio.

Características básicas de las antenas base multipunto y suscriptores:

- Soporte de 1 a 6 sectores en las estaciones base.
- Capacidad de 32 Mbps por sector.
- Rango de cobertura de hasta 30 Km en línea vista.
- Velocidad de los enlaces suscriptores de al menos 32 Mbps
- Rendimiento por sector: 20 Mbps (tráfico ftp típico) en canales de 10 MHz con DFS activado.
- Número de estaciones suscriptoras soportadas por sector: 120
- Modo de Operación: TDD
- Método de acceso radio: OFDM con modulación BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM.
- Banda de Operación: 5.470 – 5.725 GHz
- Soporte VLAN basado en 802.1p/q y agregación de enlaces 802.1ad
- Soporte cifrado AES 128
- Capacidad de QoS
- Gestión remota vía Telnet y/o SNMP

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

- Conector RJ-45 Ethernet IEEE 802.3 cableado 10/100BaseT.
- Estándar ETSI Radio: EN 301 893 (V 1.5.1), EN 302 502 (V 1.2.1)
- Estándar ETSI EMC: EN 301 489-1/4
- Estándar Seguridad: EN 60950-1, UL 60950-1
- Condiciones medioambientales:
 - Temperatura: -40°C a 55°C
 - Humedad: 5% a 95%

En caso de caída de corriente eléctrica, las estaciones base estarán alimentadas con un sistema de alimentación ininterrumpida que permita el correcto funcionamiento de la misma durante al menos 24 horas. Este mecanismo de protección funcionará de forma automática sin requerir intervención manual.

1.5.1.2) Ubicación de las Estaciones Base

En la siguiente tabla se muestran las ubicaciones de las diferentes estaciones base WiMAX que formarán la red de distribución inalámbrica

Estación Base	Latitud	Longitud
Glorieta	37°59'0.42"N	1°7'49.22"O
Pabellón Príncipe de Asturias	37°59'52.08"N	1°8'14.16"O
Palacio de los Deportes	37°59'38.17"N	1°6'46.78"O
Cuartel Bomberos Infante	37°54'48.65"N	1°7'9.12"O

Tabla 2.1) Localización de las Estaciones Base WiMAX

La siguiente figura muestra la localización de las estaciones base WiMAX

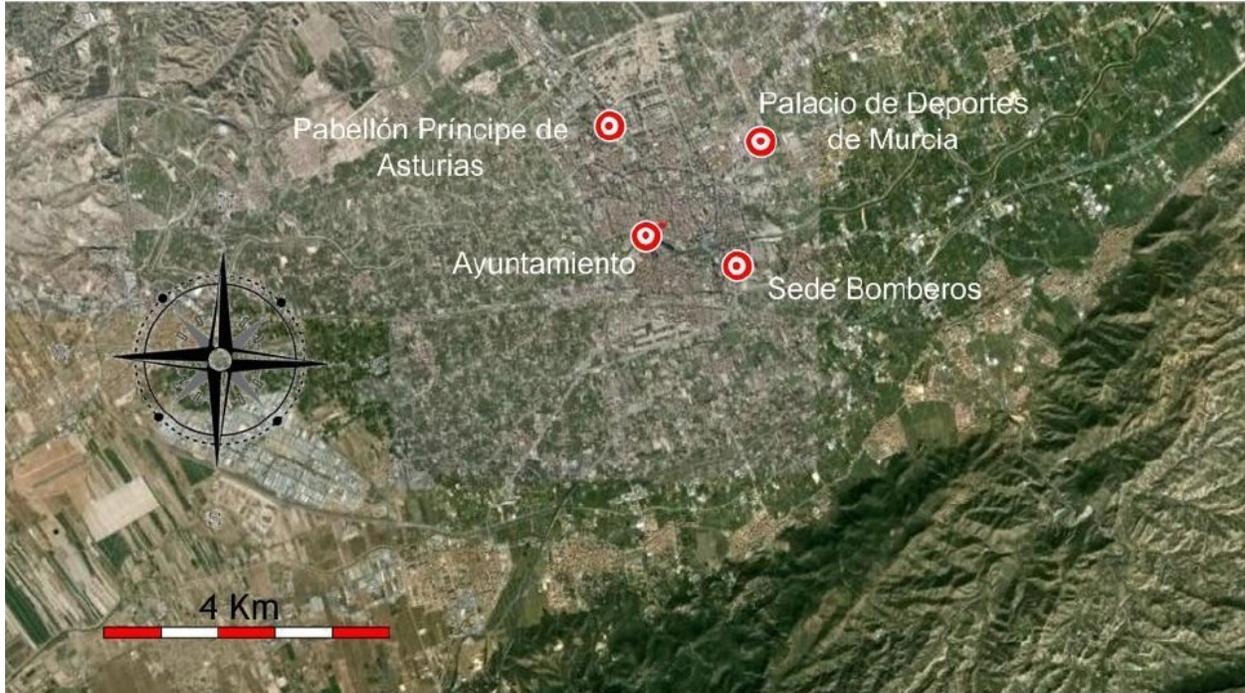


Figura 2.1) Localización de las Estaciones Base WiMax

1.5.2) Red de Transporte

Las diferentes estaciones base se unirán con la Sede Principal del Ayuntamiento ubicada en Glorieta a través de enlaces de fibra óptica ya que dicha sede almacenará todos los sistemas informáticos de gestión de la red en el CPD de dicho edificio.

Para ello se utilizarán los siguientes enlaces Ethernet de fibra óptica formando una topología en estrella:

- Bomberos_Glorieta: Enlace de Fibra Óptica Multimodo municipal existente a 100BaseFX
- Príncipe de Asturias_Glorieta: Enlace de Fibra Óptica Monomodo alquilado a Telefónica a 1000BaseLX
- Palacio de los Deportes_Glorieta: Enlace de Fibra Óptica Monomodo alquilado a Telefónica a 1000BaseLX

La siguiente figura muestra la interconexión mediante fibra óptica de las diferentes estaciones base:



Figura 2.2) Interconexión de las distintas Estaciones Base WiMAX

1.5.3) Red de Acceso WiFi

La arquitectura estará basada en controlador centralizado donde se aplican las políticas de tráfico, autenticación, seguridad, etc. El controlador ha de poder gestionar de forma indistinta y simultánea todos los equipos wireless de la solución, independientemente de que estos sean outdoor, indoor o mesh, con el fin de poder unificar y escalar la solución propuesta.

Características del controlador:

- El controlador deberá soportar un mínimo de 240 puntos de acceso operando simultáneamente, con capacidad de escalar a 250 puntos de acceso mediante licencias de software adicionales.
- Soporte de los protocolos:
 - IEEE 802.1x
 - IEEE 802.11d
 - IEEE 802.11h
- Recuperación automática de los puntos de acceso ante una caída.
- Autoajuste de celdas de cobertura.
- Detección de puntos de acceso intrusos (funcionalidades mínimas de IDS/IPS integradas en el controlador)
- Gestión de seguridad (basada en el estándar IEEE 802.11i)

- Autenticación de usuarios mediante portal cautivo.
- Gestión de calidad de servicio (basada en el estándar IEEE 802.11e).
- Fast Roaming con preautenticación
- Interfaz de red Gigabit Ethernet-1000BaseT, Fiber-1000BaseSX, Fiber-1000BaseLH

El equipo controlador deberá cumplir las siguientes especificaciones:

Cumplimiento de RFCs (pila de protocolos TCP/IP)

TCP/IP: RFC 768 UDP, RFC 791 IP, RFC 792 ICMP, RFC 793 TCP, RFC 826 ARP, RFC 1122 Requirements for Internet Hosts, RFC 1519 CIDR, RFC 1542 BOOTP, RFC 2131 DHCP.

Requerimientos de seguridad

Normas, WPA, IEEE 802.11i (WPA2, RSN), RFC 1321 MD5 Message-Digest Algorithm, RFC 1851 The ESP Triple DES Transform, RFC 2104 HMAC: Keyed Hashing for Message Authentication, RFC 2246 TLS Protocol Version 1.0, RFC 2401 Security Architecture for the Internet Protocol, RFC 2403 HMAC-MD5-96 within ESP and AH, RFC 2404 HMAC-SHA-1-96 within ESP and AH, RFC 2405 ESP DES-CBC Cipher Algorithm with Explicit IV, RFC 2406 IPsec, RFC 2407 Interpretation for ISAKMP, RFC 2408 ISAKMP, RFC 2409 IKE, RFC 2451 ESP CBC-Mode Cipher Algorithms, RFC 3280 Internet X.509 PKI Certificate and CRL Profile, RFC 3602 The AES-CBC Cipher Algorithm and Its Use with IPsec, RFC 3686 Using AES Counter Mode with IPsec ESP.

Requerimientos de cifrado

WEP and TKIP-MIC: RC4 40, 104 and 128 bits (both static and shared keys), SSL and TLS: RC4 128-bit and RSA 1024-and 2048-bit, AES: CCM, CCMP, IPsec: DESCBC, 3DES, AES-CBC.

Requerimientos de autenticación, autorización y registro (accounting) (AAA)

IEEE 802.1X, RFC 2548 Microsoft Vendor-Specific RADIUS Attributes, RFC 2716 PPP EAP-TLS, RFC 2865 RADIUS Authentication, RFC 2866 RADIUS Accounting, RFC 2867 RADIUS Tunnel Accounting, RFC 2869 RADIUS Extensions, RFC 3576 Dynamic Authorization Extensions to RADIUS, RFC 3579 RADIUS Support for EAP, RFC 3580 IEEE 802.1X RADIUS Guidelines, RFC 3748 Extensible Authentication Protocol, Web-based authentication.

Requerimientos de gestión remota

SNMP v1, v2c, v3, RFC 854 Telnet, RFC 1155 Management Information for TCP/IP-Based Internet RFC 1156 MIB, RFC 1157 SNMP, RFC 1213 SNMP MIB II, RFC 1350 TFTP, RFC 1643 Ethernet MIB, RFC 2030 SNTP, RFC 2616 HTTP, RFC 2665 Ethernet-Like Interface types MIB, RFC 2674 Definitions of Managed Objects for Bridges with Traffic Classes, Multicast Filtering, and Virtual LAN Extensions, RFC 2819 RMON MIB, RFC 2863 Interfaces Group MIB, RFC 3164 Syslog, RFC 3414 User-Based Security Model (USM) for SNMPv3, RFC 3418 MIB for SNMP, RFC 3636 Definitions of Managed Objects for IEEE 802.3 MAUs, Web-based: HTTP/HTTPS, Command-line interface: Telnet, SSH, serial port.

Características de los nodos WiFi en la ciudad:

- Radio dual bajo los estándares IEEE 802.11a y 802.11b/g con soporte MRC (Maximal Ratio Combining)
- Soporte de los protocolos:
 - 802.11i, WPA2
 - 802.11e
 - 802.1X,
- Soporte DFS (Dynamic Frequency Selection) en la banda de 5 GHz de acuerdo a la normativa española vigente.
- Posibilidad de ser alimentados por cable de datos (IEEE 802.3af), 90 - 480 VAC, 47–63 Hz, 12 VDC
- Tres antenas para la banda de 2,4 Ghz con una ganancia de 8 dBi (omnidireccional) y una antena para la banda de 5,4-5,7 GHz con una ganancia de 8dBi (omnidireccional).
- Diseñados para exteriores según normativas IP67 y NEMA 4X (Clase 1, División 2 / Zona 2. Grupo B, C, D)
- Interfaz de red Gigabit Ethernet-1000BaseT, Fiber-100BaseBX
- Certificación WiFi (WiFi Alliance)
- Posibilidad de Bateria auxiliar de alimentación.
- Estándar ETSI Radio: EN 300 328, EN 301 893
- Estándar EMC: FCC parte 15.107, 15.109, ICES-003
- Estándar Seguridad: EN 60950
- Condiciones medioambientales:
 - Temperatura: -40°C a 55°C
 - Resistencia al viento: 160Km/h

La siguiente figura muestra las diferentes zonas WiFi previstas a cubrir

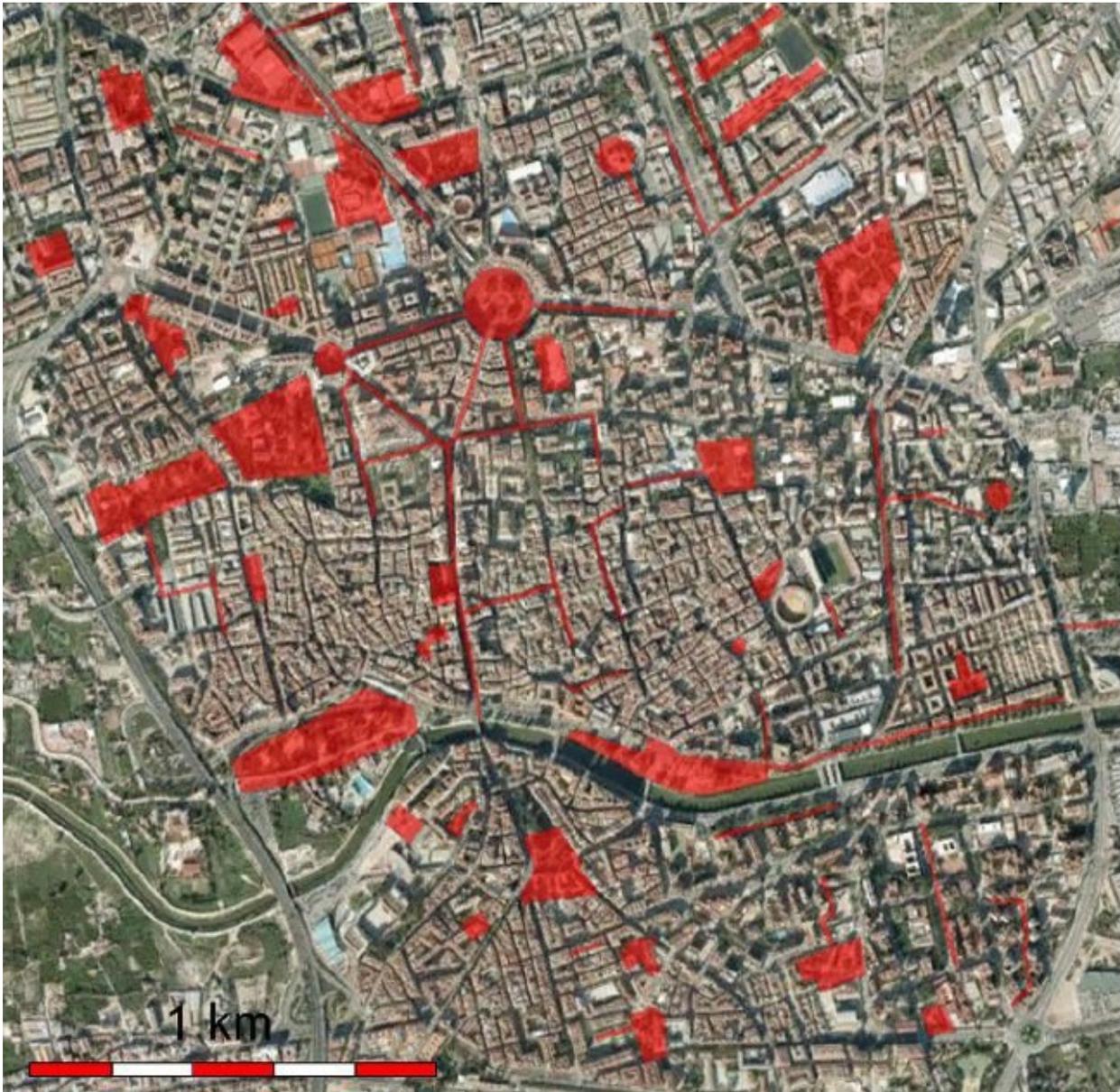


Figura 2.3) Zonas de cobertura WiFi a cubrir

Características de los nodos WiFi en Pedanías:

- Radio bajo el estándar IEEE 802.11g
- Soporte de los protocolos:
 - 802.11i, WPA2, WPA
 - 802.1X
 - LWAPP
- Posibilidad de ser alimentados por cable de datos (IEEE 802.3af) +12v a +40v DC
- Diseñados para exteriores según normativas IP56, NEMA 4 y UL2083.
- Interfaz de red FastEthernet 10/100BaseT

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

- Certificación WiFi (WiFi Alliance)
- Estándar ETSI Radio: EN 300 328 y diseñado para EN60945
- Estándar EMC: EN 55022 Clase B, EN 55024, EN 301.489-1 y 17. Diseñado para cumplir ISO 11452-24, EN50121, EN60571 y SAEJ1113
- Estándar Seguridad: EN 60950; 1992, enmienda 1-4
- Condiciones medioambientales:
 - Temperatura Operacional: -30°C a +55°C
 - Temperatura Almacenamiento: -40°C a +85°C
 - Humedad: 0 a 100% a 38 °C
 - Vibración: SAEJ1455 sección 4.9

Para extender la red de acceso WiFi hasta las pedanías, se utilizará un nodo WiFi ubicado en el centro municipal de la pedanía, dando cobertura al exterior del mismo y se utilizará la conexión de red ADSL-VPN existente en dicho centro para llevar los datos hasta la red de gestión en el edificio de Glorieta.

El listado de la ubicación de los nodos WiFi en las pedanías es el siguiente:

- ALGEZARES C/Saavedra Fajardo, s/n.
- ALJUCER C/Vitoria, 3
- ALQUERÍAS C/Agustín Virgili, 8
- BAÑOS Y MENDIGO C/Puente Viejo
- BARQUEROS C/Vereda, 4
- Bº DEL PROGRESO C/Puerto Rico, 1º
- BENIAJÁN C/Estación, s/n
- CABEZO DE TORRES C/Moreno Cortés, s/n
- CAÑADA HERMOSA Aparcamiento del Pedruzco
- CAÑADAS SAN PEDRO Avda. de Murcia
- CARRASCOY-LA MURTA Escuelas Viejas "Caserio de los Garneses"
- CASILLAS C/Miguel de Cervantes, 1
- CHURRA C/Mayor, 22
- COBATILLAS C/Escuelas s/n
- CORVERA C/de la Libertad, 6
- EL ESPARRAGAL Pza. de la Iglesia.
- EL PALMAR C/Mayor, 18
- EL PUNTAL C/Pérez Urruti, 1
- EL RAAL Vereda de los Simones, 4.
- ERA ALTA C/Doctor Fleming, s/n
- GEA Y TRUYOLS Avda. Mediterráneo
- GUADALUPE Avda. Libertad s/n.
- JAVALI NUEVO Plaza de la Ermita
- JAVALI VIEJO Plaza Fontes, 1
- JERONIMO-AVILESES C/Molino, 8
- LA ALBATALIA Carril de las Escuelas, 9

- LA ALBERCA Pza. Martínez Tornel s/n
- LA ARBOLEJA Carril de los Pepines
- LA ÑORA Avda. Dr. Miguel Ballesta, 1
- LA RAYA C/Poeta García Lorca s/n
- LLANO DE BRUJAS C/González Valentín, 10
- LOBOSILLO C/Miguel Angel Blanco Garrido, 8
- LOS DOLORES C/Alhambra, 2 Bajo.
- LOS GARRES C/Alegría, 1
- LOS M. DEL PUERTO C/Paraje de los Ruices S/N
- LOS RAMOS Avda. Juan Carlos I, 2.
- MONTEAGUDO Avda. Constitución, 98
- NONDUERMAS Carril de los Párragas, 1
- PATIÑO Avda. Manolo Cárceles el Patiñero
- PUEBLA DE SOTO C/Federico García Lorca, 4
- PUENTE TOCINOS Plaza de América, s/n
- R. BENISCORNIA Avenida Rio Segura, s/n
- R. DE SECA Plaza San Joaquín, 4.
- SAN GINES Carril Escuelas s/n.
- S. JOSE DE LA VEGA C/San José, 1
- S. LA SECA Avda. Pablo Iglesias, 12.
- S. LA VERDE C/Juan de la Cierva, s/n
- SANTA CRUZ C/Francisco Conesa, 1
- SANTIAGO Y ZARAICHE Avda. Nuestra Señora de Atocha, s/n
- SANTO ANGEL C/Isidoro de la Cierva, 11
- SUCINA Explanada en Avd. Constitución 8
- TORREAGÜERA C/San Ramón, 3.
- VALLADOLISES C/Del Reino, 3
- ZARANDONA C/Isaac Peral, 2
- ZENETA Avda. Juan Carlos I

El sistema diseñado también proporcionará mecanismos de protección ante interferencias. Estos mecanismos de protección funcionaran de forma automática sin requerir intervención manual.

1.6) Servicios

La red inalámbrica que se instalará estará capacitada para poder soportar servicios futuros, de valor añadido tanto fijos como móviles, tales como los que se indican a continuación:

1.6.1) Servicios Fijos:

- Sistemas de videocontrol:

Servicios basados en el uso de tecnologías visuales que permiten realizar el control del cumplimiento de leyes o normativas municipales. No se trata de un servicio en tiempo real, sino que se basa en la captación de imágenes que luego serán gestionadas por los organismos competentes

- Sistemas de videovigilancia (CCTV):

Permiten la visualización e incluso la escucha, en tiempo real, de cualquier incidencia generada en el punto de vigilancia. Se basa en el uso de circuitos cerrados de televisión que son observados y evaluados por personal competente.

- Paneles Informativos en calles (Videocartería Digital):

Son pantallas de información al usuario, distribuidas en diferentes emplazamientos, que ofrecen un servicio de información al ciudadano mediante la emisión de contenidos tanto en formato texto como audiovisual que puedan requerir de conexiones de banda ancha.

- Control de autómatas:

Elementos automáticos (programables y diseñados para controlar en tiempo real un dispositivo determinado en base a unas instrucciones establecidas en un programa) destinados al servicio de la ciudadanía. Algunos ejemplos de autómatas son los equipos controladores de reguladores semafóricos, controladores de iluminación, controladores de escaleras mecánicas o de riego de jardines.

- Sistemas de tarificación:

Servicios para habilitar las comunicaciones de sistemas de tarificación de servicios ofrecidos por el Ayuntamiento tales como, maquinaria de la ORA y otros.

1.6.2) Servicios móviles:

En general se trata de servicios similares a los descritos en el primer punto de los servicios fijos, pero con la particularidad de poder mover el equipo captador y generador de imágenes a ser transmitidas, de un emplazamiento a otro.

- Sistemas de videocontrol:

Servicios basados en el uso de tecnologías visuales que permiten realizar el control del cumplimiento de leyes o normativas municipales, mediante dispositivos móviles. No se trata de un servicio en tiempo real, sino que se basa en la captación de imágenes que luego serán gestionadas por los organismos competentes.

- Servicios de voz:

Servicios de voz corporativos para comunicaciones internas de esta administración. Este tipo de servicio se implementaría mediante la tecnología Voz sobre IP (VoIP), la cual no solo ofrece las mismas prestaciones que puede ofrecer la telefonía móvil convencional, sino que además permite el despliegue de un amplio porfolio o lista de servicios adicionales

- Gestión de flotas:

Servicios para gestión de flotas de vehículos municipales permitiendo conocer la posición de dichos vehículos en cualquier momento (policía, bomberos y flota municipal).

1.7) Sistema de gestión WiFi

El sistema de gestión debe tener funcionalidades que permitan realizar actividades de planificación, configuración y gestión de la red inalámbrica, tanto de los puntos WiFi como de los enlaces WiMAX.

Las especificaciones que debe cumplir el sistema de gestión son las siguientes:

- Interfaz gráfica de usuario intuitiva y de fácil uso
- Posibilidad para crear jerarquía de mapas para facilitar la exploración en diferentes geografías, áreas, edificios, plantas, etc.
- Posibilidad de protección contra intrusiones no autorizadas y ataques de RF.
- Soporte de acceso seguro mediante RADIUS y TACACS
- Posibilidad de realizar análisis de averías mediante la exploración por capas de red
- Generación de reportes
- Plantillas de Configuración para facilitar la asignación de las mismas a los controladores de red inalámbrica y puntos de acceso.
- Posibilidad de realizar auditorías de red.
- Interfaz HTTP y HTTPS

1.8) Sistema de gestión de Ancho de Banda

El sistema de gestión de ancho de banda debe ofrecer la posibilidad de limitar el ancho de banda asignado a cada usuario, limitar o priorizar distintos tipos o grupos de tráfico, asignando distintos anchos de banda a dichos grupos. Asimismo, debe permitir la configuración de distintos grupos de usuarios a los que se les asignen distintas calidades de acceso y de servicio y deberá estar integrado con el sistema de gestión de usuarios. La aplicación de gestión de usuarios deberá permitir extraer listados de usuarios con los diferentes tipos de servicios y/o calidad de acceso configurados.

Entre las características que debe cumplir el gestor de ancho de banda se encuentran:

- Control del número de conexiones simultáneas por servicio y del número de nuevos intentos de conexión simultáneos que el equipo soporta.
- Incluir el software necesario para poder realizar las labores de monitorización y priorización de tráfico.
- El rendimiento del equipo no se degradará en función del número de flujos que atraviesan el equipo.
- Clasificación de tráfico por dirección MAC y por dirección IP.
- Capacidad de clasificar tráfico en función de la hora del día.
- Capacidad de clasificar tráfico en VLANs (soporte del protocolo IEEE 802.1Q)
- Clasificación por el campo ToS de los paquetes IP y MPLS.
- Capacidad de clasificación y gestión de tráfico a nivel de aplicación basado en firmas que se podrán actualizar sin necesidad de reinstalar una versión de software sino por el contrario a través de la web.
- Soporte más avanzado de aplicaciones P2P. Así, por ejemplo, se reconocerán aplicaciones P2P cifradas en SSL.
- Gestión de ancho de banda independiente en cada sentido de la comunicación: Upstream y Downstream.

- Posibilidad de definir plantillas de reglas de QoS.
- Capacidad para consultar sistemas de aprovisionamiento externos para obtener IPs variables que se utilicen en la clasificación del tráfico. Posibilidad de clasificar el tráfico de usuarios que cambian su IP de forma dinámica.
- Deberá además incluir un software de gestión y archivo.
- Debe gestionar un ancho de banda de 50 Mbps y ampliable hasta 100 Mbps.
- El equipo debe soportar por lo menos 4.096 políticas o virtual channels.
- El equipo tendrá 1 puerto Ethernet 10/100/1000 para gestionar el tráfico.
- Deberá tener un puerto de gestión independiente que se podrá asegurar tras una DMZ.
- El equipo contará con una unidad de bypass que en caso de caída del sistema de gestión no corte las comunicaciones. El dispositivo debe disponer de un puerto de consola (RJ45).
- Por lo menos se deberá soportar los siguientes protocolos P2P: KaZaa (V1 & V2) incluido Upload Vs Download, Grokster, iMesh, Poised, Diet Kaza, eDonkey, eMule, xMule Gnutella incluido Upload Vs Download, Ares, Shareaza, Morpheus, Gnucleus, XoloX LimeWire FreeWire, Bearshare, Acquisition, Nova, Phex, Gtk- Gnutella, Swapper.NET, Warez, BitTorrent WinMX Direct connect, DC++ BCDC++, OverNet, MP2P, Motilino, Blubster, Piolet, RocketNet Winny 1 & 2, Hotline, Manolito, Piolet, Blubster, Jabber, Madster-Aimster, SoulSeek EarthStation5 Included SSL download support, Filetopia.
- Posibilidad de que el ayuntamiento defina sus propias aplicaciones propietarias y por lo tanto pueda gestionar el su ancho de banda.
- Definición de Alertas que permitan superados determinados umbrales de consumo de tráfico por aplicación/servicio/usuario, generar una alarma, enviar un correo electrónico, SMS, etc.

1.9) Descripción de la solución de red propuesta

En este apartado se describe la solución adoptada para llevar a cabo el proyecto. Se incluyen varios subapartados, haciendo referencia cada uno de ellos a los diferentes bloques que comprenden la red:

- Red de transporte:** Esta red se encarga de interconectar las distintas estaciones base que componen la red de distribución a través de enlaces de fibra óptica.
- Red de distribución:** Esta red estará formada por las estaciones base que tienen como misión conectar con las distintas zonas WiFi-Mesh (que forman parte de la red de acceso) con la red corporativa municipal.
- Red de acceso:** Esta red es la que ofrece conectividad a los usuarios finales basándose en el estándar IEEE 802.11.

1.9.1) Red de Transporte

La red de transporte será la encargada de interconectar todas las estaciones base a través de enlaces de fibra óptica. Será una red en estrella, de forma que las estaciones base del Cuartel de Bomberos Infante (EB2), Príncipe de Asturias (EB3) y Palacio de los Deportes (EB4) estarán conectadas con la estación base de Glorieta (EB1).

La unión entre EB1 y EB2 se realizará mediante fibra óptica multimodo municipal con una velocidad de 100Mbps.

Para el resto de uniones entre estaciones base (EB3 y EB4 con EB1), se utilizarán enlaces de fibra óptica monomodo alquilados al operador Telefónica con una velocidad de 1000Mbps.



Figura 2.4) Red de Transporte

1.9.1.1) Equipamiento Propuesto

Para la unión entre las estaciones base EB1 y EB2 se utilizarán conversores de medios de fibra óptica a cobre de 100BaseFX a 100BaseTX, mientras que para el resto serán de 1000BaseLX a 1000BaseTX, ya que el resto de fibras ópticas con monomodo.



Figura 2.5) Conversor de medios

1.9.2) Red de Distribución

Estación Base

Como solución para las Estaciones Base se han elegido equipos profesionales del fabricante líder mundial en tecnología WiMAX **Alvarion**[\[8\]](#), en concreto la familia **BreezeAccess VL**.



Figura 2.6) Estación Base WiMAX

Emplean tecnología basada en el estándar 802.16 del IEEE y están diseñados para comunicaciones *carrier class*.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

BreezeACCESS VL de Alvarion es una solución punto a multipunto (PtMP), que provee conectividad exterior de banda ancha inalámbrica para una variedad de aplicaciones en despliegues urbanos y rurales. Esta plataforma ampliamente desplegada ofrece un enlace exterior de probada confiabilidad con seguridad y capacidad mejorada, como así también QoS para datos, voz y video.

Las principales características de este producto son:

- Solución Premium 5GHZ PtMP
- QoS para aplicaciones de datos, voz y video
- Alcance de cobertura de hasta 30 Km. en línea de visibilidad directa (Line of Sight – LOS)
- Capacidad de hasta 32 Mbps por sector
- Hasta 512 suscriptores por sector
- Conectividad segura – AES 128
- Basado en HW, FIPS.140-2*
- Tecnología TDD OFDM NLOS
- MIR/CIR configurable por dirección de suscriptor
- Basado en licencia flexible
- Configuraciones “Pague a medida que vaya creciendo”
- Amplia gama de unidad suscriptor, que soporta varias aplicaciones y requerimientos de los clientes.

Cada estación base estará formada por dos componentes:

Estación Base: Es la unidad central del sistema y permite la conexión de los suscriptores con el Backbone de la red.

- Estación base sobre chasis: Estación de base modular con un chasis universal. Puede alojar hasta seis unidades de acceso (AU)
 - Chasis de 19”
 - De 1 a 6 sectores por chasis
 - Unidad exterior (ODU) para cada sector
 - Diferentes bandas de “Add and drop”
 - Suministro de energía redundante opcional
 - Capacidad de red total > 192 Mbps (32 x 6 sectores)

La Estación base de la solución BreezeACCESS VL es capaz de proporcionar el siguiente ancho de banda para cada una de las modulaciones posibles:

	VL			VL		
Channel	20MHz			10MHz		
Rev	C			C		
Burst	Yes			Yes		
Concat	Yes			Yes		
AES	No			No		
WEP	No			No		
Direction	Up	Down	Aggri	Up	Down	Aggri
Modulation 1	5	4,9	5	2,6	2,3	2,5
Modulation 2	7,2	7,1	7,3	3,6	3,4	3,5
Modulation 3	9,6	9,6	9,7	4,8	4,7	4,8
Modulation 4	13,7	14,4	14,2	6,8	6,7	7
Modulation 5	18,1	18,9	18,5	8,7	9	9
Modulation 6	25	26,8	26	12,2	12,7	12,9
Modulation 7	31,1	32,4	32,4	15,5	17	16,5
Modulation 8	33,5	35,2	34,4	16,8	18,5	17,9

Tabla 2.2) Velocidad de las diferentes modulaciones de la Estación Base WiMAX

Unidad de Suscriptor: Consiste en una unidad de interior (IDU) y una de exterior (ODU). La IDU se conecta a la red vía un interfaz Ethernet estándar 10/100BaseTX (RJ- 45) y a la ODU vía cable CAT-5.

La IDU proporciona el interfaz al equipo del usuario y se alimenta a 110/220 VAC. El equipo de datos del cliente está conectado vía interfaz estándar Ethernet 10/100BaseT (RJ 45) IEEE 802.3. La unidad de interior está conectada con la unidad externa vía cable Ethernet categoría 5. Este cable lleva tráfico Ethernet entre el módulo de interior y la unidad de exterior, y también transfiere la alimentación eléctrica (54 VDC).

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

- SU-54:
 - Rendimiento agregado
- SU-54: 32 Mbps
 - Número de componentes diferentes para cada frecuencia (0.9, 4.9, 5.2, 5.3, 5.4, 5.8)
 - Instalación rápida utilizando LEDs para alineamientos rápidos
 - Soporta dos servicios diferentes por SU (dos niveles de prioridad)
 - Alcance de cobertura de hasta 30 Km. (LOS)
 - Una caja en forma de diamante (22 x 22 x 7 centímetros) con antena incluida de alta ganancia.



Figura 2.7) Unidad suscriptora WiMAX SU-54

La estación suscriptora es capaz de proporcionar el siguiente ancho de banda para cada uno de los modelos ofertados (en Mbps):

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

	SU-6 VL			SU-54 VL		
Channel	20MHz			20MHz		
Rev	C			C		
Burst	Yes			Yes		
Concat	Yes			Yes		
AES FIPS197	No			No		
AES	No			No		
Direction	Up	Down	Aggri	Up	Down	Aggri
Modulation 1	3,86	4,86	5	5	4,9	5
Modulation 2	3,86	5,66	6,7	7,2	7,1	7,3
Modulation 3	3,86	5,66	7	9,6	9,6	9,7
Modulation 4	3,86	5,66	7,1	13,7	14,4	14,2
Modulation 5	3,86	5,66	7,1	18,1	18,9	18,5
Modulation 6	3,86	5,66	7,2	25	26,8	26
Modulation 7	3,86	5,66	7,1	31,1	32,4	32,4
Modulation 8	3,87	5,67	6,4	33,5	35,2	34,4

Tabla 2.3) Velocidad de las diferentes modulaciones de la unidad suscriptor WiMAX

Las principales ventajas que aporta esta solución son:

- Acceso Seguro:** Un sistema robusto y probado que permite ofrecer un servicio, best-of-class, que incluye alta capacidad y largo alcance. La Unidad de Acceso (AU) selecciona automáticamente algoritmos para proveer el mejor servicio posible; asimismo, provee una rápida alineación de antena y el cumplimiento con SLA (Acuerdo de Nivel de Servicio).
- Conectividad de calidad:** Asignación optimizada de ancho de banda, incluyendo priorizaciones de tráfico y de estándares de transmisión “over-the-air” (inalámbrica), para adaptarse de la mejor manera a una amplia variedad de aplicaciones, tales como datos, voz y emisión de vídeo en directo, proveyendo conectividad rentable y de calidad.
- Flexibilidad:** Las unidades de suscriptor pueden ser ubicadas exactamente donde se requiera y ser transferidas cuando sea necesario, dado que el sistema está libre de las limitaciones de infraestructura de cables y asegura una comunicación completa en toda configuración posible.
- Instalación rápida:** Las unidades de suscriptor pueden ser fácilmente desplegadas, utilizando la barra de LEDs de alineamiento SNR, permitiendo minimizar los gastos de explotación (OPEX) y agilizar el tiempo de instalación.

- **Proyectos comerciales convincentes:** Combinación de reducción de gastos de explotación y de capital respaldados por una eficiencia maximizada, con menor necesidad de equipamiento. Todo ello asistido por un sistema de pagos flexibles a medida que vaya creciendo
- **Maximización de modularidad:** Soporte fuera de la línea de visibilidad directa (Non Line of Sight – NLOS), alta capacidad de ancho de banda, cobertura incrementada, perfiles de suscriptor múltiple en el mismo sector y soporte de red
- **Confiabilidad y disponibilidad:** Soluciones exteriores reforzadas, confiables, capaces de operar en una extendida amplitud de temperaturas.
- **Seguridad:** Cifrado incorporado y un sistema seguro de gestión y autenticación.

Las principales características técnicas del producto BreezeACCESS VL son:

Especificaciones			
Radio			
Frecuencia 902-927 MHz, 4.9-5.1 GHz, 5.15-5.35 GHz, 5.47-5.725 GHz, 5.725-5.875 GHz 4.9-5.875 GHz (SU-EZ)	Máxima potencia de entrada (en puerto de antena) -48 dBm típica	Esquema de modulación (adaptable) OFDM: BPSK, QPSK, QAM 16, QAM 64 Puerto de antena (AU-RE) N-Type 50 ohm	Antenas AU 60°: 16dBi, sector 60° vertical 90°: 16dBi, sector 90° vertical 120°: 15dBi, sector 120° vertical, 360°: 8dBi, Omni horizontal,
Método de acceso de radio Doble División de TiempoTDD	Máxima potencia de salida (en puerto de antena) AU: -10 dBm to 21 dBm, pasos 1 dB AU (900 MHz): -10 dBm to 27 dBm, pasos 1 dB SU: -10 dBm a 21 dBm, ajustada automáticamente por ATPC SU (900 MHz): -10 dBm a 27 Dm., ajustada automáticamente por ATPC SU-EZ: -9 dBm a 18 dBm, pasos 1 dB	Antena de suscriptor integrada 20 dBi (19 dBi in 4.9-5.1 GHz band), 14° H / V, panel plano integrado 17 dBi, 24°AZ x 18°EL, panel plano integrado (SU-EZ)	
Canal AU/SU: 5 MHz (900 MHz), 10 MHz, 20 MHz SU-EZ: 20 MHz			
Frecuencia central y resolución 0.5 MHz (900 MHz), 5 MHz, 10 MHz			
Comunicación de datos			
Soporte VLAN y QoS QinQ 802.1ad*, 802.1Q Priorización de tráfico inalámbrico WLP MIR /CIR por SU por dirección (UL / DL) Concatenación, modo de ráfaga, optimización de paquetes pequeños para voz** Control de energía de transmisión automática avanzada (ATPC)	Priorización de tráfico** Nivel 2: Basado en IEEE 802.1p Nivel 3: IP ToS conforme a RFC791 Y DSCP conforme a RFC2474 Nivel 4: alcance de puertoUDP/ TCP	Seguridad WEP 128-bit autenticación, AES 128, WEP 128, certificado modoFIPS-197 y FIPS-140-2* *** cifrado incorporado	
		* Actualmente no tiene soporte en SU-EZ ** Planeado para soporte futuroSU-EZ *** Certificación en entrega futura	

Características Eléctricas

Consumo de energía	
SU/ AU-SA:	25W
AU-BS:	30W (modulo más unidad exterior)
SU-EZ:	10W típico, máximo 40W
BS-PS-AC-VL (AC suministro de energía AC):	240W, chasis completo (1PS, 6 AU)
BS-PS-DC-VL (suministro de energía DC):	240W, chasis completo (1PS, 6 AU)
Energía de entrada	
SU / AU-SA:	Entrada AC 100-240 VAC, 50-60 Hz AU-
BS:	Entrada AC 100-240 VAC, 50-60 Hz SU-
EZ:	Entrada AC 85-265 VAC, 50-60 Hz DC salida 55 VDC, 1A MAX
PS (IDU):	54 VDC De interior a exterior 3.3 VDC, 54V De suministro de energía en panel posterior
BS-PS-AC-VL (suministro de energía AC):	Entrada AC 85-265 VAC, 47-65 Hz
BS-PS-DC-VL (suministro de energía DC):	Salida DC 54V, 3.3V Entrada DC -48 VDC nominal (-34 a -72), 10 A max. Salida DC 54V, 3.3V
Conectores	
ODU	
SU / AU-SA:	IDU
Ethernet: 10 /100BaseT RJ-45	SU / SU-EZ / AU-SA:
Radio: 10 /100BaseT Ethernet RJ-45	Interior: Conector de energía 3-clavija AC
AC IN: 10 /100BaseT Ethernet RJ-45	10 /100Base RJ-45 A prueba de agua
SU-EZ:	AU-BS:
Ethernet: 10 /100 BaseT RJ-45	BS-PS-AC-VL (suministro de energía AC): conector de energía AC IN: 3-clavija
Radio: 10 /100 BaseT Ethernet RJ-45	BS-PS-DC-VL (Suministro de energía DC):
AC IN: 3-pin AC conector de energía	-48 VDC: conector de energía Amphenol 3-clavija DC D-Tipo 3
AU-BS:	
Ethernet:: Montaje de sellado	
Radio: 10 /100BaseT Ethernet RJ-45	

Configuración y Gestión

Gestión local y remota
Monitor vía Telnet, SNMP y
Configuración carga /descarga web y
SSH V2 (solo en SU-EZ)

Acceso de Gestión Remota
De LAN por cable, enlace inalámbrico

Protección de acceso de gestión
Contraseña de nivel múltiple.
Configuración de dirección remota
(de Ethernet solamente, solamente
inalámbrica o ambos lados)
Configuración de dirección IP de
estaciones autorizadas

Actualización de Software
Via TFTP y FTP

Configuración carga/descarga
Via TFTP y FTP

Agentes SNMP
SNMP v1 cliente, MIB II, Puente MIB,
Privado BreezeACCESS VL MIB

Físico y medio ambiente

Dimensiones			
SU ODU con antena integrada:	30.5 x 30.5 x 6.2 cm (0.55 kg) / 12 x 12 x 2.4 in (1.21 lb) SU		
ODU sin antena integrada:	30.6 x 12 x 4.7 cm (1.85 kg) / 12 x 4.7 x 1.8 in (4.07 lb)		
Unidad exterior SU-EZ:	195 x 190 x 74 mm (1.47 kg) / 7.6 x 7.4 x 2.9 in (3.24 lb)		
Unidad interior SU-EZ:	140 x 66 x 35 mm (0.3 kg) / 5.5 x 2.6 x 1.3 in (0.66 lb)		
Temperatura en operaciones			
Unidades exteriores SU/AU:	-40°C to 55°C	Humedad en operaciones	
Unidades interiores SU/AU:	0°C to 40°C	Unidades exteriores SU/AU:	5%-95% no condensante, protegidas del clima
Unidades exteriores SU-EZ:	-40°C to 55°C	Unidades interiores SU/AU:	5%-95% no condensante
Unidades interiores SU-EZ:	0°C to 40°C	Unidades exteriores SU-EZ:	Máximo 95% no condensante

Cumplimiento de estándares

Tipo Estándar	Medio ambiental EN 300 019 componente 2-3 clase 3.2E para unidades interiores	Transporte EN 300 019-2-2 class 2.3
EMC FCC Componente 15 clase B, EN55022 class B, EN 301 489-1/4	EN 300 019 componente 2-4 clase 4.1E para unidades exteriores IP-67, SU antena integral IP-65	Protección contra los rayos EN 61000-4-5, clase 3 (2kV)
Seguridad EN 60950-1, UL 60950-1	Memoria EN 300 019-2-1 class 1.2E	Radio FCC componente 15, FCC P.90, EN 301 893 (V 1.3.1) IC RSS-210 (Canadá) EN 302 502
	Substancias peligrosas En conformidad con RoHS	

Figura 2.8) Características técnicas Estación Base BreezeACCESS VL

1.9.2.1) Elementos Radiantes

En la implementación de las diferentes Estaciones Base se han utilizado las siguientes antenas externas:

- BS Ayuntamiento: 3 antenas sectoriales de 60°, polarización vertical con una ganancia de 16dBi y en la banda de trabajo de 5.8GHz
- BS Bomberos Infante: 3 antenas sectoriales de 120°, polarización vertical con una ganancia de 15dBi y en la banda de trabajo de 5.8GHz
- BS Palacio de los Deportes: 3 antenas sectoriales de 120°, polarización vertical con una ganancia de 15dBi y en la banda de trabajo de 5.8GHz
- BS Príncipe de Asturias: 3 antenas sectoriales de 120°, polarización vertical con una ganancia de 15dBi y en la banda de trabajo de 5.8GHz

Para los suscriptores WiMAX, se ha elegido el modelo SU-54, con una antena integrada de 20dBi, polarización vertical y en la banda de trabajo de 5.8GHz

1.9.3) Red de Acceso WiFi

Se creará una red de acceso inalámbrica WiFi que use el estándar IEEE 802.11 y la que se pueden conectar clientes usando terminales que implementen dicho estándar.

Se diferencian dos partes en la red de acceso:

- Zonas WiFi dentro de la propia ciudad: Esta red tendrá una topología mallada y se conectará a la red utilizando la red de distribución.
- Zonas WiFi en las pedanías: Serán un solo punto WiFi instalado en las inmediaciones de los edificios municipales correspondientes. La conectividad con la red de gestión de estos

puntos se hará a través de la líneas ADSL que proporciona el ayuntamiento en dichos edificios municipales.

Se proponen puntos de acceso WiFi compatibles con los estándares IEEE 802.11a/b/g (54 Mbps, 2,4 GHz y 5 GHz). Además de ofrecer mayor ancho de banda, emplean una modulación más resistente a las interferencias, sobre todo las debidas a propagación multicamino.

En lugar de usar una topología clásica (infraestructura con un sistema de distribución cableado) se optará por proponer una topología más innovadora basada en el concepto de *mesh*, también denominado “redes malladas”, debido al amplio número de ventajas que aportan para un despliegue urbano de exteriores. Se propondrán puntos de acceso que implementen el soporte para el protocolo LWAPP (*Light Weight Access Point Protocol*) y topología tipo *mesh*.

Una red de estas características permite a las estaciones radio intercambiar paquetes de datos de los clientes a los que dan servicio entre ellas sin necesidad de que estén conectadas mediante un sistema de distribución cableado clásico. Además, en lugar de usar un diseño de red multipunto (una estación base y múltiples clientes) o punto a punto (dos estaciones conectadas directamente) usa un diseño mallado, en el que las estaciones establecen múltiples conexiones con otras estaciones en su vecindad. Los paquetes de datos de los clientes “saltarán” de un nodo a otro siguiendo algoritmos de enrutamiento dinámicos hasta llegar a su destino.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

Capacidades	Ventajas
Menor coste de despliegue	No todos los puntos de acceso necesitan una conexión cableada al sistema de distribución, lo que implicaría un elevado coste en un despliegue metropolitano en exteriores
Facilidad de despliegue	La instalación de nuevos nodos en la red es muy simple, ya que en la mayoría de las implementaciones dichos nodos descargan sus datos de configuración de la propia red
Escalabilidad	La red puede crecer fácilmente añadiendo nuevos nodos a la red conforme se necesiten nuevos requisitos de cobertura o capacidad
Tolerancia a fallos	Dado que se usa un algoritmo dinámico de enrutamiento, un fallo en cualquiera de los nodos es fácilmente soslayable usando un camino alternativo
Rendimiento	Existe la posibilidad de seleccionar rutas para los paquetes optimizadas en función de las características de propagación, que pueden recalcularse dinámicamente si dichas características cambian.
Configuraciones NLOS (Non-Line-of-Sight)	De nuevo, gracias a la flexibilidad en los algoritmos de enrutamiento, es posible desplegar configuraciones sin línea de visión que de otro modo no serían posibles, hecho fundamental en despliegues metropolitanos

Tabla 2.4) Ventajas redes malladas

Para la implementación se ha optado por escoger equipos **Cisco**^[9], líderes de mercado en lo referente a tecnología de controladores inalámbricos y despliegues tipo *mesh*, sobre todo después de absorber a uno de los líderes en ese sector, Airespace. En este tipo de implementaciones, los aspectos relacionados con el acceso de los usuarios, seguridad, rendimiento, servicios de movilidad, etc. se encuentran centralizados en la figura de un controlador central hardware en el que reside toda la inteligencia de la red. Junto con el controlador central operan los correspondientes puntos de acceso (tanto aquellos que permiten topología *mesh* como aquellos que funcionan usando un modelo clásico de acceso), que simultáneamente proporcionan acceso a la red y monitorización RF, con lo que no sería

necesario adquirir una red de sensores adicionales para proteger la seguridad de la red (reduciéndose el coste del despliegue).

Las principales innovaciones que presenta esta nueva tecnología son las siguientes:

- *Roaming optimizado* para soporte de VoIP y aplicaciones sensibles a la temporización.
- Gestión avanzada RF:
Capacidad de monitorización en tiempo real de los niveles de cobertura.
Autorreparación y autoconfiguración de la red.
- Planificación y posicionamiento automatizado de los puntos de acceso basándose en los datos sobre el entorno y con los requerimientos de capacidad, cobertura y seguridad especificados.
- Capacidades de monitorización avanzadas, con generación de informes y salida gráfica de datos en tiempo real.
- Hasta 16 redes virtuales por punto de acceso, con posibilidad de asociarlas a las VLANs especificadas.
- Fácil escalabilidad de la red asegurada.
La gestión y configuración del sistema se realiza de forma centralizada desde el interfaz web proporcionado por el wireless switch, con las ventajas que ello conlleva.
Radio dual, para separar el plano de *backhaul* del plano de acceso para los clientes, de modo que los puntos de acceso usan la banda de 5 GHz para conectarse entre ellos y formar un sistema de distribución, y la banda de 2.4 GHz para proporcionar acceso a los clientes inalámbricos, minimizando la interferencia y aumentando la capacidad del sistema
- Algoritmo de enrutamiento dinámico propietario de Cisco, denominado AWPP^[10] (*Adaptative Wireless Path Protocol*), que permite a los puntos de acceso dialogar entre sí para maximizar la capacidad del sistema, escogiendo la mejor ruta posible para los paquetes, evaluando el potencial de cada enlace para mejorar el rendimiento.
- Integración total en la estructura de control y gestión de Cisco, a través de los correspondientes controladores inalámbricos (WLC), y en un plano superior, el controlador central (WCS), con todas las ventajas que ello conlleva: autoconfiguración, gestión integral centralizada, capacidades de RF avanzadas, etc.

1.10) Equipamiento Propuesto

1.10.1) Puntos de acceso WiFi para la ciudad

Los puntos de acceso elegidos para la creación de clusters WiFi en la ciudad de Murcia pertenecen a la **serie 1552 de Cisco (AIR-CAP1552E-E-K9)**. Se trata de puntos de acceso pensados para uso en exteriores y que operan según el protocolo LWAPP, con lo cual pueden ser integrados en una estructura de control y configuración basada en los controladores inalámbricos de la **serie 5500 de Cisco**. Estos equipos disponen de las siguientes características:

- Dual: IEEE 802.11b/g/n y 802.11a/n simultáneo
- Múltiples opciones para el canal de subida: Gigabit Ethernet-1000BaseT, fibra y módem cable

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

- Múltiples opciones para la alimentación: Power-Over-Ethernet, Power over Cable, 12 VDC o batería interna.
- Software para el protocolo de puntos de acceso ligeros LWAPP
- Encriptación AES por hardware (sin pérdida de rendimiento) y certificados X.509 integrados en hardware para la conexión bridge/Mesh.
- Soporte WPA y WPA2. Compatible con 802.11i
- Soporte servidor RADIUS
- 802.1x: Cisco LEAP, EAP-FAST, PEAP, EAP-TLS, EAP-TTLS y EAP-SIM.
- Autoconfiguración y soporte para el RRM (*Radio Resource Management*) vía WLC/WCS.
- Preparado para uso en exteriores con adversas condiciones climatológicas, rango de temperaturas de trabajo entre -40 y 55°, consideración IP67 (NEMA 4X)
- Tres conectores tipo-N para antenas duales de 2.4 GHz y 5 GHz.
- 2x3 MIMO con dos flujos espaciales
- Canales de 20 o 40 MHz
- Tasa de conmutación de la capa física PHY de 300Mbps
- Soporte DFS (Dynamic Frequency Selection) y CSD (Cyclic Shift Diversity)
- Antena externa de 8dBi tanto en 2.4GHz como en 5GHz.

El soporte para tres antenas tanto en la banda de 2.4 GHz como en la de 5 GHz, permite la utilización de un sistema de diversidad en recepción que mejora considerablemente los niveles de recepción de la señal, denominado *Maximum Ratio Combining*. Este sistema usa tecnología MIMO (múltiples antenas en emisión y recepción) procedente del estándar IEEE 802.11n para realizar un post-procesado de las señales que llegan por las tres antenas, y permite mejorar el rendimiento en entornos con múltiples reflexiones, como el que se puede producir en un escenario urbano con equipos en exteriores.

El aspecto que tiene un punto de acceso de estas características es el siguiente:



Figura 2.9) Nodo WiFi Ciudad

1.10.2) Puntos de acceso WiFi para las pedanías

Los puntos de acceso propuestos para las pedanías son la serie 1310 de Cisco (AIR-LAP1310G-K9).



Figura 2.10) Nodo WiFi Pedanía

Se trata de puntos de acceso pensados para uso en exteriores y que tienen la opción para operar según el protocolo LWAPP, con lo cual pueden ser integrados en una estructura de control y configuración que se implantará:

Estos equipos disponen de las siguientes características:

- Radio bajo el estándar IEEE 802.11g
- Soporte de los protocolos:
 - 802.11i, WPA2, WPA
 - 802.1X
 - LWAPP
- Posibilidad de ser alimentados por cable de datos (IEEE 803.3af) +12v a +40v DC
- Diseñados para exteriores según normativas IP56, NEMA 4 y UL2083.
- Interfaz de red FastEthernet 10/100BaseT
- Antena integrada de 13dBi
- Certificación WiFi (WiFi Alliance)
- Estándar ETSI Radio: EN 300 328 y diseñado para EN60945
- Estándar EMC: EN 55022 Clase B, EN 55024, EN 301.489-1 y 17. Diseñado para cumplir ISO 11452-24, EN50121, EN60571 y SAEJ1113
- Estándar Seguridad: EN 60950; 1992, enmienda 1-4
- Condiciones medioambientales:
 - Temperatura Operacional: -30°C a +55°C
 - Temperatura Almacenamiento: -40°C a +85°C
 - Humedad: 0 a 100% a 38 °C
 - Vibración: SAEJ1455 sección 4.9

1.10.3) Controlador inalámbrico

Los puntos de acceso propuestos requieren para su correcto funcionamiento conectividad con algún controlador inalámbrico de Cisco, de entre los que se han escogido los pertenecientes a la serie 5500, en concreto el modelo **5508 (AIR-CT5508-250-K9)**

La principal función de estos controladores inalámbricos es la de proporcionar la “inteligencia” de la red, así como el actuar como elementos de configuración y gestión centralizados, permitiendo implementar de manera eficiente y flexible las ventajas propias de redes inalámbricas desplegadas mediante *wireless switches*, tales como la gestión y configuración RF automática, roaming avanzado, seguridad centralizada, etc.

Las principales características del controlador **Cisco de la gama 5500** propuesto son las siguientes:

- Soporte para 250 puntos de acceso.
- Autoconfiguración automática y centralizada de los puntos de acceso (Zero Touch)
- Gestión inteligente de los recursos RF
 - Asignación automática de canales 802.11 para evitar interferencias cocanal
 - Detección y evasión de interferencias
 - Balanceo de carga
 - Detección y corrección de huecos en la cobertura
 - Control dinámico de potencia
- Seguridad mejorada
 - 802.11i (WPA2), WPA y WEP
 - Protocolo 802.1x con soporte para EAP-TLS, EAP-TTLS, PEAP, EAP-FAST
 - Detección de puntos de acceso no autorizados
 - Capacidades de IDS/IPS gracias a la base de datos de ataques inalámbricos que tiene almacenada
 - Gestión e implementación de políticas de seguridad globales / locales
 - Listas de control de acceso
 - Integración en entornos RADIUS AAA
- Roaming mejorado
- Redundancia
- Soporte para VLAN y QoS

El aspecto del equipo es el siguiente:



Figura 2.11) Controlador inalámbrico

1.10.4) Elementos Adicionales

Cada Estación Base estará dotada de los siguientes elementos:

- Armario de telecomunicaciones de 32U
- Switch Industrial Cisco modelo IE-3000
- Estación Base WiMAX en chasis de 19"
- Antenas Sectoriales WiMAX
- Convertidor medios fibra a cobre
- SAI

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

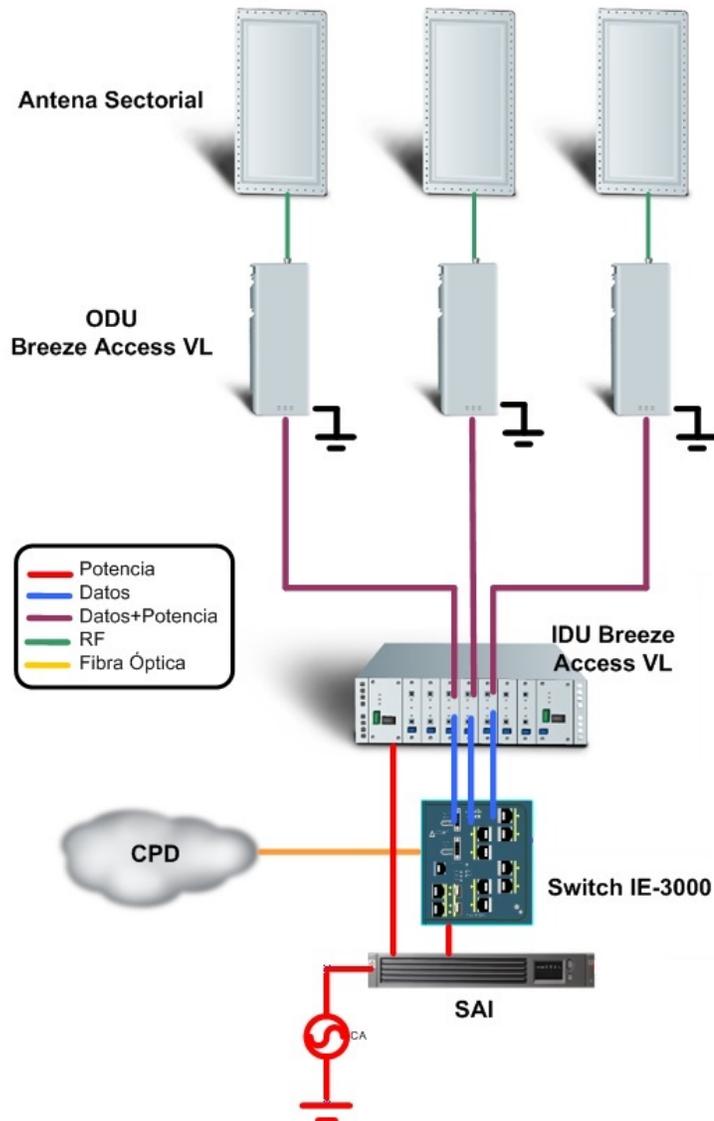


Figura 2.12) Ejemplo de Estación Base completa

En el Centro de Proceso de Datos (CPD) del edificio de Glorieta se encuentra la salida de Internet. En dicha ubicación, se instalará un armario de telecomunicaciones que dispondrá todos los equipos de red para la gestión de la misma.

En concreto, dicho armario dispondrá de los siguientes elementos:

- Controlador Centralizado Cisco 5508
- Switch Cisco Catalyst 2960
- Servidor DHCP
- Sistema de gestión de red WiFi WCS
- Sistema de gestión de ancho de banda Allot

1.11) Diseño de la red resultante

El diagrama de red básico incluyendo la red de acceso y su interconexión con el resto de elementos se muestra a continuación.

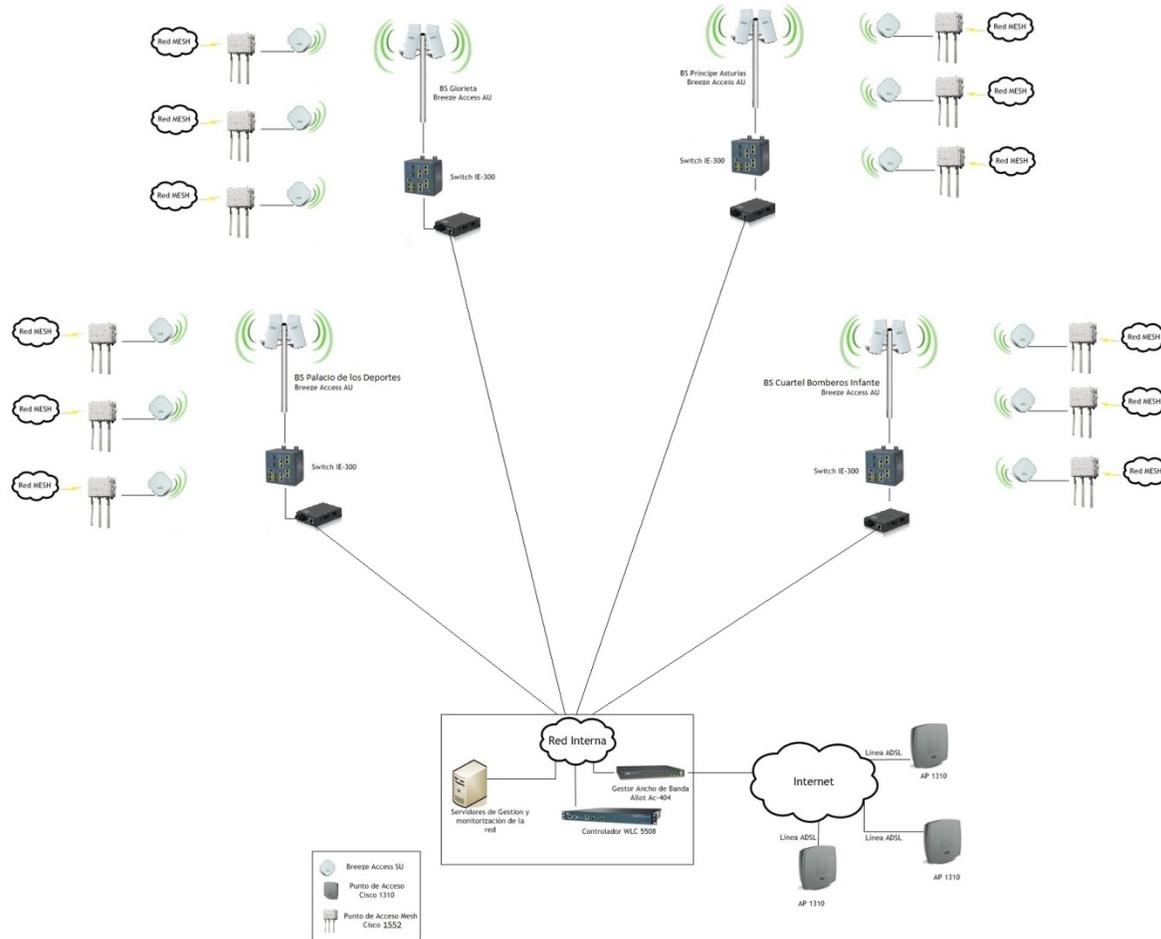


Figura 2.13) Red inalámbrica diseñada

1.11.1) Ciudad de Murcia

La topología propuesta para dar acceso a los clientes en la ciudad de Murcia es una topología basada en una red mallada.

Se definirán zonas de cobertura donde habrá uno o más puntos de acceso WiFi principal denominados Root AP (RAP) según la zona a cubrir. Estos puntos RAP irán conectados

directamente a la red de distribución mediante un cliente suscriptor Alvarion CPE-54. De esta forma los puntos se podrán registrar en el controlador que se instalará en el CPD de la sede de Glorieta.

A partir de cada punto RAP se desplegará la red mallada con otros puntos de acceso denominados Mesh AP (MAP). Estos puntos se conectarán entre sí usando el interfaz de 5GHz de manera que se creará un camino hasta llegar al RAP más adecuado.

La ubicación estimada de los puntos MAP se ha hecho en base a los siguientes criterios de diseño:

- La red se diseñará para que cada MAP no tenga que dar nunca más de 4 saltos para llegar a un RAP. Cabe aclarar que el número de saltos no es una limitación de solución propuesta, pero hay que tener en cuenta que con cada salto disminuye el ancho de banda disponible en el enlace mesh.
- Otra cuestión a tener en cuenta es el número de MAPs asociados a un RAP (clúster). Como regla de diseño no deberían ser más de 15 puntos. Dada la densidad de puntos que se tiene en el despliegue, se estima que el tamaño de los clúster no superará los 4 puntos.
- La distancia de asociación entre dos puntos MAP usando antenas omnidireccionales de 8 dBi es de 2 Km.
- El área de cobertura WiFi de un punto de acceso en condiciones de espacio libre es de 120 m, pudiendo variar según el tipo de cliente conectado.
- Se ha tenido en cuenta los elementos urbanos que pueden obstaculizar la señal y por lo tanto la asociación entre puntos WiFi.
- Para la instalación de los puntos de acceso se utilizará el mobiliario urbano (báculos, farolas, semáforos,...) o edificios municipales previo consenso con el ayuntamiento.
- En las siguientes figuras se muestran la ubicaciones estimadas de los puntos WiFi RAP y MAP, así como, la ubicación de las estaciones base.



Figura 2.14) Ubicación nodos WiFi EB1



Figura 2.15) Ubicación nodos WiFi EB2



Figura 2.16) Ubicación nodos WiFi EB3



Figura 2.17) Ubicación nodos WiFi EB4

1.11.2) Pedanías

Para las pedanías, como ya se comentó anteriormente, se usarán los puntos de Cisco 1310. Estos puntos se deben registrar en el controlador instalado en la sede de Glorieta, por lo que es necesario disponer de conectividad con esta sede.

Esta conectividad está prevista conseguirla a través de las líneas ADSL disponibles en los edificios municipales de cada pedanía.

El siguiente listado muestra la ubicación de los edificios municipales donde se situará un nodo WiFi 1310 en la fachada o azotea de los mismos:

- ALGEZARES C/Saavedra Fajardo, s/n.
- ALJUCER C/Vitoria, 3
- ALQUERÍAS C/Agustín Virgili, 8
- BAÑOS Y MENDIGO C/Puente Viejo
- BARQUEROS C/Vereda, 4
- Bº DEL PROGRESO C/Puerto Rico, 1º

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

- BENIAJÁN C/Estación, s/n
- CABEZO DE TORRES C/Moreno Cortés, s/n
- CAÑADA HERMOSA Aparcamiento del Pedruzco
- CAÑADAS SAN PEDRO Avda. de Murcia
- CARRASCOY-LA MURTA Escuelas Viejas "Caserio de los Garneses"
- CASILLAS C/Miguel de Cervantes, 1
- CHURRA C/Mayor, 22
- COBATILLAS C/Escuelas s/n
- CORVERA C/de la Libertad, 6
- EL ESPARRAGAL Pza. de la Iglesia.
- EL PALMAR C/Mayor, 18
- EL PUNTAL C/Pérez Urruti, 1
- EL RAAL Vereda de los Simones, 4.
- ERA ALTA C/Doctor Fleming, s/n
- GEA Y TRUYOLS Avda. Mediterráneo
- GUADALUPE Avda. Libertad s/n.
- JAVALI NUEVO Plaza de la Ermita
- JAVALI VIEJO Plaza Fontes,1
- JERONIMO-AVILESES C/Molino, 8
- LA ALBATALIA Carril de las Escuelas, 9
- LA ALBERCA Pza. Martinez Tornel s/n
- LA ARBOLEJA Carril de los Pepines
- LA ÑORA Avda. Dr. Miguel Ballesta, 1
- LA RAYA C/Poeta García Lorca s/n
- LLANO DE BRUJAS C/González Valentín, 10
- LOBOSILLO C/Miguel Angel Blanco Garrido, 8
- LOS DOLORES C/Alhambra, 2 Bajo.
- LOS GARRES C/Alegría, 1
- LOS M. DEL PUERTO C/Paraje de los Ruices S/N
- LOS RAMOS Avda. Juan Carlos I, 2.
- MONTEAGUDO Avda. Constitución, 98
- NONDUERMAS Carril de los Párragas, 1
- PATIÑO Avda. Manolo Cárceles el Patiñero
- PUEBLA DE SOTO C/Federico García Lorca, 4
- PUENTE TOCINOS Plaza de América, s/n
- R. BENISCORNIA Avenida Rio Segura, s/n
- R. DE SECA Plaza San Joaquín, 4.
- SAN GINES Carril Escuelas s/n.
- S. JOSE DE LA VEGA C/San José, 1
- S. LA SECA Avda. Pablo Iglesias, 12.
- S. LA VERDE C/Juan de la Cierva, s/n
- SANTA CRUZ C/Francisco Conesa, 1

- SANTIAGO Y ZARAICHE Avda. Nuestra Señora de Atocha, s/n
- SANTO ANGEL C/Isidoro de la Cierva, 11
- SUCINA Explanada en Avd. Constitución 8
- TORREAGÜERA C/San Ramón, 3.
- VALLADOLISES C/Del Reino, 3
- ZARANDONA C/Isaac Peral, 2
- ZENETA Avda. Juan Carlos I

1.11.3) Cobertura estimada de las Estaciones Base

Se ha realizado un cálculo estimativo de la cobertura de cada Estación Base teniendo en cuenta los datos del equipamiento en cada una (potencia transmitida, ganancia de las antenas,...). No se ha tenido en cuenta la presencia de edificios contiguos aunque sí el perfil orográfico del terreno.

La siguiente imagen muestra la cobertura estimada de cada Estación Base junto con su ubicación en el plano.

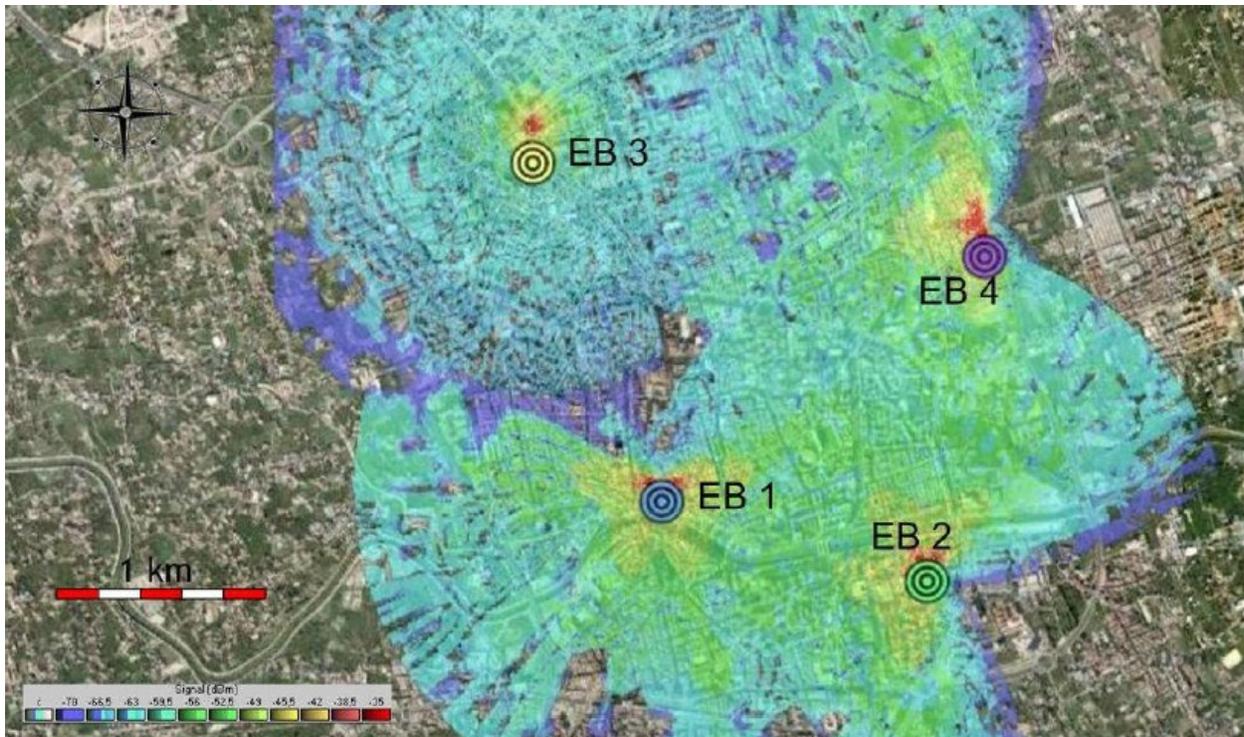


Figura 2.18) Cobertura estimada Estaciones Base WiMAX

1.11.4) Cobertura estimada de los nodos WiFi

Se ha realizado un cálculo estimativo de la cobertura de cada nodo WiFi teniendo en cuenta los datos del equipamiento (potencia transmitida, ganancia de las antenas,...). No se ha tenido en cuenta la presencia de edificios contiguos aunque sí el perfil orográfico del terreno. La siguiente imagen muestra la cobertura estimada de cada nodo WiFi junto con su ubicación en el plano.



Figura 2.19) Cobertura estimada nodos WiFi EB1



Figura 2.20) Cobertura estimada nodos WiFi EB2

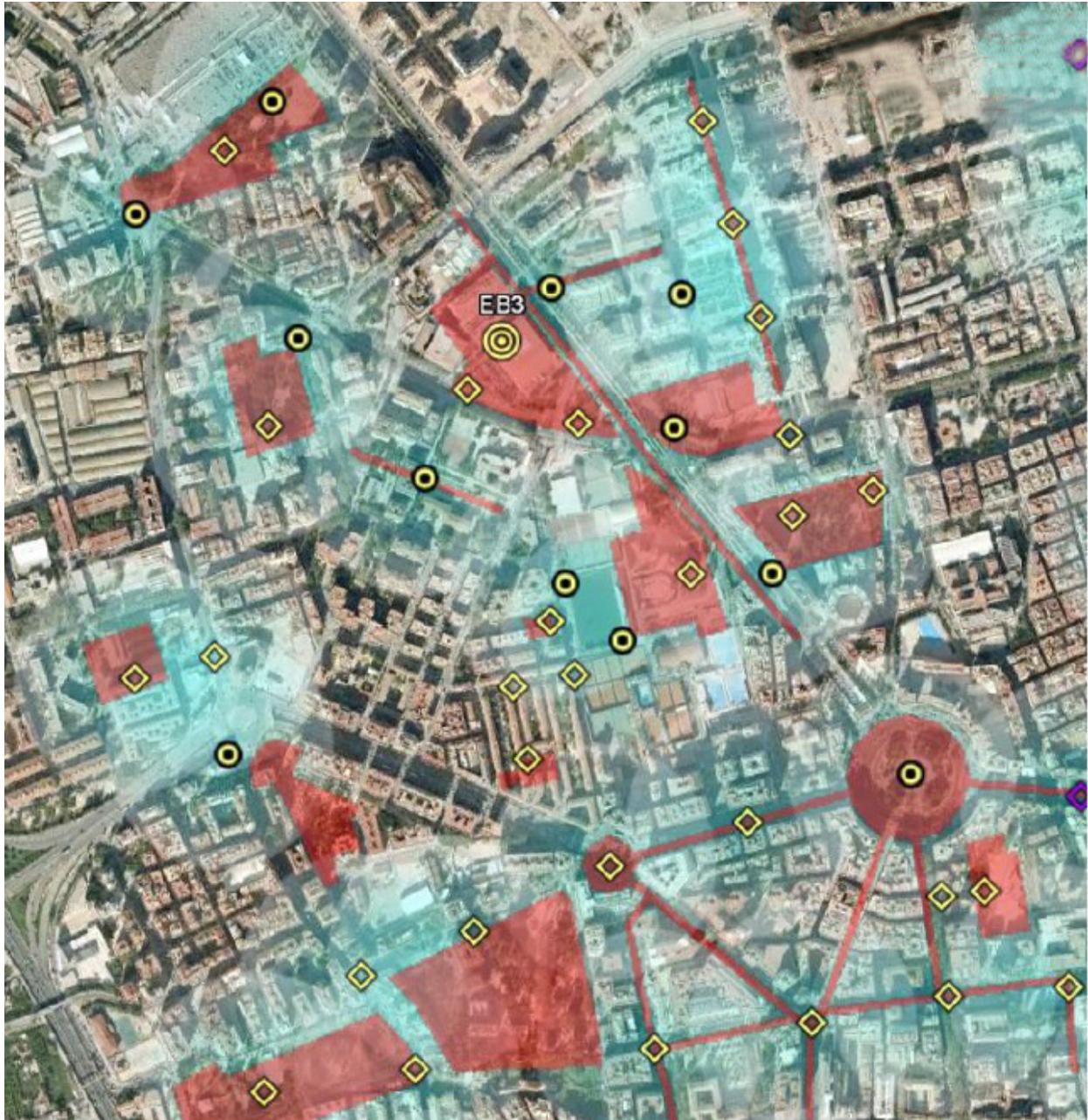


Figura 2.21) Cobertura estimada nodos WiFi EB3

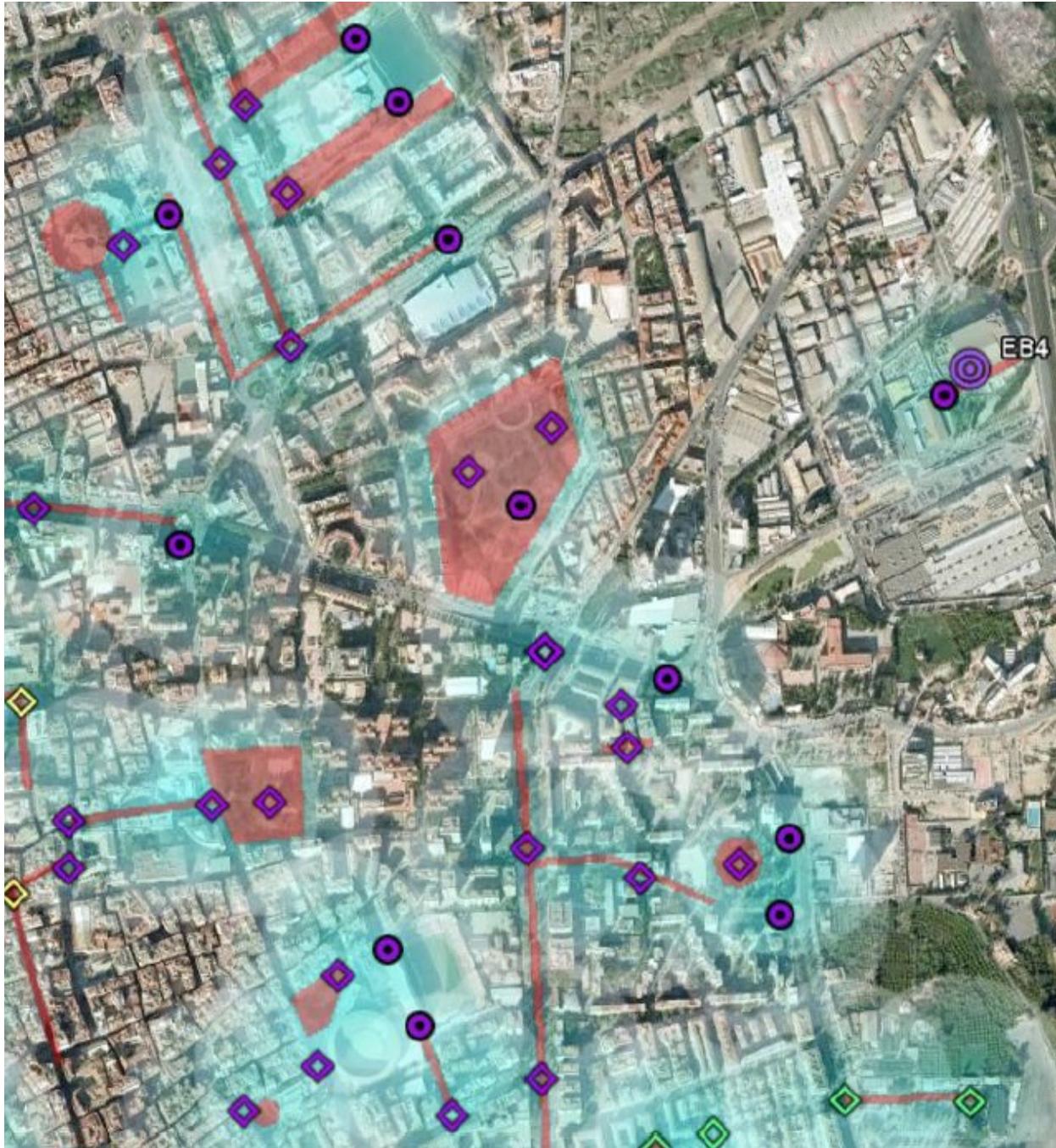


Figura 2.22) Cobertura estimada nodos WiFi EB4

Al ser una red WiFi basada en controlador centralizado, toda la inteligencia de la red reside en él, encargándose de la gestión radioeléctrica de los canales WiFi minimizando las interferencias y sin solapamientos de canal entre nodos cercanos.

1.11.5) Emisiones Radioeléctricas

En el estudio se han elegido bandas de frecuencia no licenciadas de 5.8 GHz, 5.4 GHz y 2.4 GHz. Por tanto, es necesario calcular las distancias de seguridad en dichas bandas según el R.D. 1066/2001, modificado por el Real Decreto 424/2005[11], de 15 de abril, Reglamento de Servicios de Comunicaciones Electrónicas 2005 y la Orden CTE/23/2002 de 11 de Enero de 2002, modificada por la Orden ITC/749/2010, de 17 de marzo.

$$D_{max} = \sqrt{\frac{M \times P_{pire}}{4 \times \pi \times S_{max}}}$$

$$P_{pire} = P_t \times 10^{(G_{ant} - L_{cables})/10}$$

P_{pire} : Potencia total transmitida en W

M: es una constante. Tiene un valor de 4 si se considera reflexión total de un rayo, 2.56 si se consideran las condiciones de reflexión y 1 si no se consideran las condiciones de reflexión (se tomará el valor de 4 al ser un valor más restrictivo)

S_{max} : Densidad de potencia máxima permitida del servicio en W/m². Para equipos que emiten entre 2 y 300 GHz, el nivel de referencia es de 10W/m² (R.D. 1066/2001[12]).

G_{ant} : Ganancia de la antena transmisora.

L_{cables} : Pérdidas de potencia en los cables.

P_t : Potencia de salida en W.

1.11.6) Cálculo de la distancia de seguridad para la banda de frecuencia de 5.8 GHz.

Tanto las Estaciones Base WiMAX como los suscriptores de las mismas trabajarán en 5.8 GHz. Se ha elegido esta frecuencia en lugar de la banda de 5.4 GHz para no causar posibles interferencias con los nodos WiFi Mesh que trabajan en esa banda y porque es una banda de nueva incorporación de uso libre y hay menos dispositivos que la usen actualmente.

Nivel de Referencia (S_{\max} permitida)	10 W/m ²
Potencia por canal	4 W
Número de canales simultáneos	1
PIRE	4 W
Factor de reflexión	4
Distancia de seguridad	35.6 cm

Tabla 2.5) Distancia de seguridad en 5.8 GHz

1.11.7) Cálculo de la distancia de seguridad para la banda de frecuencia de 5.4 GHz.

Los nodos WiFi utilizan el estándar IEEE 802.3a/n para establecer el protocolo de encaminamiento en la red Mesh. La potencia máxima PIRE permitida en esa banda es de 1 W, según la ley actual.

Nivel de Referencia (S_{\max} permitida)	10 W/m ²
Potencia por canal	1 W
Número de canales simultáneos	1
PIRE	1 W
Factor de reflexión	4
Distancia de seguridad	18 cm

Tabla 2.6) Distancia de seguridad en 5.4 GHz

1.11.8) Cálculo de la distancia de seguridad para la banda de frecuencia de 2.4 GHz.

Los nodos WiFi utilizan el estándar IEEE 802.3b/g/n para dar acceso al cliente WiFi. La potencia máxima PIRE permitida en esa banda es de 0.1 W, según la ley actual.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

Nivel de Referencia (S_{\max} permitida)	10 W/m ²
Potencia por canal	0.1 W
Número de canales simultáneos	1
PIRE	0.1 W
Factor de reflexión	4
Distancia de seguridad	6 cm

Tabla 2.7) Distancia de seguridad en 2.4 GHz

2) Pliego de Condiciones Particulares

2.1) Condiciones particulares de la red inalámbrica

Para el diseño de la red inalámbrica se han utilizado tecnologías bajo los estándares IEEE 802.11 y preWiMAX (basada en el estándar IEEE 802.16).

Dichas redes inalámbricas se han diseñado para el funcionamiento en las bandas de 2.4, 5.4 y 5.8 GHz y sus aplicaciones están contempladas en España en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)[\[13\]](#), en las notas UN85, UN128 y UN143 respectivamente. Por tanto, la utilización de los dispositivos basados en IEEE 802.11 y preWiMAX es conforme con la normas aplicables en España.

2.2) Bandas ISM/UNII

La Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información, dependiente del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, define, a través del CNAF, el uso del espectro radioeléctrico.

En él se detallan los diferentes usos de las bandas de frecuencia y condiciones que se tienen que cumplir.

La mayoría de bandas requieren una licencia para el uso de la frecuencia pero existen unas bandas de uso libre sin licencia.

Para redes inalámbricas tipo WiFi se define la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical), que permiten el uso de las porciones de 2.4-2.5 GHz y 5.8 GHz, además de muchas otras frecuencias no utilizadas en WiFi y la banda UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) permiten el uso sin licencia de otras porciones del espectro de 5 GHz.

La banda UNII está definida y regulada únicamente en EEUU, otros países utilizan una nomenclatura distinta y otras reglas para el uso de estas frecuencias. ISM es una recomendación de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) de aplicación internacional.

La adjudicación de frecuencias de la UIT es específica para cada región. Además, los entes administradores del espectro en cada país pueden imponer restricciones adicionales en las frecuencias permitidas, potencias máximas de transmisión de los radios y ganancia de antena.

En Europa, la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ha adjudicado la banda 5470-5725 MHz para uso exento de licencia mientras que en EEUU la FCC (Federal Commission of Communications) asignó el intervalo 5725-5875 MHz para comunicaciones a larga distancia (máxima potencia de transmisión permitida) y el intervalo 5250-5350 MHz para distancias medias. La banda 5150-5250 MHz es sólo para comunicaciones dentro de un edificio (baja potencia).

2.3) La familia del estándar IEEE 802.11

La especificación del IEEE 802.11[\[14\]](#) es un estándar para las redes de área local inalámbricas (WLAN) ratificada en el año 1997. La primera versión proveía velocidades de 1 y 2 Mbps y marcaba los fundamentos de la señal y servicios. En él se definen los niveles físico (PHY) y de enlace (MAC) del modelo de capa de protocolos OSI.

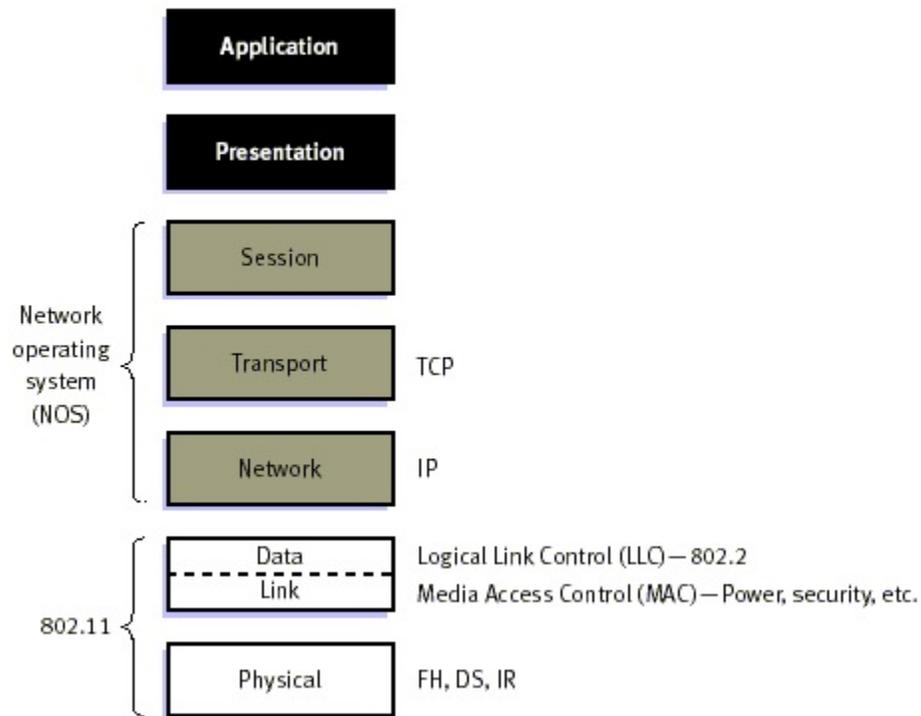


Figura 3.1) IEEE 802.11 y el modelo OSI

2.3.1) Arquitectura IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 en sus variantes, contempla dos tipos de dispositivos o estaciones, los STA o unidades de cliente y los AP o puntos de acceso a la red. Con estos dos tipos de estaciones se pueden construir dos tipos de configuraciones de red:

- **Redes ad-hoc** o redes entre clientes, en las cuales cada cliente se comunica con los demás sin la intermediación de elementos comunes, de tal manera que estos solo se pueden conectar a la red general si existe algún dispositivo que actúe como pasarela.

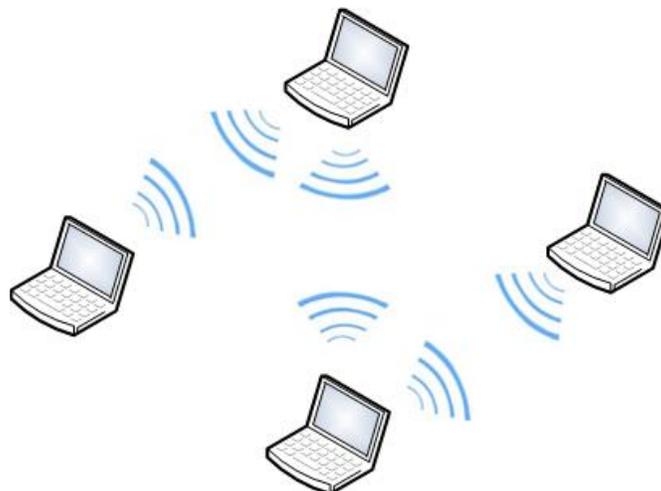


Figura 3.2) Red Ad hoc

- **Redes de infraestructura**, en las que las unidades de cliente se conectan entre sí y con la red mediante puntos de acceso. Estos puntos de acceso o AP actúan como pasarelas entre la red inalámbrica y la red cableada.

De los dos modos de funcionamiento, se prefiere la utilización del modo de infraestructura, ya que presenta mejores cualidades de seguridad y conectividad con la red cableada.

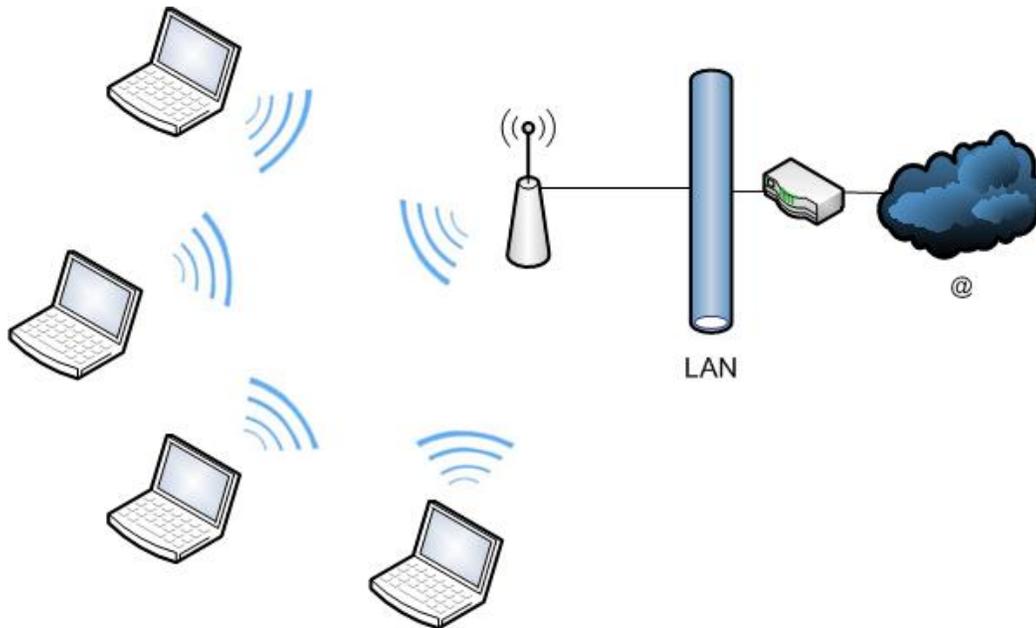


Figura 3.3) Red en Infraestructura

2.3.1.1) La capa física (PHY)

El estándar inalámbrico 802.11 original define velocidades de datos de 1 Mbps y 2 Mbps a través de ondas de radio que utilizan modulaciones de salto de frecuencia de espectro ensanchado (FHSS) o espectro ensanchado de secuencia directa (DSSS). Es importante señalar que FHSS y DSSS son diferentes mecanismos de señalización y no son interoperables entre sí.

Usando la técnica de salto de frecuencia, la banda de 2.4 GHz se divide en 79 subcanales 1 MHz. El emisor y el receptor están de acuerdo en un patrón de salto, y los datos se envían a través de una secuencia de los subcanales. Cada conversación dentro de la red 802.11 se produce en un patrón de salto diferente, y los patrones están diseñados para minimizar la posibilidad de que dos emisores utilicen el mismo subcanal simultáneamente.

En contraste, la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa divide la banda de 2.4 GHz en 14 canales de 22 MHz. Los canales adyacentes se superponen entre sí parcialmente, con 3 de los 14 no superpuestos. Los datos se envían a través de uno de estos 14 canales sin saltos a otros canales.

Para compensar el ruido en un canal determinado, se utiliza una técnica llamada "chipping". Cada bit de datos de usuario se convierte en una serie de patrones de bits redundantes llamados "chip". La redundancia inherente de cada chip combinada con la difusión de la señal a través del canal de 22 MHz proporciona una forma de comprobación y corrección de errores; incluso si parte de la señal está dañada, todavía se puede recuperar en muchos casos, minimizando la necesidad de retransmisiones.

2.3.1.2) La capa de enlace de datos

La capa de enlace de datos consta de dos subcapas: control de enlace lógico (LLC) y control de acceso al medio (MAC).

802.11 utiliza la misma capa LLC que 802.2, con un direccionamiento de 48 bits como los de otras redes LAN 802, lo que permite simplificar el puente entre redes IEEE inalámbricas y cableadas, pero la capa MAC es única para redes WLAN.

La capa MAC 802.11 es muy similar en concepto a 802.3, en que está diseñada para soportar múltiples usuarios sobre un medio compartido y por tener que escuchar el medio antes de poder acceder al mismo.

En 802.11 se utiliza un protocolo conocido como Acceso Múltiple mediante Detección de Portadora, Evitando Colisiones (CSMA/CA). El protocolo CSMA/CA intenta evitar colisiones mediante el uso explícito de la trama acuse de recibo (ACK), lo que significa una trama ACK es enviada por la estación receptora para confirmar que el paquete de datos llegó intacto.

Una estación que desea transmitir escucha el medio, y, si no se detecta actividad, la estación espera un período adicional, seleccionado al azar de tiempo y luego transmite si el medio está todavía libre. Si el paquete es recibido intacto, la estación receptora emite una trama ACK que, una vez recibida con éxito por el remitente, completa el proceso. Si la trama ACK no es detectada por la estación emisora, ya sea porque el paquete de datos original no fue recibido intacto o el ACK no se ha recibido correctamente, se supone que ha habido una colisión y la trama de datos se transmite de nuevo después de esperar otra cantidad aleatoria de tiempo.

CSMA/CA por lo tanto proporciona una forma de compartir el acceso a través del aire. Este mecanismo explícito ACK también se ocupa de la interferencia y otros problemas relacionados con la radio de manera muy eficaz.

Existen otros protocolos dentro de la capa de enlace de datos que ayudan a solucionar diversos problemas datos en este tipo de redes inalámbricas, como el protocolo Request to Send/Clear to Send (RTS/CTS), usado típicamente con tamaños de trama grandes o el uso de mecanismos de CRC para detectar errores en el envío de datos o la posibilidad de realizar fragmentación de tramas usado en redes congestionadas y con alta probabilidad de error en el envío.

2.3.2) El estándar IEEE 802.11b

La arquitectura básica, características y servicios de 802.11b[15] son definidos por el estándar original 802.11. La especificación 802.11b sólo afecta a la capa física, adición de mayores velocidades de datos y una conectividad más robusta.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

La contribución clave de la adición 802.11b con el estándar de LAN inalámbrica fue estandarizar el apoyo de la capa física de dos nuevas velocidades, 5.5 Mbps y 11 Mbps.

Para lograr esto, se utilizó como capa física el método DSSS para el estándar, ya que, la alternativa FHSS no podía soportar velocidades más altas sin violar las regulaciones actuales de la FCC. La implicación es que los equipos 802.11b que usen DSSS no pueden interoperar con los que usen FHSS.

Velocidad (Mbps)	Longitud de Código	Modulación	Velocidad de símbolo (MSps)	Bits/símbolo
1	11 (Secuencia Barker)	BPSK	1	1
2	11 (Secuencia Barker)	QPSK	1	2
5.5	8 (CCK)	QPSK	1.375	4
11	8 (CCK)	QPSK	1.375	8

Tabla 3.1) Esquemas de modulación IEEE 802.11b

La técnica de modulación DSSS especifica una secuencia de 11 bits, llamada una secuencia de Barker, para codificar todos los datos enviados a través del aire.

Estos símbolos se transmiten a un 1 MSps (1 millón de símbolos por segundo) y se modulan utilizando la técnica llamada Binary Phase Shift Keying (BPSK). Para la velocidad de 2 Mbps, se utiliza la modulación Quadrature Phase Shift Keying (QPSK); se duplica la velocidad de datos disponible en BPSK, a través de una mayor eficiencia en el uso del ancho de banda de la radio. Para aumentar la velocidad de datos en la norma 802.11b, se emplean técnicas de codificación avanzadas.

En lugar de las dos secuencias Barker de 11 bits, 802.11b especifica un conjunto de códigos llamados Complementary Code Keying (CCK). Son 64 palabras de código de 8 bits que tienen propiedades matemáticas únicas que les permitan distinguir correctamente entre sí por un receptor incluso en presencia de ruido sustancial e interferencia de trayectos múltiples (por ejemplo, la interferencia causada por la recepción de múltiples reflexiones de radio dentro de un edificio).

Para la velocidad de 5.5 Mbps se utiliza CCK para codificar 4 bits por símbolo, mientras que la tasa de 11 Mbps codifica 8 bits por símbolo. Ambas velocidades utilizan QPSK como la técnica de modulación y la señal se envía a una tasa de 1.375 MSps.

Para soportar ambientes muy ruidosos, IEEE 802.11b utiliza desplazamiento de tasa dinámica, permitiendo que las velocidades de datos puedan ser ajustadas automáticamente para compensar la naturaleza cambiante del canal de radio.

Tasa de cambio es un mecanismo de capa física transparente para el usuario y las capas superiores de la pila de protocolos.

Una de las desventajas más significativas de 802.11b es que la banda de frecuencia de 2.4 GHz es la más usada y está sujeta a interferencias de otras tecnologías de red, hornos microondas, teléfonos inalámbricos, Bluetooth, etc. Hay desventajas a 802.11b, incluyendo la falta de interoperabilidad con los dispositivos de voz y la falta de disposiciones de calidad de servicio para el contenido multimedia.

2.3.2.1) Bandas de frecuencia

Los sistemas IEEE 802.11b utilizan canalizaciones de 22 MHz de un conjunto de canales solapados centrados en las siguientes frecuencias:

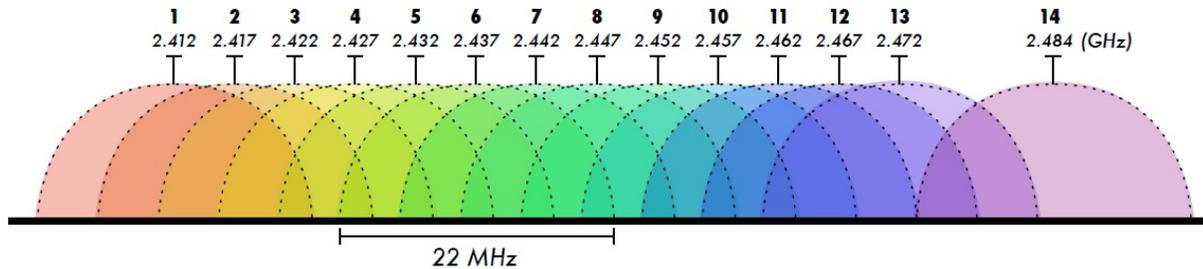


Figura 3.4) Canales WiFi IEEE 802.11b

La asignación de los canales está regulada en función de cada país. Así por ejemplo, en USA la FCC reguló el uso del canal 1 al 11, mientras que en el resto del mundo se pueden usar hasta el canal 13. El canal 14 solo está regulado en Japón.

2.3.2.2) Potencia de transmisión

Los niveles de potencia transmitida aplicables en el proyecto, son los fijados por la norma ETSI EN 300 328 y la norma UN-85, según la Decisión de la Comisión 2011/829/UE y la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03, anexo 3, de tal manera que ésta no puede sobrepasar el valor de 100 mW de Potencia Isótropa Radiada Equivalente (PIRE). Las condiciones de cálculo y medida de la potencia están especificadas en dicha norma. En caso de utilizar antenas con ganancia superior a 0dBi, se controlará la potencia del transmisor de tal manera que el exceso de potencia quede compensado y no se rebase el límite establecido de 100mW.

2.3.3) El estándar IEEE 802.11a

El estándar IEEE 802.11a[16], fue descrito originariamente en el año 1999 y modificado en el 2012. Con una velocidad de datos máxima de 54 Mbps, opera en el rango de frecuencia de 5 GHz. La capa de enlace de datos es igual al estándar IEEE 802.11b, solo se modifica la capa física, con una técnica de modulación llamada, Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM), un nuevo esquema de codificación que ofrece beneficios sobre la disponibilidad de espectro ensanchado en canal y velocidad de datos.

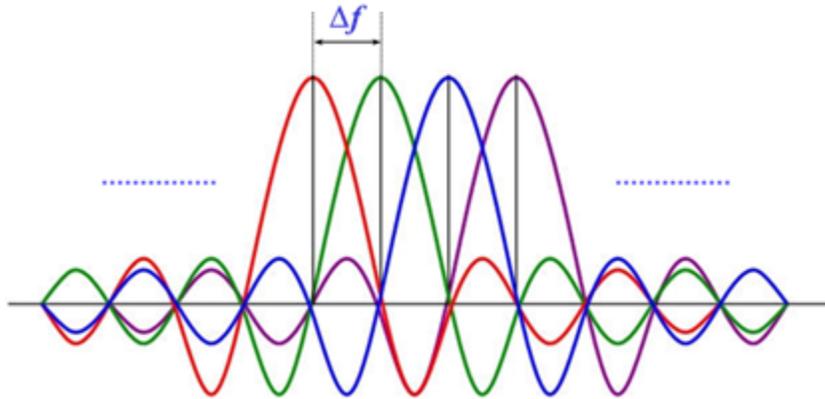


Figura 3.5) Multiplexación OFDM

Con un tamaño de canal de 20 MHz, OFDM divide el canal en 52 subportadas ortogonales entre sí que pueden ser moduladas utilizando diferentes técnicas como BPSK, QPSK, 16-QAM o 64-QAM, permitiendo varias velocidades de transmisión (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps) y pudiendo cambiar de una a otra en función del estado del medio.

Velocidad de datos (Mbps)	Modulación	Tasa de codificación	Bits codificados por subportadora	Bits codificados por símbolo OFDM	Bits de datos por símbolo OFDM
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216

Tabla 3.2) Esquemas de modulación IEEE 802.11a

El estándar IEEE 802.11a, al trabajar en otra frecuencia diferente, no es compatible con el IEEE 802.11b

OFDM realiza un uso más eficiente del espectro al permitir el solapamiento, dividiendo el canal en subcanales de banda estrecha y además, es más resistente al desvanecimiento selectivo de frecuencia que en los sistemas de portadora única.

Es un mecanismo de modulación ideado para combatir la interferencia entre símbolos consecuencia de la propagación multitrayecto característica de los medios de transmisión inalámbricos.

2.3.3.1) Bandas de frecuencia

Los sistemas IEEE 802.11a utilizan un ancho de canal de 20 MHz de un conjunto de canales no solapados centrados en las siguientes frecuencias:

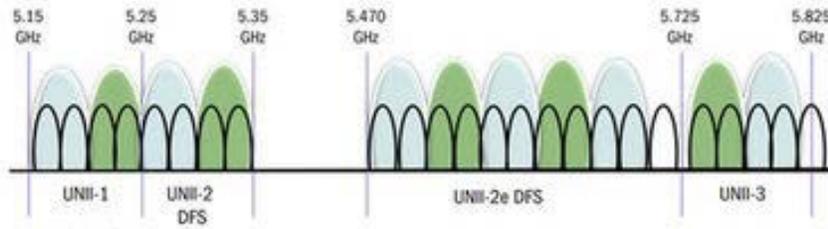


Figura 3.6) Canales WiFi IEEE 802.11a

Para la banda UNII-2, desde los 5.25 a los 5.35 GHz los equipos transmisores deberán implementar técnicas de control de potencia (TPC) para poder transmitir a la máxima potencia, al igual que en la banda UNII-2e, desde los 5.47 a los 5.725 GHz. Los canales disponibles dependen de regulaciones locales. En Europa están previstos 19 canales.

2.3.3.2) Potencia de transmisión

Los niveles de potencia transmitida aplicables en el proyecto, son los fijados por la norma ETSI EN 301 893 y la norma UN-128, según la Decisión 2005/513/CE, modificada por la Decisión 2007/90/CE, de tal manera que ésta no puede sobrepasar el valor de 1 W de Potencia Isótropa Radiada Equivalente (PIRE) y utilizar técnicas de control de potencia.

2.3.4) El estándar IEEE 802.11g

El estándar IEEE 802.11g[17], fue descrito originariamente en el año 2003, siendo actualmente la clausula 19 del estándar IEEE 802.11-2007 y la clausula 19 del estándar IEEE 802.11-2012. Con una velocidad de datos máxima de 54 Mbps, opera en el rango de frecuencia de 2.4 GHz. La capa de enlace de datos es igual al estándar IEEE 802.11b, solo se modifica la capa física, con la técnica de multiplexación OFDM.

Velocidad de datos (Mbps)	Modulación	Tasa de codificación	Bits codificados por subportadora	Bits codificados por símbolo OFDM	Bits de datos por símbolo OFDM
6	BPSK	$\frac{1}{2}$	1	48	24
9	BPSK	$\frac{3}{4}$	1	48	36
12	QPSK	$\frac{1}{2}$	2	96	48
18	QPSK	$\frac{3}{4}$	2	96	72
24	16-QAM	$\frac{1}{2}$	4	192	96
36	16-QAM	$\frac{3}{4}$	4	192	144
48	64-QAM	$\frac{2}{3}$	6	288	192
54	64-QAM	$\frac{3}{4}$	6	288	216

Tabla 3.3) Esquemas de modulación IEEE 802.11g

Además, el estándar 802.11g permite compatibilidad hacia atrás con 802.11b, usando los esquemas de modulación de esa norma.

Aunque el estándar 802.11g solo usa las velocidades 6, 9, 12, 24, 36, 48 y 54 Mbps (con su respectiva modulación), para mantener compatibilidad hacia atrás con el estándar 802.11b se incluyen también las velocidades y modulaciones 1, 2, 5.5 y 11 Mbps.

Las velocidades de transmisión varían entre 1 Mbps y 54 Mbps, utilizándose para la información de señalización y control del sistema las modulaciones correspondientes a 1 Mbps y 2 Mbps cuando se desea compatibilidad con 802.11b, ó 6 y 9 Mbps cuando se usa un modo 802.11g puro. La modulación más sensible al ruido y la interferencia es la correspondiente a 54 Mbps, y por tanto esta se deja de utilizar en cuanto las condiciones del canal radio empeoran debajo de un cierto umbral. La capacidad del sistema puede, por tanto, variar considerablemente dependiendo de las condiciones de propagación.

2.3.4.1) Bandas de frecuencias

Los sistemas IEEE 802.11g utilizan canales de 20 MHz de un conjunto de canales solapados centrados en las siguientes frecuencias:

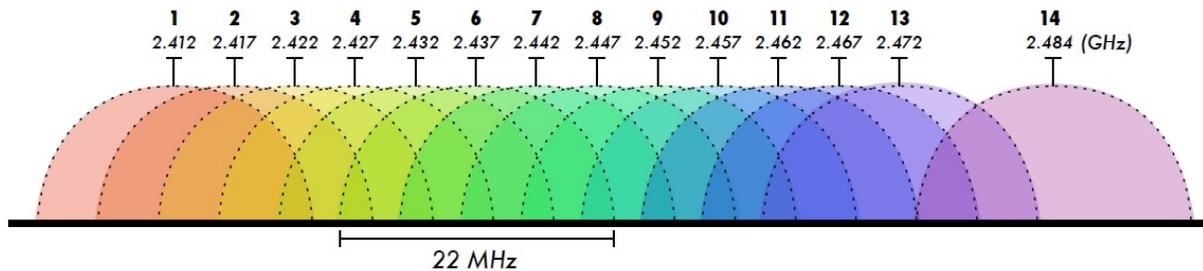


Figura 3.7) Canales 802.11g

En las WLAN 802.11g, la asignación de canales es fija a cada Punto de Acceso en modo infraestructura. En estos sistemas, los clientes “buscan” las frecuencias de los puntos de acceso.

Del conjunto total de frecuencias, existen 13 posibles frecuencias en Europa. Hay una combinación de canales no solapados.

2.3.4.2) Potencia de transmisión

Los niveles de potencia transmitida aplicables en el proyecto, son los fijados por la norma ETSI EN 300 328 y la norma UN-85, según la Decisión de la Comisión 2011/829/UE y la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03, anexo 3, de tal manera que ésta no puede sobrepasar el valor de 100 mW de Potencia Isótropa Radiada Equivalente (PIRE). Las condiciones de cálculo y medida de la potencia están especificadas en dicha norma. En caso de utilizar antenas con ganancia superior a 0dBi, se controlará la potencia del transmisor de tal manera que el exceso de potencia quede compensado y no se rebase el límite establecido de 100mW.

2.3.4.3) Capa de control y acceso múltiple

El estándar IEEE 802.11g permiten acceso múltiple de usuarios a la red a través del protocolo CSMA/CA. El funcionamiento detallado de este protocolo así como el resto de los mecanismos necesarios para la señalización y control de los distintos elementos de la red inalámbrica están descritos en las normas:

- **ISO/IEC8802.11**, 1999, Information technology —Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements — Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications.
- **IEEE 802.11g-2003** IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications— Amendment 4: Further Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band.

2.3.5) El estándar IEEE 802.11n

El estándar IEEE 802.11n^[18], fue descrito originariamente en el año 2009, siendo actualmente la clausula 20 del estándar IEEE 802.11-2012. Con una velocidad de datos máxima de 600 Mbps, opera tanto el rango de frecuencia de 2.4 GHz como en el rango de 5 GHz. Posee una serie de mejoras con respecto al estándar IEEE 802.11g, tanto a nivel físico como a nivel de enlace.

Para la capa física (PHY), se añade al ya existente ancho de canal de 20 MHz, el ancho de 40 MHz, el uso de antenas MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) por el que se añaden hasta 4 antenas transmisoras y 4 antenas receptoras por cada radio y hasta 4 flujos espaciales de datos (spacial streams).

Para la capa de enlace de datos se añade la capacidad de agregar tramas empaquetando múltiples unidades de datos de protocolo o servicio juntas para reducir la sobrecarga e incrementar el nivel de tasa de datos, para ello se requiere el uso de la trama de control BlockACK.

El Esquema de Modulación y Codificación (MCS Modulation and Coding Scheme) define el tipo de modulación utilizada, la tasa de codificación, el intervalo de guarda y el n° de secuencias espaciales utilizados en la comunicación. Todos los puntos de acceso 802.11n deben soportar (como mínimo) desde MCS0 hasta MCS15 y los clientes 802.11n desde MCS0 hasta MCS7.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

Índice MCS	Flujos Espaciales	Tipo de Modulación	Tasa de Codificación	Tasa de bit (Mbps)			
				Canal 20 MHz		Canal 40 MHz	
				800 ns GI	400 ns GI	800 ns GI	400 ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15
1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150
8	2	BPSK	1/2	13	14.4	27	30
9	2	QPSK	1/2	26	28.9	54	60
10	2	QPSK	3/4	39	43.3	81	90
11	2	16-QAM	1/2	52	57.8	108	120
12	2	16-QAM	3/4	78	86.7	162	180
13	2	64-QAM	2/3	104	115.6	216	240
14	2	64-QAM	3/4	117	130	243	270
15	2	64-QAM	5/6	130	144.4	270	300
16	3	BPSK	1/2	19.5	21.7	40.5	45
17	3	QPSK	1/2	39	43.3	81	90
18	3	QPSK	3/4	58.5	65	121.5	135
19	3	16-QAM	1/2	78	86.7	162	180
20	3	16-QAM	3/4	117	130	243	270
21	3	64-QAM	2/3	156	173.3	324	360
22	3	64-QAM	3/4	175.5	195	364.5	405
23	3	64-QAM	5/6	195	216.7	405	450
24	4	BPSK	1/2	26	28.8	54	60
25	4	QPSK	1/2	52	57.6	108	120
26	4	QPSK	3/4	78	86.8	162	180
27	4	16-QAM	1/2	104	115.6	216	240
28	4	16-QAM	3/4	156	173.2	324	360
29	4	64-QAM	2/3	208	231.2	432	480
30	4	64-QAM	3/4	234	260	486	540
31	4	64-QAM	5/6	260	288.8	540	600

Tabla 3.4) Esquemas de modulación IEEE 802.11n

El estándar IEEE 802.11n posee compatibilidad hacia atrás con el resto de protocolos de red inalámbrica WiFi IEEE 802.11a/b/g.

2.4) Características de las unidades de cliente

Un elemento clave para el correcto funcionamiento de la red son las unidades de cliente. Estas unidades de cliente son las que utilizan los usuarios para conectarse a la red mediante los puntos de acceso instalados en el proyecto. Puesto que dichas unidades de cliente suelen ser aportadas por los propios usuarios, es necesario que estas reúnan unas características mínimas para garantizar la correcta interoperabilidad con la red:

- Cumplimiento de la norma ISO/IEC8802.11
- Cumplimiento de la extensión IEEE 802.11b/g/n
- Cumplimiento del método de cifrado WPA para el acceso privado
- Disponibilidad de un programa de configuración que permita modificar los parámetros de la red y las claves de cifrado.
- Es conveniente que además se disponga de algún certificado de interoperabilidad como el marcado WiFi.

Todas las unidades de cliente que se utilicen en la red deberán disponer de marcado CE, con una declaración de conformidad que cubra la norma EN 300 328, y los requisitos de emisiones radioeléctricas según el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre y la Orden CTE/23/2002 de regulación de emisiones radioeléctricas.

2.5) Características de los puntos de acceso

Los puntos de acceso son los elementos a través de los cuales, los usuarios pueden conectar sus unidades de cliente con la red de datos general. Los puntos de acceso utilizados en el proyecto cumplirán las siguientes normas y requisitos:

- Cumplimiento de la norma ISO/IEC8802.11.
- Cumplimiento de la extensión IEEE 802.11b/g/n
- Disponibilidad de un programa de configuración que permita modificar los parámetros de la red, las claves de cifrado y funcionalidad adicional
- Gestionable SNMP.
- Soporte WEP y WPA.
- Soporte 802.1x
- Certificado de interoperabilidad WiFi (*Wireless Fidelity*) definido por la alianza de Ethernet Inalámbrica (WECA).

Todos los puntos de acceso que se utilicen en la red dispondrán de marcado CE, con una declaración de conformidad que cubra la Directiva R&TTE 1999/5/EC con las normas esenciales EN 60950 (seguridad en equipos de tecnologías de la información), EN 300 328 (requisitos técnicos para los equipos de radiocomunicaciones – 2.4 GHz) y ETS 300 826 (Requerimientos generales de compatibilidad electromagnética para los equipos de radio), y los requisitos de emisiones radioeléctricas según el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre y la Orden CTE/23/2002 de regulación de emisiones radioeléctricas.

2.6) Características de los cables y conectores

Los tipos de cables y conectores utilizables en el despliegue de la red, son los necesarios para la alimentación de los puntos de acceso, la conectividad de red cableada troncal y los posibles cables de radiofrecuencia.

2.6.1) Cables de alimentación

Los cables de alimentación a utilizar serán los que cumplan la normativa de baja tensión para los consumos de potencia relativamente limitados de los puntos de acceso. Los elementos conversores de energía utilizados, tales como convertidores AC/DC, se conectarán siguiendo las recomendaciones del fabricante.

2.6.2) Cables y conectores de red cableada

Para las conexiones de la red cableada, se utilizarán cables Ethernet UTP clase 5e de acuerdo con las siguientes especificaciones:

Especificaciones	100BaseTX
Máxima longitud del segmento	100 m
Máximo número de segmentos por red	<ul style="list-style-type: none"> • Clase II – 2 • Clase I – 1
Máximo número de saltos ⁽¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Clase II – 1 • Clase I – ninguno
Máximo número de estaciones por segmento	1024
Tipo de cable soportado	UTP Categoría 5e

Tabla 3.5) Limitaciones de la red cableada

⁽¹⁾ Saltos = otros repetidores

Los conectores serán del tipo RJ45, con conexión cruzada o directa, según se requiera.

2.6.3) Cables y conectores de radiofrecuencia

Las antenas externas de los nodos WiFi se conectarán a los equipos mediante cables de radiofrecuencia adecuados para la banda de 2.4 y 5 GHz. En función de la distancia a cubrir y de la atenuación máxima requerida, se podrá utilizar uno u otro tipo de cables, en la siguiente tabla se resumen las características más relevantes de los cables de RF más utilizados en este tipo de aplicaciones.

Tipo de cable	Atenuación a 2.4 GHz (dB/m)	Impedancia (Ω)	Calibre (mm)
RG-58	0.813	50	5
RG-6	0.426	75	8.5
RG-316	1.136	50	3
LMR-400	0.217	50	10.3
RG-214	0.405	50	10.3
LMR-240	0.415	50	6.2

Tabla 3.6) Atenuación de los cables de RF a 2.4 GHz

Se utilizarán los conectores necesarios, dependiendo de las características de cada unidad de cliente o cada punto de acceso que lo requiera. Si es necesario, se realizarán tramos adaptadores, con las transiciones y conectores necesarios.

Los tipos de conectores más habituales que incorporan las unidades inalámbricas son los siguientes: RPTNC, RPSMA y RPMMCX.

Los conectores más habituales utilizados en las antenas son los siguientes: BNC, Twin BNC, Mini BNC, TNC, F, N, MCX, MMCX, SMA, SMB, SMC, etc.

2.7) PreWiMAX

El estándar WiMAX hace referencia al protocolo IEEE 802.16-2012^[19] que está definido para comunicaciones inalámbricas de área metropolitana (WMAN). Por ello, se trata de un estándar definido para largas distancias, con enlaces de hasta 50 Km.

Las principales características del estándar son:

- Posee un desarrollo de la capa física PHY y de acceso al medio MAC mejorado, que permite implementar nuevas funcionalidades tales como mecanismos de calidad de servicio (QoS), ideales para servicios de voz sobre IP VoIP o video streaming o la posibilidad de garantizar el ancho de banda de los enlaces.
- Múltiples perfiles de servicios de transmisión de datos, desde canales dedicados para el tráfico de voz, vídeo, o datos a servicios tipo best effort, todo ello configurable bajo demanda en tiempo real. Se distingue ahora el canal de subida (uplink) del de bajada (downlink), permitiendo comunicaciones asimétricas.
- Niveles de potencia adecuados a la legislación y a las grandes distancias a recorrer. Se contempla el uso de mecanismos de control de potencia emitida.
- Mejores niveles de seguridad, basados en el estándar de cifrados AES, en detrimento de WEP.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

- Técnicas de modulación y corrección de errores adaptativas, de manera que en función de las características de propagación del medio, o de los perfiles de transmisión de datos solicitados los equipos van cambiando las necesidades en función del estado del medio.
- Capacidad para funcionar en escenarios NLOS (Non Line of Sight), gracias al uso de la modulación OFDM. Este tipo de modulación de múltiple portadora permite resolver los problemas asociados a la propagación multicamino y permite incluso usar los rebotes en objetos para mejorar los niveles de señal en un área con visibilidad obstruida. Para conseguir esto se transmiten señales simultáneas de alta velocidad, dividiendo el espectro en varias subportadoras. Con ello se consigue una alta velocidad de transmisión junto con una alta eficiencia espectral, a cambio de una mayor necesidad de proceso.

Los fabricantes de estos dispositivos PreWiMAX, llamados carrier-class, poseen una disponibilidad del 99.99%, lo que asegura unos equipos de calidad y fiables.

Las características principales de los equipos son:

- Funcionan en la banda ICM de 5 GHz, con una PIRE de 1 W, según la norma UN-128 y en la de 5.8 GHz, con una PIRE de 4 W, según la norma UN-143
- Tienen la capacidad de trabajar en entorno NLOS, aprovechando los rebotes en los objetos para tener cobertura en las zonas de sombra. Esto se consigue a través de la modulación OFDM y sus mejoras en la propagación multicamino.
- Posibilidad de implementar mecanismos de QoS y garantizar un ancho de banda determinado, tanto para el canal de subida como el de bajada. Soportan el estándar 802.1p y ToS, haciendo posible fijar valores de CIR y MIR para cada estación suscriptor.
 - CIR (Committed Information Rate): hace referencia a la velocidad de comunicación garantizada en un enlace. Siempre se podrá transmitir al menos a esa velocidad aunque haya más equipos conectados.
 - MIR (Maximal Information Rate): hace referencia a la máxima velocidad de comunicación posible de un enlace. Nunca se transmitirá información con una velocidad mayor que esa.
- Al ser equipos carrier-class, su fiabilidad está garantizada. Además, incorporan un agente SNMP para gestión centralizada.
- Capacidades de seguridad mejoradas gracias al uso de protocolo de cifrado AES.
- Incorporan el control automático de potencia, de modo que cada estación base monitoriza el nivel de señal procedente de cada suscriptor, controlando el nivel de potencia a los valores más adecuados.
- Los equipos se pueden actualizar a través del firmware vía OTA (desde el aire), permitiendo mejorar las prestaciones de velocidad e incorporar nuevas funcionalidades.

- Están diseñados para operar en el exterior, al estar formados por un módulo indoor y otro módulo outdoor que funcionan en entornos a la intemperie.

2.7.1) Características de la capa física

La principal característica de la capa física es el uso de la técnica de modulación OFDM con hasta 256 subportadoras, que la hace ideal para trabajar en entornos metropolitanos con o sin línea de visión directa entre los equipos.

Para cada subportadora, se implementan esquemas de modulación adaptativa, usando BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, las cuales se eligen dinámicamente en función del estado del medio. Con un prefijo cíclico o tiempo de guarda de duración variable, a elegir entre 694ns, 1389ns, 2778ns o 5556ns. Estos prefijos cíclicos se conocen respectivamente como 1/32, 1/16, 1/8 y 1/4 del tiempo de símbolo. Esta variedad de prefijos cíclicos permite aumentar el throughput en escenarios con poco multitrayecto, y ser extraordinariamente robustos en escenarios con mucho multitrayecto.

También utiliza una codificación para corrección de errores adaptativa a través de la trama especial "Advanced ARQ", lo cual asegura unos enlaces de radiofrecuencia robustos a la vez que se maximiza la velocidad de la conexión para cada situación de propagación. Otra característica importante es el soporte de técnicas de acceso al medio basadas en tiempo TDD o en frecuencia FDD. Con un tamaño de canal flexible de 10 o 20 MHz, permitiendo operar en diferentes bandas de frecuencia con distintos requerimientos.

2.7.2) Capa de control y acceso múltiple

El estándar ha sido desarrollado para redes de banda ancha PtMP, donde una estación base (BS) transmite a múltiples estaciones suscriptoras (SS) en su área de cobertura.

La BS mantiene un enlace TDM para el canal de bajada, mientras que la SS usa un esquema TDMA para el canal de subida, mediante el cual transmite datos a la BS en los slots temporales que tenga asignados.

La capa MAC regula el acceso al canal de subida usando un sistema de TDMA llamado DAMA (Demand Assigned Multiple Access), por el cual, la BS controla el reparto de ancho de banda en el canal de uplink siendo la SS las que piden oportunidades de transmisión cuando quieren enviar datos. La BS recoge todas las peticiones y garantiza slots de tiempo a las SS basándose en sus parámetros de QoS o perfiles de transmisión.

El acceso al medio está controlado por la estación base. Ninguna estación suscriptora transmite sin permiso de la estación base. La transmisión se realiza en tramas de longitud constante perfectamente organizadas por la estación base. De este modo se garantiza la ausencia de colisiones y silencios, por lo que se logra la máxima eficiencia MAC con un comportamiento determinista.

Las características generales de la capa MAC son:

- Uso eficiente del ancho de banda gracias al uso de TDM/TDMA en downlink/uplink
- Permite realizar despliegues ajustados en precio debido a que el diseño de la capa permite una fácil escalabilidad del sistema.
- Soporte de modulación adaptativa que permite velocidades de transmisión ajustadas a las condiciones de propagación.
- Uso de mecanismos de cifrado fuertes tipo AES.

- Control automático de potencia.
- Implementación de técnicas de calidad de servicio QoS.

2.7.3) Potencia de transmisión

En la banda de 5 GHz, el CNAF dispone de la norma UN-128 (aplicable a la banda de 5.4-5.7 GHz) y la norma UN-143 (aplicable a la banda 5.7-5.8 GHz), que limita la potencia PIRE a 1 y 4 vatios respectivamente.

2.7.4) Equipos PtPM

Estos equipos son utilizados para el despliegue de la red de distribución, estableciendo un radio enlace que va desde una Estación Base (EB) hasta las diferentes Estaciones Suscriptoras (SS). Los equipos utilizados cumplirán los siguientes requisitos:

- Los equipos inalámbricos deben emitir en canales de banda libre según las normas de la Comisión del Mercado de Telecomunicaciones (CMT) y el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF).
- Soporte de seguridad para cifrado de las comunicaciones.
- Gestionable mediante protocolo SNMP.
- Marcado CE.

Los equipos deben cumplir la normativa vigente para instalación en exteriores, incluyendo protección pararrayos. Todos los conectores deben estar fuertemente sellados.

2.7.5) Cables y conectores de radiofrecuencia

En caso de ser necesaria la utilización de antenas independientes, éstas se conectarán a los equipos mediante cables de radiofrecuencia adecuados para la banda de 5.8 GHz. En función de la distancia a cubrir y de la atenuación máxima requerida, se podrá utilizar uno u otro tipo de cables, en la siguiente tabla se resumen las características más relevantes de los cables de RF más utilizados en este tipo de aplicaciones.

Tipo de cable	Atenuación 5 GHz (dB/m)	Calibre (mm)
RG-58	1,236	5
RG-316	2,023	3
LMR-400	0,326	10,3
RG-214	0.647	10,3
LMR-240	0,615	6,2

Tabla 3.7) Tipos de cable equipamiento WiMAX

Se utilizarán los conectores necesarios, dependiendo de las características de cada unidad de cliente o cada punto de acceso que lo requiera. Si es necesario, se realizarán tramos adaptadores, con las transiciones y conectores necesarios.

Los tipos de conectores más habituales que incorporan las unidades inalámbricas son los siguientes: RPTNC, RPSMA, RPMMCX.

Los conectores más habituales utilizados en las antenas son los siguientes: BNC – Twin BNC -

Mini BNC - TNC - F - N - MCX - MMCX - SMA SMB – SMC, etc.

2.7.6) Cables y conectores de red cableada

Las conexiones de las estaciones suscriptoras a la red cableada se realizarán mediante cables Ethernet UTP clase 5e de acuerdo con las siguientes limitaciones:

Especificación	100BaseTX
Máxima longitud del segmento	100 m
Máximo número de segmentos por red	•Clase II – 2 •Clase I – 1
Máximo número de saltos ⁽¹⁾	•Clase II – 1 •Clase I – ninguno
Máximo número de estaciones por segmento	1024
Tipo de cable soportado	UTP Categoría 5e

Tabla 3.8) Especificaciones técnicas cableado Estaciones Suscriptoras WiMAX

⁽¹⁾ Saltos = otros repetidores

Los conectores serán del tipo RJ45, con conexión cruzada o directa, según se requiera.

3) Pliego de Condiciones generales

3.1) Legislación aplicable a las instalaciones de redes inalámbricas

Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación[20].

Real Decreto-Ley 1/1998, de 27 de febrero, sobre infraestructuras comunes en los edificios para el acceso a los servicios de telecomunicación[21].

Ley 10/2005, de 14 de junio, de Medidas Urgentes para el Impulso de la Televisión Digital Terrestre, de Liberalización de la Televisión por Cable y de Fomento del Pluralismo[22].

Real Decreto 401/2003, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y de la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicaciones[23].

Real Decreto 244/2010, de 5 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento regulador de la actividad de instalación y mantenimiento de equipos y sistemas de telecomunicación[24].

Orden CTE/1296/2003, de 14 de mayo, por la que se desarrolla el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicaciones, aprobado por el Real Decreto 401/2003, de 4 de abril[25].

Orden ITC/1077/2006, de 6 de abril, por la que se establece el procedimiento a seguir en las instalaciones colectivas de recepción de televisión en el proceso de su adecuación para la recepción de la televisión digital terrestre y se modifican determinados aspectos administrativos y técnicos de las infraestructuras comunes de telecomunicación en el interior de los edificios[26].

Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones[27].

Orden ITC/1644/2011, de 10 de junio, por la que se desarrolla el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones, aprobado por el Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo[28].

Real Decreto 1066/2001 y Orden CTE/23/2002 de regulación de emisiones radioeléctricas[29].

Ley 9/2014, de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones[30].

Orden CTE/2082/2003, de 16 Julio y Notas UN-85 y UN-143 de gestión del espectro radioeléctrico[31].

Orden IET/787/2013, de 25 de abril, por la que se aprueba el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias[32].

Orden IET/614/2015, de 6 de abril, por la que se modifica la Orden IET/787/2013, de 25 de abril, por la que se aprueba el cuadro nacional de atribución de frecuencias[33].

Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción[34].

Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción[35].

Real Decreto 337/2010, de 19 de marzo, por el que se modifican el R.D. 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, el R.D. 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el sector de la Construcción y el R.D. 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción[36].

NORMAS TECNOLÓGICAS ESPAÑOLAS (NTE)

- IPP Instalación de pararrayos
- IEP Puesta a tierra de edificios

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión, e instrucciones técnicas complementarias[37].

Norma Técnica NT.f1.003.C.T.N.E Canalizaciones subterráneas en urbanizaciones y polígonos industriales[38].

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS, NORMATIVA UNE y NORMAS TIA/EIA referentes al cableado entre edificios.

3.2) De seguridad entre instalaciones

Como norma general, se procurará la máxima independencia entre las instalaciones de telecomunicación y las del resto de servicios.

Los requisitos mínimos de seguridad entre instalaciones serán los siguientes:

La separación entre una canalización de telecomunicación y las de otros servicios será, como mínimo, de 10 cm. para trazados paralelos y de 3 cm. para cruces.

La rigidez dieléctrica de los tabiques de separación de estas canalizaciones secundarias conjuntas deberá tener un valor mínimo de 15 Kv/mm (UNE 21.316) Si son metálicas, se pondrán a tierra.

Los cruces con otros servicios se realizarán preferentemente pasando las conducciones de telecomunicación por encima de las de otro tipo.

En caso de proximidad con conductos de calefacción, aire caliente, o de humo, las canalizaciones de telecomunicación se establecerán de forma que no puedan alcanzar una temperatura peligrosa y, por consiguiente, se mantendrán separadas por una distancia conveniente o pantallas calóricas.

Las canalizaciones para los servicios de telecomunicación, no se situarán paralelamente por debajo de otras canalizaciones que puedan dar lugar a condensaciones, tales como las destinadas a conducción de menos que se tomen las precauciones para protegerlas condensaciones.

Las conducciones de telecomunicación, las eléctricas y las no eléctricas sólo podrán ir dentro de un mismo canal o hueco en la construcción, cuando se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

La protección contra contactos indirectos estará asegurada por alguno de los sistemas de la Clase A, señalados en la Instrucción MI BT 021 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, considerando a las conducciones no eléctricas, cuando sean metálicas como elementos conductores.

Las canalizaciones de telecomunicaciones estarán convenientemente protegidas contra los posibles peligros que pueda presentar su proximidad a canalizaciones y especialmente se tendrá en cuenta:

- La elevación de la temperatura, debida a la proximidad con una conducción de fluido caliente.
- La condensación.
- La inundación, por avería en una conducción de líquidos; en este caso se tomarán todas las disposiciones convenientes para asegurar la evacuación de éstos.
- La corrosión, por avería en una conducción que contenga un fluido corrosivo.
- La explosión, por avería en una conducción que contenga un fluido inflamable.

3.3) De accesibilidad

Las canalizaciones de telecomunicación se dispondrán de manera que en cualquier momento se pueda controlar su aislamiento, localizar y separar las partes averiadas y, llegado el caso, reemplazar fácilmente los conductores deteriorados.

3.4) De compatibilidad electromagnética

3.4.1) Tierra local

El sistema general de tierra del inmueble debe tener un valor de resistencia eléctrica no superior a 10Ω respecto de la tierra lejana.

3.4.2) Interconexiones equipotenciales y apantallamiento

Se supone que los inmuebles cuentan con una red de interconexión común, o general de equipotencialidad, del tipo mallado, unida a la puesta a tierra del propio inmueble. Esa red estará también unida a las estructuras, elementos de refuerzo y demás componentes metálicos del inmueble.

Todos los cables con portadores metálicos de telecomunicación procedentes del exterior del edificio serán apantallados, estando el extremo de su pantalla conectado a tierra local en un punto tan próximo como sea posible de su entrada al recinto que aloja el punto de interconexión y nunca a más de 2 m. de distancia.

3.4.3) Accesos y cableados.

Con el fin de reducir posibles diferencias de potencial entre sus recubrimientos metálicos, la entrada de los cables de telecomunicación y de alimentación de energía se realizará a través de accesos independientes, pero próximos entre sí, y próximos también a la entrada del cable o cables de unión a la puesta a tierra del edificio.

3.4.4) Compatibilidad electromagnética entre sistemas

Los requisitos exigibles a los equipamientos de telecomunicación con sus cableados específicos, por razón de la emisión electromagnética que genera, figuran en la norma ETS 300 826 del E.T.S.I. Los valores máximos aceptables de emisión de campo eléctrico del equipamiento son los siguientes:

Rango de frecuencias	Quasi-pico	Promedio
0,15 – 0,5 MHz	66 – 46dB μ V	56 - 46dB μ V
> 0,5 – 5 MHz	56dB μ V	46dB μ V
> 5 – 30 MHz	60dB μ V	50dB μ V

Tabla 4.1) Valores máximos de campo eléctrico

3.4.5) Cortafuegos

Se instalan cortafuegos para evitar el corrimiento de gases, vapores y llamas en el interior de los tubos.

En todos los tubos de entrada a envolventes que contengan interruptores, seccionadores, fusibles, relés, resistencias y demás aparatos que produzcan arcos, chispas o temperaturas elevadas.

En los tubos de entrada o envolventes o cajas de derivación que solamente contengan terminales, empalmes o derivaciones, cuando el diámetro de los tubos sea igual o superior a 50 milímetros.

Si en un determinado conjunto, el equipo que pueda producir arcos, chispas o temperaturas elevadas está situado en un compartimento independiente del que contiene sus terminales de conexión y entre ambos hay pasamuros o prensaestopas antideflagrantes, la entrada al compartimento de conexión puede efectuarse siguiendo lo indicado en el párrafo anterior.

En los casos en que se precisen cortafuegos, estos se montarán lo más cerca posible de las envolventes y en ningún caso a más de 450 mm de ellas.

Cuando dos o más envolventes que, de acuerdo con los párrafos anteriores, precisen cortafuegos de entrada estén conectadas entre sí por medio de un tubo de 900 mm o menos de longitud, bastará con poner un solo cortafuego entre ellas a 450 mm o menos de la más alejada.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

En los conductos que salen de una zona peligrosa a otra de menor nivel de peligrosidad, el cortafuegos se colocará en cualquiera de los dos lados de la línea límite, pero se instalará de manera que los gases o vapores que puedan entrar en el sistema de tubos en la zona de mayor nivel de peligrosidad no puedan pasar a la zona menos peligrosa. Entre el cortafuegos y la línea límite no deben colocarse acoplamientos, cajas de derivación o accesorios.

La instalación de cortafuegos habrá de cumplir los siguientes requisitos:

- La pasta de sellado deberá ser resistente a la atmósfera circundante y a los líquidos que pudiera haber presentes y tener un punto de fusión por encima de los 90°.
- El tapón formado por la pasta deberá tener una longitud igual o mayor al diámetro interior del tubo y, en ningún caso, inferior a 16 mm.
- Dentro de los cortafuegos no deberán hacerse empalmes ni derivaciones de cables; tampoco deberá llenarse con pasta ninguna caja o accesorio que contenga empalmes o derivaciones.
- Las instalaciones bajo tubo deberán dotarse de purgadores que impidan la acumulación excesiva de condensaciones o permitan una purga periódica.
- Podrán utilizarse cables de uno o más conductores aislados bajo tubo o conducto.

4) Planos

4.1) Esquema general de red

El diagrama de red básico incluyendo la red de acceso y su interconexión con el resto de elementos se muestra a continuación.

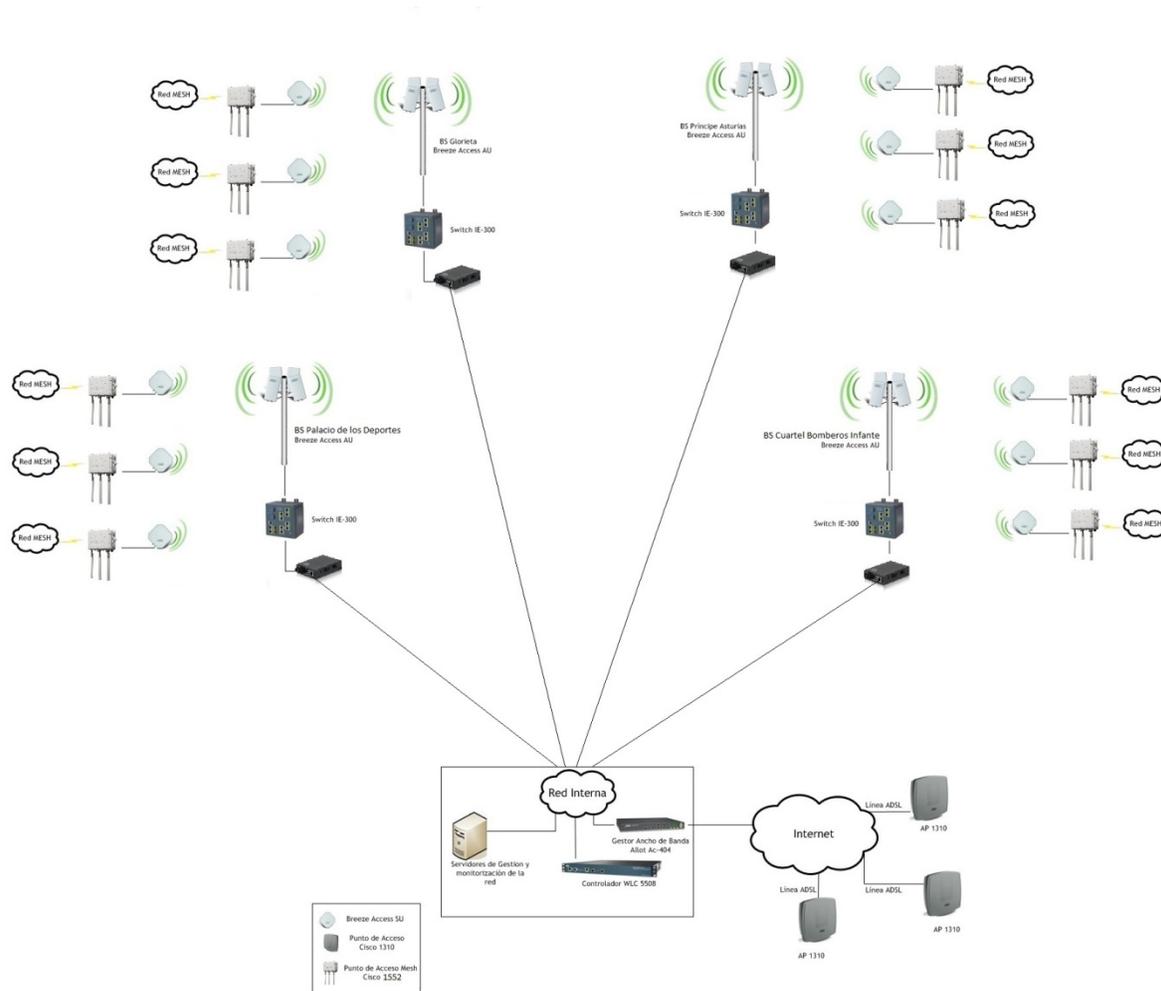


Figura 5.1) Diagrama general de la red

4.2) Ubicación de las Estaciones Base

La siguiente figura muestra la localización de las estaciones base WiMAX

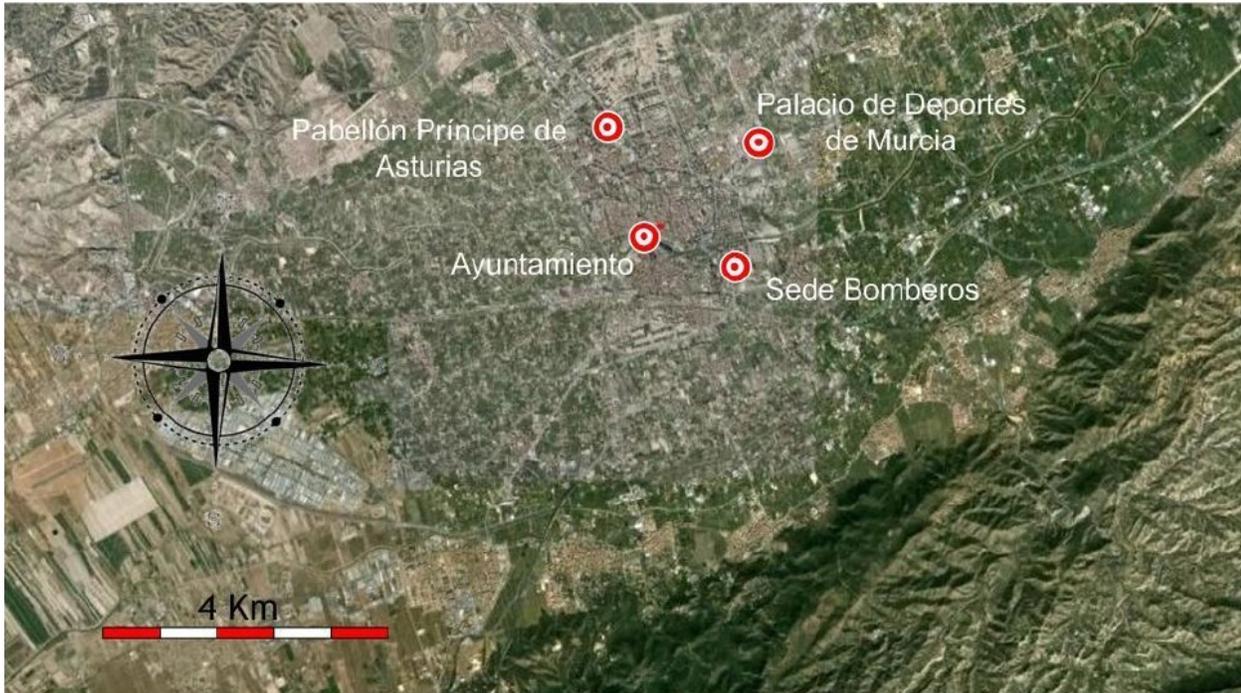


Figura 5.2) Localización de las Estaciones Base WiMax

4.3) Ubicación de los nodos WiFi

4.3.1) Ubicación de los nodos WiFi en la ciudad

A continuación se muestran la ubicación de los diferentes nodos WiFi asociados a cada una de las estaciones base



Figura 5.3) Ubicación de los nodos WiFi de la estación base EB1



Figura 5.4) Ubicación de los nodos WiFi de la estación base EB2



Figura 5.5) Ubicación de los nodos WiFi de la estación base EB3



Figura 5.6) Ubicación de los nodos WiFi de la estación base EB4

4.3.2) Ubicación de los nodos WiFi en Pedanías

El siguiente listado muestra la ubicación de los edificios municipales donde se situará un nodo WiFi 1310 en la fachada o azotea de los mismos:

- ALGEZARES C/Saavedra Fajardo, s/n.
- ALJUCER C/Vitoria, 3
- ALQUERÍAS C/Agustín Virgili, 8
- BAÑOS Y MENDIGO C/Puente Viejo
- BARQUEROS C/Vereda, 4
- Bº DEL PROGRESO C/Puerto Rico, 1º
- BENIAJÁN C/Estación, s/n
- CABEZO DE TORRES C/Moreno Cortés, s/n
- CAÑADA HERMOSA Aparcamiento del Pedruzco
- CAÑADAS SAN PEDRO Avda. de Murcia
- CARRASCOY-LA MURTA Escuelas Viejas "Caserio de los Garneses"
- CASILLAS C/Miguel de Cervantes, 1
- CHURRA C/Mayor, 22

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

- COBATILLAS C/Escuelas s/n
- CORVERA C/de la Libertad, 6
- EL ESPARRAGAL Pza. de la Iglesia.
- EL PALMAR C/Mayor, 18
- EL PUNTAL C/Pérez Urruti, 1
- EL RAAL Vereda de los Simones, 4.
- ERA ALTA C/Doctor Fleming, s/n
- GEA Y TRUYOLS Avda. Mediterráneo
- GUADALUPE Avda. Libertad s/n.
- JAVALI NUEVO Plaza de la Ermita
- JAVALI VIEJO Plaza Fontes,1
- JERONIMO-AVILESES C/Molino, 8
- LA ALBATALIA Carril de las Escuelas, 9
- LA ALBERCA Pza. Martínez Tornel s/n
- LA ARBOLEJA Carril de los Pepines
- LA ÑORA Avda. Dr. Miguel Ballesta, 1
- LA RAYA C/Poeta García Lorca s/n
- LLANO DE BRUJAS C/González Valentín, 10
- LOBOSILLO C/Miguel Angel Blanco Garrido, 8
- LOS DOLORES C/Alhambra, 2 Bajo.
- LOS GARRES C/Alegría, 1
- LOS M. DEL PUERTO C/Paraje de los Ruices S/N
- LOS RAMOS Avda. Juan Carlos I, 2.
- MONTEAGUDO Avda. Constitución, 98
- NONDUERMAS Carril de los Párragas, 1
- PATIÑO Avda. Manolo Cárceles el Patiñero
- PUEBLA DE SOTO C/Federico García Lorca, 4
- PUENTE TOCINOS Plaza de América, s/n
- R. BENISCORNIA Avenida Rio Segura, s/n
- R. DE SECA Plaza San Joaquín, 4.
- SAN GINES Carril Escuelas s/n.
- S. JOSE DE LA VEGA C/San José, 1
- S. LA SECA Avda. Pablo Iglesias, 12.
- S. LA VERDE C/Juan de la Cierva, s/n
- SANTA CRUZ C/Francisco Conesa, 1
- SANTIAGO Y ZARAICHE Avda. Nuestra Señora de Atocha, s/n
- SANTO ANGEL C/Isidoro de la Cierva, 11
- SUCINA Explanada en Avd. Constitución 8
- TORREAGÜERA C/San Ramón, 3.
- VALLADOLISES C/Del Reino, 3
- ZARANDONA C/Isaac Peral, 2
- ZENETA Avda. Juan Carlos I

4.4) Mapa de Cobertura de las Estaciones Base

La siguiente imagen muestra la cobertura estimada de cada Estación Base junto con su ubicación en el plano

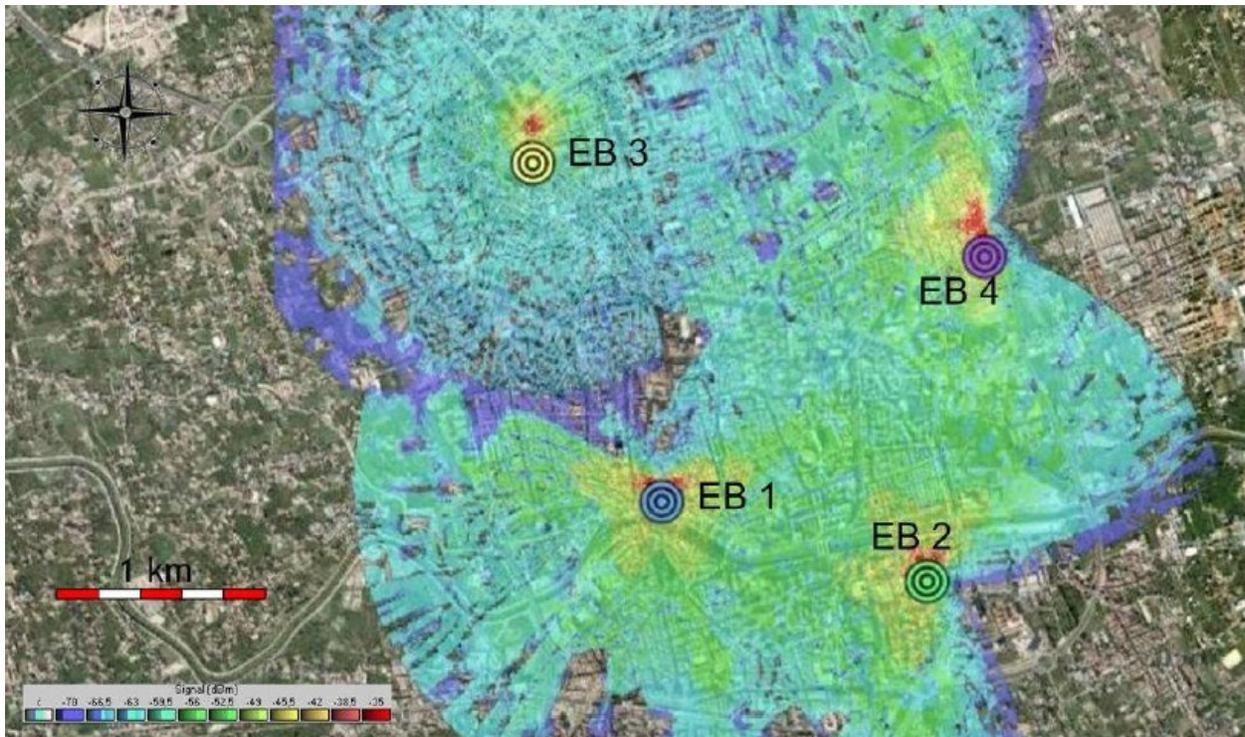


Figura 5.7) Cobertura estimada de cada Estación Base

4.5) Mapa de Cobertura de los nodos WiFi

A continuación se muestra la cobertura de los diferentes nodos WiFi asociados a cada una de las estaciones base



Figura 5.8) Cobertura estimada nodos WiFi EB1



Figura 5.9) Cobertura estimada nodos WiFi EB2

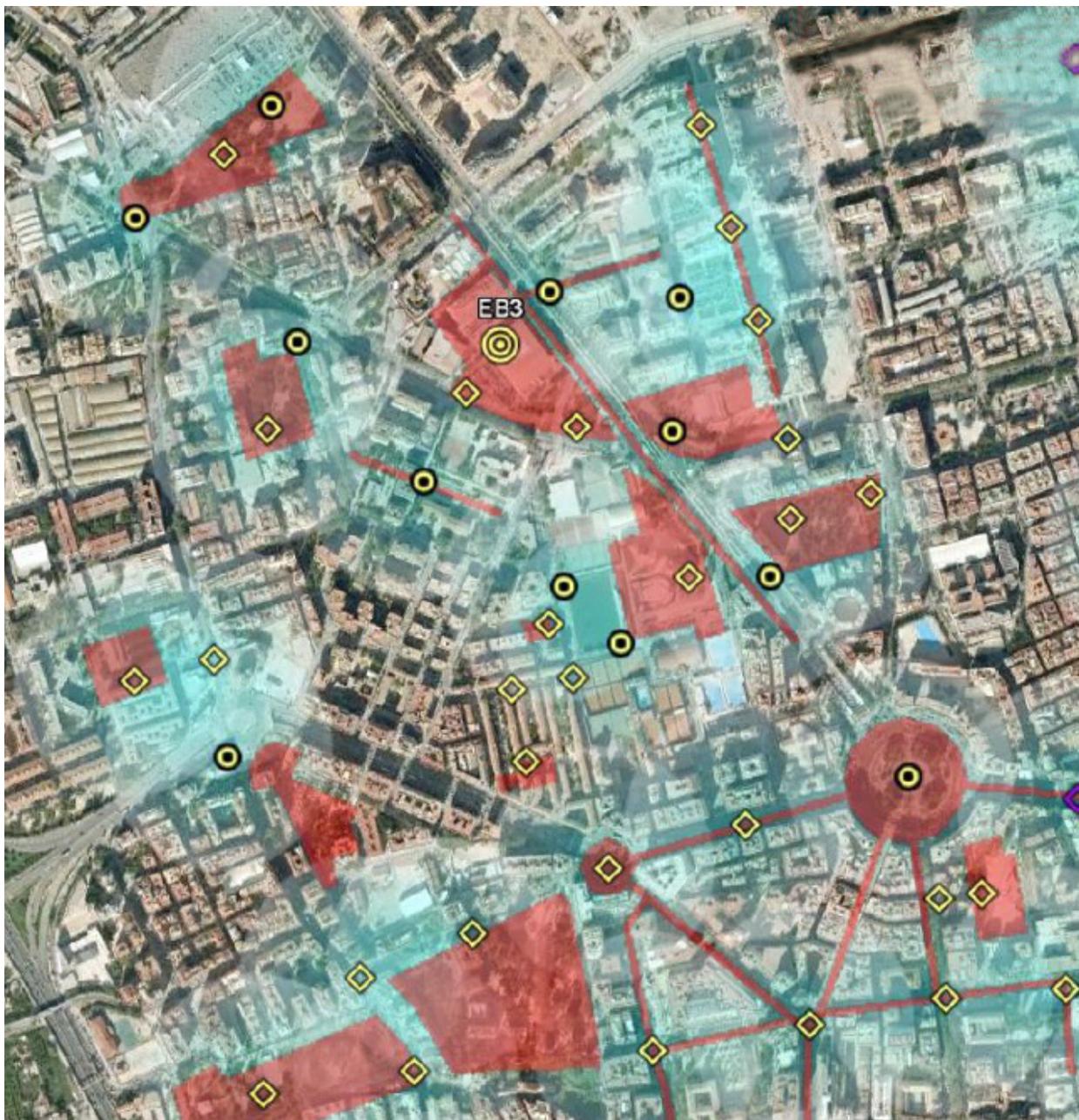


Figura 5.10) Cobertura estimada nodos WiFi EB3

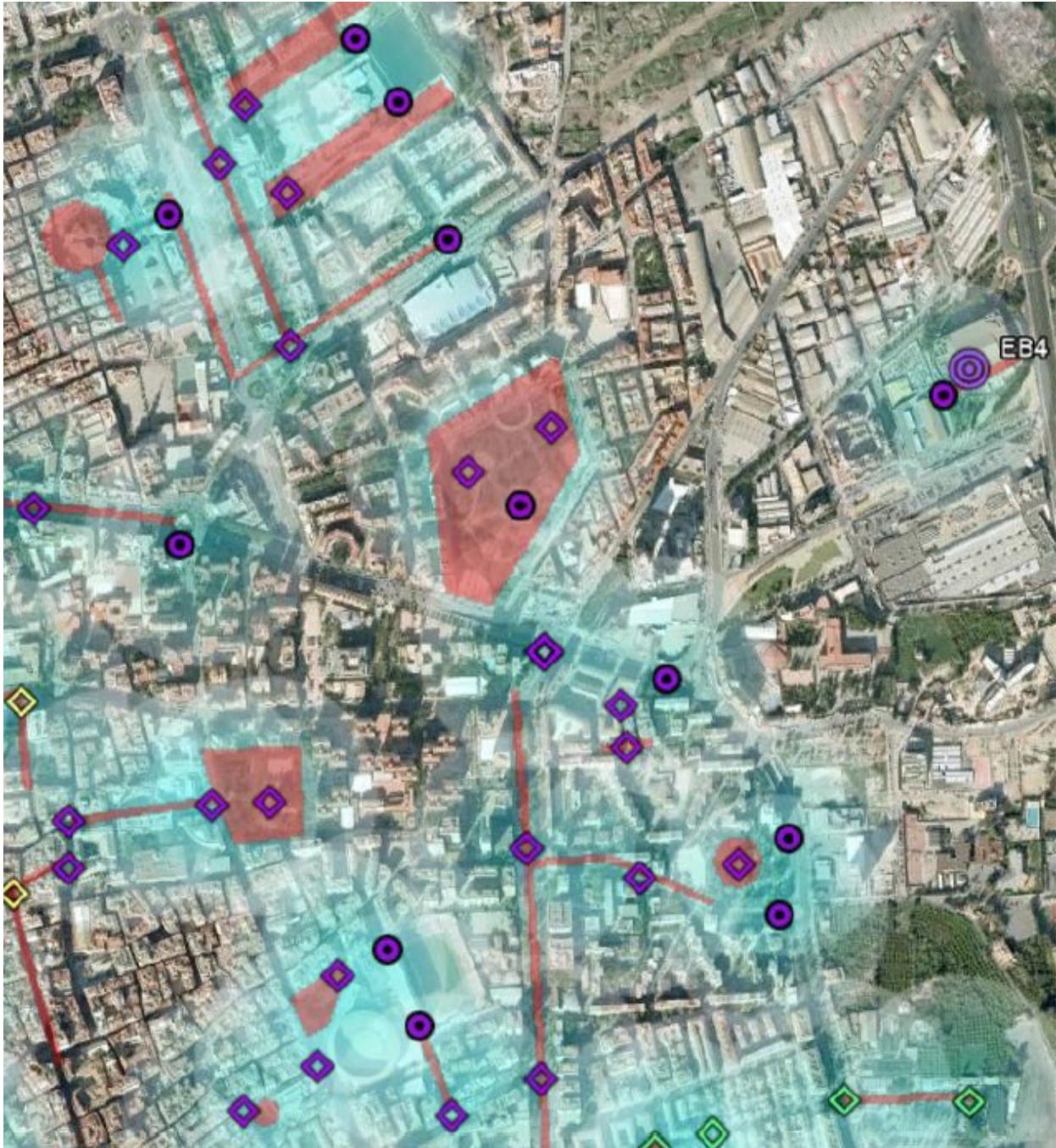


Figura 5.11) Cobertura estimada nodos WiFi EB4

5) Presupuesto

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
RED DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE WIMAX			159.905,53
Estación Base WiMAX Alvarion BreezeAccess VL	12	4.324,44	51.893,28
Switch Industrial Cisco IE-3000	4	955,11	3.820,44
Suscriptor WiMAX BreezeAccess SU-54	55	1.296,02	71.281,10
Convertor de medios 1000BaseLX	4	330,00	1.320,00
Convertor de medios 100BaseFX	2	140,00	280,00
SAI Salicru SPS Advance RT 1500	4	428,00	1.712,00
Pequeño material (armario telecomunicaciones, tornillería, bridas, cables, latiguillos...)	4	881,65	3.526,60
Software de Gestión WiMAX AlvariSTAR	1	2.413,49	2.413,49
Licencia AlvariSTAR - VL CPE – 10 licenses	6	293,89	1.763,34
Licencia AlvariSTAR - VL AU - 1 license	12	238,79	2.865,48
Servidor HP para la Gestión de Red WiMAX	1	1.763,28	1.763,28
Ingeniería asociada a la Red WiMAX	1	13.224,54	13.224,54
Garantía Red WiMAX	1	4.041,98	4.041,98
RED DE ACCESO WIFI			744.915,53
Nodos WiFi de la Ciudad			548.736,20
Nodo WiFi Mesh Cisco 1552E	170	2.332,59	396.540,30
Suministro e Instalación de Antena 2,4/5 GHz	510	92,75	47.302,50
Soportes para Nodo WiFi Mesh	170	75,26	12.794,20
Cable de alimentación Nodo WiFi Mesh	170	174,40	29.648,00
Pequeño material (cajas, cableados, diferenciales, magnetotérmicos,...)	170	367,36	62.451,20
Nodos WiFi de la Pedanías			68.230,96
Punto de Acceso WiFi Cisco 1310G	56	762,76	42.714,56
Kit de Montaje	56	140,35	7.859,60
Cable RF Cisco Aironet 5-ft, low-loss, 2.4-GHz	56	58,14	3.255,84
Pequeño material (cajas, cableados, diferenciales, magnetotérmicos,...)	56	257,16	14.400,96

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

Sistema de Gestión de Red WiFi			127.948,37
Controlador Wireless Cisco 5500	1	37.910,97	37.910,97
Módulo Gigabit Ethernet Cisco GLC-T	4	230,41	921,64
Switch Cisco 2960S 24 puertos 10/100/1000	1	1.800,00	1.800,00
Armario telecomunicaciones 47U	1	1.500,00	1.500,00
Pequeño material (latiguillos, bridas, paneles de parcheo, regletas shucko,...)	1	358,54	358,54
Servidor HP Sistema de Gestión WiFi	1	3.438,39	3.438,39
Licencia Base Cisco WCS para 100 APs	2	3.696,26	7.392,52
Licencia Base Cisco WCS para 50 APs	1	2.492,83	2.492,83
Gestor de Ancho de Banda Allot 404/100 Mb	1	23.684,93	23.684,93
Ingeniería asociada a la Red WiFi	1	39.973,60	39.973,60
Garantía Red WiFi	1	8.474,95	8.474,95
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN			904.821,06
IVA 21%			190.012,42
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN IVA INCLUIDO			1.094.833,48 €

Tabla 6.1) Presupuesto de Ejecución

6) Conclusiones

El despliegue de redes de telecomunicaciones municipales es muy importante para que la Administración Pública disponga de servicios propios y otros ofrecidos al ciudadano. Las Smart Cities están en auge actualmente, cada vez más se necesita controlar equipos remotos dispuestos en el entorno urbano, además de la necesidad de conocer los datos y que estos estén totalmente accesibles al ciudadano y para ello es importante disponer de una red de telecomunicaciones que permita el despliegue de dichos accesos.

Las redes inalámbricas son muy rápidas de implementar en comparación con las cableadas y además son mucho menos costosas.

Para el diseño de la red inalámbrica se ha optado por Estaciones Base PtMP en la tecnología WiMAX ya que ésta está diseñada para redes WMAN en la que los Equipos Suscriptores están separados cientos de metros con respecto a ella.

En el presente proyecto se ha llevado a cabo el diseño de una red inalámbrica para la ciudad de Murcia. Para el desarrollo del proyecto han sido necesarios una serie de pasos que se describen brevemente a continuación:

- **Replanteo de las ubicaciones:** Se ha visitado y examinado el término municipal sobre el que se requería desplegar la red, identificando lugares propicios para la instalación de los equipos inalámbricos e identificando las características topográficas.
- **Diseño de la red:** Utilizando las herramientas software Radio Mobile y Google Earth se ha procedido a realizar los perfiles del terreno y a calcular los niveles de señal esperados. En base a esto se ha diseñado la red, eligiendo el equipamiento adecuado que se ajustaba a los requerimientos.
- **Realización del proyecto técnico:** Esta es la parte que se ha recogido en el presente documento, y que consta de los apartados necesarios para que pueda ser visado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.

Con el presente proyecto técnico sería posible implementar la red inalámbrica descrita, siendo solo necesario ocuparse de los detalles específicos de la instalación en cada una de las ubicaciones descritas.

7) Glosario

AAA: Authentication, Authoritation and Accounting (Autenticación, Autorización y Tarificación)
AES: Advanced Encryption Standard (Estándar de Cifrado Avanzado)
ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line (Línea de abonado digital asimétrica)
ATM: Asynchronous Transfer Mode (Modo de transferencia asíncrona)
AU: Access Unit (Unidades de Acceso)
Backbone: Red troncal
BPSK: Binay Phase Shift Keying (Modulación por desplazamiento de fase binaria)
CATV: Televisión por Cable
CAPWAPP: Control And Provisioning of Wireless Access Points (Control y aprovisionamiento de puntos de acceso inalámbricos)
CKK: Complementary Code Keying (Código de llave complementaria)
CCTV: Closed Circuit TeleVision (Circuito cerrado de television)
CIR: Committed information rate (Tasa de información comprometida)
CMT: Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones
CNAF: Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
CPD: Centro de Proceso de Datos
CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (Acceso múltiple con escucha de portadora y evasión de colisiones)
CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (Acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones)
DAMA: Demand Assigned Multiple Access (Acceso múltiple asignado bajo demanda)
DES: Data Encryption Standard (Algoritmo de cifrado standard)
DFS: Dynamic Frequency Selection (Selección dinámica de la frecuencia)
DMZ: Demilitarized Zone (Zona desmilitarizada)
DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum (Espectro ensanchado por secuencia directa)
EB: Estación Base
EDGE/EGPRS: Enhanced Data Rates for GSM Evolution / Enhanced GPRS (Protocolos de transferencia mejorados para la evolución de GSM)
ETSI: European Telecommunications Standards Institute (Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo)
FCC: Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de América)
FDD: Frequency Division Duplexing (Duplexación por división en frecuencia)
FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum (Espectro ensanchado por salto en frecuencia)
FTP: File Transfer Protocol (Protocolo de Transferencia de Ficheros)
GHz: Gigahercio
GPRS: General Packet Radio Service (Servicio general radio de paquetes)
GSM: Global System for Mobile Communications (Sistema Global para las comunicaciones Móviles).
HFC: Híbrido fibra y coaxial
HSDPA: High Speed Downlink Packet Access (Acceso descendente de paquetes de alta velocidad)
HSUPA: High Speed Uplink Packet Access (Acceso ascendente de paquetes de alta velocidad)
HTTP: Hypertext Transfer Protocol (Protocolo de transferencia de hipertexto)
HTTPS: Hypertext Transfer Protocol Secure (Protocolo de transferencia de hipertexto seguro)
IDS: Intrusion Detection System (Sistema de detección de intrusiones)
IDU: Indoor Unit (Unidad de interior)
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)

IP: Internet Protocol (Protocolo de Internet)
IPS: Intrusion Prevention System (Sistema de prevención de intrusiones)
ISM: Industry, Scientific and Medical band (Bandas del espectro radioeléctrico reservadas internacionalmente para uso industrial, científico y médico).
ISP: Internet Service Provider (Proveedor de servicios de Internet)
Kbps: Kilo bits por segundo (mil bits por segundo)
LLC: Logical Link Control (Control de enlace lógico)
LMDS: Local Multipoint Distribution System (Sistema de Distribución Local Multipunto)
LOS: Line of Sight (Línea de vista)
LWAPP: Lightweight Access Point Protocol (Protocolo Ligero para Puntos de Acceso)
MAC: Media Access Control (Dirección física de un dispositivo de red)
MAP: Mesh Access Point (Punto de acceso mallado)
Mbps: Mega bits por segundo (Millón de bits por segundo)
MD5: Message-Digest Algorithm 5 (Algoritmo de Resumen del Mensaje 5)
MHz: Megahercio
MIR: Maximum information rate (Tasa de información máxima)
MPLS: Multiprotocol Label Switching (Conmutación multiprotocolo de etiquetas)
Multiplexación: Combinación de dos o más flujos de información en un solo medio de transmisión.
mW: miliwatio (milésima de watio)
NLOS: Line of Sight (Sin Línea de vista)
ODU: Outdoor Unit (Unidad de exterior)
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por división de frecuencias ortogonales)
P2P: Peer to Peer. Red de pares en el cada nodo actúa simultáneamente como cliente y servidor
PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
PLC: Power Line Communication (Comunicación mediante la red eléctrica)
PtMP: Punto a MultiPunto
QAM: Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de amplitud en cuadratura)
QoS: Quality of Service (Calidad de servicio)
PSK: Quadrature Phase-Shift Keying (Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura)
RADIUS: Remote Authentication Dial-In User Service (Es un protocolo de autenticación y autorización de usuarios para acceso a la red)
RAP: Root Access Point (Punto de acceso raíz)
RF: Radio frecuencia
RSA: Rivest, Shamir y Adleman (Algoritmo de cifrado de clave pública)
SAI: Sistema de Alimentación Ininterrumpida
SLA: Service Level Agreement (Acuerdo de Nivel de Servicio)
SHA: Secure Hash Algorithm (Algoritmo de resumen seguro)
SNMP: Simple Management Network Protocol (Protocolo Simple de Gestión de Red)
SSL: Secure Sockets Layer (Protocolo de conexión seguro)
TACACS: Terminal Access Controller Access Control System (Sistema de control de acceso mediante terminales)
TDD: Time-Division Duplexing (Duplexación por división en el tiempo)
TDMA: Time-Division Multiple Access (Acceso múltiple por división en el tiempo)
TCP: Transmission Control Protocol (Protocolo de control de la transmisión)
Telnet: Protocolo para acceso a máquinas remotas
TLS: Transport Layer Security (Protocolo de transporte seguro)
TIC: Tecnologías de la Información y Comunicaciones
UDP: User Datagram Protocol (Protocolo de datagrama de usuario)

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)

UTP: Unshielded Twisted Pair (Par trenzado sin apantallar)

UNII: Unlicensed National Information Infrastructure (Banda de frecuencias nacionales sin licencia)

VLAN: Virtual Local Area Network (Red de área local inalámbrica virtual)

VoIP: Voice over IP (Voz sobre IP)

VPN: Virtual Private Network

WAN: Wide Area Network (Red de área extensa)

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access (Acceso múltiple de banda ancha por división de código)

WEP: Wired Equivalent Privacy (Privacidad Equivalente al Cableado). Mecanismo de seguridad de redes inalámbricas

WiFi: Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica). Estándar de transmisión de datos sin cables.

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad Mundial para enlaces por Microondas). Estandar de transmisión de datos sin cables.

WCS: Wireless Control System

WLAN: Wireless Local Area Network (Red de área local inalámbrica)

WLC: Wireless LAN Controller

WLL: Wireless Local Loop (Bucle local inalámbrico)

WMAN: Wireless Metropolitan Area Network (Red de área metropolitana inalámbrica)

WPA: Wi-Fi Protected Access (Algoritmo de cifrado Acceso Wi-Fi protegido)

WPAN: Wireless Personal Area Network (Red de área personal inalámbrica)

XDSL: Digital Subscriber Line (Línea de abonado digital)

8) Bibliografía

- [1] Instituto Nacional de Estadística <http://www.ine.es/>
- [2] Ley 9/2014, de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-4950.
- [3] RD1066/2001 <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2001-18256> y Orden CTE/23/2002 de regulación de emisiones radioeléctricas https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-694.
- [4] Orden IET/787/2013, de 25 de abril, por la que se aprueba el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-4845>.
- [5] Orden IET/614/2015, de 6 de abril, por la que se modifica la Orden IET/787/2013, de 25 de abril, por la que se aprueba el cuadro nacional de atribución de frecuencias <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-3864>.
- [6] WiMAX <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.16.html>
- [7] WiFi <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>
- [8] <http://www.alvarion.com>
- [9] <http://www.cisco.com/web/ES/index.html>
- [10] <https://tools.ietf.org/html/rfc5415> y <https://tools.ietf.org/html/rfc5416>
- [11] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2005-6970>
- [12] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2001-18256>
- [13] <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/CNAF.aspx>
- [14] <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.11.html>
- [15] <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11b-1999.html>
- [16] <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11a-1999.html>
- [17] <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11g-2003.html>
- [18] <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11n-2009.html>
- [19] <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.16-2012.html>
- [20] <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1999-21567>
- [21] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1998-4769>
- [22] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2005-10069>
- [23] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-9688>
- [24] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-4851>
- [25] https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2003-10528
- [26] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-6641>
- [27] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-6641>
- [28] https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-10457
- [29] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2001-18256> y https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-694
- [30] https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-4950
- [31] https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2003-14779
- [32] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-4845>
- [33] <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-3864>
- [34] <https://www.boe.es/boe/dias/1997/10/25/pdfs/A30875-30886.pdf>
- [35] <https://www.boe.es/boe/dias/2006/05/29/pdfs/A20084-20091.pdf>
- [36] https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2010-4765
- [37] https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-18099
- [38] <http://es.scribd.com/doc/61997612/Normativa-Telefonica-Nt-f1-003-1986>

9) Anexos

9.1) Sistema de Gestión de Red WiMAX Alvaristar.

El sistema propuesto estará administrado por el software AlvariSTAR, que es un Sistema de Gestión de Red (NMS), del tipo “Carrier Class”, adecuado para Redes de Acceso Inalámbrico de Banda Ancha.

AlvariSTAR proporciona todos los elementos de gestión, monitorización, configuración y control de fallos que se requieren para maximizar la eficacia de la red, al mismo tiempo que se minimizan los recursos invertidos y los gastos.

Características principales del sistema.

Las características principales del AlvariSTAR son las siguientes:

- Eficaz **Gestión de Fallos** gracias a una rápida y efectiva detección, aislamiento y resolución.
- Exhaustiva **Gestión de Configuración** proporcionando visualización de la red con vistas geográficas, lógicas y físicas
- **Gestión del Servicio** gracias a la monitorización en Tiempo Real y recolección programada de estadísticas de tráfico, ejecución y QoS.
- Amplias funcionalidades de **Gestión de Seguridad**.
- **Simplifica el despliegue y el mantenimiento de la red** para dar soporte a una rápida expansión de la base de los clientes.
- **Arquitectura Flexible** para diversas configuraciones y gestión de múltiples productos reduciendo de este modo los costes operacionales y de equipos.
- **Monitorización en tiempo real** y recolección programada de estadísticas de tráfico, ejecución y QoS.
- **Exhaustiva visualización de la red** con vistas geográficas lógicas y físicas.
- **Permite la gestión eficaz de redes** de Banda Ancha Inalámbrica (BWA) en crecimiento o a nivel nacional.
- **Cumple totalmente con los estándares** de Red de Gestión de Comunicaciones (**Telecommunications Management Network TMN**)

Arquitectura del sistema.

AlvariSTAR está diseñado con una estructura de múltiples niveles, con una base común sobre la cual pueden instalarse una o más unidades de accionamiento de dispositivos para dar servicio a diversas líneas de productos.

El sistema AlvariSTAR es una aplicación cliente-servidor compuesta por los siguientes componentes:

- Un **servidor de aplicaciones** que coordina todos los componentes del sistema y se comunica con subsistemas y dispositivos de red usados, agentes de mediación, los cuales proveen servicios para la comunicación con sistemas y dispositivos externos.
- Una **Base de datos** para almacenar objetos de red y de negocio, tales como dispositivos, configuración de dispositivos, ubicaciones, alarmas, datos de funcionamiento, etc.
- Uno a varios **Clientes GUI** para acceso a la información y a los procesos de gestión.

La arquitectura de AlvariSTAR es extremadamente flexible, desde un sistema mínimo a un “todo en uno” con todos los componentes de la misma.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

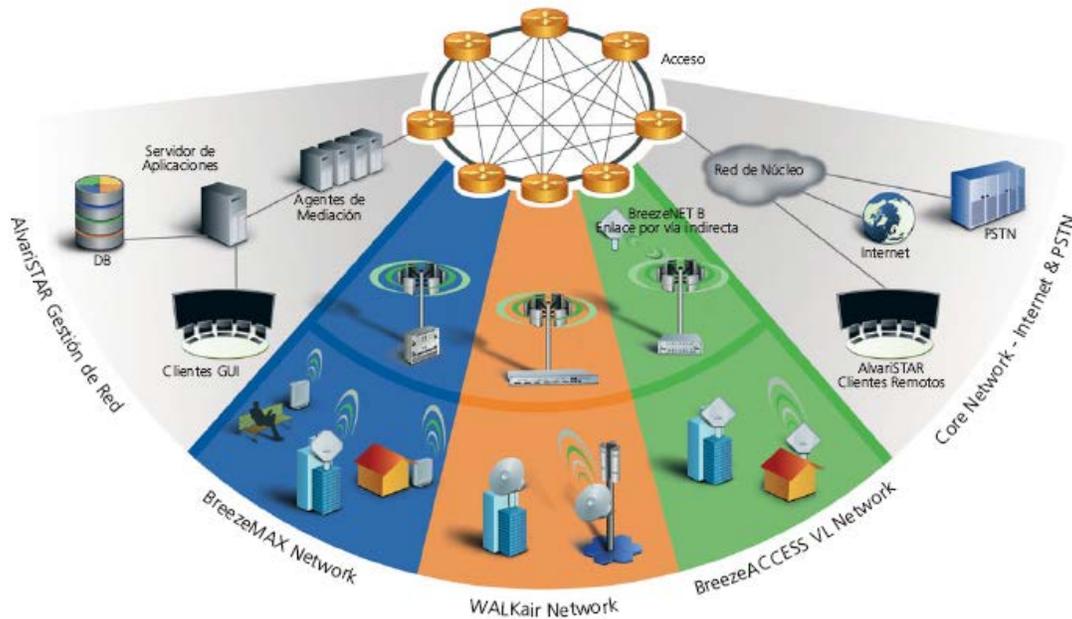


Figura 10.1) Componentes de la solución de red Alvarion

Sus características más destacables son:

- **Escalabilidad:** El número de equipos que se pueden gestionar está basado en la adquisición de licencias, de manera que se puede ir adquiriendo licencias que amplíen su capacidad de gestión a medida que la red vaya creciendo.
- **Simplicidad:** Simplifica el despliegue y el mantenimiento de red WiMAX
- **Efectividad:** Rápida detección de fallos en la red, y efectividad a la hora de resolverlos. Implementa el protocolo SNMP, lo cual posibilita que los dispositivos informen de manera activa de todos los eventos que se producen.



Figura 10.2) Alertas AlvariSTAR

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia



Figura 10.3) Gestión de fallos AlvariSTAR

- **Modos de visualización:** Dispone de diferente vistas de la red que permiten su fácil manejo y gestión. La vista geográfica proporciona una visualización basada en la localización de los dispositivos, disponiendo de varios niveles de zoom, que abarcan desde vistas regionales hasta vista concretas de equipamiento. La vista lógica representa los enlaces y relaciones entre los distintos elementos. También dispone de una vista física, la cual proporciona una representación de los dispositivos y todos sus componentes.

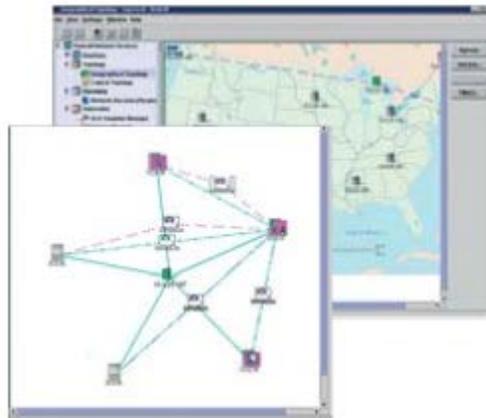


Figura 10.4) Modos de visualización

- **Tiempo real:** Monitorización, gestión del tráfico y estadísticas de rendimiento en tiempo real.



Figura 10.5) Monitorización en tiempo real

- **Seguridad:** Implementa diferentes niveles de acceso, de manera que se pueden crear grupos de usuarios con diferentes niveles de privilegio basándose en diferentes criterios.
- **Flexibilidad:** El diseño de la aplicación le confiere gran flexibilidad que se adapta a diversas configuraciones.

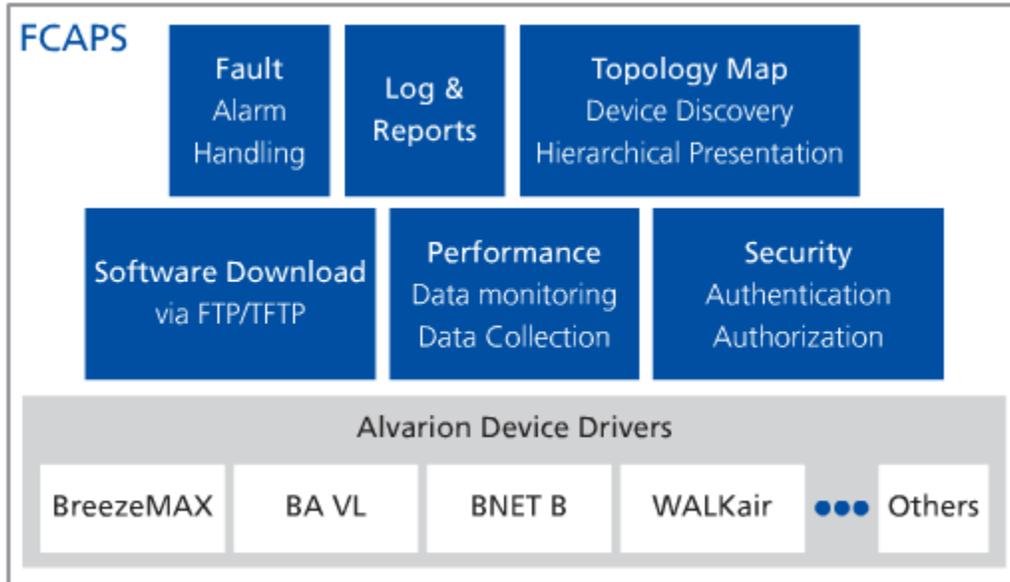


Figura 10.6) Diseño de la aplicación

Este software se instalará en uno de los servidores ubicados en el CPD del edificio de Glorieta.

Funcionalidades de sistema.

El sistema AlvariSTAR ofrece una gama completa de funcionalidades de gestión de red, cumpliendo íntegramente con los estándares TNM, permitiendo una gestión eficaz en los siguientes niveles:

- Gestión de Configuración de red.
- Gestión de fallos.
- Administración de la red.
- Gestión de la Seguridad.
- Gestión de Servicio.

Gestión de configuración de red.

La gestión de la configuración de red permite las siguientes facilidades:

- Administración de equipos.
- Administración de ubicaciones
- Definición de Rangos de direcciones.

Administración de equipos.

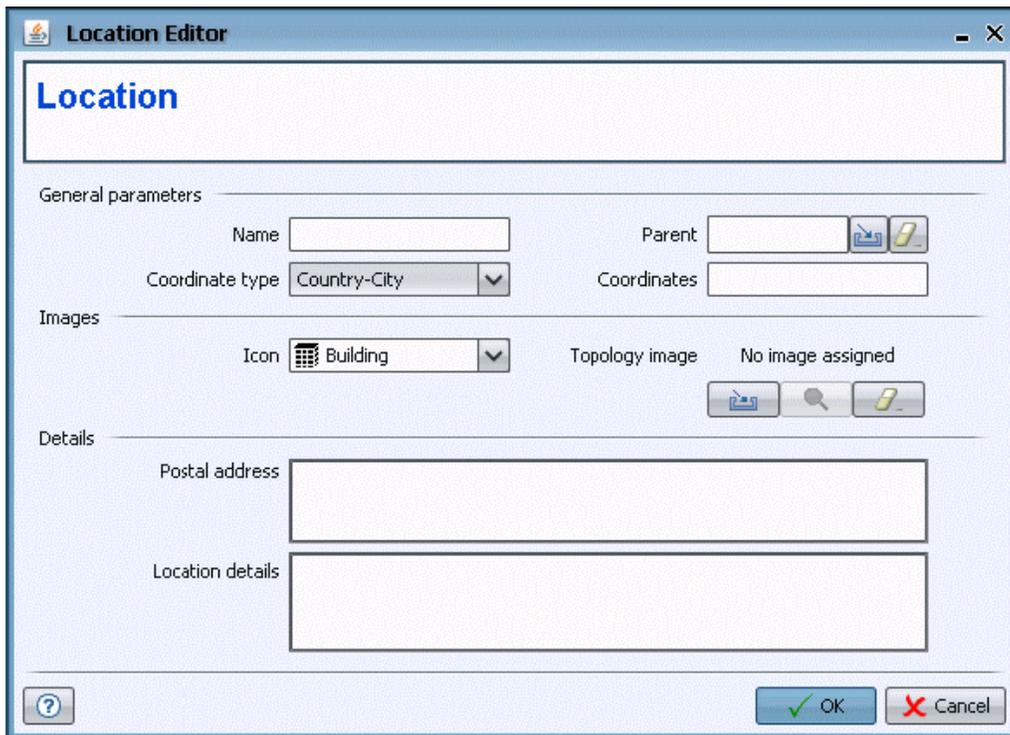
El administrador de equipos permite la funcionalidad y el acceso a distintas ventanas que permiten gestionar los equipos de la red. El administrador de equipos permite realizar las siguientes actividades:

- Ver los dispositivos que existen en la base de datos de acuerdo a varios criterios de selección.

- Visualizar la información general sobre los dispositivos existentes.
- Añadir y eliminar los dispositivos de la base de datos.
- Modificar las propiedades generales de los dispositivos.
- Abrir una ventana de Configuración para configurar un dispositivo seleccionado.
- Configurar simultáneamente varios dispositivos seleccionados.
- Abrir una sesión "Telnet" para un dispositivo seleccionado.
- Efectuar una copia de seguridad de la configuración de varios dispositivos seleccionados.
- Exportar la información general de los dispositivos seleccionados en ficheros formato CSV (Commas Separate Value)
- Abrir mapas asociados con un determinado dispositivo.

Administración de ubicaciones.

El Administrador de ubicaciones permite especificar información relativa a la situación física de los equipos gestionados, para facilitar la detección rápida de los mismos, así como para la situación específica del equipamiento cuando se utilizan mapas.



The screenshot shows a window titled "Location Editor" with a "Location" header. The window is divided into several sections:

- General parameters:** Includes a "Name" text box, a "Parent" dropdown menu with a search icon, a "Coordinate type" dropdown menu set to "Country-City", and a "Coordinates" text box.
- Images:** Includes an "Icon" dropdown menu set to "Building" and a "Topology image" field set to "No image assigned".
- Details:** Includes a "Postal address" text box and a "Location details" text box.

At the bottom of the window, there are three buttons: a help button (question mark), an "OK" button with a green checkmark, and a "Cancel" button with a red X.

Figura 10.7) Gestión de las ubicaciones

El administrador de ubicaciones permite una representación geográfica de los equipos gestionados proporcionando una representación visual de los mismos con niveles de zoom múltiples para visiones desde el nivel regional hasta el elemento de red.

Definición de Rangos de direcciones.

El sistema permite definir los rangos de direcciones IP de las distintas subredes que configuren la red general. De esta manera podemos definir los equipos que serán visibles en cada subred.

Gestión de Fallos.

AlvariSTAR soporta una rápida y efectiva detección, aislamiento y resolución de fallos. Con una rápida gestión preprogramada notificaciones con el protocolo de gestión de red simple (SNMP). AlvariSTAR soporta el informe en tiempo real y capacidades extensas de visión y gestión.

En el ámbito de la gestión de fallos el sistema AlvariSTAR dispone de diversas herramientas de gran utilidad:

- Pantalla de eventos activos.
- Pantalla de Histórico de eventos.
- Filtro para la gestión de eventos.
- Gestor de plantillas de eventos.
- Gestor de secuencias de comandos.
- Gestor de eventos NBI

Pantalla de Eventos activos.

En esta pantalla se visualizan y actualizan, en tiempo real, las nuevas alarmas que se producen en el sistema. Estas alarmas se presentan coloreadas en base a un código de colores que representa la gravedad de las mismas.

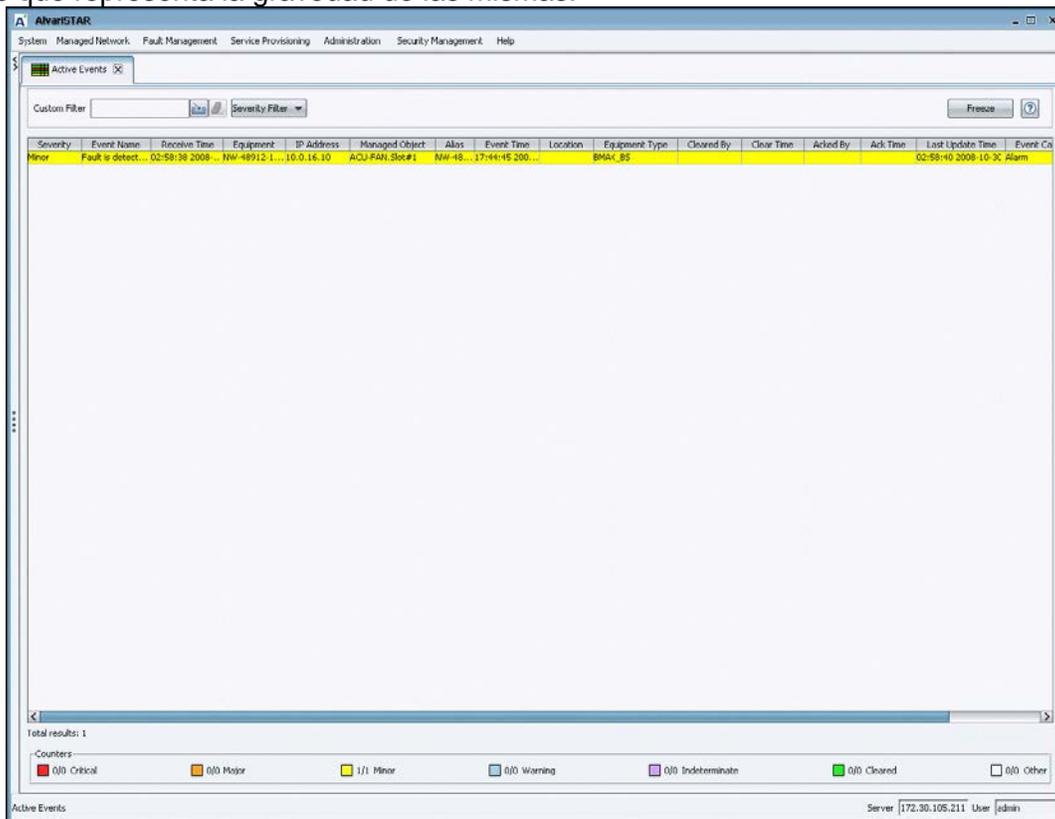


Figura 10.8) Eventos activos

Pantalla de Histórico de eventos.

Representa información de la base de datos correspondiente a eventos y alarmas que han ocurrido en un intervalo determinado de tiempo. Al igual que en el caso anterior estas alarmas y eventos aparecen coloreados con distintos tonos en función de su gravedad.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

The screenshot shows the 'Event History' window in the Alvaristar management system. The window title is 'Alvaristar' and it has a menu bar with 'System', 'Managed Network', 'Fault Management', 'Service Provisioning', 'Administration', 'Security Management', and 'Help'. Below the menu bar is a toolbar with 'Event History' and a search icon. A 'Custom Filter' section is visible with a date range from '2008-10-20 10:21:39' to '2008-10-30 10:21:39' and a 'Refresh' button. The main area is a table of events. The table has 17 columns: Severity, Event Name, Receive Time, Equipment, IP Address, Managed Object, Alias, Event Time, Location, Equipment Type, Cleared By, Clear Time, Acked By, Ack Time, Last Update Time, and Event. The events are listed in a table with various colors indicating severity: green for 'Cleared', orange for 'Major', and red for 'Link Down'. At the bottom of the window, there is a 'Total results: 76' indicator, a 'page size' dropdown set to '100', and a legend for event counts: 0/0 Critical, 5/5 Major, 2/2 Minor, 0/0 Warning, 0/0 Indeterminate, 32/32 Cleared, and 37/37 Other. The server information 'Server | 172.30.105.211 User | admin' is shown at the bottom right.

Severity	Event Name	Receive Time	Equipment	IP Address	Managed Object	Alias	Event Time	Location	Equipment Type	Cleared By	Clear Time	Acked By	Ack Time	Last Update Time	Event
Other	Access via LCI...	09:59:14 2008...	B53	10.0.22.252	NPU.Slot#5	B53	09:59:14 200...		BMAX_BS					09:59:15 2008-10-30	System E
Other	Access via LCI...	09:48:45 2008...	B53	10.0.22.252	NPU.Slot#5	B53	09:48:45 200...		BMAX_BS					09:48:45 2008-10-30	System E
Other	Access via LCI...	09:07:59 2008...	B53	10.0.22.252	NPU.Slot#5	B53	09:07:59 200...		BMAX_BS					09:07:59 2008-10-30	System E
Other	Access via LCI...	09:05:49 2008...	B53	10.0.22.252	NPU.Slot#5	B53	09:05:49 200...		BMAX_BS					09:05:50 2008-10-30	System E
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#3	Macro ...	18:48:23 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#3	Macro ...	18:48:14 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Other	AU.Slot#3 is I...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#3	Macro ...	18:48:14 200...		BMAX_BS					02:58:49 2008-10-30	System E
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#3	Macro ...	18:48:14 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#3	Macro ...	18:48:14 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#2	Macro ...	18:48:10 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#2	Macro ...	18:48:10 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Other	AU.Slot#2 is I...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#2	Macro ...	18:48:02 200...		BMAX_BS					02:58:48 2008-10-30	System E
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#2	Macro ...	18:48:02 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#2	Macro ...	18:48:02 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Link Up	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#2	Macro ...	18:48:02 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Major	Link Down	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#3	Macro ...	18:47:39 200...		BMAX_BS	Correlabon	02:58:49 20...			02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#3	Macro ...	18:47:39 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#3	Macro ...	18:47:39 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#3	Macro ...	18:47:39 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Major	Link Up	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#3	Macro ...	18:47:39 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Major	Link Down	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#2	Macro ...	18:47:38 200...		BMAX_BS	Correlabon	02:58:49 20...			02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#2	Macro ...	18:47:38 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#2	Macro ...	18:47:38 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Link Up	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#2	Macro ...	18:47:38 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Other	AU.Slot#1 Set...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#1	Macro ...	18:47:21 200...		BMAX_BS					02:58:48 2008-10-30	System E
Warning	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#1	Macro ...	18:47:21 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Other	Configurabon...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#1	Macro ...	18:47:21 200...		BMAX_BS					02:58:46 2008-10-30	System E
Cleared	Comunicacio...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#1	Macro ...	18:47:21 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Link Up	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	AU.Slot#1	Macro ...	18:47:21 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Cleared	Link Up	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	NPU.Slot#5	Macro ...	18:46:57 200...		BMAX_BS					02:59:41 2008-10-30	Alarm
Other	Made Conflict...	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	NPU.Slot#5	Macro ...	18:46:57 200...		BMAX_BS					02:58:48 2008-10-30	System E
Major	Link Down	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	NPU.Slot#5	Macro ...	18:46:57 200...		BMAX_BS	Correlabon	02:58:46 20...			02:59:41 2008-10-30	Alarm
Other	Cold Start	02:58:47 2008...	Macro FDD	10.0.16.20	NPU.Slot#5	Macro ...	18:46:57 200...		BMAX_BS					02:58:47 2008-10-30	System E
Other	Entity Created	02:58:46 2008...	SYSTEM	172.30.105...	SU.00-10-E7-E2-2...	PRO-4	02:58:46 200...		NMS					02:58:46 2008-10-30	Config C
Other	Entity Created	02:58:46 2008...	SYSTEM	172.30.105...	SU.00-10-E7-E2-2...	PRO-1	02:58:46 200...		NMS					02:58:46 2008-10-30	Config C
Other	Entity Created	02:58:46 2008...	SYSTEM	172.30.105...	SU.00-10-E7-E2-1...	PRO-7	02:58:46 200...		NMS					02:58:46 2008-10-30	Config C
Other	Entity Created	02:58:46 2008...	SYSTEM	172.30.105...	SU.00-10-E7-E2-0...	Mant...	02:58:46 200...		NMS					02:58:46 2008-10-30	Config C
Other	Entity Created	02:58:46 2008...	SYSTEM	172.30.105...	SU.00-10-E7-E2-5...	PRO-5...	02:58:46 200...		NMS					02:58:46 2008-10-30	Config C
Other	Entity Created	02:58:46 2008...	SYSTEM	172.30.105...	SU.00-10-E7-E2-1...	PRO-4	02:58:46 200...		NMS					02:58:46 2008-10-30	Config C
Other	Entity Created	02:58:46 2008...	SYSTEM	172.30.105...	SU.00-10-E7-E2-1...	MANT...	02:58:46 200...		NMS					02:58:46 2008-10-30	Config C

Figura 10.9) Histórico de eventos

Filtro para la gestión de eventos.

El sistema dispone de la facilidad de crear, editar y borrar filtros que son utilizados para visualizar eventos y alarmas en las pantallas descritas en los párrafos anteriores (Eventos activos y eventos históricos). De esta manera, con el uso de filtros predefinidos se puede visualizar solamente determinados tipos específicos de alarmas, permitiendo, de esta manera, un control más efectivo de las mismas.

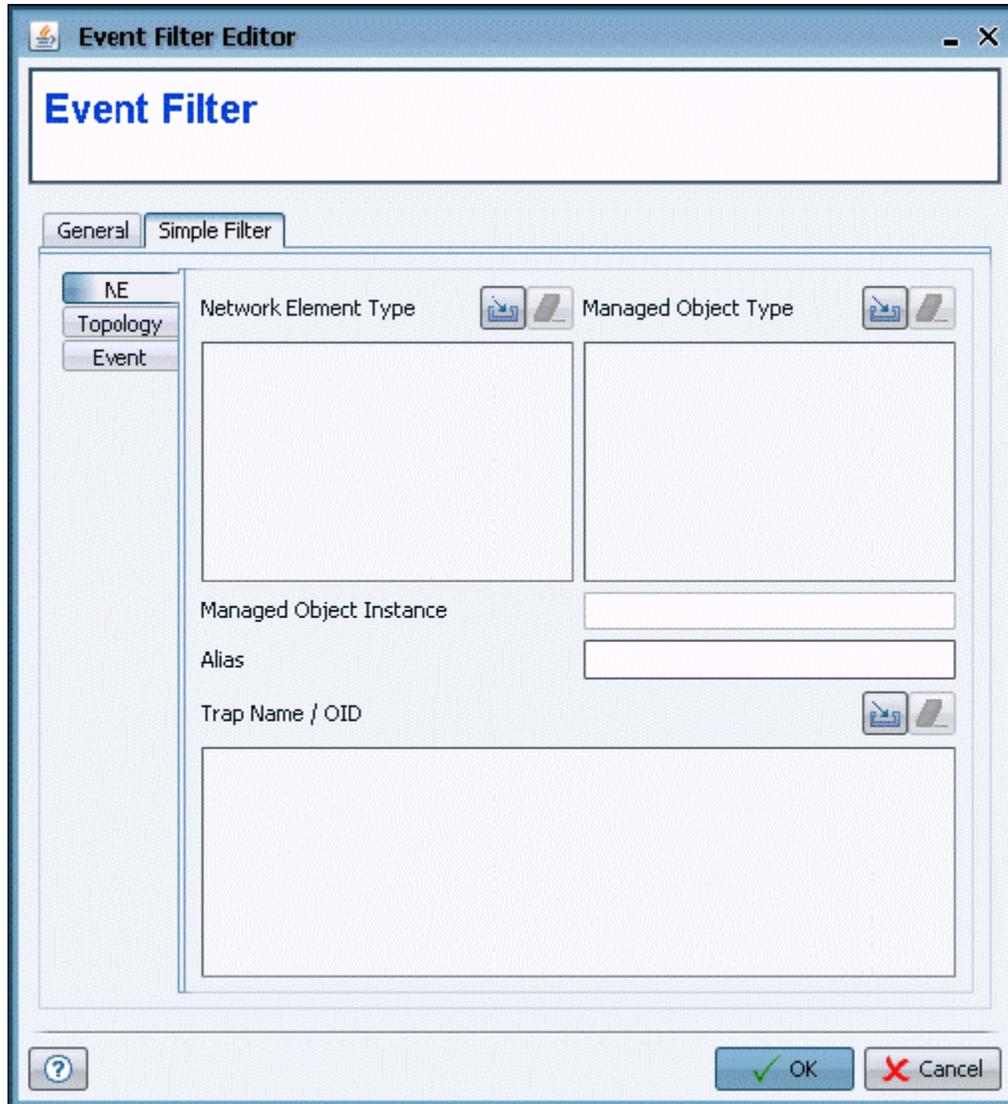


Figura 10.10) Filtro de gestión de eventos

Gestor de plantillas de eventos.

Las plantillas de eventos determinan como procesar determinados tipos de mensajes enviados por los objetos de la red gestionada. Estas plantillas pueden incluso disparar secuencias de comandos externos. Las alarmas o eventos que se producen en los objetos de la red generalmente indican un cambio en el estado de funcionamiento o un fallo en algún dispositivo. Las plantillas se pueden configurar para que un evento determinado desencadene una secuencia de acciones específicas.

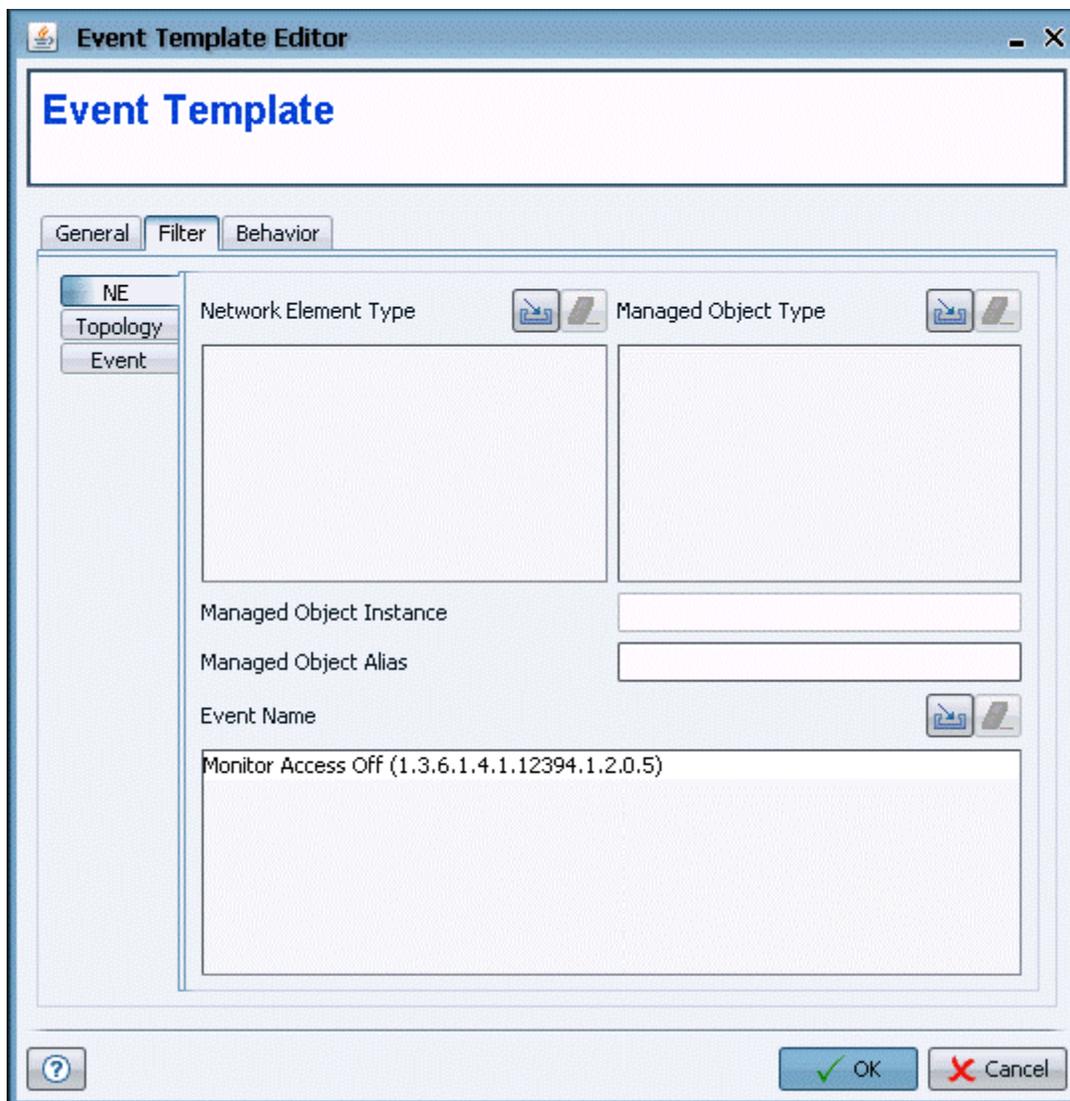


Figura 10.11) Plantillas para los eventos

Gestor de secuencias de comandos.

Las plantillas configuradas para determinados tipos de alarmas pueden desencadenar secuencias de comandos externos. Estas secuencias de comandos pueden contener información contenida en la propia alarma recibida. Se pueden configurar, crear y borrar secuencias de comandos según las necesidades.

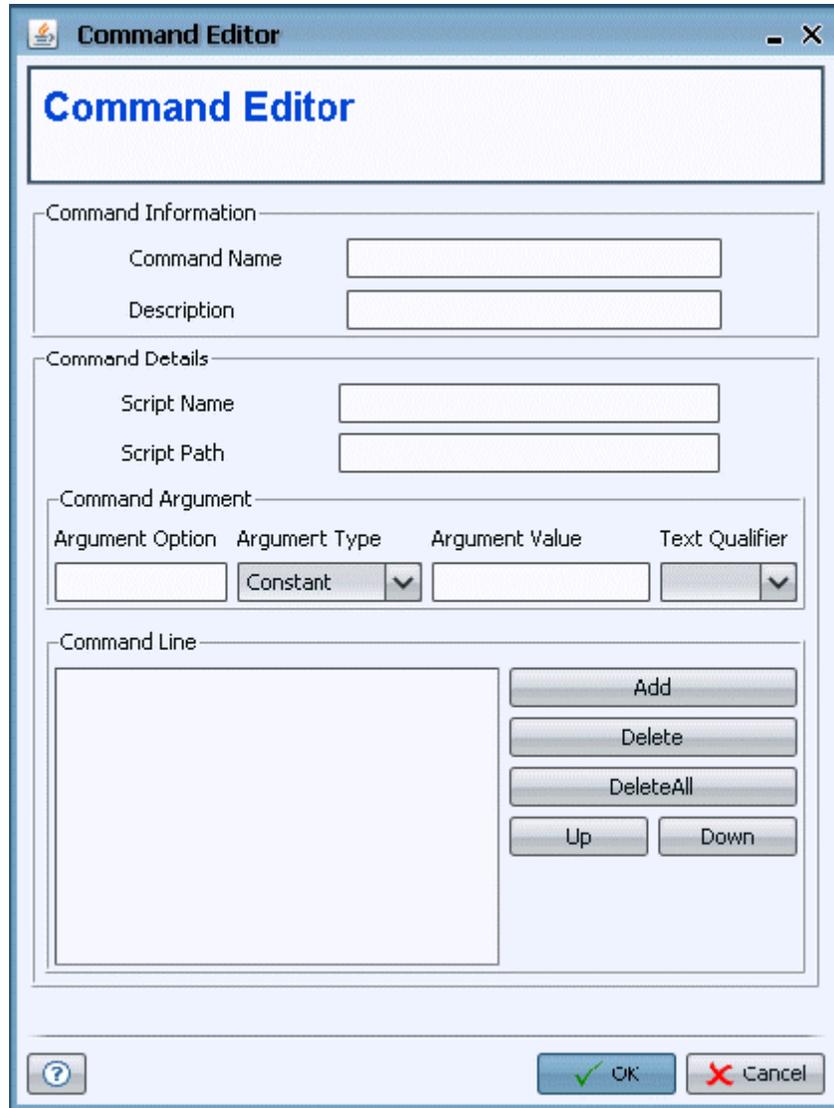


Figura 10.12) Gestor de secuencias de comando

Gestor de eventos NBI

El gestor de eventos NBI proporciona un interfaz que permite conectarse con otros sistemas de gestión e intercambiar información con ellos.

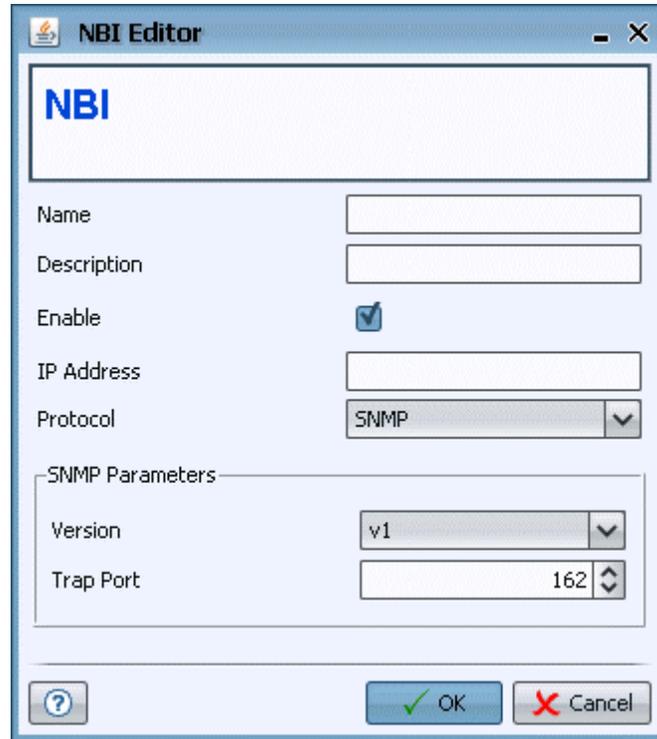


Figura 10.13) Editor de eventos NBI

Administración de la red.

El sistema AlvariSTAR dispone de distintas utilidades par llevar a cabo la correcta administración de la red:

- Gestor de tareas
- Gestor de ficheros
- Gestor de contactos
- Gestor de licencias.

Gestor de tareas.

El gestor de tareas se encarga de la gestión y el control de distintos procesos que se realizan en un gran número de entidades del sistema (equipos, servicios, etc). Todos estos procesos, gobernados por el gestor de tareas, se ejecutan en segundo plano, permitiendo que los administradores de red puedan continuar la gestión de la red mientras estos procesos se ejecutan. Cuando una tarea se completado emite un informe.

El gestor de tareas facilita información sobre las tareas definidas y permite editar, programar, ejecutar o eliminar tareas existentes.

El gestor de tareas también permite abortar las tareas en ejecución y ver los informes completados y las tareas abortadas.

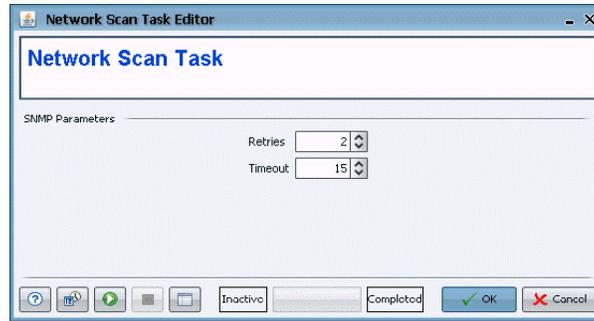


Figura 10.14) Gestor de tareas

Gestor de ficheros.

El gestor de ficheros permite la gestión de los archivos que están almacenados en la base de datos.

Gestor de contactos

El gestor de contactos permite organizar y administrar los distintos contactos. Cada dispositivo se puede asociar con un contacto.

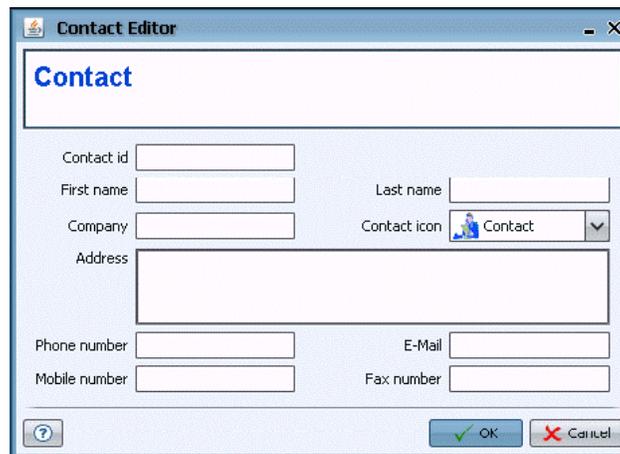


Figura 10.15) Gestor de contactos

Gestor de licencias.

El gestor de licencias proporciona información acerca de licencias válidas para la gestión de los diferentes tipos de dispositivos, así como un resumen de los detalles de los dispositivos gestionados actualmente y la información del servidor incluido en la licencia.

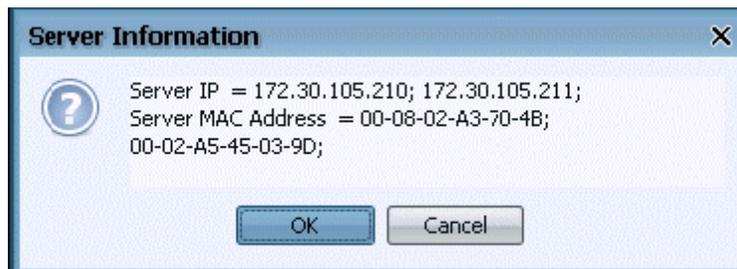


Figura 10.16) Gestor de licencias

Gestión de Seguridad.

Desde el punto de vista de la seguridad, AlvariSTAR implementa una autorización de accesos de nivel múltiple, permitiendo definir permisos y derechos de acceso para distintos perfiles de usuario.

El nivel de acceso asignado a cada usuario determina las funciones de gestión a las que el usuario puede acceder.

El sistema permite definir los siguientes perfiles:

- **Audit log manager.** Permite ver los eventos registrados y exportar datos en ficheros con formato CVS (Comma Separated Value).
- **User manager.** Permite crear y administrar usuarios y definir la información asociada a cada uno de ellos.
- **User Profile Manager.** Permite crear y administrar perfiles de usuario, definiendo los derechos de acceso asignados a todos los usuarios de un grupo determinado.
- **User Session Monitor.** Permite visualizar la información actualmente registrada y enviar mensaje a otros usuarios conectados.

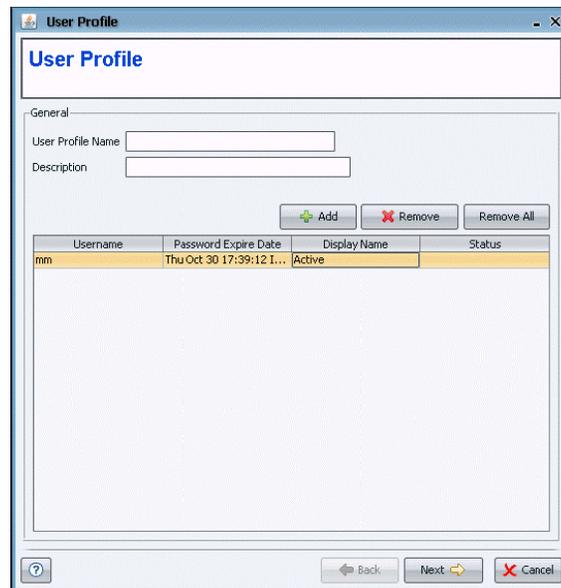


Figura 10.17) Perfiles de usuario

Gestión de Servicio.

El sistema AlvariSTAR ofrece un aprovisionamiento instantáneo de los servicios del abonado. El aprovisionamiento del servicio requiere simplemente hacer coincidir los usuarios con perfiles de servicios predefinidos que contienen todas las configuraciones requeridas para establecer los diferentes servicios. Estos perfiles de servicio se gestionan y distribuyen globalmente a la red por AlvariSTAR. El aprovisionamiento del servicio antes de la instalación del CPE reduce los gastos generales de la instalación de forma significativa con el servicio activado automáticamente cuando se instala la CPE y se autentica a sí misma.

AlvariSTAR soporta la monitorización en tiempo real junto con una recolección preprogramada de las estadísticas de la carga del tráfico sobre el aire, información de las prestaciones del enlace inalámbrico y calidad de servicio (QoS). El motor de la recolección de las prestaciones ayuda a identificar problemas y cuellos de botella y optimiza la utilización de los recursos.

9.2) Sistema de control centralizado WiFi WCS

Para el despliegue se propone un sistema centralizado de gestión del controlador inalámbricos. Este sistema, denominado **Cisco WCS (Wireless Control System)** permite al gestor de la red diseñar, controlar y monitorizar todos los recursos de la red inalámbrica en una única ubicación centralizada, simplificando las operaciones y reduciendo los costes de operación.

El sistema proporciona los siguientes servicios:

- Gestión centralizada

Se implementa la configuración de los puntos de acceso desde un elemento centralizado con la posibilidad de definir plantillas para agrupar ciertos valores de configuración comunes y poder realizar los procesos de configuración de manera mucho más rápida. La configuración puede realizarse usando interfaces seguras, como HTTPS o SSH.

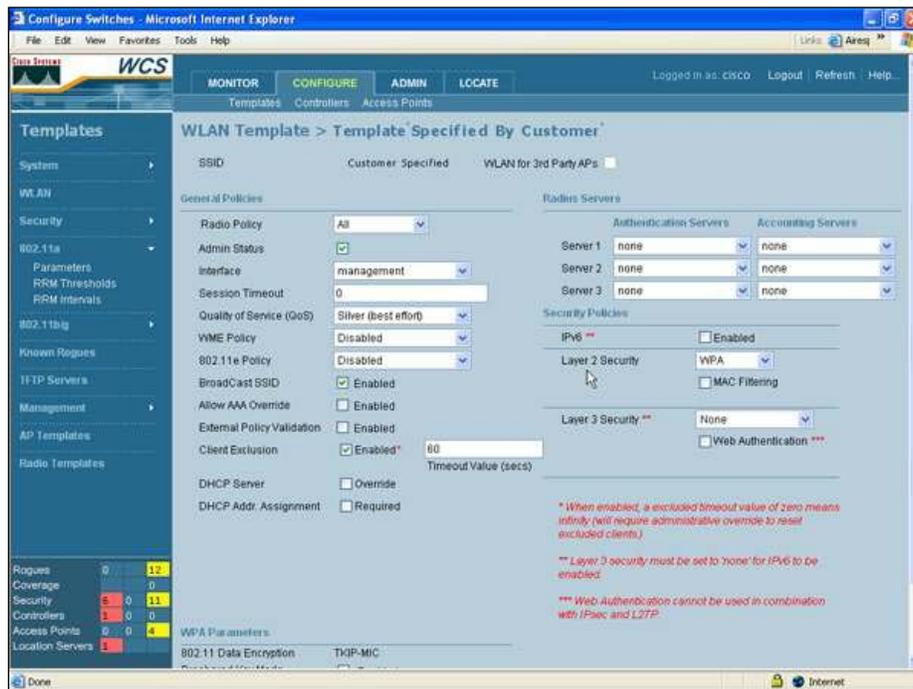


Figura 10.18) Sistema de gestión WCS

Además, se proporciona acceso directo a los controladores instalados en la red, con lo que se pueden gestionar de una manera mucho más sencilla desde un único punto remoto. Entre las características más importantes que pueden gestionarse de este modo, son las capacidades de autoconfiguración de radiofrecuencia de los puntos de acceso controlados por cada uno de los WLC, mediante el protocolo RRM (Radio Resource Management).

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

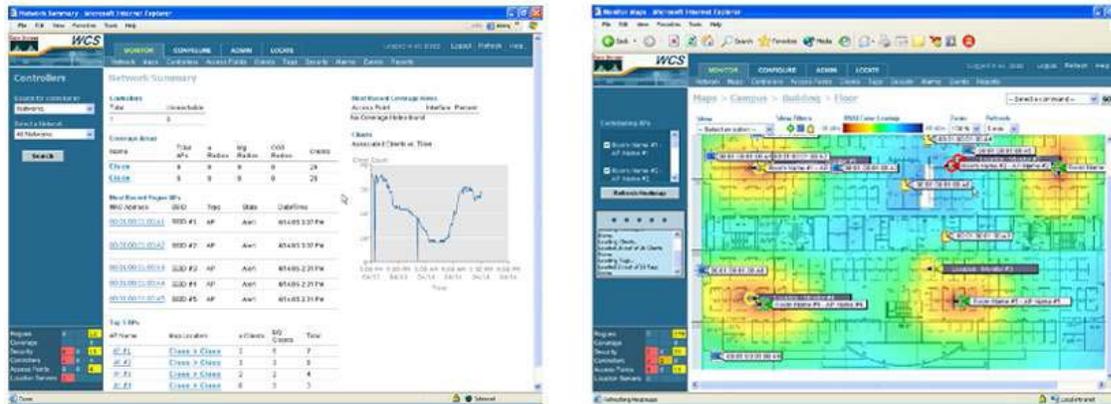


Figura 10.19) Gestión de los parámetros radio

También se facilitan los procesos de gestión centralizada del firmware de los puntos de acceso, de modo que el provisionamiento de nuevas versiones se puede realizar de manera rápida y sencilla.

En todo momento se les proporciona a los administradores un detallado inventario del equipamiento monitorizado, que permite navegar rápidamente por los niveles de la arquitectura desplegada buscando un punto de acceso en concreto, o un cliente inalámbrico con problemas.

· Monitorización de red

Para los puntos de acceso de interior que se desplegarán en los edificios municipales, el sistema de Cisco proporciona herramientas que permiten visualizar de manera gráfica los valores RF de las redes más relevantes, como los niveles de señal presentes, huecos en las zonas de cobertura, puntos de acceso no autorizados, etc. Esto incluye entre otros elementos detallados *heatmaps* que muestran los niveles de cobertura en cada una de las ubicaciones que hayan sido introducidas en el sistema.

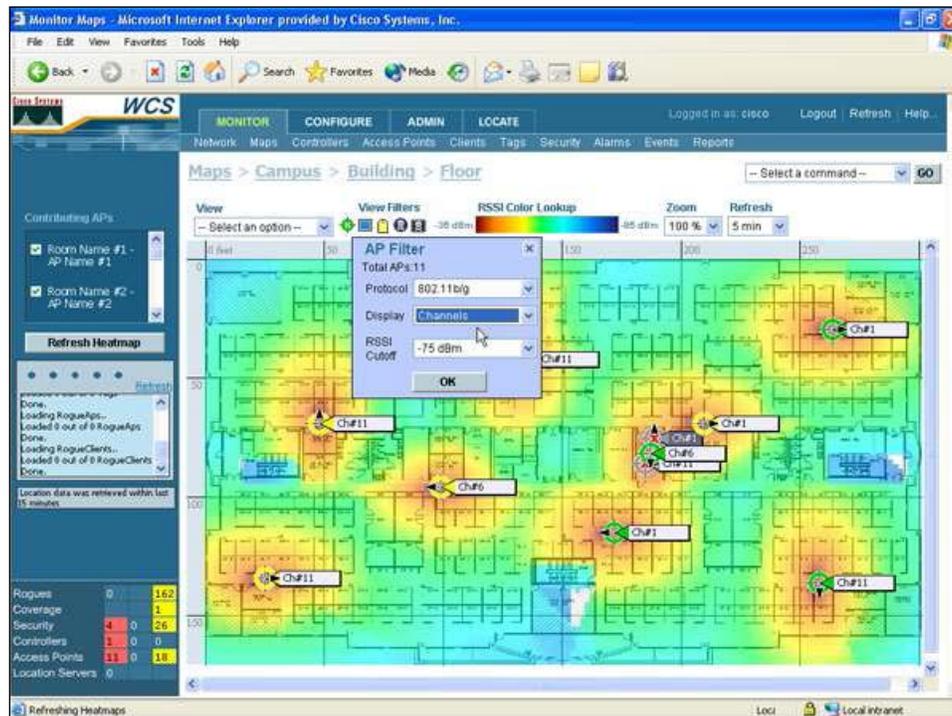


Figura 10.20) Diagrama de coberturas

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

Se proporciona por tanto una visión en tiempo real, mediante información proporcionada por los WLC, del estado real de la red en todo momento, incluyendo información de la asignación de canales, niveles de potencia asignados, etc.

Además se proporcionan elementos de alarma relativos a eventos del sistema como huecos de cobertura detectados, alertas para las funciones de IDS, problemas de rendimiento, etc.

- Resolución de problemas

Este sistema facilita a los administradores de red la identificación de problemas en la red: de rendimiento, de configuración, de seguridad, etc. En todo momento se puede mostrar en pantalla una gran cantidad de información referente a cualquier enlace inalámbrico entre un cliente del sistema y el punto de acceso al que está asociado: nivel de señal, interferencias, reintentos, etc.

Esto permita a los administradores aislar y resolver los problemas en la red de manera mucho más eficiente, ya que en todo momento se indica de manera gráfica cuáles son los errores detectados por el sistema.

Proporciona además herramientas para la identificación de errores, presentando listas de posibles problemas implicados, y sugiriendo al administrador determinados cursos de acción con el fin de resolver el problema implicado.

- Protección y seguridad de la red

El WCS proporciona un amplio espectro de herramientas destinadas a mejorar las políticas de seguridad definidas para la red inalámbrica, como funcionalidades de IDS (Intrusion Detection System) e IPS (Intrusion Prevention System) dentro de la Cisco Self-Defending Network (sistema que se incluyen como mejora), o la capacidad de detectar “firmas” de ataques inalámbricos dentro de una amplia base de datos de ataques ya almacenadas en el sistema.

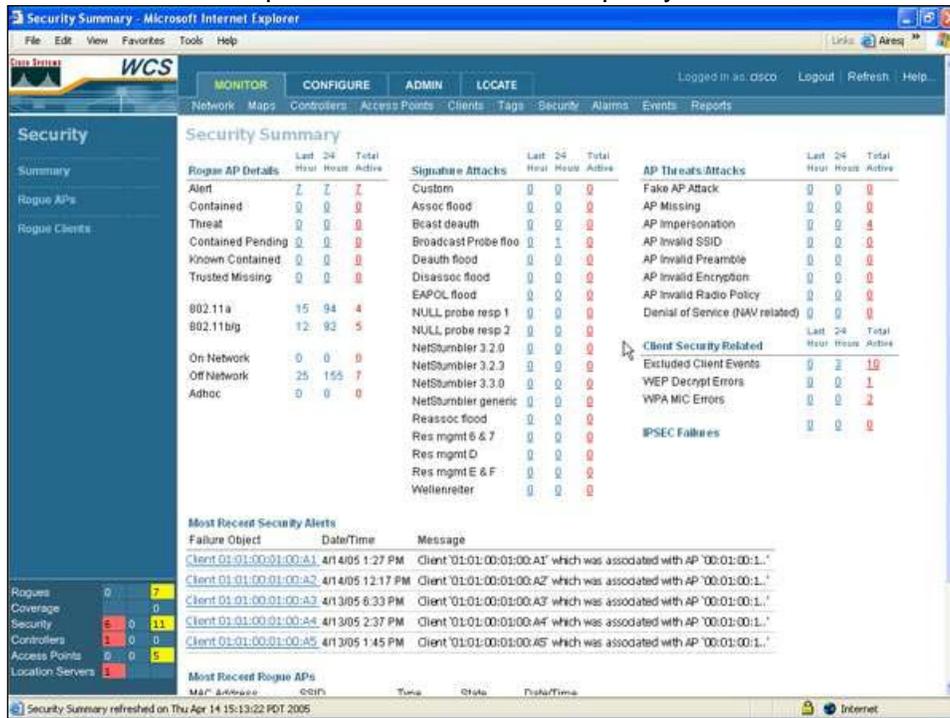


Figura 10.21) Gestión de la seguridad IDS e IPS

Gracias a estas capacidades, ataques de tipo “estándar” como ataques de DoS (denegación de servicio), herramientas automatizadas como FakeAP, Netstumbler, etc, son fácilmente

detectados y reportados a los administradores de red, que podrán tomar las medidas necesarias para aislar el ataque y determinar su origen.

Se hace también especial hincapié en las capacidades de detección, localización y contención de puntos de acceso no autorizados, ya que el conjunto de controladores inalámbricos puede configurarse para que instruya a los puntos de acceso a que monitoricen continuamente el interfaz aire en busca de puntos de acceso no autorizados, o redes ad-hoc potencialmente peligrosas.

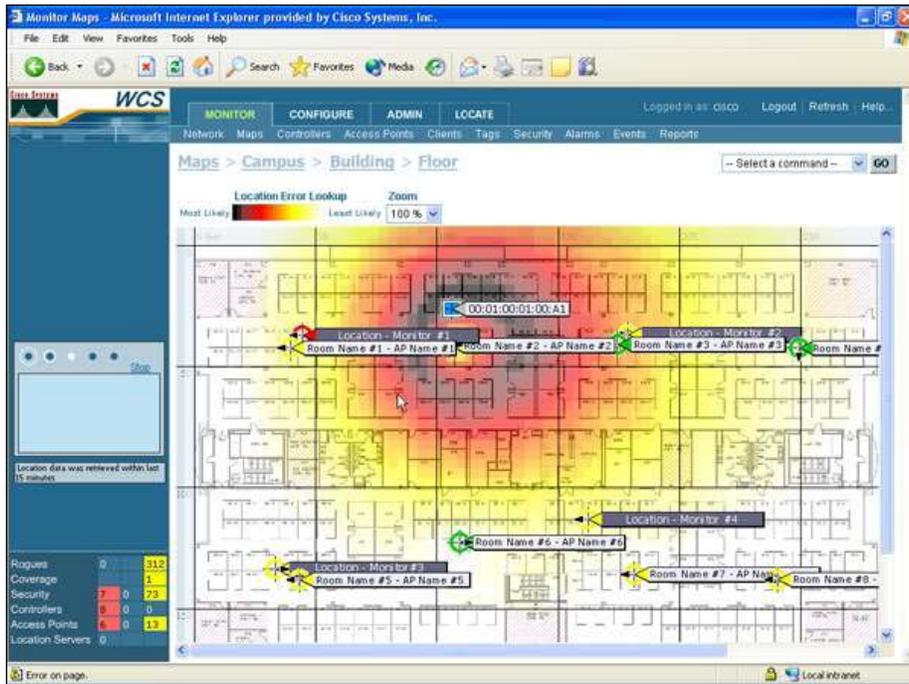


Figura 10.22) Detección de FakeAP

· Generación de informes

El sistema dispone de herramientas encargadas de recopilar toda la información ofrecida por los puntos de acceso y presentarlas mediante informes generados automáticamente, ya sean con una planificación temporal o bajo demanda.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

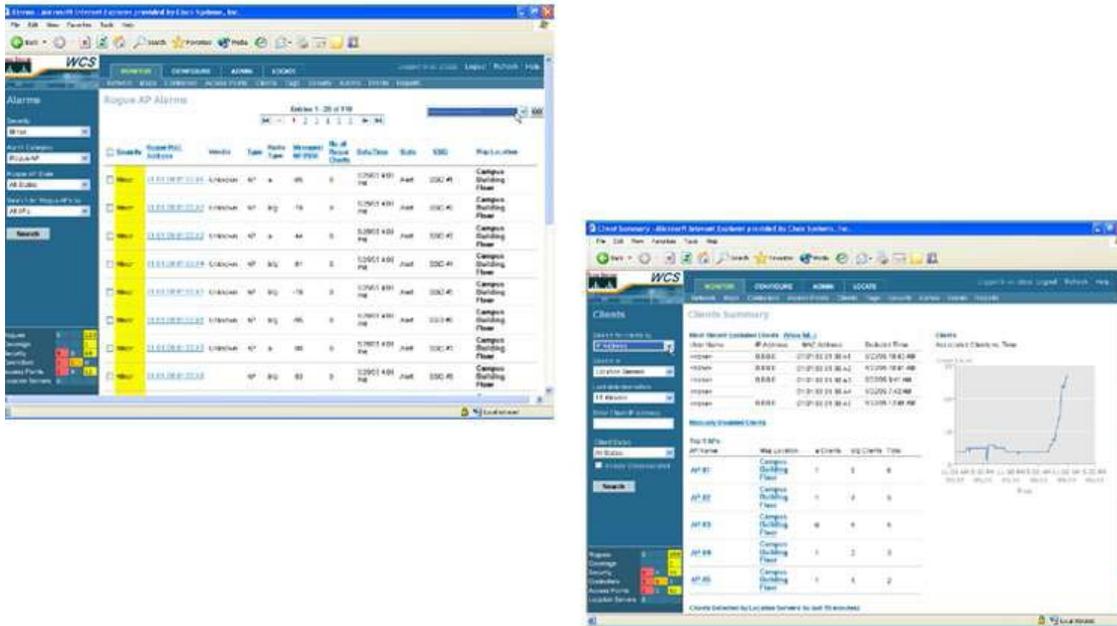


Figura 10.23) Generación de informes

Estos datos también pueden exportarse vía XML por si el personal técnico dispone de alguna herramienta ya instalada de generación de informes que esté ya integrada en su sistema. Este sistema de gestión software se instalará en un servidor hardware perteneciente a TTI.

9.3) Sistema de control de ancho de banda NetEnforcer

En las actuales condiciones de funcionamiento de cualquier organización, sea cual sea su tamaño, es posible constatar el hecho de que las comunicaciones con el exterior mediante su infraestructura de red constituye uno de los elementos de productividad más importantes, y por ende, uno de los principales quebraderos de cabeza al tratarse de un recurso limitado y muy solicitado.

Conseguir una fiabilidad y eficiencia sólidas para las redes actuales requiere un enfoque unificado que permita gestionar con facilidad y sin pérdida de rendimiento los recursos disponibles.

Nuevas tecnologías software como el *DPI (Deep Packet Inspection)* permiten tratar los enlaces troncales de gran ancho de banda como redes sencillas, de forma que servicios de Internet de valor añadido pueden ser fácil y eficientemente desplegados. Para ello se proponen sistemas inteligentes que protegen todos los niveles implicados en la comunicación, desde el nivel de red al nivel de aplicación.

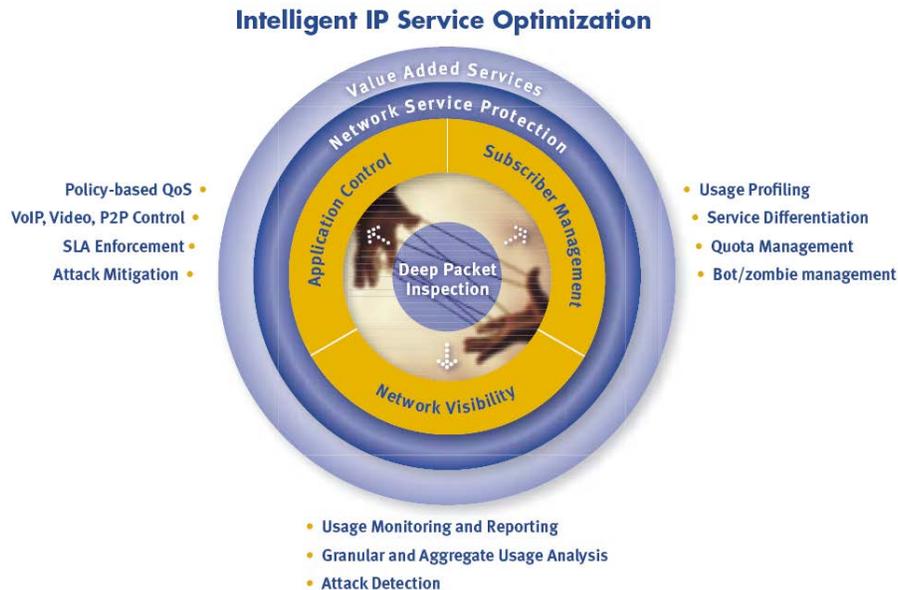


Figura 10.24) Sistemas IP de control inteligente a través de DPI

Allot ofrece una amplia gama de soluciones “carrier-grade”, escalables y que proporcionan capacidades de visibilidad, seguridad, control de aplicaciones y gestión de usuarios en la red. Estas cuestiones son fundamentales para la gestión de los servicios de acceso a Internet que desean proporcionar unas prestaciones garantizadas (QoE), manteniendo los costes operativos y maximizando los ingresos.

La solución basada en la tecnología líder *DPI* de **Allot** permite a los proveedores de servicios de banda ancha inspeccionar, monitorizar y controlar su tráfico de red de forma unificada y eficiente, proporcionando al administrador de la red una elevada facilidad de manejo y flexibilidad en la respuesta ante incidentes.

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

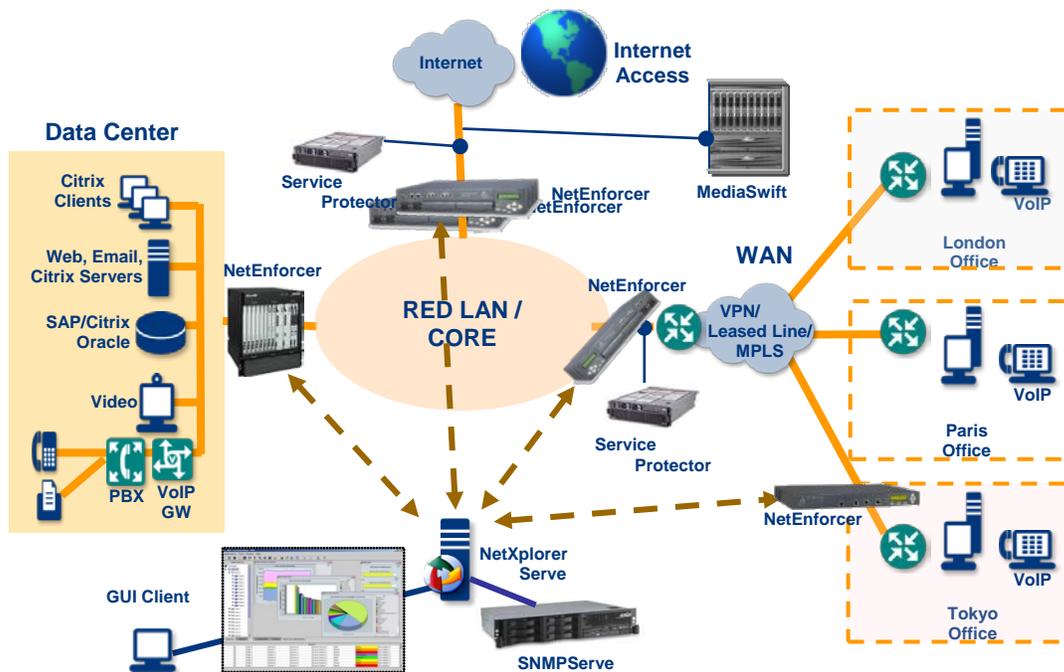


Figura 10.25) Soluciones de red Allot

En el siguiente listado se reflejan Universidades y Centros Educativos de importancia donde **Allot** ha instalado equipamiento *NetEnforcer*.

- Universidad de Oviedo
- Universidad de Las Palmas
- Universidad de Málaga
- Universidad de Burgos
- Universidad de Cantabria
- Universidad de León
- Universidad Alfonso X el Sabio
- Universidad Miguel Hernández
- Universidad de Murcia
- Universidad de Barcelona
- Oxford University Press
- Universidad Pública de Navarra
- Universidad de La Rioja
- Escuela universitaria Galileo Galilei
- Universidad de Jaén
- Universidad de Alcalá de Henares
- Universidad de Huelva
- Universidad Politécnica de Madrid
- Universidad Complutense Madrid
- Universidad de Granada
- Universidad del País Vasco
- UNED

- Universidad de Lleida
- Universidad de Deusto

El equipamiento propuesto consiste en un **NetEnforcer AC-404** con 2 puertos de cobre y **capacidad para 1 Gbps**. Este equipo se caracteriza por el alto nivel de QoS que es capaz de gestionar así como el elevado número de conexiones concurrentes que soporta y la posibilidad de tener un elevado número de políticas. Las características principales del equipo son las siguientes:



Figura 10.26) NetEnforcer AC-404

- Control del número de conexiones simultáneas por servicio y del número de nuevos intentos de conexión simultáneos que el equipo soporta.
- El rendimiento del equipo no se ve degradado por los flujos que atraviesan el equipo.
- Clasificación de tráfico por dirección MAC y por dirección IP.
- Capacidad de clasificar tráfico en función de la hora del día.
- Capacidad de clasificar tráfico en VLANs (soporte del protocolo 802.1Q)
- Clasificación por el campo ToS de los paquetes IP y MPLS.
- Capacidad de clasificación y gestión de tráfico a nivel de aplicación basado en firmas que se actualizan sin necesidad de reinstalar una versión de software, sino por el contrario a través de la web
- Soporte avanzado de aplicaciones P2P. Así, por ejemplo, se reconocen aplicaciones P2P cifradas en SSL.
- Gestión de ancho de banda independiente en cada sentido de la comunicación: Upstream y Downstream.
- Posibilidad de definir plantillas de reglas de QoS.
- Capacidad para consultar sistemas de aprovisionamiento externos para obtener IPs variables que se utilicen en la clasificación del tráfico. Posibilidad de clasificar el tráfico de usuarios que cambian su IP de forma dinámica.
- Incluye un software de gestión y archivo (ver siguiente apartado).
- Gestionar un ancho de banda de 100 Mbps.
- El equipo debe soportar 4.096 políticas o virtual channels.
- El equipo tiene 1 puerto Ethernet 10/100/1000 para gestionar el tráfico.
- Tiene un puerto de gestión independiente que se podrá asegurar tras una DMZ.
- El equipo cuenta con una unidad de bypass
- El dispositivo dispone de un puerto de consola (RJ45).
- Soporta los siguientes protocolos P2P: KaZaa (V1 & V2) incluido Upload Vs Download, Grokster, iMesh, Poised, Diet Kaza, eDonkey, eMule, xMule Gnutella incluido Upload Vs Download, Ares, Shareaza, Morpheus, Gnucleus, XoloX LimeWire FreeWire, Bearshare, Acquisition, Nova, Phex, Gtk-Gnutella, Swapper.NET, Warez, BitTorrent WinMX Direct connect, DC++

También se incluye el software *NetExplorer*. Este proporciona una perspectiva a vista de pájaro del tráfico que circula por la red, junto con la capacidad dinámica de creación de políticas, alertas y contabilidad permite una gestión eficaz y provechosa de los servicios IP de banda ancha.

Interfaz intuitiva

Control sin precedentes rápido y sencillo, mediante una interfaz amigable para el usuario, que ofrece una perspectiva lógica de toda la red, así como la capacidad para navegar rápidamente hasta el nivel del dispositivo, del usuario o de la aplicación (drill down).



Figura 10.28) Interfaz de gestión NetXplorer

Generación detallada de informes y análisis

Análisis de la información en tiempo real y pasada, para la generación de informes a largo plazo, planificación de la capacidad, seguimiento de uso y optimización de los servicios.

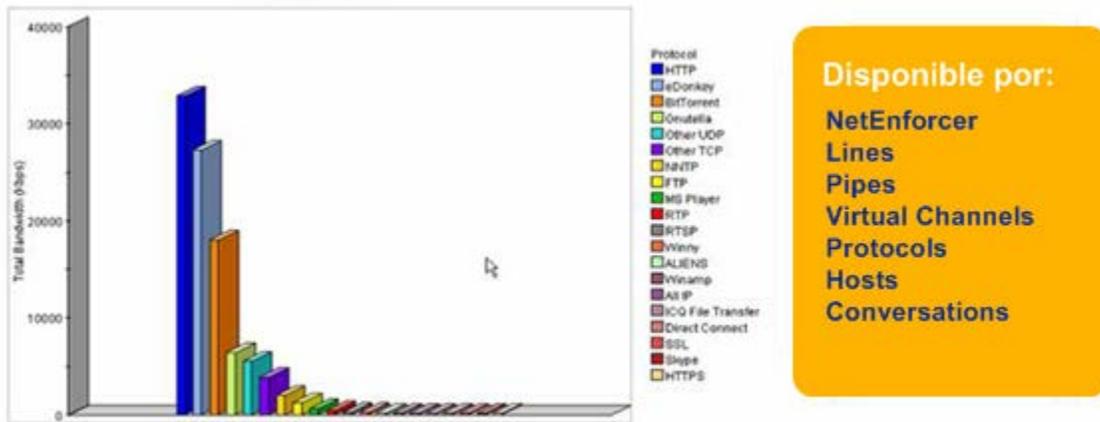


Figura 10.29) Análisis de red en tiempo real

Estudio De Implantación De Una Red WiMAX En La Ciudad De Murcia

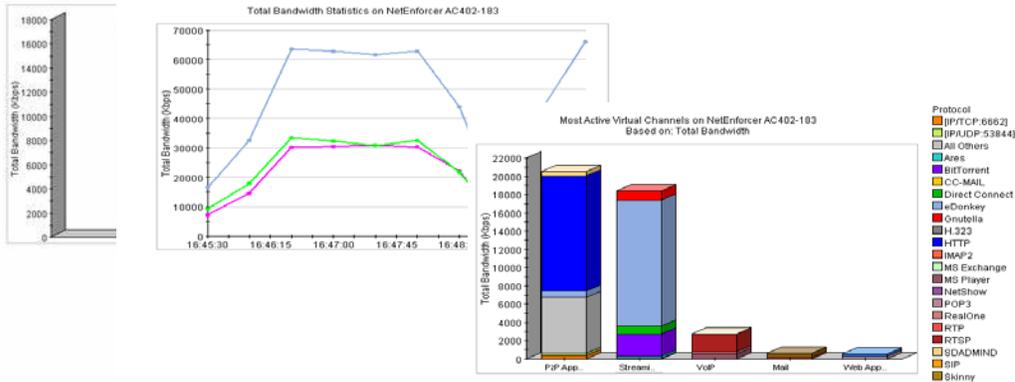


Figura 10.30) Exportación de análisis

Seguridad proactiva

Monitorización global del tráfico para una variedad de tráfico sospechoso, lo que permite la fácil detección de posibles ataques de DoS/DDoS o de ataques a la seguridad surgidos desde la red, definición de umbrales para monitorización de las condiciones de la red, generación de alarmas, ejecución automática de las acciones correctivas y definición de reglas globales para bloquear el tráfico malicioso y mitigar su efecto.

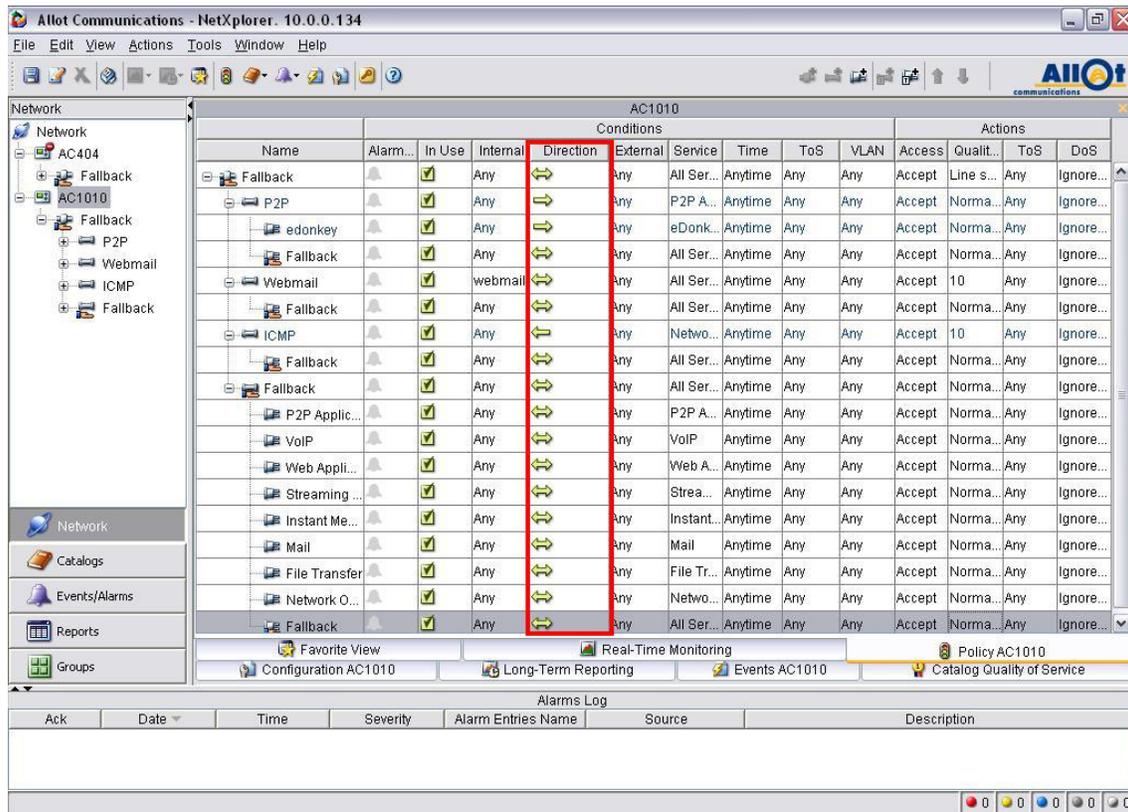


Figura 10.31) Políticas de seguridad