

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

RED BASADA EN ACCESO INALÁMBRICO (WiFi & WiMAX)

Rodrigo López Barnés

Marzo 2008

Autor: Rodrigo López Barnés

RED BASADA EN ACCESO INALÁMBRICO (WiFi & WiMAX)

Tutor: Antonio Aguilar Morales

Componentes tribunal:

- **Presidente:** Bazil Taha Ahmed
- **Vocal:** Susana Holgado González-Guerrero
- **Vocal Secretario:** Antonio Aguilar Morales

Fecha de lectura y defensa:

- **Mes:** Marzo
- **Año:** 2008

Calificación obtenida:

Red basada en acceso inalámbrico (WiFi & WiMAX)



Rodrigo López Barnés

Agradecimientos

En primer lugar querría dar las gracias a Antonio Aguilar Morales y a Bazil Taha Ahmed por ayudarme a resolver las dudas que me han ido surgiendo durante la elaboración de este proyecto. Un proyecto que no ha sido fácil y que me han ayudado a llevar a cabo.

Quiero agradecer el interés mostrado por Susana Holgado González-Guerrero a la hora de valorar y aconsejarme en la elaboración del mismo.

No puedo dejar de agradecer a todos los profesores que he tenido durante la carrera los conocimientos que me han proporcionado y que sin duda me han servido para poder desarrollar el siguiente proyecto.

Por último querría agradecer el apoyo mostrado por mi familia y amigos durante este proyecto y durante toda mi carrera universitaria. En especial a Andrés López de Juana, Elvira Barnés Eznarriga y Ana Blázquez Vargas.

Resumen del proyecto

En este trabajo se analizan las tecnologías inalámbricas WiFi y WiMAX, realizando:

- **Estado del arte.** Para cada tecnología se analiza sus características y prestaciones, disponibilidad comercial de equipos, análisis de la normativa vigente, aspectos de seguridad, evolución a corto y largo plazo, etc.

- **Caso de estudio.** Se define un escenario real donde las tecnologías mas adecuadas (actualmente) para implementarlo son: WiFi y WiMAX.

Se refiere a un escenario marítimo para vídeo-vigilancia de una piscifactoría ubicada en alta mar.

- **Proyecto de despliegue.** Se definen las fases de las que consta el proyecto de ingeniería e instalación, del caso estudiado.

- **Análisis tecno-económico.** En el que se realiza una comparación de las tecnologías inalámbricas WiFi y WiMAX con otras como: comunicación vía satélite y 3G.

- **Conclusiones.** Se analiza los pros y contras de la utilización del sistema propuesto y se identifican otras posibles aplicaciones dentro del escenario marítimo como por ejemplo: provisión de servicios de banda ancha, hot spot, cobertura de regatas y eventos deportivos...

Del estudio se deduce que WiMAX y WiFi son dos tecnologías complementarias.

WiMAX es utilizado en el caso de estudio con un enlace punto a punto, mientras que WiFi es un enlace punto a multipunto.

Varias empresas, como Alvarion, ya han desarrollado equipos punto a multipunto WiMAX que incluyen un punto de acceso WiFi, con lo cual presentan una mayor versatilidad comercial. Sin embargo esta opción fue descartada en nuestro caso ya que entre otras cosas, la distancia de cobertura en este tipo de enlace es mucho menor.

Abstract of the project

The wireless technologies WiFi and WiMAX were analyzed in this project, using the following points:

- **State of art.** Their characteristics and features, commercial availability of equipment, analysis of the current rules, aspect of security, evolution to short and long deadlines..., are analyzed for each technology.
- **Case study.** A real setting is defined where the most appropriate technologies to implement it are at the moment: WiFi and WiMAX.

This case study is referred to a maritime setting for video-surveillance of a fish farm in high sea.

- **Project deployment.** The different stages of the engineering and of the installation project of the case study are defined in this section.
- **Techno-economic analysis.** In which a comparison is made of the wireless technologies WiFi and WiMAX with another as: satellite communication and 3G.
- **Conclusion.** The advantages and disadvantages of the utilization of the system proposed are analyzed and other possible applications inside of the maritime setting are identified; some examples are: Supply of services of broadband, hotspots, coverage of boat races and other sports events...

Of this study is deduced that WiMAX and WiFi are two complementary technologies.

WiMAX is used in the case study with a link point to point, while WiFi is a link point-to-multipoint.

Several companies, such as Alvarion, have already developed point-to-multipoint WiMAX equipment including a WiFi access point, which showed a more commercial versatility. But this option was ruled out in our case because the distance covered in this type of link is much lower, besides of other things.

LISTADO DE PALABRAS CLAVE:

- 802.11
- 802.16
- Antena
- Banda Ancha
- Banda ISM (Industrial, Científica y Médica)
- Capa Física
- Capa MAC
- CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias)
- Complementariedad
- CPE (Equipos del Cliente)
- ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones)
- FCC (Comisión Federal de Comunicaciones)
- FDD (División de Frecuencia Duplex)
- HiperLAN
- HiperMAN
- IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
- Inalámbrico
- Modulación
- NLOS (Sin Línea de Vista)
- OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales)
- OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal)
- OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos)
- Punto de Acceso
- Red de acceso
- Red de transporte
- TDD (División de Tiempo Duplex)
- UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones)
- WiBro (Banda Ancha Inalámbrica)
- WiFi
- WiFi Alliance
- WiMAX
- WiMAX Forum
- WLAN (Red Inalámbrica de Área Local)
- WMAN (Red Inalámbrica de Área Metropolitana)

KEYWORD LIST:

- 802.11
- 802.16
- Access Network
- Access Point
- Antenna
- Broadband
- CNAF (Table National Frequency Allocation)
- Complementarity
- CPE (Customer Premise Equipment)
- ETSI (European Telecommunications Standards Institute)
- FCC (Federal Communications Commission)
- FDD (Frequency Division Duplex)
- HiperLAN
- HiperMAN
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
- ISM Band (Industrial, Scientific and Medical)
- MAC layer
- Modulation
- NLOS (None Line Of Sight)
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
- OFDMA (Orthogonal Frecuency Division Multiple Access)
- OSI (Open System Interconection)
- Physical layer
- TDD (Time Division Duplex)
- Transport Network
- UIT (International Telecommunication Union)
- WiBro (Wireless Broadband)
- WiFi
- WiFi Alliance
- WiMAX
- WiMAX Forum
- Wireless
- WLAN (Wireless Local Area Network)
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

INDICE DE CONTENIDOS:

1. Introducción	21
2. Objetivos del proyecto	23
3. Estado del arte	25
3.1 WiFi	25
Introducción.....	25
Estándares relacionados	26
Fundamentos	29
1. La capa física de 802.11:	29
2. La capa de enlace de 802.11:	42
Elementos básicos de una red.....	49
Características.....	51
Infraestructura	52
Seguridad	56
Transmisión de la información	62
Pérdidas de la señal	64
Roaming.....	68
Cálculo de usuarios por punto de acceso	70
Aplicaciones	71
3.2 WiMAX	73
Introducción.....	73
Estándares relacionados	75
Fundamentos	77
1. La capa física de 802.16:.....	78
2. La capa MAC de 802.16:	91
Elementos básicos de una red.....	97
Características.....	99
Infraestructura	101
Seguridad	102
Transmisión de la información	104
Pérdidas de la señal	107
Roaming.....	118
Cálculo de usuarios por punto de acceso	118
Aplicaciones	119
3.3 WiFi & WiMAX	120
WiMAX como Backhaul.....	120
WiMAX como Red de Acceso	121
3.4 Sistemas comerciales y su evolución	122
Sistemas WiFi.....	122
Sistemas WiMAX	123
3.5 Normativa	128
802.11 WiFi	128
802.16 WiMAX.....	140
Radiaciones Electromagnéticas	143
Introducción.....	143
Situación actual en España para WiFi.....	146
Situación actual en España para WiMAX	150
4. Caso de estudio	154

5. Metodología en el proyecto de despliegue	158
<i>Especificación de la red</i>	158
- Arquitectura de la red	158
- Equipos necesarios	160
- Análisis de pérdidas	164
- Selección de equipos	177
<i>Planificación</i>	183
<i>Emisiones Radioeléctricas</i>	190
<i>Dimensionado de la red</i>	191
<i>Planos y esquemas</i>	193
<i>Presupuesto de ejecución</i>	196
<i>Despliegue</i>	197
<i>Certificación y puesta en servicio</i>	207
6. Estudio de viabilidad tecno- económica	208
7. Conclusiones	210
8. Referencias	212
<i>Web utilizadas</i>	212
<i>Anexos</i>	215
A1 Catálogos de equipos comerciales	215
A2 Códigos Matlab utilizados	225
A3 Presupuesto	229
A4 Pliego de condiciones	230

INDICE DE TABLAS:

Tabla 3.1.1	Protocolos 802.11 aprobados por el IEEE.....	26
Tabla 3.1.2	Versiones sin aprobación del IEEE.	27
Tabla 3.1.3	Estándar con su modulación	29
Tabla 3.1.4	Tabla modulaciones DSSS	32
Tabla 3.1.5	Asignación de canales para DSSS.....	33
Tabla 3.1.6	Asignación de canales para OFDM a 5GHz	37
Tabla 3.1.7	Datos técnicos de OFDM	38
Tabla 3.1.8	Modulaciones y codificaciones de OFDM.....	39
Tabla 3.2.1	Estándares WiMAX	75
Tabla 3.2.2	Tabla comparativa TDD y FDD	79
Tabla 3.2.3	Datos técnicos OFDM en 5GHz	83
Tabla 3.2.4	Datos técnicos OFDMA-2048.....	84
Tabla 3.2.5	Datos técnicos SOFDMA	84
Tabla 3.2.6	Modulación y codificación OFDM.....	87
Tabla 3.2.7	Capa MAC.....	91
Tabla 3.2.8	Factor exponencial de pérdidas	107
Tabla 3.2.9	Coeficientes según el tipo de terreno	108
Tabla 3.2.10	Coeficientes Lluvia 1	110
Tabla 3.2.11	Coeficientes Lluvia 2.....	110
Tabla 3.2.12	Intensidad de lluvia	110
Tabla 3.5.1	802.11a	130
Tabla 3.5.2	802.11b	131
Tabla 3.5.3	802.11g	133
Tabla 3.5.4	802.11n	136
Tabla 3.5.5	Estándares 802.16.....	140
Tabla 3.5.6	FCC y CNAF. Normas UN-85 y UN-128	147
Tabla 3.5.7	pire en banda de 5.150-5.350 GHz	149
Tabla 5.1	Capacidad requerida por jaula	163
Tabla 5.2	Temperatura y precipitaciones medias mensuales	164
Tabla 5.3	Antena 5 metros WiMAX	167
Tabla 5.4	Antena 6 metros WiMAX	168
Tabla 5.5	Antena 5 metros WiFi.....	169
Tabla 5.6	Antena 6 metros WiFi.....	169
Tabla 5.7	Pérdidas por desapuntamiento.....	170
Tabla 5.8	Pérdidas totales.....	176
Tabla 5.9	Balance de potencia requerida por cada módulo	182
Tabla 5.10	Número de equipos	191
Tabla 5.11	Presupuesto equipos	196
Tabla 5.12	Presupuesto cables coaxiales	196
Tabla 5.13	Presupuesto conectores	196
Tabla 5.14	Presupuesto cables y conectores.....	196
Tabla 5.15	Cuadro sobre la velocidad del viento en Galicia	200
Tabla 5.16	Cables de 5.4 GHz	202
Tabla 5.17	Cables de 2.4 GHz	202

INDICE DE FIGURAS:

Figura 3.1.1	Logotipo WiFi	25
Figura 3.1.2	Estándar con su modulación	30
Figura 3.1.3	PPM	31
Figura 3.1.4	Interferencia canales contiguos.....	33
Figura 3.1.5	Interferencia canales separados.....	33
Figura 3.1.6	Explicación gráfica de DSSS	34
Figura 3.1.7	Explicación gráfica de FHSS.....	35
Figura 3.1.8	Explicación gráfica de OFDM.....	36
Figura 3.1.9	Diagrama de bloques transmisor OFDM.....	36
Figura 3.1.10	Subportadoras OFDM.....	38
Figura 3.1.11	Estaciones que forman parte del ejemplo	44
Figura 3.1.12	Nodo bloqueado.....	44
Figura 3.1.13	Acción del NAV	45
Figura 3.1.14	Acción de SIFS y DIFS	45
Figura 3.1.15	Secuencia de contención	46
Figura 3.1.16	Nodo oculto.....	46
Figura 3.1.17	Capa física	48
Figura 3.1.18	Capa MAC	48
Figura 3.1.19	Antena direccional.....	50
Figura 3.1.20	Antena omnidireccional.....	50
Figura 3.1.21	Antena sectorial.....	50
Figura 3.1.22	Red Mesh.....	54
Figura 3.1.23	Red Privada Virtual.....	60
Figura 3.1.24	LOS	64
Figura 3.1.25	LOS con difracción	64
Figura 3.1.26	Obstáculo redondeado	65
Figura 3.1.27	Pérdidas WiFi.....	66
Figura 3.1.28	Roaming.....	68
Figura 3.1.29	Hot spot de NY	72
Figura 3.2.1	Logotipo WiMAX	74
Figura 3.2.2	Capas modelo OSI	77
Figura 3.2.3	Secuencia ráfagas.....	78
Figura 3.2.4	Hardware TDD.....	80
Figura 3.2.5	Hardware FDD.....	80
Figura 3.2.6	Zona LoS de Fresnel.....	85
Figura 3.2.7	BER vs. SNR en función de la modulación.....	87
Figura 3.2.8	Subcanalización	90
Figura 3.2.9	Esquema capas OSI WiMAX.....	93
Figura 3.2.10	Distribución PDU promedio	94
Figura 3.2.11	Transmisión de PDUs.....	95
Figura 3.2.12	Esquema TDMA	95
Figura 3.2.13	Antenas WiMAX	97
Figura 3.2.14	Equipos terminales WiMAX	98
Figura 3.2.15	Estructura de trama en downlink (FDD).....	104
Figura 3.2.16	Estructura de trama en downlink (TDD)	104
Figura 3.2.17	Estructura de trama en uplink (FDD y TDD)	105
Figura 3.2.18	Estructura de trama OFDM	105
Figura 3.2.19	Formato de trama en OFDMA.....	106

Figura 3.2.20	Formato de trama a nivel MAC	106
Figura 3.2.21	Variación del factor exponencial de pérdidas	108
Figura 3.2.22	Mapa zonas metereológicas H y K.....	111
Figura 3.2.23	Atenuación específica de la lluvia.....	111
Figura 3.2.24	Coeficiente de atenuación k_l	113
Figura 3.2.25	LOS	114
Figura 3.2.26	LOS con difracción	114
Figura 3.2.27	Obstáculo redondeado	115
Figura 3.2.28	Variación de la señal.....	115
Figura 3.2.29	Desvanecimiento de la señal.....	116
Figura 3.2.30	Variación de un canal en tiempo y frecuencia	116
Figura 3.3. 1	Aplicaciones de WiMAX	121
Figura 3.4.1	Evolución de WiMAX	123
Figura 3.4.2	Aplicaciones de WiMAX	125
Figura 3.5.1	Espectro Electromagnético	143
Figura 3.5.2	Frecuencias WiMAX a nivel mundial	150
Figura 4.1	Localización del caso de estudio.....	156
Figura 4.2	Zoom de la localización de la piscifactoría	156
Figura 4.3	Fotografía de las jaulas a implementar	157
Figura 5.1	Arquitectura de la red	158
Figura 5.2	Zoom de la Arquitectura de la red	159
Figura 5.3	Croquis del sistema	160
Figura 5.4	Foto de las jaulas a implementar	160
Figura 5.5	Superficie de la jaula	161
Figura 5.6	Objeto puntiagudo	166
Figura 5.7	Objeto redondeado	166
Figura 5.8	Pérdidas Polarización	169
Figura 5.9	Atenuación por gases atmosféricos	174
Figura 5.10	Conductos por evaporación de agua	175
Figura 5.11	Ubicación de la piscifactoría.....	183
Figura 5.12	Módulo de tres jaulas	183
Figura 5.13	Colocación específica de los módulos	185
Figura 5.14	Barco comunicándose con un módulo central	186
Figura 5.15	Barco comunicándose con módulo exterior	188
Figura 5.16	Sistema de telecomunicación.....	193
Figura 5.17	Jaula.....	194
Figura 5.18	Separación de los módulos.....	195
Figura 5.19	Foto de la jaula a implementar	197
Figura 5.20	Carga viento antena WiMAX	198
Figura 5.21	Carga viento antena WiFi	199
Figura 5.22	Carga viento Barra soporte	200
Figura 5.23	Conector N	202
Figura 5.24	HDF400	202
Figura 5.25	Conector RP-SMA.....	203
Figura 5.26	Conector SMA	203
Figura 5.27	Cámara sumergible + conector F	204
Figura 5.28	Conector F + Rack VideoBridge 8000	204

Figura 5.29	Conector BNC.....	204
Figura 5.30	Conector F.....	204
Figura 5.31	Cámara superficie + Rack VideoBridge 8000.....	205
Figura 5.32	Cable RS-485.....	205
Figura 5.33	Rack VideoBridge 8000 + Equipo WiMAX.....	205
Figura 5.34	Rack VideoBridge 8000 + Equipo WiFi.....	206
Figura 5.35	Cable RJ-45	206

GLOSARIO

- **ATM** (*Modo de Transferencia Asíncrona*), con esta tecnología, a fin de aprovechar al máximo la capacidad de los sistemas de transmisión, sean estos de cable o radioeléctricos, la información no es transmitida y conmutada a través de canales asignados en permanencia, sino en forma de cortos paquetes (celdas ATM) de longitud constante y que pueden ser enrutadas individualmente mediante el uso de los denominados *canales virtuales* y *trayectos virtuales*.
- **Backhaul**, es una conexión de baja, media o alta velocidad que conecta a computadoras u otros equipos de telecomunicaciones encargados de hacer circular la información. Los backhaul conectan redes de datos, redes de telefonía celular y constituyen una estructura fundamental de las redes de comunicación.
- **BER**, *Bit Error Ratio*, es el número de bits incorrectamente recibidos, con respecto al total de bits enviados durante un intervalo especificado de tiempo.
- **Best effort**, define la forma de prestar aquellos servicios para los que no existe una garantía de calidad de servicio (QoS). Esto implica que no existe una preasignación de recursos, ni plazos conocidos, ni garantía de recepción correcta de la información.

Un ejemplo clásico de servicio basado en best effort es Internet. El protocolo de red IP no asegura que se pueda transmitir información en un orden o un tiempo determinado, sino que la red hará lo posible por transmitir la información de la manera más rápida y fiable posible.

- **BLER**, *Block Error Ratio*, es el número de bloques incorrectamente recibidos, con respecto al total de bloques enviados durante un intervalo especificado de tiempo.
- **Brecha digital**, es una expresión que hace referencia a la diferencia socioeconómica entre aquellas comunidades que tienen Internet y aquellas que no, aunque también se puede referir a todas las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (teléfonos móviles y otros dispositivos). Como tal, la brecha digital se basa en diferencias previas al acceso a las tecnologías. Este término también hace referencia a las diferencias que hay entre grupos según su capacidad para utilizar las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) de forma eficaz, debido a los distintos niveles de alfabetización y capacidad tecnológica. También se utiliza en ocasiones para señalar las diferencias entre aquellos grupos que tienen acceso a contenidos digitales de calidad y aquellos que no.

- **CNAF** (*Cuadro Nacional de Altas Frecuencias*), El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) es el instrumento legal, dependiente del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo de España, utilizado para asignar a los distintos servicios de radiocomunicaciones las diferentes bandas de frecuencias. Estas bandas se extienden desde 9 KHz hasta 105 GHz. En el CNAF también se especifica la metodología de uso del espectro radioeléctrico de dicho país.
- **Crimpado**, referido a insertar un conector en el extremo de un cable, normalmente con una herramienta que presiona ambos entre sí.
- **dBi** o decibel isotrópico, es una unidad para medir la ganancia de una antena en referencia a una antena isótropa teórica. El valor de dBi corresponde a la ganancia de una antena ideal (teórica) que irradia la potencia recibida de un dispositivo al que está conectado, y al cual también transmite las señales recibidas desde el espacio, sin considerar ni pérdidas ni ganancias externas o adicionales de potencias.
- **Ethernet**, es el nombre de una tecnología de redes de computadoras de área local (LANs) basada en tramas de datos. El nombre viene del concepto físico de ether. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI.
- **ETSI** (European Telecommunications Standards Institute) o *Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones* es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones (fabricantes de equipos y operadores de redes) de Europa, con proyección mundial.
- **FCC** (*Federal Communications Commission*), es una agencia estatal independiente de Estados Unidos, bajo responsabilidad directa del Congreso. La FCC fue creada en 1934 con la Ley de Comunicaciones y es la encargada de la regulación (incluyendo censura) de telecomunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, redes inalámbricas, satélite y cable. La FCC otorga licencias a las estaciones transmisoras de radio y televisión, asigna frecuencias de radio y vela por el cumplimiento de las reglas creadas para garantizar que las tarifas de los servicios por cable sean razonables.
- **Handover** (también *Handoff*) se le denomina al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente.
- **HF**, del inglés *High Frequency*, son las siglas utilizadas para referirse a la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 3 MHz a 30 MHz.

- **Hi-Fi**, significa *Alta Fidelidad*, es una norma de calidad que significa que la reproducción del sonido o imágenes es muy fiel al original. La alta fidelidad pretende que los ruidos y la distorsión sean mínimos.
- **Hot-Spot**, es una zona de cobertura WiFi, en el que un punto de acceso (Access Point) o varios proveen servicios de red a través de un Proveedor de Servicios de Internet Inalámbrico (WISP). Los hot spot se encuentran en lugares públicos, como aeropuertos, bibliotecas, centros de convenciones, cafeterías, hoteles, etcétera. Este servicio permite mantenerse conectado a Internet en dichos lugares. Este servicio puede brindarse de manera gratuita o pagando una suma que depende del proveedor.
- **IEEE**, *Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos*, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros eléctricos, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en informática e ingenieros en telecomunicación.
- **Banda ISM (Industrial, Scientific and Medical)**, en España es conocida como *banda ICM* (Industrial, Científica y Médica). Son bandas que no requieren autorización para su uso y trabajan en las frecuencias de 902-928 MHz, 2450-2483.5 MHz y 5725-5850 MHz.
- **ISP** (Internet Service Provider o *proveedor de servicios de Internet*) es una empresa dedicada a conectar a Internet a los usuarios o las distintas redes que tengan, y dar el mantenimiento necesario para que el acceso funcione correctamente. También ofrecen servicios relacionados, como alojamiento Web o registro de dominios entre otros.
- **LMDS** o *Local Multipoint Distribution Service* (Sistema de Distribución Local Multipunto) es una tecnología de conexión vía radio inalámbrica que permite, gracias a su ancho de banda, el despliegue de servicios fijos de voz, acceso a Internet, comunicaciones de datos en redes privadas, y video bajo demanda.
- **OSI** (*Open System Interconnection*), creada por la ISO, su función es la de definir la forma en que se comunican los sistemas abiertos de telecomunicaciones. El modelo en sí mismo no puede ser considerado una arquitectura, ya que no especifica el protocolo que debe ser usado en cada capa, sino que suele hablarse de modelo de referencia. Este modelo está dividido en siete capas:
 - *Aplicación*
 - *Presentación*
 - *Sesión*
 - *Transporte*
 - *Red*
 - *Enlace*
 - *Física*

- **PDH**, *La Jerarquía Digital Plesiócrona* (Plesiochronous Digital Hierarchy), es una tecnología usada en telecomunicación tradicionalmente para telefonía que permite enviar varios canales telefónicos sobre un mismo medio (ya sea cable coaxial, radio o microondas) usando técnicas de multiplexación por división de tiempo y equipos digitales de transmisión.

Las redes PDH funcionan en un estado donde las diferentes partes de la red están casi, pero no completamente sincronizadas. PDH se basa en canales de 64 kbps. En cada nivel de multiplexación se van aumentando el número de canales sobre el medio físico.

Circuitos	Mbps	Denominación
30	2.048	E1
120	8.448	E2
480	34.368	E3
1920	139.264	E4

Tabla 1 Circuitos PDH

- **PDU**, *Unidades de Datos de Protocolo*.

Se utiliza para el intercambio entre unidades parejas, dentro de una capa del modelo OSI. Existen dos clases de PDUs:

- PDU de datos, que contiene los datos del usuario final (en el caso de la capa de aplicación) o la PDU del nivel inmediatamente superior.
- PDU de control, que sirven para gobernar el comportamiento completo del protocolo en sus funciones de establecimiento y ruptura de la conexión, control de flujo, control de errores, etc. No contienen información alguna proveniente del nivel N+1.

Cada capa del modelo OSI en el origen debe comunicarse con la misma capa en el lugar destino. Esta forma de comunicación se conoce como comunicación de par-a-par.

Durante este proceso, cada protocolo de capa intercambia información en lo que se conoce como unidades de datos de protocolo (PDU), entre capas iguales. Cada capa de comunicación, en el computador origen, se comunica con un PDU específico de capa y con su capa igual en el computador destino.

La PDU esta compuesta por:

- SDU (Unidad de datos del servicio), que son los datos que necesitan las entidades (N) para realizar funciones del servicio pedido por la entidad (N+1).

- N-PCI (Información de control del protocolo), que es la información intercambiada entre entidades (N) utilizando una conexión (N-1) para coordinar su operación conjunta.
- **Premium**, define la forma de prestar aquellos servicios para los que existe una garantía de calidad de servicio (QoS). Se requieren aplicaciones que requieran bajo retardo y bajo "jitter".

Un ejemplo de servicio Premium son por ejemplo las llamadas de voz y video con alta calidad.

- **Roaming**, traducido por *itinerancia*, es un concepto utilizado en comunicaciones inalámbricas que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra.
- **SAP** ó Service Access Point, Punto de Acceso al Servicio, son los puntos en los que una capa (del modelo OSI) puede encontrar disponibles los servicios de la capa inmediatamente inferior. Cada SAP tiene una dirección que lo identifica y por la que se invoca el servicio.
- **SDH**, *La Jerarquía Digital Síncrona*, se puede considerar como la revolución de los sistemas de transmisión. Uno de los objetivos de esta jerarquía estaba en el proceso de adaptación del sistema PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), ya que el nuevo sistema jerárquico se implantaría paulatinamente y debía convivir con la jerarquía plesiócrona instalada. Ésta es la razón por la que la ITU-T normalizó el proceso de transportar las antiguas tramas en la nueva.

La trama básica de SDH es el STM-1 (Synchronous Transport Module level 1), con una velocidad de 155 Mbps.

Cada trama va encapsulada en un tipo especial de estructura denominado contenedor. Una vez encapsulados se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura (el contenedor) y el conjunto, después de un proceso de multiplexación, se integra dentro de la estructura STM-1.

Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de byte varias estructuras STM-1, dando lugar a los niveles STM-4, STM-16 y STM-64.

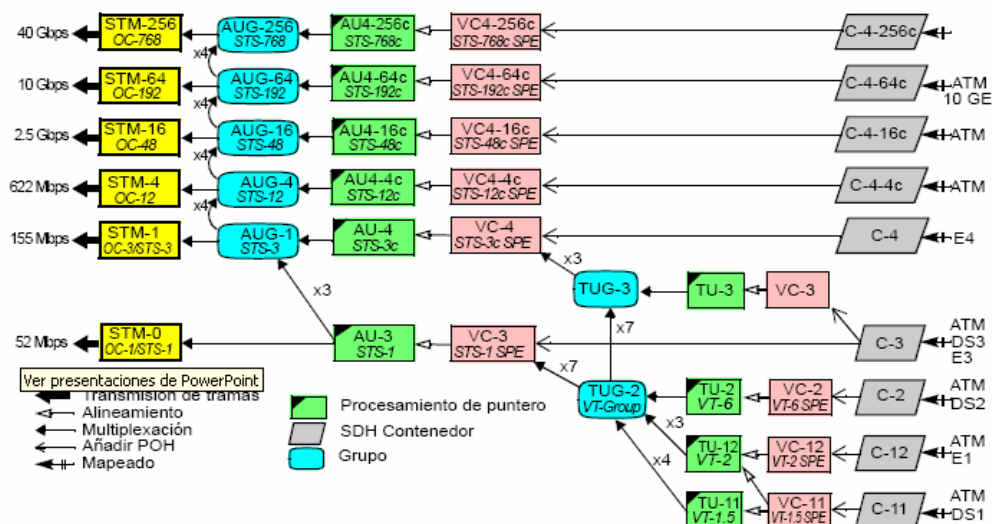


Figura 1 Contenedores SDH

- **SOHO** (Small Office, Home Office o pequeña oficina, oficina en casa), se asocia con la categoría de negocios que van de 1 a 10 trabajadores.
- **Throughput** o rendimiento, es la cantidad de datos por unidad de tiempo que fluyen por un sistema.
- **UIT**, *Unión Internacional de Telecomunicaciones*, es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones, en el ámbito internacional, entre las distintas administraciones y empresas operadoras.
- **WiBro**, es una tecnología de banda ancha inalámbrica de Internet desarrollada por la industria de telecomunicaciones coreana, no obstante se explicará con más detalle en la parte de estado del arte. Podríamos decir que es el equivalente asiático a la tecnología WiMAX.

1. Introducción

El desarrollo de las telecomunicaciones se está orientando en los últimos años, a un uso intensivo de sistemas de banda ancha con altos niveles de calidad, mediante el desarrollo de tecnologías de alta capacidad de transmisión, entre los cuales podemos destacar el xDSL, la fibra óptica o el cable coaxial hasta el domicilio del abonado. Los sistemas anteriormente indicados, basados en cable, por lo general tienen alto costo de instalación, representando además dificultades en su construcción, instalación y puesta en servicio. Adicionalmente a esto, el desarrollo de estos medios de transmisión en zonas rurales y de preferente interés social, representan inversiones de muy difícil recuperación por las características propias de la demanda.

Frente a esta situación y a otras limitaciones tecnológicas y topográficas se ha buscado alternativas inalámbricas que permitan un despliegue rápido de la infraestructura, mayor predictibilidad de amortización de la inversión hacia los lugares donde se instalan, así como menores costos de operación y mantenimiento.

Dentro de este entorno se desarrollan los estándares inalámbricos WiFi y WiMAX, propiciando una alternativa de competencia sana a los medios de acceso y transporte alámbricos de banda ancha, consiguiendo la introducción de nuevos y mejores servicios de telecomunicaciones, dentro del concepto de "cuadro play" (voz, imagen, datos y movilidad).

WiFi, fue diseñada para ambientes inalámbricos internos como una alternativa al cableado estructurado de redes y con capacidad sin línea de vista de muy pocos metros. WiMAX, por el contrario, fue diseñado como una solución de última milla en redes metropolitanas (MAN) para prestar servicios a nivel comercial.

Actualmente los fabricantes WiMAX ofrecen dos tipos de enlaces:

- Punto a Punto, utilizado para conectar sitios de abonados entre sí y para conectar a las estaciones base en largas distancias.
- Punto a Multipunto, utilizado para conectar abonados domésticos o de empresas a la estación base.

En concreto, en este proyecto nos centraremos en una solución de telecomunicación en la que usamos un sistema WiFi con enlace punto a multipunto y un sistema WiMAX con enlace punto a punto, para dar un servicio de vídeo-vigilancia.

Indiquemos algunas de las aplicaciones que podrían derivarse de nuestro estudio, relacionadas con el sector marítimo, que será el sector en el que desarrollaremos nuestro supuesto caso:

- Provisión de acceso a Internet de banda ancha.
- Telecontrol, telemedida y telemando.
- Cobertura de regatas y eventos deportivos.
- Establecimiento de hot-spot marítimos.

Hay que mencionar que la complementariedad de WiFi y WiMAX es clara, ya que podemos conseguir un sistema de telecomunicación totalmente inalámbrico con WiFi en la red de acceso y WiMAX en la red de transporte, por ejemplo con la unión mediante WiMAX de los hot spot WiFi a sus respectivos operadores.

Además los fabricantes de WiMAX, en las soluciones de acceso punto a multipunto, han incluido la posibilidad de acceso WiFi en sus equipos, con lo que presentan una mayor versatilidad comercial.

2. *Objetivos del proyecto*

Este proyecto tiene como objetivos fundamentales:

- **Estudio de las tecnologías** inalámbricas WiFi y WiMAX.
- **Aplicación a un caso concreto.**
- Utilización de una **metodología** usual en proyectos de despliegue.
- **Comparación tecno-económica** con otras alternativas.

A pesar de que muchos las han catalogado de independientes y rivales, se pretende dejar claro que dichas tecnologías son complementarias en el sentido de que ambas pueden formar parte en la arquitectura de una red.

En el estudio o estado del arte se analizan los siguientes puntos:

- Estándares relacionados.
- Fundamentos:
 - Capa Física.
 - Capa MAC.
- Elementos básicos de una red.
- Características.
- Infraestructura.
- Seguridad.
- Transmisión de la información.
- Pérdidas de la señal.
- Roaming.
- Cálculo de usuarios por Punto de Acceso.
- Aplicaciones.

También se hace un análisis de la disponibilidad comercial actual y su evolución, así como un análisis más profundo de cada uno de los estándares que componen estas tecnologías.

El caso de estudio se refiere al *despliegue de una red* basada en dichas tecnologías en un entorno marítimo que proporciona el *servicio de vídeo-vigilancia de una piscifactoría*.

Se ha seleccionado el entorno marítimo porque se considera que existe una fuerte demanda de comunicaciones sin apenas oferta actualmente.

Se propone un modelo de pérdidas en la transmisión de señales en el entorno marítimo, para las tecnologías inalámbricas estudiadas WiFi y WiMAX (inexistente actualmente), en base al cual se seleccionan los equipos y se dimensiona la red.

Este caso de estudio abre, como valor añadido, diferentes caminos hacia la comunicación marítima, por ejemplo con la creación de hot-spot en el mar, ofreciendo servicios de banda ancha...

La **metodología** que se utiliza, usual en proyectos de despliegue, consta de las siguientes fases:

- Definición del caso de estudio.
- Especificación de la red.
 - Arquitectura
 - Equipos necesarios
 - Análisis de pérdidas
 - Selección de equipos
- Planificación.
- Emisiones Radioeléctricas.
- Dimensionado de la Red.
- Planos y esquemas.
- Presupuesto de equipos.
- Despliegue.
- Certificación y puesta en servicio.

En **el análisis tecno-económico** se comparan las tecnologías WiFi y WiMAX con otras como: comunicación vía satélite y 3G.

Como resultado en el apartado de *conclusiones* se da la valoración final sobre el uso de estas tecnologías inalámbricas en cuanto a ventajas y desventajas, sistemas actuales y futuros, posibilidades que se abren con estos nuevos sistemas...

3. Estado del arte

3.1 WiFi

Introducción

WiFi es una marca de la Wi-Fi Alliance, la organización comercial que adopta, certifica y prueba que los equipos cumplen los estándares 802.11. Describe los productos WLAN basados en los estándares 802.11 del IEEE y podría llegar a discutirse si cubre todos los puntos de este, aunque en este proyecto no entraremos a debatir estos temas y nos centraremos en lo que establece 802.11.

Inicialmente era muy habitual que los puntos de acceso inalámbricos fuesen de un fabricante y los visitantes con estaciones clientes que intentaban comunicarse con los puntos de acceso no pudiesen, al tener hardware de otros fabricantes. Por ésta razón la Wi-Fi Alliance estandarizó el mercado con el sello WiFi. Todos los equipos que lleven el sello de WiFi podrán trabajar juntos, independientemente del fabricante.

La Wi-Fi Alliance estaba formada inicialmente por 3Com – Aironet (hoy parte de CISCO) – Harris – Lucent – Nokia y Symbol Technologies, sin embargo actualmente cuenta con más de 150 miembros. El nombre “oficial” de esta alianza es **WECA** (Wireless Ethernet Compatibility Alliance).

La Web de ésta alianza es: www.wi-fi.org ó www.wifi-alliance.net

Y el logotipo de la alianza es:



Figura 3.1.1 Logotipo WiFi

Hay que tener en cuenta tres aspectos importantes sobre las redes WiFi:

- Son muy fáciles de adquirir.
- Son bastante complejas de configurar manualmente aunque ya existen interfaces amigables.
- Es extremadamente importante su protección.

En los siguientes apartados de WiFi iremos explicando con detalle dichos aspectos.

Estándares relacionados

El estándar 802.11 de IEEE se publica en junio de 1997, tras seis años de proceso de creación. Propone velocidades de 1 y 2 Mbps y un rudimentario sistema de cifrado (el WEP: Wired Equivalent Privacy), opera en la banda de 2,4 GHz. Aunque WEP aún se sigue empleando, ha sido totalmente desacreditado como protocolos seguro.

En septiembre de 1999 salen a la luz varios estándares, el 802.11b que ofrece 11Mbps y el 802.11a que ofrece 54 Mbps.

A partir de estos dos estándares, debido sobre todo a la gran aceptación que tuvo el 802.11b empezaron a desarrollarse nuevas versiones mejoradas de las anteriores.

Sin embargo el estándar 802.11a no tuvo gran aceptación debido a los problemas de compatibilidad existentes con versiones anteriores, pues operan en la banda de 5 GHz.

Los estándares aprobados por el Instituto de Ingenieros Eléctricos Electrónicos (IEEE) son:

Protocolo	Publicación	Frecuencia	Throughput	Veloc. Máx.	Alcance Indoor	Alcance Outdoor
Legacy	1997	2.4 GHz	0.9 Mbps	2 Mbps	~20 Metros	~100 Metros
802.11a	1999	5 GHz	23 Mbps	54 Mbps	~35 Metros	~120 Metros
802.11b	1999	2.4 GHz	4.3 Mbps	11 Mbps	~38 Metros	~140 Metros
802.11g	2003	2.4 GHz	19 Mbps	54 Mbps	~38 Metros	~140 Metros
802.11n	Finales 2008	2.4 GHz 5 GHz	74 Mbps	300 Mbps	~70 Metros	~250 Metros
802.11y	Junio 2008	3.7 GHz	23 Mbps	54 Mbps	~50 Metros	~5000 Metros

Tabla 3.1.1 Protocolos 802.11 aprobados por el IEEE.

En el alcance Indoor hay que tener en cuenta el número y el tipo de paredes y/u otro tipo de obstáculos, sin embargo en el alcance Outdoor las pérdidas están incluidas.

El resto de estándares que vamos a ver son variantes de la versión original de la norma con otros nombres, pero estos estándares solo corresponden a versiones mejoradas y/o que contienen extensiones de su versión anterior, no son protocolos aprobados por la IEEE.

Protocolo	Banda	Velocidad	Descripción
802.11c	No definida	No definida	Define características de puntos de acceso (AP) como Bridges.
802.11d	No definida	No definida	Múltiples dominios reguladores. Restricciones de países al uso de determinadas frecuencias.
802.11e	No definida	No definida	QoS - Calidad de Servicio
802.11f	No definida	No definida	Protocolo de conexión entre puntos de acceso (AP), protocolo IAPP: Inter Access Point Protocol.
802.11h	5 GHz (en Europa)	54 Mbps	Habilita una cierta coexistencia con HiperLAN y regula también la potencia de difusión.
802.11i	No definida	No definida	Mejoras en Seguridad WiFi (WPA/WPA2).
802.11k	No definida	No definida	Mediciones y Gestión de RF en WiFi.
802.11p	5.9 GHz	6-54 Mbps	WAVE (WiFi en vehículos).
802.11r	No definida	No definida	Fast Roaming.
802.11s	No definida	No definida	Redes Mesh / WiFi Municipal.
802.11u	No definida	No definida	Internetworking con otras Redes.
802.11v	No definida	No definida	Puntos de Acceso, Gestión de Clientes (MIB).
802.11w	No definida	No definida	Seguridad de Paquetes de Management.

Tabla 3.1.2 Versiones sin aprobación del IEEE.

Quizás el tema más importante a destacar es la posibilidad de expansión de 802.11. El incremento constante de mayores velocidades, hace que los 11 Mbps del 802.11b, se estén quedando pequeños. La migración natural es hacia 802.11g, pues sigue manteniendo la frecuencia de 2.4 GHz, por lo tanto durante cualquier transición en la que deban convivir, ambos estándares lo permiten. El 802.11g opera con los mismos tipos de modulación DSSS que el 802.11b a velocidades de hasta 11 Mbps, mientras que a velocidades superiores utiliza tipos de modulación OFDM más eficientes.

El 802.11y es un nuevo estándar pendiente de aprobación por el IEEE que no nos proporcionará mayores velocidades, si no que nos permitirá transmitir con mayor potencia con lo que lograremos mayores alcances. No obstante será estudiado en mayor profundidad en el apartado de Normativa posterior.

Actualmente el 802.11n, ya está terminado, solo falta que lo ratifique la IEEE (previsto para finales del 2008), éste será sin duda el estándar que se acabará imponiendo en el futuro debido al gran ancho de banda que nos proporciona.

Una iniciativa que se debe mencionar también es *HiperLAN* en sus versiones 1 y 2. Se trata de una verdadera analogía inalámbrica para ATM. Fue un competidor de 802.11 que opera en la frecuencia de 5 GHz y gozó del apoyo de compañías como Ericsson, Motorola, Nokia, Panasonic y Sony; se llegaron a crear regulaciones por parte de ETSI al respecto, pero no se logró imponer y hoy en día está prácticamente en desuso.

También es importante destacar la compatibilidad del estándar 802.11 con otras redes:

Como ya hemos mencionado el comité IEEE encargado de la tecnología de red de área local desarrolló el primer estándar para redes LAN inalámbricas (IEEE 802.11). La norma IEEE 802.11 se diseñó para que pudiera sustituir a las capas física y MAC de la norma 802.3 (Ethernet). Así que la norma 802.11 (WiFi) y la 802.3 (Ethernet) sólo se diferencian en la forma en que los ordenadores y terminales acceden a la red, el resto es similar. De esta manera, los servicios que pueden ser prestados por una red local Ethernet son perfectamente compatibles con una red local WiFi.

Fundamentos

1. La capa física de 802.11:

La capa física la componen dos subcapas:

- PLCP (Physical Layer Convergence Protocol):

Se encarga de codificación y modulación.

- Preámbulo (144 bits = 128 sincronismo + 16 inicio trama).
- HEC (Header Error Control): CRC 32
- Modulación (propagación) DSSS, FHSS u OFDM.

- PMD (Physical Medium Dependence):

Es la que crea la interfaz y controla la comunicación hacia la capa MAC (a través del SAP: Service Access Point).

Este nivel lo conforman dos elementos principales:

- *Radio*: Recibe y genera la señal.
- *Antena*: Existe una gran variedad.

En la siguiente tabla mostramos las modulaciones de los estándares más utilizados,

Estándar	Modulación
802.11	FHSS, DSSS, IR
802.11b	DSSS
802.11g	DSSS y OFDM
802.11a	OFDM
802.11n	MIMO-OFDM

Tabla 3.1.3 Estándar con su modulación

Y en la siguiente figura se especifican con más detalle todas estas modulaciones:

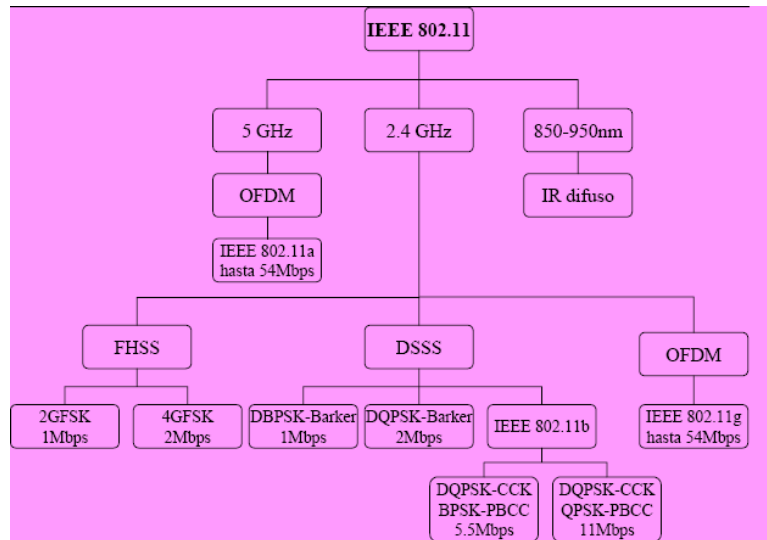


Figura 3.1.2 Estándar con su modulación

Ahora realizaremos un pequeño estudio de los fundamentos de estos tipos de modulaciones.

IR

Este medio de transmisión fue definido y utilizado en las primeras versiones del 802.11. Su espectro está comprendido entre los 850 y 950 nm, con velocidades de 1 y 2 Mbps, usando modulación PPM.

Por lo que se usan frecuencias muy altas para transportar los datos. Pero tienen un gran inconveniente, y es que al igual que la luz, los infrarrojos no pueden traspasar los objetos opacos. Por lo que el emisor y el receptor tienen que tener visión directa. Por lo que habitualmente permiten unas distancias muy pequeñas (máximas típicas de 90 centímetros a 1 metro). Por lo que su funcionalidad se ve reducida drásticamente, siendo inviables para usuarios móviles.

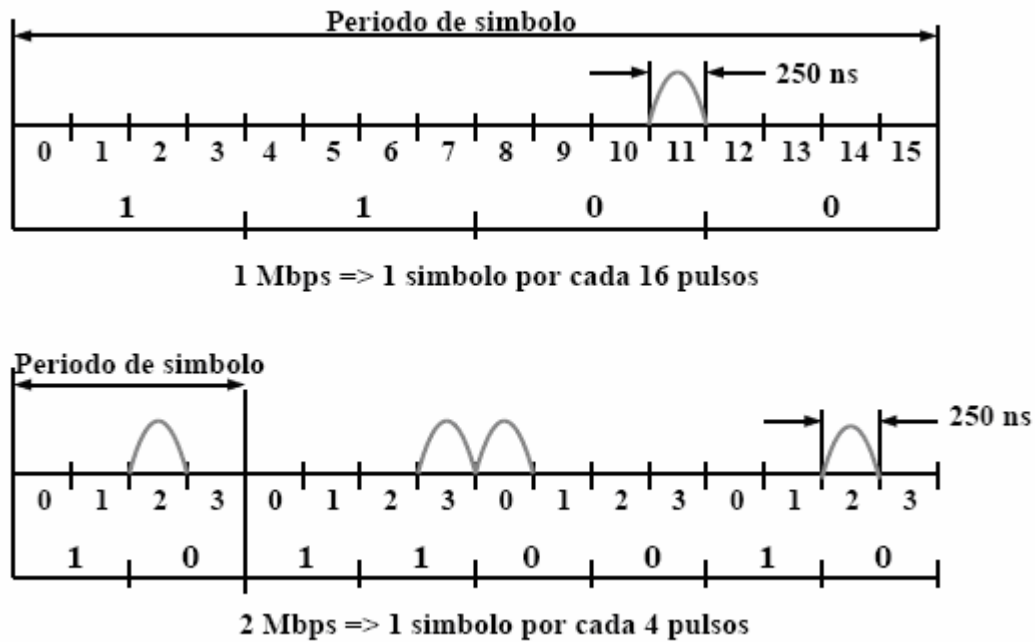


Figura 3.1.3 PPM

DSSS

Con la técnica DSSS se genera un patrón de bits redundante (señal de chip) para cada uno de los bits que componen la señal. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original.

La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como secuencia de Barker (también llamado código de dispersión o PseudoNoise). Es una secuencia rápida diseñada para que aparezca aproximadamente la misma cantidad de 1 que de 0. Un ejemplo de esta secuencia es el siguiente: 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 0.

Solo los receptores a los que el emisor haya enviado previamente la secuencia podrán recomponer la señal original. Además, al sustituir cada bit de datos a transmitir, por una secuencia de 11 bits equivalente, aunque parte de la señal de transmisión se vea afectada por interferencias, el receptor aún puede reconstruir fácilmente la información a partir de la señal recibida.

Esta secuencia proporciona 10.4 dB de aumento del proceso.

Una vez aplicada la señal de chip, el estándar IEEE 802.11 definió dos tipos de modulación para la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS), la modulación DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) y la modulación DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying). Posteriormente se desarrolló la CCK.

Modulación:

- 1 Mbps: DBPSK (modulación por desplazamiento de fase bivalente diferencial).
- 2 Mbps: DQPSK (modulación por desplazamiento de fase cuadrivalente diferencial).
- 5,5 / 11 Mbps: CCK (modulación de código complementario) o PBCC (codificación convolucional binaria de paquetes).

Tasa transferencia de datos (Mbps)	Longitud de código	Modulación	Tasa transferencia de símbolo	Bits/Símbolo
1	11 (Barker)	BPSK	1 MSps	1
2	11 (Barker)	QPSK	1 MSps	2
5.5	8 (CCK)	QPSK	1.375 MSps	4
11	8 (CCK)	QPSK	1.375 MSps	8

Tabla 3.1.4 Tabla modulaciones DSSS

Tanto en Estados Unidos como en España la banda Industrial, Científica y Médica (ICM en España ó ISM en EE.UU.) de 2,4 GHz, de uso común, se extiende desde 2400 a 2483,5 MHz. Sin embargo el número de canales para la implementación americana y europea no es el mismo.

Hay que tener en cuenta que la señal DSSS de cada canal no se limita sólo a éste, si no que interfiere en el resto de los canales. Dicha señal ocupa 22 MHz y los canales tienen una separación de 5 MHz.

En el caso de Estados Unidos la tecnología DSSS utiliza un rango de frecuencias que va desde los 2,412 GHz hasta los 2,462 GHz (usando 11 canales), mientras que en Europa la tecnología DSSS utiliza el rango de frecuencias que va desde 2,412 GHz hasta los 2,472 GHz (usando 13 canales). Este ancho de banda se subdivide en canales de 5 MHz, como ya hemos mencionado. En el caso de España se utilizan los canales entre 1 y 13, preferentemente los canales 1,7 y 13 para evitar interferencias, mientras que en Estados Unidos son el 1, 6 y 11.

En cuanto a potencias de transmisión, la diferencia es más notable puesto que la regulación es mucho más permisiva en Estados Unidos. A grandes rasgos, en esta banda, la FCC aprueba transmitir 40 veces, 16 dB más, la potencia máxima permitida en España.

En la siguiente tabla mostramos los canales permitidos en Europa y en USA:

- ETSI (European Telecommunications Standards Institute), en Europa.
- FCC (Federal Communications commission), en USA.

FRECUENCIA	Ancho de Banda	CANAL	ETSI	FCC
2.412 GHz	2.401 – 2.423 GHz	Canal 01	SI	SI
2.417 GHz	2.406 – 2.428 GHz	Canal 02	SI	SI
2.422 GHz	2.411 – 2.433 GHz	Canal 03	SI	SI
2.427 GHz	2.416 – 2.438 GHz	Canal 04	SI	SI
2.432 GHz	2.421 – 2.443 GHz	Canal 05	SI	SI
2.437 GHz	2.426 – 2.448 GHz	Canal 06	SI	SI
2.442 GHz	2.431 – 2.453 GHz	Canal 07	SI	SI
2.447 GHz	2.436 – 2.458 GHz	Canal 08	SI	SI
2.452 GHz	2.441 – 2.463 GHz	Canal 09	SI	SI
2.457 GHz	2.446 – 2.468 GHz	Canal 10	SI	SI
2.462 GHz	2.451 – 2.473 GHz	Canal 11	SI	SI
2.467 GHz	2.456 – 2.478 GHz	Canal 12	SI	NO
2.472 GHz	2.461 – 2.483 GHz	Canal 13	SI	NO
2.484 GHz	2.473 – 2.495 GHz	Canal 14	NO	NO

Tabla 3.1.5 Asignación de canales para DSSS

En configuraciones donde existan más de una celda, éstas pueden operar simultáneamente y sin interferencias siempre y cuando la diferencia entre las frecuencias centrales de las distintas celdas sea de al menos 30 MHz, lo que reduce a tres el número de canales independientes y funcionando simultáneamente en el ancho de banda total de 60 MHz. Esta independencia entre canales nos permite aumentar la capacidad del sistema de forma lineal.

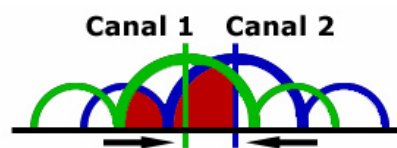


Figura 3.1.4 Interferencia canales contiguos

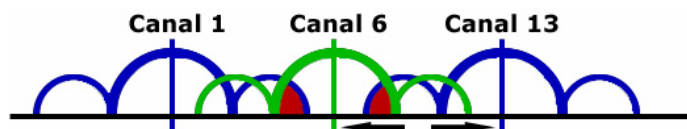


Figura 3.1.5 Interferencia canales separados

La técnica de DSSS podría compararse con una multiplexación en frecuencia.

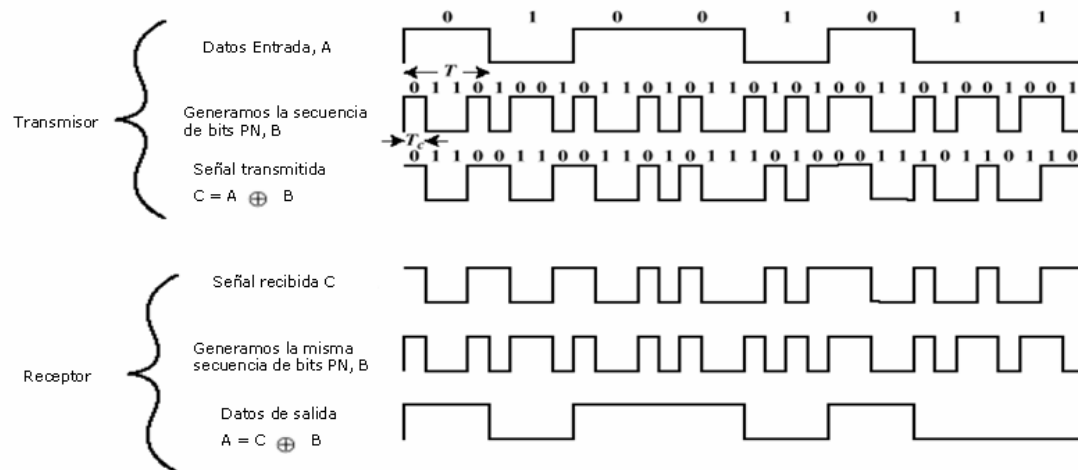


Figura 3.1.6 Explicación gráfica de DSSS

FHSS

La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS) consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo (llamado dwell time) inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo en otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo.

El orden en los saltos de frecuencia se determina según una secuencia pseudo aleatoria almacenada en unas tablas, y que tanto el emisor y el receptor deben conocer. Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencias se consigue que, aunque en el tiempo se cambie de canal físico, a nivel lógico se mantiene un solo canal por el que se realiza la comunicación.

Esta técnica también utiliza la zona de los 2.4 GHz, la cual organiza en 79 canales con un ancho de banda de 1 MHz cada uno. El número de saltos por segundo es regulado por cada país, así, por ejemplo, Estados Unidos fija una tasa mínima de saltos de 2.5 por segundo.

El estándar IEEE 802.11 define la modulación aplicable en este caso. Se utiliza la modulación en frecuencia FSK (Frequency Shift Keying).

La técnica FHSS sería equivalente a una multiplexación en frecuencia.

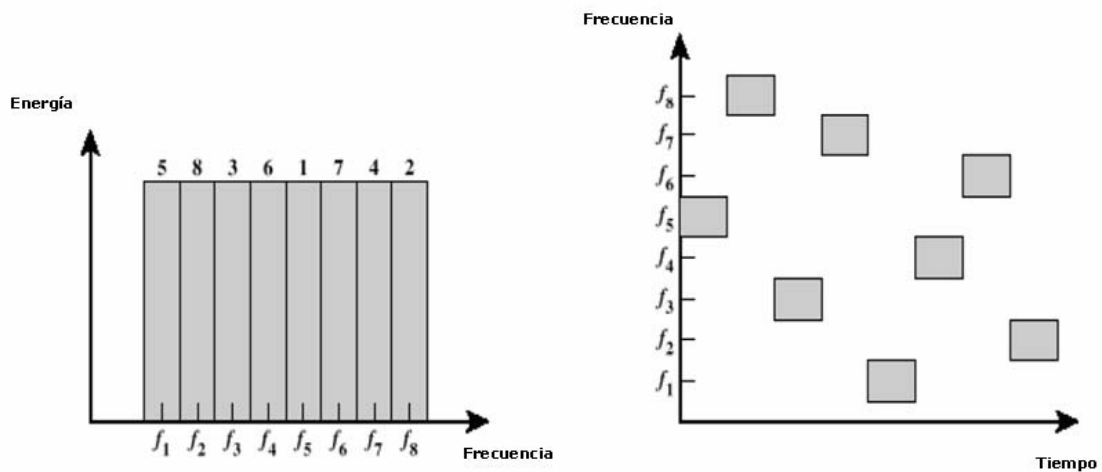


Figura 3.1.7 Explicación gráfica de FHSS

El inconveniente del DSSS en relación con el FHSS es que es más vulnerable a las interferencias de banda estrecha.

Ventajas del DSSS:

- Permite mayores velocidades de datos (11 Mbps y 54 Mbps).
- La itinerancia es menos complicada en comparación con los sistemas FHSS, ya que éstos siempre transmiten en un único canal.

Inconvenientes del DSSS:

- En un área sólo pueden funcionar 3 sistemas de forma simultánea.
- Necesita componentes más rápidos y caros que los sistemas FHSS equivalentes.
- Más consumo que los sistemas FHSS.

OFDM

En una comunicación inalámbrica a alta tasa de bit, se requiere un gran ancho de banda, en estos casos el canal es susceptible a ser selectivo en frecuencia (no plano). Dividir el ancho de banda total en canales paralelos más estrechos, cada uno en diferente frecuencia (FDM), reduce la posibilidad de desvanecimiento por respuesta no plana en cada subportadora. Cuando estas subportadoras son ortogonales en frecuencia, se permite reducir el ancho de banda total requerido aún más, como se muestra en el siguiente esquema.

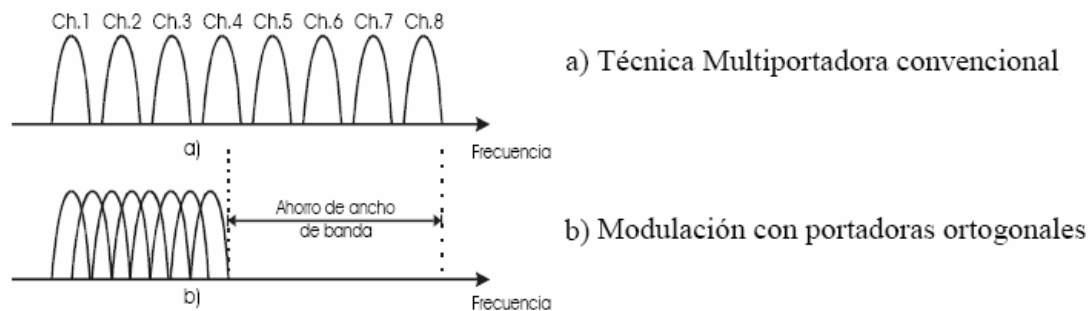


Figura 3.1.8 Explicación gráfica de OFDM

Los problemas de interferencia entre símbolos (ISI), y de interferencia intercanal (ICI) son eliminados del símbolo OFDM, cuando la longitud del tiempo de guarda es mayor al máximo valor del esparcimiento del retardo. En la siguiente figura mostramos un diagrama de bloques de un transmisor OFDM.



Figura 3.1.9 Diagrama de bloques transmisor OFDM

En un transmisor OFDM el flujo original de datos con duración de símbolo T' es convertido serie a paralelo en J grupos de subportadoras con duración de símbolo T . La mayor eficiencia de ancho de banda se logra cuando $T = JT'$, no obstante lo usual es $T = JT' + T_g$, donde T_g es el tiempo de guarda. OFDM puede eliminar el desvanecimiento selectivo en frecuencia cuando T_g es mayor que el esparcimiento del retardo del canal.

El estándar 802.11a utiliza la banda de 5 GHz, usando la técnica de OFDM:

- FCC (Federal Communications commission), en USA.
- CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de frecuencias), en España.

Banda Frecuencia (MHz)	Número de canal	Frecuencia central (MHz)	FCC	CNAF
5150–5250	36	5180	SI	SI
	40	5200	SI	SI
	44	5220	SI	SI
	48	5240	SI	SI
5250-5350	52	5260	SI	SI
	54	5280	SI	SI
	60	5300	SI	SI
	64	5320	SI	SI
5470-5725	100	5500	SI	SI
	104	5520	SI	SI
	108	5540	SI	SI
	112	5560	SI	SI
	116	5580	SI	SI
	120	5600	SI	SI
	124	5620	SI	SI
	128	5640	SI	SI
	132	5660	SI	SI
	136	5680	SI	SI
5725-5825	140	5700	SI	SI
	149	5745	SI	NO
	153	5765	SI	NO
	157	5785	SI	NO
	161	5805	SI	NO

Tabla 3.1.6 Asignación de canales para OFDM a 5GHz

En el caso de OFDM en la banda de 2.4 GHz, los canales utilizados son los mismos que en el 802.11b y hay que tener en cuenta que el ancho de banda del canal es de 20 MHz con lo que solo podrán trabajar tres canales a la vez, para que la interferencia no sea demasiado grande.

En concreto en OFDM, para cada canal tendremos:

Tasa transferencia datos	6, 9, 12, 18, 36, 48 ó 54 Mbps
Modulación	BPSK, QPSK, 16-QAM ó 64-QAM
Tasa de codificación	$\frac{1}{2}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{2}{3}$ ó $\frac{3}{4}$
Número de subportadoras	52
Número de subportadoras piloto	4
Número de subportadoras de datos	48
Número de subportadoras nulas	12
Duración de símbolo OFDM	4μ segundos
Intervalo de guarda	800η segundos
Espacio entre subportadoras	312.5 KHz
Ancho de banda señal	16.66 MHz
Ancho de banda canal	20 MHz

Tabla 3.1.7 Datos técnicos de OFDM

Observamos en la siguiente figura las subportadoras de cada canal de 20 MHz.

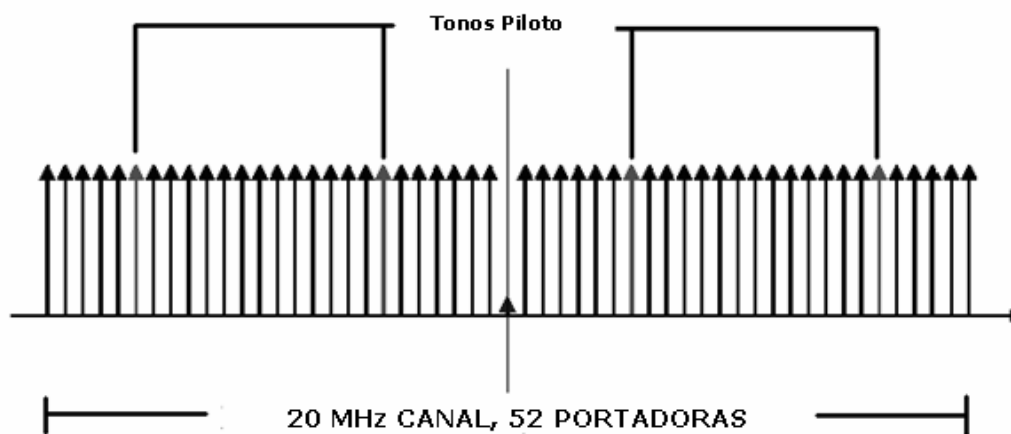


Figura 3.1.10 Subportadoras OFDM

La siguiente tabla muestra de forma más precisa las modulaciones utilizadas en OFDM.

Tasa transferencia datos (Mbps)	Modulación	Tasa de codificación	Bits codificados por subportadoras	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 3.1.8 Modulaciones y codificaciones de OFDM

¿Cómo hallar la tasa de transferencia?

Veámoslo con el siguiente ejemplo:

Duración de símbolo = 4 μ segundos

Número de subportadoras de datos = 48

Bits/subcanal = 6 (64-QAM)

Bits/símbolo OFDM = 6x48 = 288

Si aplicamos la tasa de codificación obtenemos 288x3/4=216 bits/símbolo

Tasa de transferencia = 216 / 4 μ segundos = 54 Mbps

MIMO

Multiple Input Multiple Output (MIMO) es una técnica de antenas inteligentes que incrementan la velocidad, rango, confiabilidad y eficiencia espectral de los sistemas inalámbricos. Dada la actual demanda por aplicaciones de redes WLAN, los chipsets MIMO podrían convertirse rápidamente en importantes actores del mercado de puntos de acceso y tarjetas de interfaz de red.

El estándar 802.11n podría ofrecer un rendimiento de unos 300 Mbps, utilizando tecnología MIMO para potenciar y optimizar el ancho de banda. La aprobación definitiva del estándar permitirá a las redes WLAN superar la velocidad de las redes Ethernet (limitadas a 100 Mbps).

Los clientes empresariales con experiencia WLAN han mostrado ciertas reticencias respecto del nuevo estándar pese a la promesa de una gran mejora en la tasa de transferencia. Al contrario, se muestran preocupados por otras cuestiones críticas como la utilidad y efectividad de 802.11n o la compatibilidad con las redes 802.11b/g.

Los productos para redes LAN basados en MIMO incluyen a empresas como Airgo Networks (pionera en este campo), Belkin, Linksys y SOHOware. Samsung también ha anunciado tecnologías inalámbricas basadas en MIMO, al igual que Intel.

Según las compañías que promueven esta tecnología, MIMO podría incrementar más de dos veces la cobertura y hasta más de seis veces la velocidad de las actuales redes IEEE 802.11g.

Como vemos, MIMO se encuentra en intenso desarrollo en estos momentos. Por ahora, es entendido en sentido estricto, como una tecnología que usa señales múltiples y simultáneas (dos o más en forma de ondas de radio) sobre un mismo canal de frecuencia para lograr propagación mutidireccional y, a partir de eso, eficiencia espectral.

La eficiencia espectral corresponde al número de unidades de información por unidad de tiempo por unidad de ancho de banda (bits por segundo sobre Hertz). Si se transmiten múltiples señales, conteniendo diferentes flujos de datos sobre un mismo canal, la eficiencia espectral mejora notoriamente, lo cual permite mayor velocidad de los datos y más cobertura.

Antes del desarrollo de MIMO, los sistemas de comunicación inalámbricos consideraban la propagación multidireccional sólo como un problema que se atenuaría en el futuro. MIMO viene a ser la primera tecnología de comunicaciones inalámbricas que trata la propagación multidireccional como una característica inherente a los ambientes inalámbricos.

Cómo funciona

Una transmisión convencional de radio usa una antena para transmitir la secuencia de datos. Por su parte, una antena inteligente usa múltiples antenas, ayudando además a través de su diseño a combatir la distorsión e interferencia.

En otras palabras, un sistema de transmisión de radio convencional podría representarse como una carretera de una pista. El límite de velocidad está dado por el flujo máximo permitido del tráfico a través de esa pista. Esto haría la diferencia con los sistemas de antenas inteligentes que ayudan a mover tráfico a través de esa pista, pero más rápida y confiablemente, de manera que el viaje borde siempre el límite de velocidad. MIMO ayudaría a mover el tráfico al límite de la velocidad pero además abre más pistas. El rango de tráfico guarda relación con la cantidad de pistas abiertas.

Pero las técnicas de antenas inteligentes son unidimensionales, mientras que MIMO es multidimensional. Para eso, estructura una tecnología inteligente unidimensional que simultáneamente transmite múltiples secuencias de datos a través del mismo canal, lo cual aumenta la capacidad de las tecnologías inalámbricas a niveles nunca vistos.

Lo anterior se traduce en que MIMO pone a trabajar señales multidireccionales acarreado y concentrando más datos, ya que cada una de estas señales son moduladas y transmitidas simultáneamente por las antenas. La utilización de múltiples formas de onda mejora tres parámetros básicos del desempeño del enlace: cobertura, velocidad y calidad de la señal.

Para explotar los beneficios que ofrecen las tecnologías inalámbricas, MIMO usa antenas múltiples y espacialmente separadas. El receptor de MIMO utiliza algoritmos matemáticos para desenredar y recuperar las señales transmitidas.

El Futuro con MIMO

Hasta ahora, debido a los notables beneficios de MIMO, se prevé un buen posicionamiento de los productos orientados a mejorar el desempeño de las redes inalámbricas.

De hecho, los productos de redes inalámbricas LAN que han utilizado tecnología MIMO han demostrado en pruebas de laboratorio, pruebas en terreno y usos comerciales la capacidad de cubrir áreas por lo menos dos veces más grandes que los productos convencionales del WLAN, con rangos de confiabilidad comparables o superiores a ellos.

Eso explicaría que a finales del 2008 podrían venderse más de 150 millones de chips con 802.11n, predominando los dispositivos electrónicos de consumo con esta tecnología.

2. La capa de enlace de 802.11:

Respetando el modelo OSI, se agrupará en el nivel de enlace, los dos subniveles que lo conforman (MAC: Medium Access Control y LLC: Logical Link Control). Desde el punto de vista de 802.11, solo interesa hacer referencia al subnivel MAC.

Capa MAC: *Controla el flujo de paquetes entre 2 o más puntos de una red.* Emplea CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access / Collision avoidance. Sus funciones principales son:

- Exploración:

Envío de Beacons (balizas) que incluyen los SSID: Service Set identifiers o también llamados ESSID (Extended SSID), máximo 32 caracteres.

- Autenticación:

Proceso previo a la asociación. Existen dos tipos:

Autenticación de sistema abierto:

Obligatoria en 802.11, se realiza cuando el cliente envía una solicitud de autenticación con su SSID a un Punto de Acceso, el cual autorizará o no. Este método aunque es totalmente inseguro, no puede ser dejado de lado, pues uno de los puntos más fuertes de WiFi es la posibilidad de conectarse desde sitios públicos anónimamente (Terminales, hoteles, aeropuertos, etc.).

Autenticación de clave compartida:

Es el fundamento del protocolo WEP (hoy totalmente desacreditado), se trata de un envío de interrogatorio (desafío) por parte del Punto de Acceso al cliente.

- Asociación:

Este proceso es el que le dará acceso a la red y solo puede ser llevado a cabo una vez autenticado.

- Seguridad:

Mediante WEP, con este protocolo se cifran solamente los datos (no los encabezados), aunque actualmente se prefieren WPA Y WPA2.

- RTS/CTS (solicitud de envío/ preparado para enviar):

El aspecto más importante es cuando existen "nodos ocultos", pues a diferencia de Ethernet, en esta topología sí pueden existir nodos que no se escuchen entre sí y que solo lleguen hasta el Punto de Acceso, (Ej. su potencia está limitada, posee un obstáculo entre ellos, etc.), en estos casos se puede configurar el empleo de RTS/CTS. Otro empleo importante es para designar el tamaño máximo de trama (en 802.11 es: mínimo=256 y máximo=2312 Bytes).

- Modo ahorro de energía:

Cuando esta activado este modo, el cliente envía previamente al Punto de Acceso una trama indicando "que se irá a dormir", el Punto de Acceso, coloca en su buffer estos datos. Se debe tener en cuenta que por defecto este modo suele estar inactivo (denominado Constant Awake Mode: CAM).

- Fragmentación:

Es la capacidad que tiene un Punto de Acceso de dividir la información en tramas más pequeñas.

Veamos ahora con detalle en que consiste CSMA/CA, que se utiliza para evitar colisiones en los paquetes de datos reales:

- CS = detección de portadora
- MA = acceso múltiple (medio compartido)
- CA = evita colisiones
- "El problema de la estación oculta"

En la subcapa MAC de la capa Data Link, se utiliza el protocolo de control de acceso a medios (MAC) para acceso múltiple por detección de portadora con evitación de colisión (CSMA/CA).

La estación inalámbrica (estación 1) que tiene una trama para transmitir primero escucha (LBT: "Escuchar antes de hablar") en el medio inalámbrico para saber si otra estación está transmitiendo en ese momento (detección de portadora). Si el medio ya está ocupado, la estación inalámbrica calcula un tiempo de retirada aleatorio. La estación inalámbrica 1 tendrá que esperar a que este tiempo de retirada concluya para volver a detectar si hay alguna estación transmitiendo. Gracias a este tiempo de retirada aleatorio, las distintas estaciones que están a la espera de transmitir no acaban haciéndolo todas al mismo tiempo y se evitan colisiones.

Después de leer toda la trama, la estación inalámbrica 2 envía una señal de reconocimiento (ACK) para asegurarse de que la trama se haya transmitido y recibido correctamente.

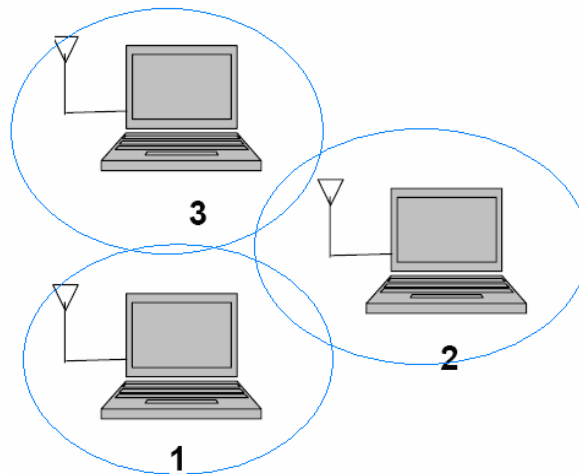


Figura 3.1.11 Estaciones que forman parte del ejemplo

Problema del nodo expuesto

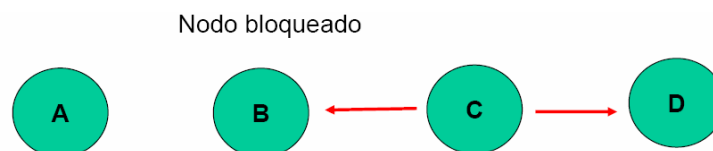


Figura 3.1.12 Nodo bloqueado

La estación C está transmitiendo a D, B escucha y queda bloqueado; pero B desea transmitir a A y no puede porque está bloqueado por C.

El acceso al medio es controlado por funciones de coordinación. La función llamada "Función de Coordinación Distribuida" (DCF) provee un acceso al medio similar a Ethernet. Antes de transmitir se verifica si el medio está ocupado. Para evitar colisiones se utiliza backoff aleatorio después de cada trama.

Hay dos formas de detectar portadora:

- Real: utilizando las capas físicas, los adaptadores pueden saber si el medio está ocupado. No proporciona toda la información.
- Virtual: esta forma es provista por el campo NAV de una trama (Network Allocation Vector).

El NAV es un campo de la trama y representa un temporizador que indica tiempo de reserva. Cuando llega a cero, el medio está disponible. El NAV asegura la atomicidad de la interacción. La siguiente figura muestra la acción del NAV. Se aprecia que si la barra NAV está presente, las estaciones deben diferir el acceso al medio. Al terminar el tiempo DIFS, el medio puede ser usado por cualquier estación.

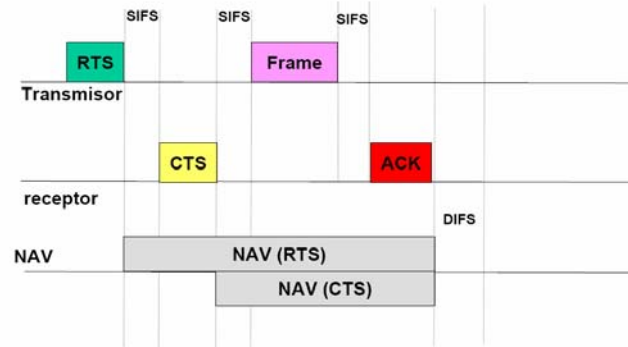


Figura 3.1.13 Acción del NAV

El espaciado juega un rol clave en la coordinación del acceso al medio porque fija la prioridad de las tramas. A menor espaciado, mayor es la prioridad de los tramas.

Los tiempos más utilizados son:

- SIFS: Short interframe space (pequeño espacio entre tramas) usado en transmisiones de alta prioridad.
- DIFS: DCF interframe space. Las estaciones tienen acceso inmediato al medio si está libre un tiempo mayor que DIFS.
- EIFS: No es fijo y se usa sólo cuando se registra error en la transmisión.

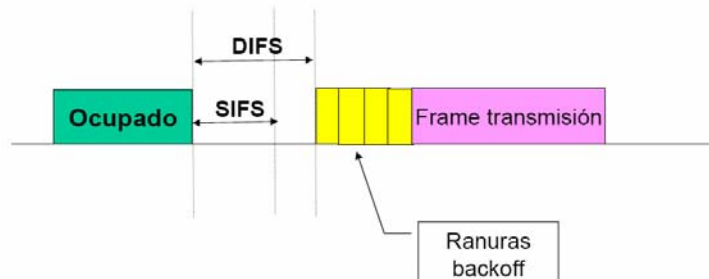


Figura 3.1.14 Acción de SIFS y DIFS

El algoritmo de acceso es el siguiente:

- Antes de intentar transmitir, cada estación verifica si el medio está desocupado. Si está ocupado utiliza backoff exponencial para evitar colisiones.
- Si el medio está desocupado por un tiempo mayor que DIFS, la transmisión puede comenzar inmediatamente.

La recuperación de errores es responsabilidad de la estación que envía la trama. Sólo la recepción de ACK indica éxito. Todas las tramas Unicast deben ser reconocidas. Los NAV se pueden actualizar en cada paso de intercambio de tramas.

Cada trama o fragmento de trama tiene asociado un contador de reintento. Cada vez que se transmite una trama se incrementa el contador de reintentos. Si una estación móvil desea transmitir y encuentra el medio ocupado entra en contención. El tiempo que sigue a continuación de DIFS se denomina *ventana de contención*. La ventana de contención está ranurada en tiempos que dependen de la capa física. La estación selecciona al azar un número que indexa una ranura, y la espera antes de intentar el acceso al medio. Al existir competencia gana la que tiene el número menor.

Cada vez que la transmisión falla, la ventana de contención se duplica. La siguiente figura muestra una secuencia de contención.

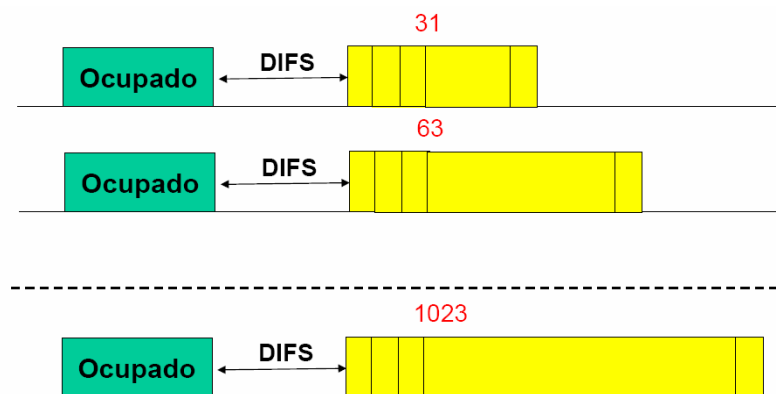


Figura 3.1.15 Secuencia de contención

Problema del nodo oculto

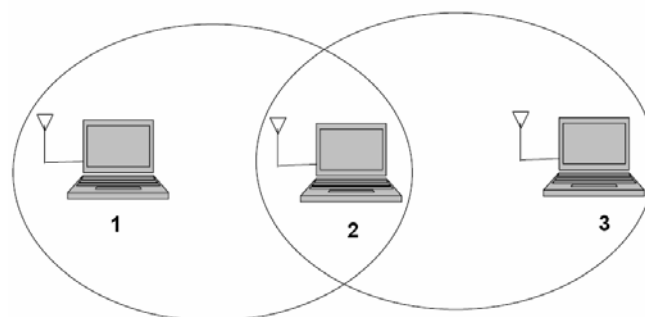


Figura 3.1.16 Nodo oculto

El problema del nodo oculto ocurre en redes de punto a multipunto. Este problema puede surgir cuando hay tres (o más nodos) presentes.

En nuestro ejemplo, tenemos la Estación 1, la Estación 2 y la Estación 3. Es posible que en este caso la Estación 2 vea a la Estación 1 (y viceversa) y la Estación 2 vea a la Estación 3 (y viceversa), pero la Estación 3 no ve a la Estación 1.

En un entorno CSMA/CA, la Estación 1 y la Estación 3 transmitirían correctamente (no pueden verse mutuamente en la fase de detección; así pues, ambas podrían transmitir simultáneamente y de forma correcta un paquete), pero la Estación 2 recibiría datos dañados. Se dice que la Estación 1 y la Estación 3 están "ocultas" la una de la otra.

El problema de los nodos ocultos puede resolverse usando un protocolo de RTS (solicitud de envío) / CTS (preparado para enviar) antes de la transmisión del paquete.

En el ejemplo de una red de tres nodos, la estación 1 envía un paquete RTS pequeño que recibe la estación 2, que a su vez envía un paquete CTS pequeño como respuesta. Este paquete lo recibe tanto la estación 1 como la estación 3. La estación 3 se detendrá y no llevará a cabo la transmisión en este caso.

A pesar de que el uso de RTS/CTS resuelve "el problema de la estación oculta" y evita las colisiones, también introduce una carga adicional en el protocolo y reduce el rendimiento. Por este motivo el protocolo RTS/CTS sólo se activa cuando los paquetes alcanzan un tamaño determinado.

En algunos sistemas WLAN este tamaño puede determinarlo el administrador (umbral de RTS/CTS).

Los porcentajes de errores de bits en las redes inalámbricas son bastante superiores a los de las redes cableadas tradicionales.

Las tramas grandes tienen mayor probabilidad de error que las tramas pequeñas, y por ello el transmisor puede fragmentar las tramas grandes y, posteriormente, el nodo del receptor las puede volver a unir.

A pesar de que esto podría aumentar el tráfico, se reduce la probabilidad de error y, en caso de error, también se reduce la retransmisión.

En algunos sistemas WLAN, el tamaño del paquete más grande (umbral de fragmentación) puede ser ajustado por el administrador de red.

Veamos ahora el formato de las tramas del protocolo 802.11b:

PHY

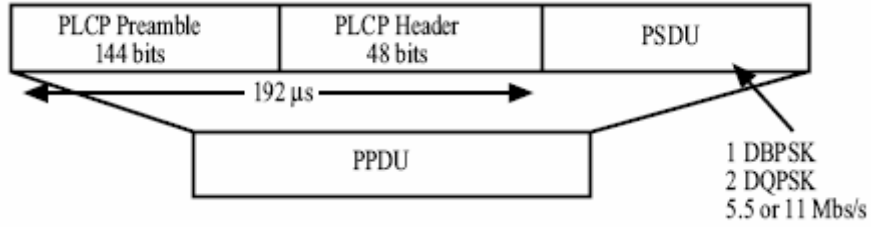


Figura 3.1.17 Capa física

MAC

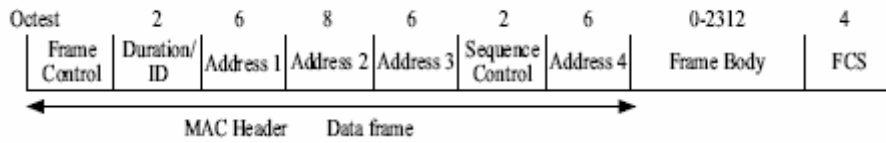


Figura 3.1.18 Capa MAC

Elementos básicos de una red

Punto de Acceso

Es un dispositivo inalámbrico central de una red inalámbrica WiFi que por medio de ondas de radio frecuencia (RF) recibe información de diferentes dispositivos móviles y la transmite a través de cable al servidor de la red cableada o viceversa.

El estándar 802.11 es bastante ambiguo y no define con claridad todas las funciones que debería realizar un Punto de Acceso y sólo lo describe de una manera muy superficial. Esto dio lugar a que cada fabricante lo diseñara según su criterio y, por lo tanto existen en el mercado decenas de Puntos de Acceso con características y funcionalidades muy dispares.

Es aconsejable mantener el punto de acceso en un lugar alto para poder disponer de una buena emisión/recepción. Es posible que si no disponemos de la velocidad de emisión/recepción esperada sea por mala ubicación del punto de acceso, o de obstáculos que se interpongan entre el punto de acceso y el dispositivo WiFi (paredes, puertas...).

Adaptadores de red inalámbricos

Los hay de muy diversos tipos como ordenadores portátiles, PDA, teléfonos móviles... Estos pueden tener instaladas diferentes clases de tarjetas, mayoritariamente:

- *Las tarjetas PCI* para WiFi se agregan a los ordenadores de sobremesa, permiten un acceso muy eficiente, la única desventaja de este tipo de tarjeta es que requiere abrir el ordenador.
- *Las tarjetas PCMCIA* son un modelo muy utilizado en ordenadores portátiles; aunque en un principio la mayor parte de estas tarjetas solo eran capaces de llegar hasta la tecnología del 802.11b, actualmente ya existen tarjetas PCMCIA con tecnología 802.11g e incluso 802.11n (adelantándose a la aprobación final).
- *Las tarjetas USB* para WiFi son el tipo de tarjeta más moderno que existe y más sencillo de conectar a un PC, ya sea de sobremesa o portátil, haciendo uso de todas las ventajas que tiene la tecnología USB, además la mayor parte de las tarjetas USB actuales permiten utilizar la tecnología g de WiFi, incluso algunas ya ofrecen la posibilidad de utilizar la llamada tecnología 802.11n, que aún no está estandarizada.

Otros elementos

También existen amplificadores y antenas que se pueden agregar, según las necesidades, a instalaciones WiFi y sirven para direccionar y mejorar las señales de RF transmitidas.

Tipos de Antenas:

Direccionales



Figura 3.1.19 Antena direccional

Omnidireccionales



Figura 3.1.20 Antena omnidireccional

Sectoriales



Figura 3.1.21 Antena sectorial

Características

Dependen en gran medida de los distintos estándares y por eso las veremos con detalle cuando definamos cada uno de estos, aunque todos ellos comparten las siguientes características:

- Utilizan la banda de uso común (ISM) de 2.4 GHz y la banda de 5 GHz que no necesitan licencia de uso del espectro.
- Corto alcance omnidireccional (30-500 metros), en condiciones ideales.
- Posibles interferencias en usos densos de los equipos de radio.
- Distintas velocidades según el estándar utilizado.

El alcance de 500 metros en espacio abierto, se reduce a 100-150 metros en la mayoría de los casos al no disponer de espacios abiertos sin presencia de obstáculos. La velocidad y el alcance convierten ésta tecnología en una buena solución al acceso a Internet sin cables.

Infraestructura

Para poder implantar redes o infraestructuras LAN inalámbricas es imprescindible realizar un trabajo de planificación y diseño previo. Hay que plantearse una serie de preguntas y tomar las decisiones en función de las respuestas dadas:

1. ¿Qué tipo de topología de red debe implantarse (red ad-hoc, con punto de acceso, o estructural, sin punto de acceso)?
2. ¿Cuál es la ubicación ideal de los puntos de acceso teniendo en cuenta
 - los requisitos del ancho de banda (capacidad)
 - las condiciones ambientales (aire libre, edificio, materiales de construcción)
 - la infraestructura existente (suministro eléctrico, LAN)?
3. ¿Qué frecuencias deben utilizarse teniendo en cuenta factores como:
 - las interferencias
 - el número de WLAN "paralelas"?
4. ¿Cómo puede garantizarse un nivel de seguridad adecuado en las LAN inalámbricas?

El estándar IEEE 802.11 describe los protocolos y las técnicas de transmisión correspondientes a los dos modos principales de construir y utilizar una LAN inalámbrica RF.

Independent Basic Service Set (IBSS), sin punto de acceso

Una parte del estándar contempla la comunicación en redes "ad-hoc" simples. Estas redes están compuestas por varias estaciones de trabajo con un alcance de transmisión limitado interconectadas entre sí. No obstante, estas topologías no necesitan ningún sistema de control ni de transmisión central.

Una LAN inalámbrica se puede instalar, por ejemplo, en una sala de conferencias para conectar sistemas portátiles que se usarán en una reunión.

Ventajas:

- Comunicación punto a punto sin punto de acceso.
- Instalación rápida y costes mínimos.
- Configuración simple.

Inconvenientes:

- Alcance limitado.
- Número de usuarios limitado.
- No integración en estructuras LAN existentes.

Basic Service Set (BSS), con punto de acceso

La segunda aplicación en importancia de las que se describen en el estándar IEEE 802.11 utiliza "puntos de acceso", también llamada red estructural. Los puntos de acceso son componentes de red que controlan y gestionan toda la comunicación que se produce dentro de una célula LAN inalámbrica, entre células LAN inalámbricas y, finalmente, entre células LAN inalámbricas y otras tecnologías LAN.

Los puntos de acceso garantizan un empleo óptimo del tiempo de transmisión disponible en la red inalámbrica.

Ventajas:

- Incluso las estaciones que no pueden verse entre si directamente pueden comunicarse.
- Simple integración en estructuras de cable ya existentes.

Inconvenientes:

- Coste más elevado del equipo.
- Instalación y configuración más complejas.

Actualmente ha surgido un nuevo tipo de red, que es combinación de los dos tipos anteriores:

Redes Mesh

Las redes inalámbricas Mesh, redes acopladas, o redes de malla inalámbricas para definir las de una forma sencilla, son aquellas redes en las que se mezclan las dos topologías de las redes inalámbricas, la topología ad-hoc y la topología estructural. Básicamente son redes con topología estructural, pero que permiten unirse a la red a dispositivos que a pesar de estar fuera del rango de cobertura de los puntos de acceso están dentro del rango de cobertura de alguna tarjeta de red (TR) que directamente o indirectamente está dentro del rango de cobertura de un punto de acceso (PA).

También permiten que las tarjetas de red se comuniquen entre sí, independientemente del punto de acceso. Esto quiere decir que los dispositivos que actúan como tarjeta de red pueden no mandar directamente sus paquetes al punto de acceso sino que pueden pasárselos a otras tarjetas de red para que lleguen a su destino.

Para que esto sea posible es necesario el contar con un protocolo de enrutamiento que permita transmitir la información hasta su destino con el mínimo número de saltos o con un número que aún no siendo el mínimo sea suficientemente bueno. Es tolerante a fallos, pues la caída de un solo nodo no implica la caída de toda la red.

Antiguamente no se usaba la estructura de redes Mesh porque el cableado necesario para establecer la conexión entre todos los nodos era imposible de instalar y de mantener. Hoy en día con la aparición de las redes inalámbricas este problema desaparece y nos permite disfrutar de sus grandes posibilidades y beneficios.

A modo de ejemplo podemos ver la estructura de una red inalámbrica Mesh formada por siete nodos. Se puede ver que cada nodo establece una comunicación con todos los demás nodos.

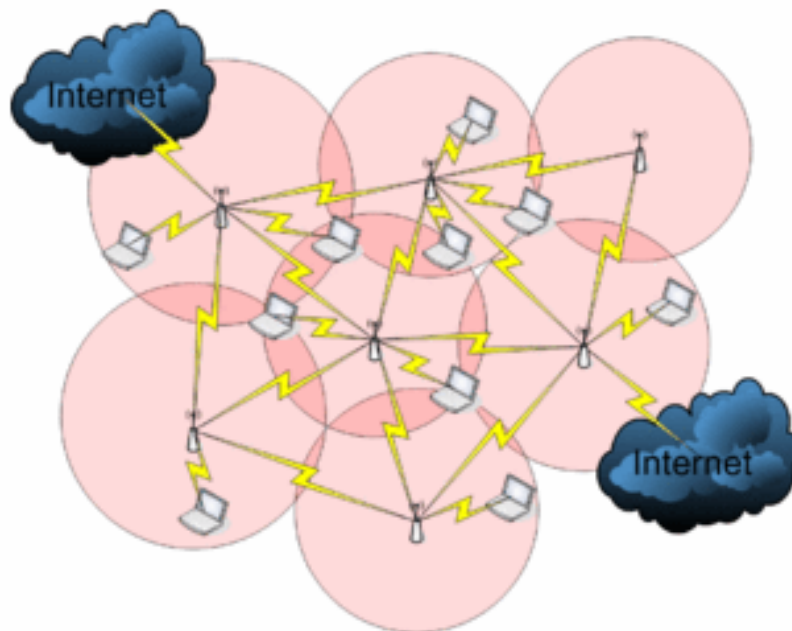


Figura 3.1.22 Red Mesh

Para identificar los puntos de acceso y las estaciones WiFi hacemos uso de direcciones e identificadores:

- Direcciones MAC (MAC – Media Access Control – Address):

Es un número de 48 bits asignado por el fabricante a los dispositivos inalámbricos: Puntos de Acceso, tarjetas WiFi, USBs WiFi, etc. Aunque está grabado en el hardware, se puede modificar por software.

- SSID (Service Set Identifier):

Cada punto de acceso (PA) tiene uno de hasta 32 bytes. Sirve para identificar a la red inalámbrica.

- IBSS (Independen Basic Service Set):

Identifica a las redes Ad-Hoc pues hay que recordar que en éstas no hay Punto de Acceso.

Hay que seguir estas normas de configuración:

Puntos de acceso:

- SSID idéntico.
- Canales distintos, por ejemplo 1, 7 y 13.
- Si se utiliza el filtraje de direcciones MAC, debe configurarse la dirección MAC de los sistemas móviles en todos los puntos de acceso.

Sistemas móviles:

- El mismo SSID que en la configuración de los puntos de acceso.
- Si se ha configurado la encriptación WEP, WAP, o WAP2, el sistema móvil debe utilizar la misma clave que los puntos de acceso.

Seguridad

Antes de desarrollar este punto hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Todos los que estén en un radio de 100 metros aproximadamente son intrusos potenciales.
- La información se transmite por el aire y, por lo tanto, puede ser "vista" por cualquiera que esté dentro de un radio de 100 metros.
- Nuestros usuarios pueden conectarse a redes que se encuentren abiertas, por confusión o voluntariamente, en el radio de 100 metros y esto puede ser muy peligroso para la seguridad de nuestra organización.
- Cualquier "vecino" puede captar los login y las contraseñas cuando los usuarios intentan conectarse.

Existen varios métodos para proporcionar seguridad:

- Filtrado de direcciones MAC/ MAC Address:

Consiste en suministrar a cada Punto de Acceso Inalámbrico un listado de las direcciones MAC de los equipos que están autorizados a conectarse a la red. De esta manera los equipos que no figuren en la lista serán rechazados. Las desventajas de este método son las siguientes:

1. Si hay muchos Puntos de Acceso en la organización se producen errores al teclear la dirección MAC repetidamente en todos los Puntos de Acceso. Esto producirá inconvenientes con los usuarios "legales" que son rechazados. Además es muy trabajoso.
2. Como se vio, la transmisión de la información en WiFi se hace por medio de paquetes. En muchos de estos figura el Mac Address, que generalmente no va encriptada, y obviamente puede ser capturada por un hacker. Existen programas en Internet que permiten "imitar" y reemplazar esta Dirección MAC. Si esta es capturada por un hacker, toda la seguridad del sistema queda desarticulada.
3. La Dirección MAC, es una característica del hardware (no del usuario). Si el hardware (PC, PDA, USB, etc.) se pierde o es robado, el que lo encuentre podrá tener libre acceso a la red inalámbrica WiFi pues pasaría el control del filtro.

- WEP (Wired Equivalent Privacy)

La idea de los promotores del estándar 802.11b consistía en encriptar el tráfico entre Puntos de Acceso y estaciones móviles y compensar así la falta de seguridad que se obtiene al enviar la información por un medio compartido como es el aire. Es así como, todos los Puntos de Acceso y dispositivos WiFi incluyen la opción de encriptar las transmisiones con el Protocolo de Encriptación WEP.

¿Cómo Funciona el Mecanismo de Encriptación WEP? Brevemente diremos que hay que establecer una clave secreta en el Punto de Acceso, que es compartida con los clientes WiFi. Con esta clave, con el algoritmo RC4 y con un Vector de Inicialización (IV) se realiza la encriptación de los datos transmitidos por Radio Frecuencia.

A medida que fue aumentando la difusión de las Redes Inalámbricas WiFi, se fueron detectando graves problemas de seguridad informática en el Protocolo de Encriptación WEP:

1. El Vector de Inicialización (IV), es demasiado corto pues tiene 24 bits y esto ocasiona que en redes inalámbricas WiFi con mucho tráfico se repita cada cierto tiempo.
2. Hay algunos dispositivos clientes (tarjetas, USB) muy simples que el primer Vector de Inicialización que generan es cero y luego 1 y así sucesivamente. Es fácil de adivinar.
3. Las claves que se utilizan son estáticas y se deben cambiar manualmente. No es fácil modificarlas frecuentemente.
4. No tiene un sistema de control de secuencia de paquetes. Varios paquetes de una comunicación pueden ser robados o modificados sin que se sepa.

Esta situación generó la aparición de múltiples aplicaciones capaces de crackear la seguridad WEP en poco tiempo. Según la capacidad de los equipos utilizados, la habilidad del hacker y el tráfico de la red inalámbrica WiFi, se puede tardar desde 15 minutos a un par de horas en descifrar una clave WEP.

- WPA (WiFi Protected Access)

Es un nombre comercial que promueve la WiFi Alliance. La parte técnica está definida y estipulada en el estándar de seguridad IEEE 802.11i.

La WiFi Alliance, estaba interesada en buscar una rápida solución a los inconvenientes de WEP. Además se buscaba que la solución WPA, funcionara con los Puntos de Acceso y dispositivos WiFi, ya vendidos a miles y miles de usuarios. Por este motivo se decidió desarrollar dos soluciones. Una rápida y temporal que se denominó WPA y otra más definitiva para aplicar en nuevos Puntos de Acceso, y no en los existentes, que se llamó WPA2.

Los Puntos de Acceso existentes hasta ese momento (2001/2002) ya tenían la capacidad de su hardware ocupada al 90% con diversas funciones, por lo tanto cualquier modificación que se le hiciera al WEP, no podría requerir mucha capacidad de proceso.

Se desarrolló un protocolo temporal denominado TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) que es una "envoltura" del WEP y es conocido como WPA. El WPA (primera fase del estándar 802.11i) fue aprobado en Abril de 2003. Desde Diciembre de 2003 fue declarado obligatorio por la WiFi Alliance. Esto quiere decir que todo Punto de Acceso Inalámbrico que haya sido certificado a partir de esta fecha, ya debe soportar "nativamente" WPA. Todo Punto de Acceso anterior a Diciembre de 2003 puede soportar "nativamente" sólo WEP.

Las mejoras de WPA con respecto a WPE son las siguientes:

- Se incrementó el Vector de Inicialización (IV) de 24 bits a 48.
- Se añadió una función MIC (Message Integrity Check) para controlar la integridad de los mensajes. Detecta la manipulación de los paquetes.
- Se reforzó el mecanismo de generación de claves de sesión

Existen 2 versiones de WPA, una "home" o "Personal" que es para uso casero y de pymes, y otra más robusta denominada "Enterprise". No vienen activadas por defecto y deben ser activadas durante la configuración. Los Puntos de Acceso antiguos "emparchados" o actualizados de WEP a WPA se vuelven más lentos, generalmente y, si bien aumenta la seguridad, disminuye el rendimiento.

- WPA2

WPA2, es el nombre que le dio la WiFi Alliance a la segunda fase del estándar IEEE 802.11i. La seguridad es muchísimo más robusta que la que ofrece WPA. WPA2 ya no se basa en un parche temporal sobre el algoritmo RC4 y, en su lugar, utiliza el algoritmo de encriptación AES - recomendado por el NIST (Instituto Nacional de Estándares y tecnología), de los más fuertes y difíciles de crackear en la actualidad. Este algoritmo de encriptación requiere un hardware más robusto, por lo tanto los Puntos de Acceso antiguos no se pueden utilizar con WPA2. WPA2 es requisito obligatorio para todos los productos WiFi, desde Marzo de 2006.

Hay que tener mucho cuidado con productos anteriores a esas fechas, pues no son capaces de soportar WPA2. La implementación de protección que se aplica en el estándar de seguridad WiFi 802.11i, se conoce con el acrónimo CCMP y está basada, como ya se comentó, en el algoritmo de encriptación AES. El cifrado que se utiliza es simétrico de 128 bits y el Vector de Inicialización (IV) tienen una longitud de 48 bits.

El nuevo estándar exigió cambios en los paquetes que utilizan las redes inalámbricas WiFi para transmitir la información. Por ejemplo en los paquetes de "Beacons" o "Association Request" hubo que incluir datos sobre el tipo de encriptación: WEP, TKIP, CCMP, o sobre el tipo de autenticación: 802.1x (que ahora veremos) o contraseña. Esto explica una vez más, porque los Puntos de Acceso y dispositivos Palm o PDA muy antiguos no funcionan con WPA2.

Para finalizar, al igual que con WPA, existen 2 versiones: "WPA2 Personal" que sólo requiere contraseña y "WPA2 Enterprise" que requiere 802.1x y EAP. En el momento de la configuración se debe estipular cual se va a utilizar.

- VPN

Las VPN son una herramienta diseñada para proteger las comunicaciones. Las VPN crean un túnel criptográfico entre 2 puntos. La encriptación se realiza mediante el protocolo IPSec de la IETF (*Internet Engineering Task Force*, en castellano Grupo de Trabajo en Ingeniería de Internet).

Cuando se empezó a tomar conciencia de la fragilidad de la seguridad WiFi debido a las carencias del protocolo WEP, en algunos sectores se difundió el uso de VPN para reforzar la encriptación. Se "tira" un túnel entre el cliente de la red inalámbrica WiFi y el servidor. De esta manera, queda protegida la conexión con IPSec que es un método de encriptación robusto y muy difícil de hackear. En la figura se ve

un ejemplo donde se sigue utilizando el protocolo WEP. Esto es opcional, pues WEP no añade seguridad adicional a IPSec.

La utilización de las VPN añade bastante seguridad a las redes inalámbricas pero tiene ciertas desventajas:

1. Para un número grande de clientes WiFi, suele ser una solución bastante costosa.
2. Ayudaron bastante a mejorar la seguridad WEP, pero ahora que existe WPA y WPA2 no hacen falta.
3. Están diseñadas para proteger a partir de la capa 3 del modelo OSI, pero las redes inalámbricas WiFi (802.11) funcionan en la capa 2.

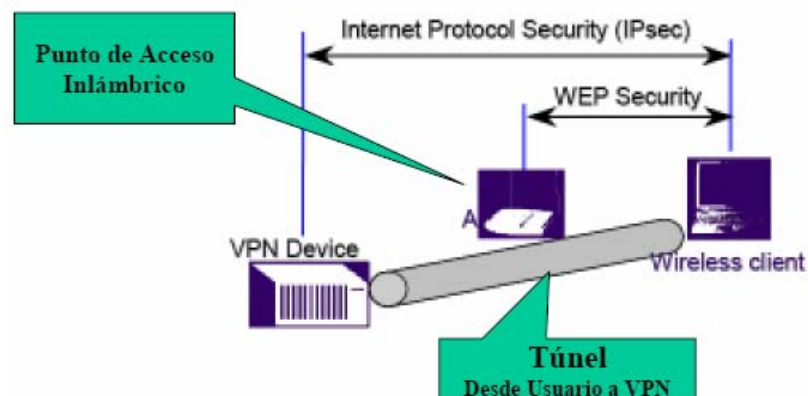


Figura 3.1.23 Red Privada Virtual

- ESTÁNDAR IEEE 802.1x

Durante los primeros años de este siglo (XXI), cuando sólo existía la encriptación WEP y antes de que fuera desarrollado el estándar de seguridad 802.11i con la encriptación WPA y WPA2, el IEEE comenzó a buscar soluciones que fueran capaces de mejorar la Seguridad WiFi. El resultado buscado se consiguió adaptando el estándar 802.1x que se había aprobado en 2001 para redes cableadas. En 2004 se finalizó la adaptación para redes inalámbricas WiFi. Este estándar de seguridad en redes se basa en el control de acceso a puertos.

El 802.11i está basado en el componente de autenticación 802.1x.

El estándar 802.1x constituye la columna vertebral de la seguridad WiFi y es imprescindible y muy recomendable su utilización en toda red empresarial que pretenda lograr una

seguridad robusta. El estándar 802.1x introduce importantes cambios en el esquema de seguridad WiFi.

- Se necesita autenticar a los usuarios antes de conectarse a una red inalámbrica WiFi.
- La autenticación se realiza con un protocolo conocido como EAP (Extensible Authentication Protocol). Existen varias versiones de EAP: LEAP, TLS, TTLS, PEAP, FAST.
- La autenticación se realiza mediante un servidor de tipo RADIUS.

En comparación con otros modelos hay que resaltar algunos cambios de fundamental importancia:

En el esquema de 802.1x, se autentica al usuario y no al dispositivo, como se hacía, por ejemplo en el filtrado de Direcciones MAC (MAC Address). Esto es muy importante porque impide que se pueda entrar a la red, aún cuando a uno le roben o pierda su ordenador portátil o PDA. La otra diferencia importante es que con 802.1x, el Punto de Acceso no puede "autorizar" a nadie el acceso a la red. La función de autorización recae en el servidor RADIUS.

En 802.1x el puerto no se abre y no se permite la conexión hasta que el usuario está autenticado. El estándar define 3 elementos:

1. Servidor de Autenticación: Es el que verificará las credenciales de los usuarios. Generalmente es un servidor RADIUS.
2. Autenticador: Es el dispositivo que recibe la información del usuario y la traslada al servidor de autenticación (esta función la cumple el Punto de Acceso)
3. Suplicante: Es una aplicación "cliente" que suministra la información de las credenciales del usuario al Autenticador.

Transmisión de la información

La información se envía en paquetes. El estándar IEEE 802.11 WiFi define distintos tipos de paquetes con diversas funciones. Veremos una muy breve descripción de los mismos. Hay 3 tipos diferentes de paquetes:

- Los *paquetes de Management* establecen y mantienen la comunicación. Los principales son: "Association request", "Association response", "Beacon", "Probe request", "Probe response" "Autenticación", etc.
- Los *paquetes de Control* ayudan en la entrega de datos. Tienen funciones de coordinación.
- Los *paquetes de Datos* contienen la dirección MAC del remitente y destinatario, el SSID, etc.

a) Paquetes de Management

Association Request:

Incluye información necesaria para que el Punto de Acceso considere la posibilidad de conexión. Uno de los datos es el SSID de la red inalámbrica WiFi o del Punto de Acceso al que se intenta conectar.

Association Response:

Es el tipo de paquete que envía el Punto de Acceso para avisar de la aceptación o denegación del pedido de conexión.

Beacon:

Periódicamente los Puntos de Acceso inalámbricos WiFi, envían "señales", como los faros, para anunciar su presencia y que todas las estaciones que estén en el rango (100 metros, aproximadamente) sepan que Puntos de Acceso están disponibles. Estos paquetes se denominan "Beacons" y contienen varios parámetros, entre ellos el SSID del Punto de Acceso.

Authentication:

Es el paquete por el cual el Punto de Acceso Inalámbrico acepta o rechaza a la estación que pide conectarse. Como vimos en la parte de seguridad WiFi, hay redes inalámbricas WiFi abiertas donde no se requiere autenticación y las redes inalámbricas protegidas donde se intercambian varios paquetes de autenticación con "desafíos" y "respuestas" para verificar la identidad del cliente.

Disassociation:

Es un tipo de paquete que envía la estación cuando desea terminar la conexión, de esta manera el Punto de Acceso Inalámbrico sabe que puede disponer de los recursos que había asignado a esa estación.

No obstante existen algunos tipos más de paquetes de Management, pero los más relevantes son los que se acaban de mencionar.

b) Paquetes de Control

Request to Send (RTS):

Su función es la de evitar colisiones. Es la primera fase antes de enviar paquetes de datos.

Clear to Send (CTS):

Tiene la función de responder a los RTS. Todas las estaciones que captan un CTS, saben que deben esperar un tiempo para transmitir pues alguien está ya usando el canal. Existe un tiempo de espera (slot time) que es distinto para el estándar WiFi 802.11b y para el estándar WiFi 802.11g.

Acknowledgement (ACK):

La estación receptora del paquete enviado, chequea el paquete recibido por si tiene errores. Si lo encuentra correcto, envía un "ACK" con lo cual el remitente sabe que el paquete llegó correcto, pues si no, lo debe enviar otra vez. Una vez que las demás estaciones captan el ACK, saben que el canal está libre y pueden intentar ellas enviar sus paquetes

c) Paquetes de Datos:

Estos paquetes llevan mucha información de tipo "administrativa" y, además los datos que queremos transmitir a través de la red inalámbrica WiFi.

Generalmente la red inalámbrica WiFi debe utilizar muchísimos paquetes de datos, para transmitir un archivo de datos. Mucho más aún cuando lo que se desea transmitir es vídeo. Los paquetes de datos WiFi, tienen muchos campos con información necesaria para la transmisión. Uno de ellos es la "Mac Adress" de la estación receptora y del remitente, el BSSID, el número de secuencia de ese paquete, etc.

Pérdidas de la señal

Las ondas de RF transmitidas por las redes inalámbricas WiFi son atenuadas e interferidas por diversos obstáculos y "ruidos".

En un espacio sin obstáculos, la pérdida de propagación, se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$L_p = 92.4 + 20 \cdot \log_{10}(d_{km}) + 20 \cdot \log_{10}(f_{GHz})$$

El valor de la frecuencia depende del canal en el que se tenga configurado el equipo.

Para añadir pérdidas debidas a diversos obstáculos, podemos hacer uso del modelo de Egli, que nos calcula una rápida aproximación:

$$L = G_t \times G_r \times \left(\frac{h_t \times h_r}{d^2} \right)^2 \times \left(\frac{40}{f} \right)^2$$

Estudiaremos ahora las pérdidas producidas por difracción, porque serán las que van a determinar las pérdidas totales de nuestro caso de estudio:

Difracción

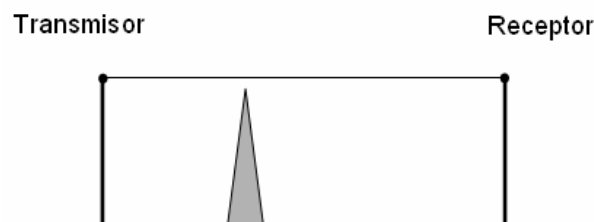


Figura 3.1.24 LOS

Aparentemente este obstáculo no produce difracción en la señal, sin embargo el siguiente estudio confirmará lo contrario.

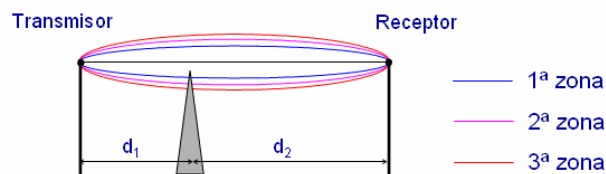


Figura 3.1.25 LOS con difracción

Si el obstáculo está dentro de la primera zona de Fresnel, las pérdidas por difracción van a ser importantes.

Zonas de Fresnel:

$$R_n = \sqrt{\frac{n \times \lambda \times d_1 \times d_2}{d}}$$

Como ya hemos mencionado la más importante va a ser la primera zona.

$$R_1(m) = 548 \sqrt{\frac{d_1(Km) \times d_2(Km)}{f(MHz) \times d(Km)}}$$

Si el obstáculo está dentro de la primera zona de Fresnel y:

- Si el obstáculo es agudo y aislado,

Despejamiento normalizado:

$$v = \sqrt{2} \times \frac{h}{R_1} = 2.58 \cdot 10^{-3} \times \sqrt{\frac{f \times d}{d_1 \times d_2}} \times h$$

Y las pérdidas por difracción serán

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log_{10} \left(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right)$$

- Si el obstáculo es redondeado se aplica una corrección respecto al obstáculo agudo, añadiéndole unas pérdidas extras.

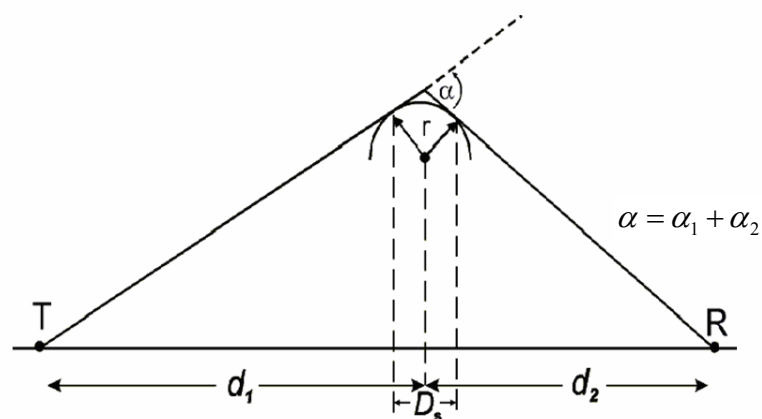


Figura 3.1.26 Obstáculo redondeado

$$L_{extra} = 11.7 \times \alpha \times \sqrt{\frac{\pi r}{\lambda}} \quad r = \frac{2 \times d_s \times d_1 \times d_2}{\alpha \times (d_1^2 + d_2^2)}$$

- Si hay varios objetos se calculan las atenuaciones por separados y se aplica un término de corrección.

Veamos ahora un gráfico que refleja la evolución del ancho de banda de un enlace WiFi a medida que aumentamos la distancia.

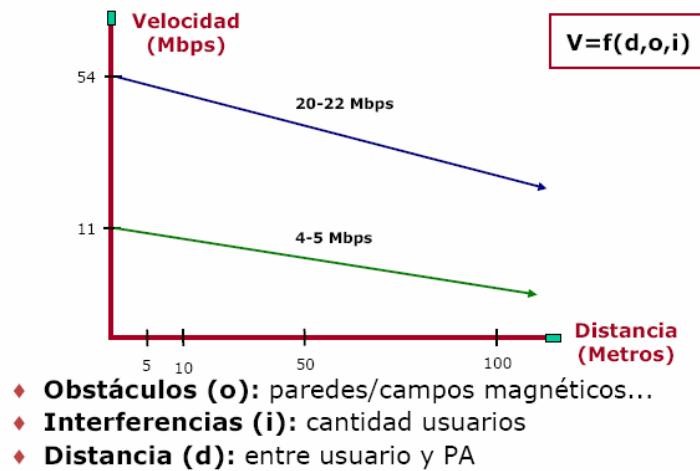


Figura 3.1.27 Pérdidas WiFi

En el gráfico se muestra como en las redes inalámbricas WiFi van decreciendo las velocidades de transmisión a medida que nos alejamos del Punto de Acceso Inalámbrico. Esto se debe a que paredes y transmisiones de otros equipos van atenuando la señal. Como se ve en la figura, las velocidades promedio del estándar 802.11b son de 4-5 Mbps y no de 11 Mbps como muchos creen. De la misma manera, las velocidades promedio del estándar WiFi 802.11g son de 20-22 Mbps y no 54 Mbps.

En el gráfico vemos también un recuadro con una función que conviene recordar: La velocidad de transmisión de una red inalámbrica WiFi, será función de la distancia, los obstáculos y las interferencias.

Los factores de Atenuación e Interferencia de una red inalámbrica WiFi 802.11b o 802.11g son:

- Tipo de construcción
- Micro-ondas
- Teléfonos fijos inalámbricos
- Dispositivos Bluetooth
- Elementos metálicos como escaleras de emergencia y armarios
- Peceras
- Humedad ambiente
- Tráfico de personas

Hay que aclarar que la lista anterior es válida para el estándar WiFi 802.11b y el estándar WiFi 802.11g. En cuando al estándar WiFi 802.11a, si bien el concepto teórico de obstáculos e interferencias es similar, en la práctica existen varias diferencias, que en general son ventajas. Como se explicó ésta tecnología utiliza una banda de frecuencia superior a 5 GHz que aún está muy poco "poblada" o utilizada. Por ejemplo, las interferencias de Micro-ondas, Dispositivos Bluetooth y Teléfonos fijos Inalámbricos, aquí no existen y por lo tanto es más fácil "estabilizar" una red inalámbrica WiFi que se base en el estándar WiFi 802.11a.

Roaming

Los Puntos de Acceso Inalámbricos tienen un radio de cobertura aproximado de 100 metros, aunque esto varía bastante en la práctica entre los distintos modelos y según las condiciones ambientales y físicas del lugar (obstáculos, interferencias, etc.). Si nos interesa permitir la itinerancia (roaming) y movilidad de los usuarios, es necesario colocar los Puntos de Acceso de tal manera que haya superposición entre los radios de cobertura.

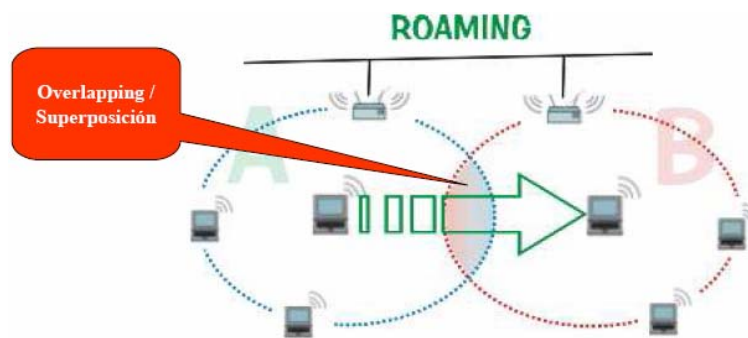


Figura 3.1.28 Roaming

Vemos la zona de superposición indicada por la flecha roja y como es posible desplazarse de A a B, sin perder la señal de WiFi. El usuario está conectado inicialmente al Punto de Acceso A y en un determinado momento pasa a recibir la señal del Punto de Acceso B. Veremos como funciona este proceso.

a) El Roaming y los Paquetes Beacons.

1. Como se vio en "Transmisión de la Información" en WiFi, los Puntos de Acceso Inalámbricos emiten de forma intermitente unos paquetes denominados Beacons. Cuando una estación se aleja demasiado de un Punto de Acceso, "pierde la señal", es decir que deja de percibir estos Beacons que le indican la presencia del Punto de acceso.
2. Si hay superposición, se comienzan a captar los Beacons del otro Punto de Acceso, hacia el cual se está dirigiendo, a la vez que se van perdiendo gradualmente los del anterior.

b) El Roaming y los Paquetes ACK

1. También se vio en "Transmisión de la Información" en WiFi, que una vez que se envía un paquete de datos en las redes inalámbricas WiFi, la estación receptora envía un "O.K", denominado ACK. Si la estación emisora se aleja demasiado de la transmisora, es decir que sale del radio

de cobertura, no captará los ACK enviados.

2. Los equipos de WiFi incorporan un algoritmo de decisión que debe determinar en que momento se desconectan del Punto de Acceso A y se conectan al Punto de Acceso B, como se ve en la figura.

c) La problemática del Roaming

El estándar 802.11 WiFi, no contiene instrucciones detalladas sobre el tema del roaming, por lo tanto cada fabricante diseña el algoritmo de decisión según su criterio y con los parámetros que estima convenientes. Por esta razón pueden existir problemas, sobre todo en grandes ambientes, al mezclar Puntos de Acceso de diferentes fabricantes o Puntos de Acceso de un fabricante con dispositivos móviles de otras marcas. Cada uno tendrá otro algoritmo de decisión y pueden producirse "desavenencias" en el roaming.

Cálculo de usuarios por punto de acceso

A medida que se conecten más usuarios irá repartiéndose el ancho de banda entre todos y si el ancho de banda disponible para cada uno disminuye demasiado, la conexión será de muy baja calidad.

Para hacer esta estimación es necesario conocer antes el perfil de los usuarios y qué tipo de aplicaciones utilizan pues el consumo de ancho de banda puede variar muchísimo entre los que cargan y descargan archivos de Autocad, o gráficos y los que sólo utilizan la red para consultas o archivos de texto.

Una vez que se establece el ancho de banda que necesita cada grupo de usuarios (contabilidad, ingeniería, diseñadores, etc.) hay que analizar el porcentaje de uso de la red, pues los vendedores, por ejemplo, quizás están gran parte de la jornada hablando por teléfono o visitando clientes y utilizarán la red, unos pocos instantes al día.

Fórmula para Calcular Cantidad de Puntos de acceso necesario:

$$\frac{\text{Ancho de Banda} \times \text{N}^\circ \text{ de Usuarios} \times \% \text{ utilización}}{\text{Velocidad Programada}}$$

Ejemplo de Cálculo en una Red WiFi 802.11b / 802.11g:

- Ancho de Banda que se desea para cada usuario: *1 Mbps*
- Número de usuarios: *100*
- Utilización promedio de la red: *25%*
- Velocidad estimada: *5.5 Mbps*

Cálculo:

$$\frac{1\text{Mbps} \times 100\text{usuarios} \times 0.25}{5.5\text{Mbps}} = 4.5 \text{ Puntos acceso,}$$

O sea que para estos requerimientos harían falta 5 Puntos de Acceso.

Aplicaciones

Enumeremos algunas de de las aplicaciones posibles de ésta tecnología:

- Servicios de redes privadas empresariales: redes privadas corporativas en su extensión inalámbrica, universidades y entornos educativos o campus que crean una red extendida con fines didácticos, bibliotecas que ofrecen nuevas posibilidades ligadas a la cultura...
- Usos personales o redes comunitarias entre particulares: usos típicamente domésticos para la interconexión de ordenadores personales.
- Motivos arquitectónicos (leyes urbanísticas, protección de edificios históricos, etc.): Las soluciones inalámbricas disponen de una fácil implantación y de una gran rentabilidad. El uso de sistemas cableados puede suponer un problema en aquellos casos de edificios ya construidos, las leyes urbanísticas y las ordenanzas municipales destinadas a la protección de edificios históricos pueden multiplicar los costes y causar problemas técnicos al encargado de implantar las redes cableadas.
- Hot Spot: Se corresponde con la creación de redes electrónicas inalámbricas para la prestación de servicios, fundamentalmente acceso a Internet, en ubicaciones específicas donde se concentra un gran número de clientes potenciales, en lugares de tránsito o vía pública. Típicamente este tipo de puntos de servicio se localizan en aeropuertos, estaciones de tren, centros comerciales, hoteles, metros, centros de convenciones, cafés o restaurantes.

Hay disponibles mapas de las ciudades en los que se indica dónde están los puntos de acceso o *hot spot* (puntos calientes), y si la red es abierta o cerrada, como este mapa WiFi de Nueva York. Los mapas los confeccionan voluntarios que circulan en su coche con un portátil WiFi y un GPS, detectando puntos de acceso. A esta actividad se la llama *wardriving*.

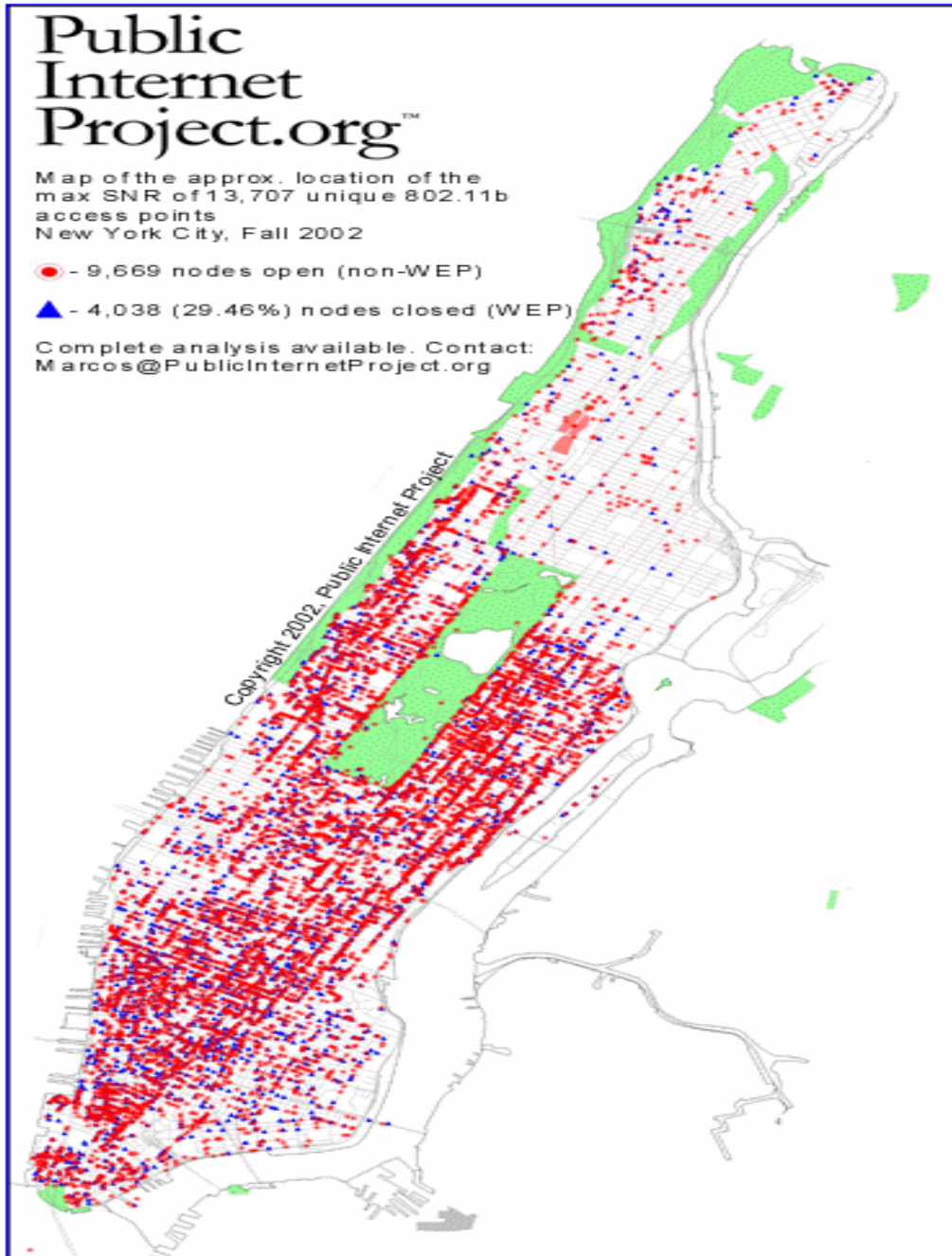


Figura 3.1.29 Hot spot de NY

3.2 WiMAX

Introducción

La tecnología WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es un estándar de redes inalámbricas que trata la interoperabilidad de los productos basados en el estándar IEEE 802.16. La tecnología WiMAX ofrece más alcance y ancho de banda que la familia de estándares de WiFi y ofrece una alternativa inalámbrica a las instalaciones backhaul por cable y a las de última milla, a parte de ofrecer áreas de cobertura extensas.

- Backhaul. Usa antenas punto a punto para conectar sitios de abonados entre sí y a las estaciones base en largas distancias.
- Última milla. Usa antenas punto a multipunto para conectar abonados domésticos o de empresas a la estación base.
- Acceso de cobertura de áreas extensas. Usa estaciones base, estaciones de abonados, y soluciones WiFi, como las redes de malla, para cubrir un área extensa y proveer acceso a clientes 802.16e-2005.

Si con un punto de acceso WiFi podemos proporcionar acceso, a un radio de unos quinientos metros en condiciones ideales con una velocidad típica de entre 11 y 54 Mbps, WiMAX está pensado para proporcionar radios de cincuenta kilómetros con velocidades de 70 Mbps. De metros cuadrados en WiFi, a kilómetros cuadrados en WiMAX. Lo que en WiFi es un equipo de bajo coste propiedad de una persona, en WiMAX es un punto de acceso en un lugar elevado, y propiedad de una compañía. Si WiFi es comparable a una LAN, o red de área local, WiMAX es una MAN, o red de área metropolitana. El desarrollo de WiMAX no es algo que sustituya a WiFi o compita con ello, sino algo complementario: una red WiMAX se puede utilizar para proporcionar acceso inalámbrico a una zona amplia en la que se despliegan redes WiFi, solucionando así la dificultad del acceso al último tramo hasta el domicilio del usuario.

WiMAX presenta grandes ventajas con respecto a otras WMAN, como el LMDS, tanto en la dimensión tecnológica como en el precio, puesto que los costes de las estaciones base son considerablemente más bajos para este nuevo sistema; por otra parte, LMDS también se ha visto frenada por la falta de normas uniformes. De la misma manera WiMAX es una tecnología que puede transmitir sin mucha latencia que es el problema de las tecnologías basadas en satélite, en las que las transmisiones de voz y video se ven afectadas.

WiMAX está siendo desarrollado y promovido por el grupo de la industria WiMAX, cuyo nombre como todos conocemos, es WiMAX Forum (<http://www.wimaxforum.org/home>); Intel y Nokia son sus dos miembros más representativos.

WiMAX Forum es una corporación sin ánimo de lucro que lidera la industria, cuya misión principal es promover y certificar la compatibilidad e

interoperabilidad de los productos radio de banda ancha soportando aplicaciones fijas, nómadas y móviles de banda ancha metropolitanas según las especificaciones IEEE 802.16 y ETSI HiperMAN wireless MAN. Como sucedió con la marca WiFi, que garantiza la interoperabilidad entre distintos equipos la etiqueta WiMAX se asociará globalmente con el propio nombre del estándar.



Figura 3.2.1 Logotipo WiMAX

Las posibilidades de proporcionar banda ancha mediante tecnologías como WiMAX han llamado la atención de numerosos emprendedores e instituciones. La tecnología WiMAX puede ser un arma poderosísima para que un país consiga popularizar el acceso a las redes de información. Algunas ciudades o países han visto la oportunidad de reducir la llamada "brecha digital", de dar acceso a todo su territorio de manera sencilla y con un coste de despliegue reducido. En muchas economías desarrolladas, este acceso es proporcionado principalmente por el sector privado en condiciones de competencia eficaz, y cuenta con el apoyo de las instituciones únicamente ante fracasos del mercado, o en regiones donde su explotación no resulta económicamente viable.

Estándares relacionados

Es fácil encontrar el término preWiMAX en distintas publicaciones, sobre todo las de hace unos años. La tecnología preWiMAX es aquella que no se basa en los estándares de WiMAX, sino que es propia de cada fabricante. Los sistemas preWiMAX deben migrar hacia productos certificados y que tengan la interoperabilidad garantizada por pruebas, sean ellos compatibles con el estándar fijo, que ya tengan productos disponibles en el mercado, o con estándar móvil.

En la siguiente tabla mostramos los estándares más conocidos:

Estándar WIMAX	Aprobado	Frecuencia	Finalidad
IEEE 802.16	Dec. 2001	10 - 66 GHz	
IEEE 802.16a	Ene. 2003	2 - 11 GHz	Banda Ancha Fija
IEEE 802.16-2004	Jun. 2004	2 - 66 GHz	Soporte para Usuarios
IEEE 802.16e-2005	Dec. 2005	2 - 6 GHz	Añadir Movilidad

Tabla 3.2.1 Estándares WiMAX

Es importante mencionar que existe un estándar similar a 802.16 que es el HiperMAN, generado por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute). La estandarización se centra en soluciones de banda ancha optimizadas para el acceso en bandas de frecuencias inferiores a los 11 GHz (principalmente en la banda de los 3.5 GHz). Más concretamente, éste estándar opera entre el rango de frecuencias de 2 a 11 GHz y está optimizado para redes de conmutación de paquetes, soportando aplicaciones fijas y móviles, y orientado sobre todo a usuarios residenciales y pequeños/medianos negocios.

HiperMAN se ha desarrollado con una gran cooperación del estándar 802.16 ya que posee las mismas capas física y MAC, del tal forma que el estándar HiperMAN y el estándar 802.16a son interoperables entre sí, por lo que ambas comparten ventajas e inconvenientes. HiperMAN es capaz de soportar ATM, aunque el objetivo principal es el tráfico IP. Éste ofrece varias categorías de servicio, calidad de servicio completa (QoS), una fuerte seguridad, adaptación rápida de la codificación, modulación y potencia a transmitir según las condiciones de propagación y permite la conexión entre dispositivos que no se encuentren en la misma línea de visión.

Actualmente los dos estándares 802.16 más utilizados son los siguientes:

- Fijo

El estándar 802.16-2004 utiliza frecuencias bajas lo que le permite trabajar sin visión directa, funciona desde 2.5 GHz licenciado, 3.5 GHz licenciado y 5.8 GHz exento de licencia. Esta tecnología provee una alternativa inalámbrica al módem cable y las líneas digitales de suscriptor de cualquier tipo (xDSL).

El estándar 802.16-2004 del IEEE mejora la entrega de última milla en varios aspectos cruciales:

- La interferencia del multicamino.
- El retraso difundido.
- La robustez.

El estándar del 802.16d usa:

- OFDM 256 FFT
- OFDMA 2048 FFT

- Móvil

El estándar del 802.16e-2005 del IEEE es una revisión para la especificación base 802.16-2004 que apunta al mercado móvil añadiendo portabilidad y capacidad para clientes móviles con IEEE.

El estándar del 802.16e usa:

- OFDM 256 FFT
- OFDMA 2048 FFT
- sOFDMA 1024 FFT
- sOFDMA 512 FFT
- sOFDMA 128 FFT

Fundamentos

La siguiente figura nos muestra las capas del modelo OSI:



Figura 3.2.2 Capas modelo OSI

La **capa física** y la **capa MAC** (subcapa de la capa de enlace). Serán las que estudiaremos, ya que son en las que se centra el 802.16.

1. La capa física de 802.16:

En la capa física, el flujo de datos esta formado por una secuencia de ráfagas de igual longitud. Los modos de operación FDD y TDD, se consideran tanto como para Uplink (UL) y Downlink (DL).

En el modo FDD (Frecuency Division Duplex), las subráfagas de UL y DL, son transmitidas simultáneamente y sin interferencia, gracias a que estas son transmitidas a distintas frecuencias. En el modo TDD (Time Division Duplex), las subráfagas de UL y DL son transmitidas de manera consecutiva. Puede usarse 0.5, 1 ó 2 milisegundos como tiempo de ráfaga. En este modo las posiciones de DL y UL pueden variar. En el siguiente gráfico se muestra la secuencia de las ráfagas.

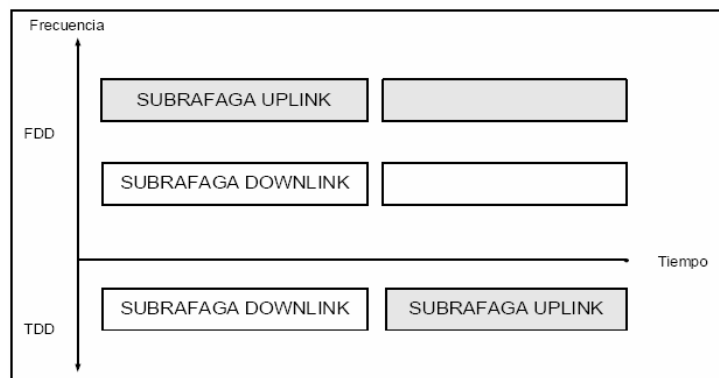


Figura 3.2.3 Secuencia ráfagas

Veamos en el siguiente cuadro una comparativa de ambos modos.

	<i>TDD</i>	<i>FDD</i>
<i>DESCRIPCIÓN</i>	Técnica de duplexación usada en soluciones exentas de licencia y que usa un solo canal para uplink y para el downlink.	Técnica de duplexación usada en soluciones con licencia que usa un par de canales de espectro; uno para uplink y otro para downlink.
<i>VENTAJAS</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad mejorada porque no se requiere espectro en pares. • Asimétrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología probada para voz. • Diseñada para tráfico simétrico. • No requiere tiempo de guarda.
<i>DESVENTAJAS</i>	<ul style="list-style-type: none"> • No puede transmitir y recibir al mismo tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • No puede instalarse si le falta un par al espectro. • Generalmente el espectro tiene licencia. • Costo más elevado con relación a la compra del espectro.
<i>USO</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ambientes con diagramas de tráfico variables. • La eficiencia RF es más importante que el costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ambientes con diagramas de tráfico previsible. • El costo del equipo es más importante que la eficiencia RF.

Tabla 3.2.2 Tabla comparativa TDD y FDD

Las siguientes figuras representan el Hardware requerido para implementar TDD o FDD:

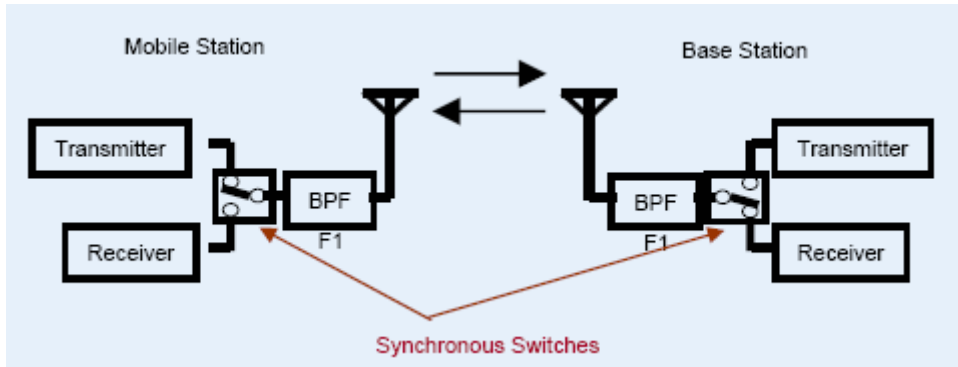


Figura 3.2.4 Hardware TDD

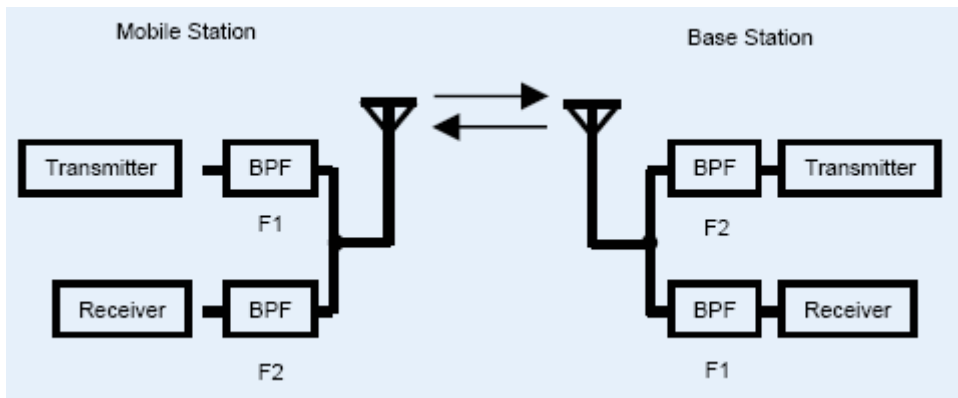


Figura 3.2.5 Hardware FDD

WiMAX dispone de diferentes especificaciones para la capa física PHY que pueden usar en conjunto con la capa MAC para dar una confiable conexión extremo a extremo:

- WirelessMAN-SC:
 - Diseñada para trabajar en frecuencias entre 10 y 66 GHz con condiciones de visibilidad directa (LOS).
 - Una portadora modulada QPSK, 16-QAM o 64-QAM con técnicas de corrección de errores (FEC). Modulación y FEC adaptativos.
 - Canales de 20, 25 o 28 MHz (TDD o FDD).

- WirelessMAN-SCA:
 - Diseñada para trabajar en condiciones de no visibilidad directa (NLOS) en frecuencias inferiores a los 11 GHz.
 - Modulación de *portadora única* BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM.
 - Aspectos clave:
 - FEC concatenado basado en códigos bloque RS (Reed Solomon) y códigos convolucionales. Posibilidad de usar turbo códigos. Modulación y FEC adaptativos.
 - Soporte para adaptación de técnicas AAS (Adaptative Antenna Systems).
 - Soporte de técnicas de retransmisiones ARQ.
 - Soporte para implementación de diversidad en retransmisión STC (Space Time Coding).
 - Perfiles definidos para:
 - Canales de 3.5 y 7 MHz en las bandas de 2.5 y 3.5 GHz (TDD y FDD).
 - Canales de 10 y 20 MHz en las bandas sin licencia de 5 GHz (TDD).

- WirelessMAN-OFDM:
 - Diseñada para trabajar en condiciones de no visibilidad directa (NLOS) en frecuencias inferiores a los 11 GHz.
 - Características:
 - Modulación OFDM de 256 puntos.
 - Modulaciones BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM *por portadora*.
 - Codificación FEC concatenada con códigos RS y convolucionales. La utilización de Turbo Códigos es opcional.
 - Soporte STC, AAS.
 - Soporte Modo MESH.
 - Subcanalización.
 - Canalización:
 - 1.75 MHz, 3 MHz, 3.5 MHz, 5 MHz, 5.5 MHz y 7 MHz en bandas con licencia (2.5 y 3.5 GHz).
 - 10 MHz en bandas sin licencia (5 GHz).

Formulación para calcular la tasa binaria, requerida en el caso de estudio:

$$R_b = \frac{N \cdot \log_2(M) \cdot c}{T_{OFDM}} \quad T_{OFDM} = T_g + T_s \quad T_s = \frac{N_{FFT}}{BW \cdot \alpha}$$

Donde,

N es el número de portadoras netas,

M es el número de niveles de modulación (64, 16, 4, 2),

c la tasa de código (1/2, 3/4, 2/3),

BW el ancho de banda del canal,

N_{FFT} es el tamaño de la FFT,

α es la relación entre la frecuencia de muestreo y BW (7/6, 8/7),

T_g es el tiempo de guarda,

T_s es el tiempo de símbolo.

Parámetros	Valores
FFT	256
Número subportadoras	200
Nº subportadoras de datos	192
Nº subportadoras piloto	8
Ancho de banda	10 MHz
Espacio entre subportadoras	44.4 KHz
Tiempo de símbolo útil (T_b)	22.4 μs
Tiempo de Guarda	$T_b/4, T_b/8, T_b/16, T_b/32$

Tabla 3.2.3 Datos técnicos OFDM en 5GHz

- WirelessMAN-OFDMA:
 - Características similares a WirelessMAN-OFDM:
 - OFDM de 256 puntos y *portadoras* QPSK, 16-QAM y 64-QAM.
 - Acceso múltiple OFDMA de 2048 portadoras.
 - Canalización:
 - 1.25, 3.5, 7, 8.75, 14, 17.5 y 28 MHz en bandas con licencia (son los más habituales).
 - 10 y 20 MHz en bandas sin licencia (5 GHz).

Como se puede observar el ancho de banda del canal puede ser cualquier número entero, múltiplo de 1.25 MHz, 1.5 MHz o 1.75 MHz.

Antes de continuar definamos brevemente en que consiste OFDMA:

Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA), es similar a OFDM en que divide en subportadoras múltiples. OFDMA, sin embargo, va un paso más allá agrupando subportadoras múltiples en subcanales. Una sola estación cliente del suscriptor podría usar todos los subcanales dentro del periodo de la transmisión, o los múltiples clientes podrían transmitir simultáneamente usando cada uno una porción del número total de subcanales.

Para el caso de OFDMA de 2048 puntos:

Parámetros	Down-link	Up-link
FFT	2048	2048
Portadoras utilizadas	1702	1696
Número de subcanales	32	32
Número de portadoras por subcanal	48	53 (5 pilotos)
Portadoras de datos	1536	1536
Número de pilotos	166	160
Portadoras de Guarda	173, 172	176, 175

Tabla 3.2.4 Datos técnicos OFDMA-2048

Hay que añadir que en el caso de WiMAX móvil (802.16e) la capa física está basada en esta última especificación y aparte, dicha capa incluye una mejora sobre OFDMA que es SOFDMA.

Algunas de las ventajas de SOFDMA sobre OFDMA son:

- Puede soportar distintos anchos de banda y de FFT.
- El espacio entre subportadoras es independiente del ancho de banda y la FFT.
- El tamaño de los subcanales también es independiente.
- La cantidad de subcanales varía con la FFT.

Parámetros	Valores				
Ancho de banda (MHz)	1.25	2.5	5	10	20
Frecuencia de muestreo (MHz)	1.43	2.86	5.71	11.4	22.8
FFT	128	256	512	1024	2048
Subportadoras de datos	96	192	384	768	1536
Subportadoras piloto constantes	1	8	6	11	24
Subportadoras piloto variables	9	-	36	71	142
Subportadoras de guarda	11, 10	28, 27	43, 42	87, 86	173, 172
Espacio entre subportadoras	11.16 KHz				
Tiempo de símbolo útil (T _b)	89.6 μ s				
Tiempo de Guarda	T _b /4, T _b /8, T _b /32				
Tiempo de símbolo OFDMA	100.8 μ s				
Número de símbolos OFDM	48				

Tabla 3.2.5 Datos técnicos SOFDMA

- WirelessHUMAN

No especifica ninguna capa física en particular sino que se adapta a las anteriores. Utiliza TDD e incluye como opciones AAS, ARQ, Mesh...

Estudiamos algunas características de la capa Física:

- NLOS versus LOS.

El canal radio de un sistema de comunicación inalámbrico es a menudo descrito como LOS o NLOS. En un enlace LOS, una señal viaja a través de un camino directo y sin obstáculos desde el transmisor al receptor. El enlace LOS requiere que la mayor parte de la primera zona de Fresnel este libre de cualquier obstrucción. (Ver la siguiente figura). Si este criterio no se cumple, entonces se produce una significativa reducción en el nivel de intensidad de la señal recibida.

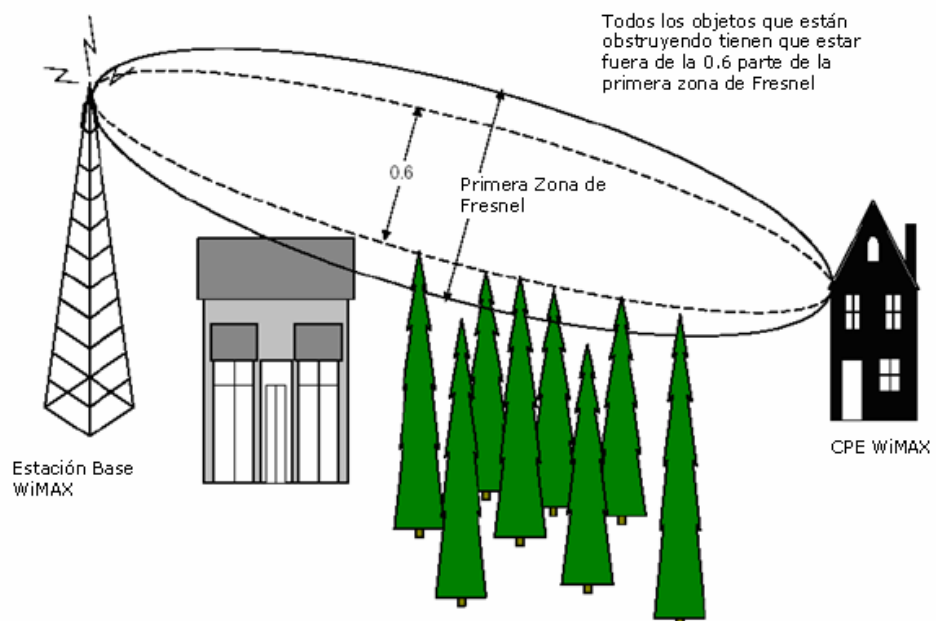


Figura 3.2.6 Zona LoS de Fresnel

En un enlace NLOS, una señal alcanza el receptor a través de reflexiones, difracciones y dispersiones. La señal que llega al receptor está formada por una composición de señales que llegan a través de las anteriores formas de propagación (reflexiones, dispersiones y difracciones). Estas señales tienen diferentes retardos, atenuaciones, polarizaciones y estabilidad relativa frente a la señal que se transmite por el camino

directo. El fenómeno del multicamino puede causar también que la polarización de la señal cambie. Así la reutilización de frecuencias, que normalmente se hace en los despliegues LOS, puede ser problemático en el caso de los NLOS. Sin embargo hay varias ventajas que hacen los despliegues NLOS deseables.

Por ejemplo, estrictos requerimientos de planificación y restricciones en la altura de la antena, a menudo no permiten a la antena ser posicionada para un LOS. Para despliegues celulares contiguos a gran escala, donde la reutilización de frecuencias es crítica, bajar la antena es una ventaja para reducir la interferencia co-canal entre células adyacentes. Esto a menudo fuerza a las estaciones base a operar en condiciones de NLOS, ya que los sistemas LOS no puede reducir la altura de las antenas porque perderían la visibilidad directa con el receptor.

La tecnología NLOS y las características mejoradas en WiMAX hacen posible el uso de equipos de interior "CPE" (Customer Premise Equipment). Esto tiene dos principales retos; primeramente superar las pérdidas de penetración y segundo, cubrir distancias razonables con transmisores de baja potencia. WiMAX hace esto posible, y la cobertura NLOS puede ser mejorada por algunas capacidades opcionales de WiMAX que veremos a continuación.

La tecnología WiMAX, resuelve o minimiza los problemas resultantes de las condiciones NLOS mediante el uso de:

- Modulación Adaptativa.
- Técnicas de corrección de errores.
- Diversidad en la transmisión y en la recepción.
- Sistema de antena adaptativa.
- Sub-Canalización.
- Control de Potencia.
- Tecnología OFDM.

- Modulación adaptativa y codificación.

El estándar IEEE 802.16d presenta siete combinaciones de modulación y rangos de codificación que pueden ser usados para alcanzar varios niveles en la tasa de datos y en la robustez de la transmisión, dependiendo de las condiciones de canal y de interferencia. Cuando el enlace es de alta calidad usamos la modulación más alta proporcionando mayor capacidad y si el enlace es de baja calidad usamos modulaciones menores. Utiliza un bloque de código concatenado **Reed-Solomon** (RS) externo, con un código **convolucional** interno. El código RS externo esta fijado por medio de un RS sistemático ($N = 255, K = 239, T = 8$) usando GF (28). El código convolucional interno, tiene una longitud de 7, y un rango entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$. Esta interpolación también se utiliza para reducir el efecto de ráfaga de error.

Tipo de ID	Tipo Modulación	Codificación	Información bits/símbolo	Información bits/símbolo OFDM	Tasa pico de dato a 5 MHz (Mbps)
0	BPSK	1/2	0.5	88	1.89
1	QPSK	1/2	1	184	3.95
2	QPSK	3/4	1.5	280	6.00
3	16QAM	1/2	2	376	8.06
4	16QAM	3/4	3	568	12.18
5	64QAM	2/3	4	760	16.30
6	64QAM	3/4	4.5	856	18.36

Tabla 3.2.6 Modulación y codificación OFDM

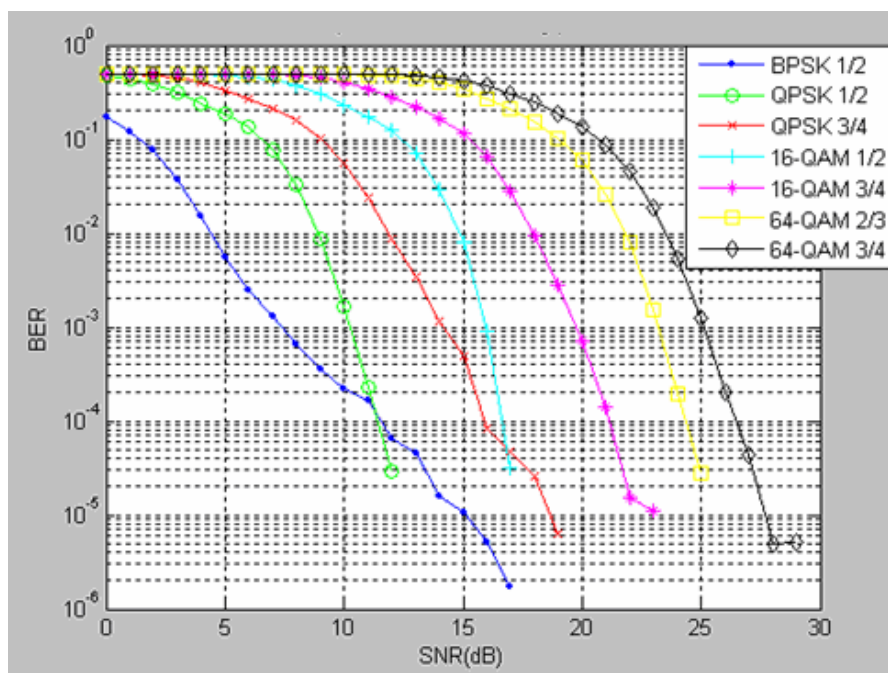


Figura 3.2.7 BER vs. SNR en función de la modulación

Una característica opcional del sistema es la codificación Turbo, la cual aumenta la cobertura, a un costo de aumentar la latencia de decodificación y su complejidad.

Los tipos de modulación permitidos para Uplink y Downlink son: BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM.

Además se conocen los preámbulos usados por el protocolo IEEE 802.16d, de tal manera que esto ayuda al receptor en la estimación del canal y con la sincronización. En el Downlink se tiene un largo preámbulo de dos símbolos OFDM, estos son enviados para el inicio de cada cuadro. En el Uplink un corto preámbulo de un símbolo OFDM es enviado por el SS (Estación Subscriptora) al inicio de cada cuadro.

- Códigos de bloque tiempo espacio.

STBCs (Space- time block code) es una característica opcional que se implementa en los downlinks con lo que se incrementa la diversidad. La aplicación de los códigos STBC Alamouti 2x1 o 2x2, no afectan el ancho de banda, de tal forma que proporcionan diversidad tanto en el tiempo y especialmente en el espacio. Al ser posible que el receptor contara con dos antenas, este hace una valorización de la señal transmitida teniendo como base la señal recibida, con esto y usando el código Alamouti, el desempeño de esta característica opcional será mejorado. También considera múltiples antenas receptoras, las que no requieren soporte adicional. En general, la diversidad del receptor es preferible para transmitir ya que entonces no es requerida una potencia adicional en el transmisor para diversos receptores.

- Sistema de antena adaptiva.

Los sistemas 'Adaptative Array Antenna' son una parte opcional del estándar 802.16. Estos sistemas representan la más avanzada tecnología de antenas inteligentes (Smart Antenna) a día de hoy. Estos, tienen propiedades de 'beamforming' que permiten conducir el haz principal de la antena hacia una determinada localización. Esto significa que mientras están transmitiendo, la señal puede ser limitada a la dirección requerida por el receptor. Estos sistemas también tienen propiedades de supresión de la interferencia co-canal desde otras localizaciones con lo cual consiguen además mejorar la relación señal a ruido (SNR).

El uso de estas antenas va ligado normalmente al empleo de la tecnología MIMO (Multiple Input/Multiple Output). Esta tecnología presenta una serie de ventajas del procesamiento de diferentes señales espaciales. La principal es la diversidad de las antenas y el multiplexado espacial. Al usar varias antenas, MIMO ofrece la capacidad de recibir datos coherentemente

desde varios caminos o rutas (multipath), mediante antenas receptoras separadas espacialmente, esta información es procesada gracias al uso de DSP's (digital signal processing) con elevadas capacidades de procesamiento.

En el downlink cuando múltiples señales son radiadas desde el array de antenas, de tal forma que ellas forman un haz que va dirigido hacia el CPE, la amplitud y la fase de las señales de cada antena es ajustada de forma que se combinan coherentemente en el CPE. Esta tecnología adaptativa de beamforming mejora la SNR.

En el uplink, el CPE mandará la señal a la BS, se producirá un procesamiento espacio-tiempo donde la BS ajustará la ganancia y fase de cada antena para cuando la señal del CPE sea recibida. Así la combinación coherente y la supresión de la interferencia se llevan a cabo, ya que la señal deseada se combina coherentemente y el ruido es combinado incoherentemente. Produciendo por lo tanto una mejora de la SNR.

Además otra de las ventajas que añaden este tipo de sistema, es que gracias a no necesitar emplazamientos relativamente altos para conseguir la cobertura adecuada, se evita el "bombardear" a los sistemas adyacentes con lo cual se mejora el factor de reutilización de frecuencia, o lo que es lo mismo se consigue aumentar la capacidad de la red.

- Sub-Canalización.

La subcanalización en el enlace ascendente es opcional en WiMAX. Sin la subcanalización, las restricciones regulatorias y la necesidad para un coste efectivo de los CPEs, típicamente causa que el enlace sea asimétrico, este provoca que el rango de sistema este limitado en el enlace ascendente. La subcanalización habilita que el enlace sea balanceado de tal forma que la ganancia del sistema es similar en ambos enlaces (ascendente y descendente). La subcanalización concentra la transmisión de potencia en unas pocas portadoras OFDM, esta es la forma de incrementar la ganancia del sistema que puede ser usada para extender el alcance del sistema, superar las pérdidas de penetración, o reducir el consumo de potencia del CPE. El uso de la subcanalización es más importante en OFDM permitiendo un uso más flexible de los recursos que pueden soportar movilidad o portabilidad.



Espectro OFDM de la transmisión downstream desde la estación base, cada slot representa una portadora de RF



Espectro OFDM de la transmisión upstream desde el CPE, todas las portadoras son transmitidas pero a un cuarto de nivel de potencia en comparación con las transmitidas por las estación base.



Espectro OFDM de la transmisión upstream desde el CPE, pero en este caso se transmite un cuarto de las portadoras totales, aunque la potencia de estas portadoras es la misma que la de las portadoras emitidas por la estación base.

Figura 3.2.8 Subcanalización

Vemos como sin subcanalización la potencia emitida por el CPE es menor que la emitida por la BS y por lo tanto limitará la cobertura del enlace.

2. La capa MAC de 802.16:

CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS
TDM/TDMA tramas programadas para enlaces de subida y bajada.	Uso eficiente del ancho de banda.
Escalable de uno a cientos suscriptores.	Permite desarrollos costo-efectivo convenientes.
Orientado a conexión.	<ul style="list-style-type: none"> • QoS por conexión. • Envío y Ruteo rápido de paquetes.
QoS.	<ul style="list-style-type: none"> • Baja latencia para servicios que son sensibles al retardo (TDM Voz, VoIP). • Transporte óptimo para tráfico VBR (como por ejemplo, video) con soporte de prioridad de información.
Solicitud Automática de Transmisión (ARQ).	<ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento mejorado de extremo a extremo ocultando errores inducidos en la capa de RF de los protocolos superiores.
Soporte de modulación adaptable.	<ul style="list-style-type: none"> • Permite alcanzar altas tasas de información permitidas por las condiciones del canal, mejoran la capacidad del sistema.
Seguridad y Encriptación (Triple DES).	<ul style="list-style-type: none"> • Protege la privacidad del usuario.
Control automático de potencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Minimiza la interferencia entre células.

Tabla 3.2.7 Capa MAC

Esta es la otra capa característica del protocolo IEEE 802.16, fue diseñada para accesos a las aplicaciones PMP (Punto MultiPunto) de banda ancha de muy alta tasa de datos y con una distinta variedad de requerimientos de calidad de servicios (QoS), por lo que esta orientada a la conexión.

Permite que el mismo terminal sea compartido por múltiples usuarios. Lo que hace flexible a este sistema es que maneja algoritmos que permiten que cientos de usuarios finales puedan tener distintos requerimientos de ancho de banda y de latencia. Esta capa también se encarga de manejar la necesidad de tener muy alta tasa de bits, tanto para el uplink (hacia la BS) como para el downlink (desde la BS). El sistema ha sido diseñado para incluir multiplexación por división del tiempo (TDM) de voz y datos, protocolo de Internet (IP), y voz sobre IP (VoIP).

El protocolo IEEE 802.16, debe soportar los variados requerimientos del backhaul, como el modo de transferencia asíncrono (ATM) y protocolos basados en paquetes.

La capa MAC a su vez esta subdividida en tres subcapas:

- Convergencia

Es la encargada de adaptar las unidades de datos de protocolos de alto nivel al formato MAC SDU y viceversa. También se encarga de clasificar los SDUs de la MAC entrantes a las conexiones a las que pertenecen.

- Parte Común

Es la subcapa principal, es en ella donde se maneja el ancho de banda, se establece la conexión, y se establecen los protocolos de unidad de datos (PDUs). También se encarga de hacer el intercambio de la unidad de servicios de datos de la MAC (SDU) con la capa de convergencia. Esta subcapa se encuentra fuertemente ligada con la capa de seguridad.

- Seguridad.

Es la encargada de la autenticación, establecimiento de llaves y encriptación. Es en ella donde se realiza el intercambio de los PDUs de la MAC con la capa física.

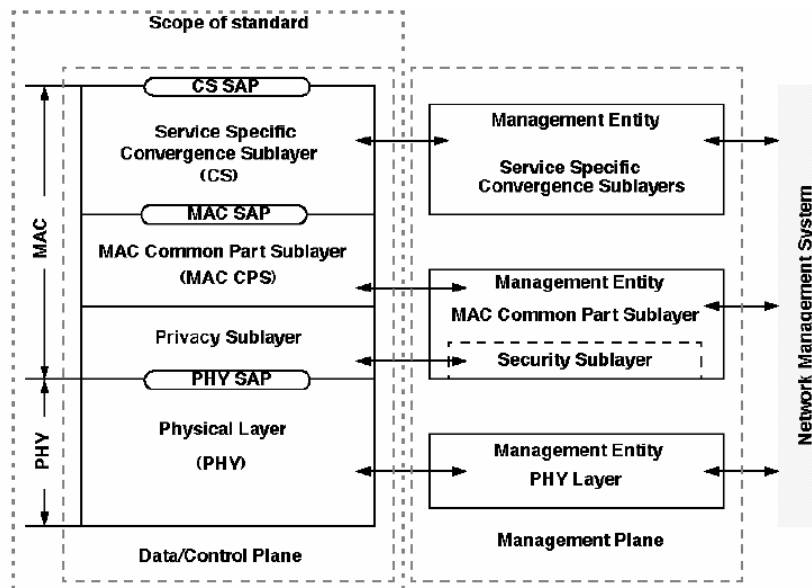


Figura 3.2.9 Esquema capas OSI WiMAX

Formato de la PDU de la MAC.

La PDU de la MAC es la unidad de datos que intercambia la capa MAC de la BS (estación base) y la del SS (estación suscriptora). Consiste en una cabecera de MAC de longitud fija y una carga útil de longitud variable y un ciclo redundante de control (CRC). Dos formatos de cabecera son diferenciados por el escudo HT, una cabecera genérica y una cabecera de requerimiento de ancho de banda.

Se utilizan tres tipos de subcabeceras de la MAC:

- Subcabecera de gestión de concesión. Es usada por la SS para transportar la gestión de ancho de banda necesaria por su BS.
- Subcabecera de fragmentación. Contiene información que indica la presencia y orientación en la carga útil de cualquier fragmento de SDU.
- Subcabecera de empaque. Usada para indicar el empaquetamiento de múltiples SDUs en un único PDU.

Las cabeceras de gestión de concesión y de fragmentación pueden ser insertadas en el PDU de la MAC inmediatamente después de la cabecera genérica, y así indica el tipo de escudo. La subcabecera de empaque puede ser insertada después de cada SDU de la MAC y es indicada por el tipo de escudo.

Distribución PDU ENTEL Internet BB	
PDU Size (Bytes)	Porcentaje
64	44%
128	3%
256	2%
512	3%
1024	2%
1518	46%
PDU Promedio (Bytes)	771

Figura 3.2.10 Distribución PDU promedio

Hay que tener en cuenta que:

Datos = = PDU larga y Voz = = PDU corta.

Transmisión de los PDUs de la MAC.

La MAC del estándar IEEE 802.16, soporta varios protocolos de capas de alto nivel así como ATM o IP. Para maximizar el proceso haciéndolo flexible y eficaz, se incorporan los procesos de fragmentación y de empaque. El proceso de fragmentación es donde un SDU de MAC es dividido en fragmentos. Y el proceso de empaque es en el cual varios SDUs de la MAC son empaquetados en una sola carga útil de PDU de la MAC. Ambos procesos pueden ser usados tanto para downlink como para uplink. El estándar IEEE 802.16 permite el uso de ambos procesos simultáneamente para un uso eficiente del ancho de banda, y fue diseñado para poder soportar tanto FDD como TDD.

La MAC de la BS se encarga de crear un cuadro Downlink (subcuadro del TDD), empezando con un preámbulo que es usado para la sincronización y la estimación del canal. Una cabecera de cuadro de control (FCH) es transmitida después del preámbulo para el resto del cuadro. Esto es requerido debido a que la ráfaga es transmitida con diferentes esquemas de modulación y codificación. El FCH es seguido por una o múltiples ráfagas Downlink y consiste de un número entero de símbolos OFDM. La localización del perfil de la primera ráfaga de downlink es especificada en el cuadro prefijo del donwlink (DLFP), parte del FDH.

La ráfaga de datos es transmitida en orden de decrecimiento de robustez para permitir que el SS reciba datos confiables antes de arriesgar un error de ráfaga que podría causar pérdida de sincronización. En el Downlink, una porción del TDM inmediatamente seguida del FCH es usada para UGS (unsolicited grand service), útil para aplicaciones constantes de tipo binario con estrictas restricciones de retardo como la VoIP.

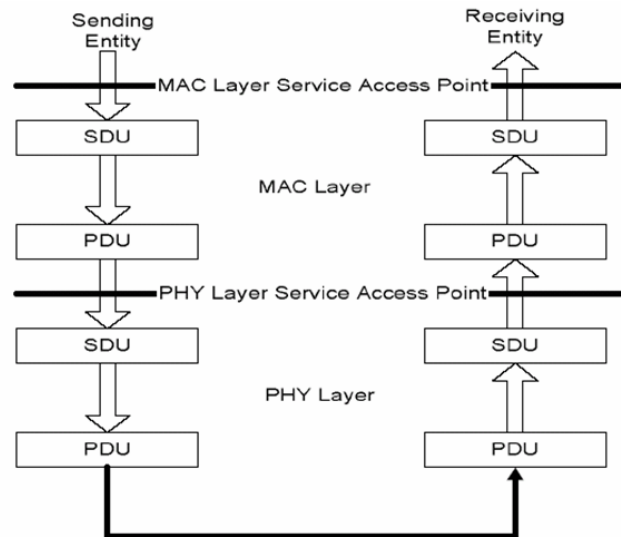


Figura 3.2.11 Transmisión de PDUs

Acceso al medio

TDMA (Time division multiple access) permite a varios usuarios compartir el canal de frecuencia por división de la señal en diferentes ranuras de tiempo. Los usuarios transmiten en rápidas sucesiones, una detrás de otra, cada una usando su propia ranura de tiempo. Esto permite que múltiples estaciones compartan el mismo medio de transmisión (canal de radiofrecuencia) mientras usan solo la parte del ancho de banda que ellos necesitan.

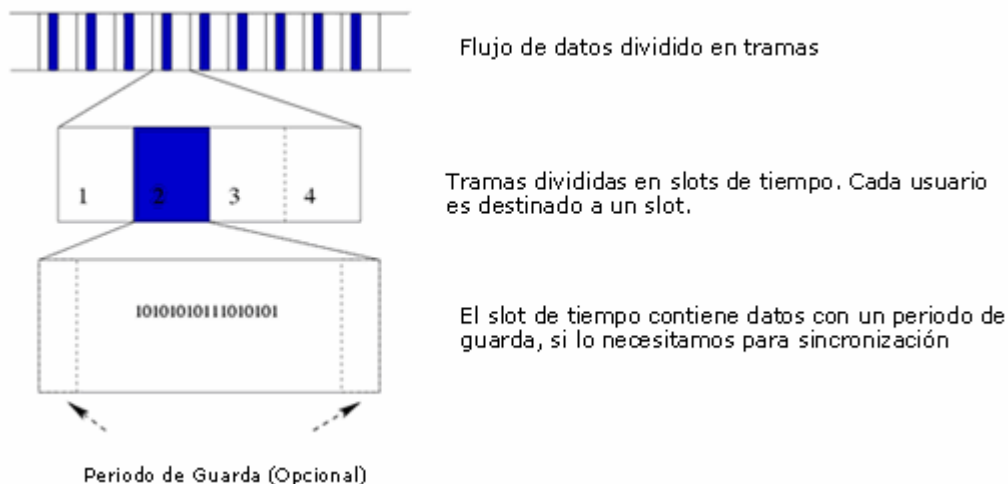


Figura 3.2.12 Esquema TDMA

TDMA dinámico consiste en que cuando una unidad requiera más recursos de los que dispone pueda solicitárselos a las unidades que tengan un exceso de recursos asignados.

Ampliamos información sobre algunas características de la capa MAC:

- Técnicas de corrección de errores.

Las técnicas de corrección de errores han sido incorporadas a WiMAX para reducir los requerimientos de señal ruido. El FEC (**Strong Reed Solomon**), la codificación convolutiva y otros algoritmos son usados para detectar y corregir errores, mejorando el throughput. Estas técnicas de corrección ayudan a recuperar tramas erróneas que pueden haber sido perdidas por desvanecimientos selectivos de frecuencia o ráfagas de errores. El ARQ (Automatic repeat request) es usado para corregir errores que no pueden ser corregidos por el FEC.

- Control de potencia.

Los algoritmos de control de potencia son usados para mejorar el rendimiento del sistema, estos son implementados por la estación base, la cual manda información sobre el control de potencia a cada CPE para que regule su nivel de potencia de transmisión, de forma que el nivel recibido en la estación base sea un nivel predeterminado. En ambientes con cambios dinámicos por fading (debilitamiento de la señal) este nivel predeterminado significa que el CPE sólo puede transmitir suficiente potencia para llegar a este requerimiento. Lo opuesto sería que el CPE transmitiese el nivel basándose en las condiciones peores. El control de potencia reduce sobre todo el consumo de potencia del CPE y la potencial interferencia con otras estaciones base co-localizadas. Para LOS la potencia transmitida por el CPE es aproximadamente proporcional a la distancia a la estación base. Para NLOS esto depende altamente del nivel de obstaculización existente.

- QoS

La capacidad de voz es muy importante, especialmente en mercados internacionales no cubiertos por servicio. Por esta razón el estándar IEEE 802.16 incluye características de calidad de servicio que permiten servicios incluyendo voz y video que requieren una red de baja latencia. Las características de garantía requeridas por el controlador de acceso al medio (MAC) del IEEE 802.16, permiten al operador brindar simultáneamente niveles de servicio Premium garantizados para negocios, tanto como niveles de servicio E1, y servicio de alto volumen 'best effort' a hogares, similares a niveles de servicio de cable, todos dentro de la misma área de servicio perteneciente a una estación base.

Elementos básicos de una red

Estación Base

Las estaciones base WiMAX son equipos que generalmente están ubicados en casetas con los resguardos de clima y energía necesarios. Una estación base teóricamente puede cubrir hasta 50 kilómetros, pero en la práctica se reduce aproximadamente a 10 kilómetros cuando se considera que se tienen clientes asociados (en el caso de enlaces punto a multipunto). Las estaciones base WiMAX pueden ofrecer:

- Conexiones punto a punto (para backhuls o radioenlaces).
- Conexiones punto a multipunto (para última milla,...).

Antenas WiMAX

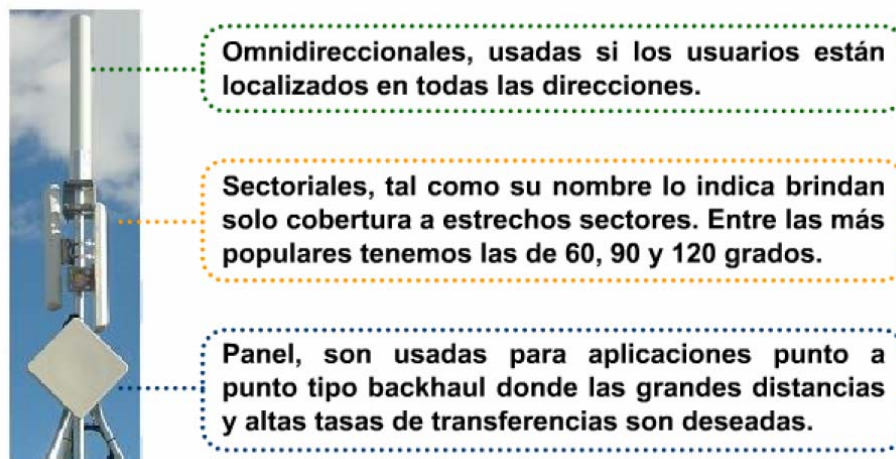


Figura 3.2.13 Antenas WiMAX

Repetidor

El repetidor WiMAX es un transceptor bidireccional diseñado para extender los servicios WiMAX a aquellas zonas de sombra no cubiertas por la estación base principal, extendiendo la cobertura o sorteando los obstáculos en línea de visión directa entre una estación base WiMAX y los terminales remotos de usuario.

Aunque WiMAX proporciona capacidad NLOS (Non-line of sight) y NNLOS (near non line of sight), en determinadas ocasiones (redes en alta frecuencia) esto no es suficiente para traspasar grandes obstáculos como montañas o abruptas depresiones orográficas, o al extender los servicios WiMAX al interior de los edificios.

El repetidor WiMAX es también una solución de bajo coste para extender la cobertura de cualquier estación base WiMAX más allá de su

huella principal, ya que no presenta requerimientos de infraestructura tan elevados como una estación base completa (caseta, backhaul, suministro eléctrico, etc.).

Equipos Terminales (outdoor and indoor)

El CPE (Equipo de Usuario) consiste generalmente, en una unidad exterior (antena, etc.) llamada ODU y un módem interior, lo que significa que se requiere que un técnico logre que un abonado residencial o comercial esté conectado a la red. En ciertos casos, puede usarse una unidad interior (IDU) auto instalable, en particular cuando el abonado está relativamente cerca de la estación base transmisora, con lo que evitaríamos la instalación de unidades exteriores (antenas, etc.).

Actualmente ya se desarrollan unidades interiores (IDUs) auto instalables, lo que introduce en la tecnología inalámbrica fija un grado de capacidad nómada ya que el abonado puede viajar con el CPE y usarlo en otras ubicaciones fijas: oficina, hotel, cafetería...

Además los CPEs auto instalables hacen más viable económicamente el 802.16-2004 ya que se ahorra el gasto técnico en la instalación de la red. El futuro próximo será la creación de tarjetas de datos 802.16-2004 que se incluirán en los dispositivos portátiles.

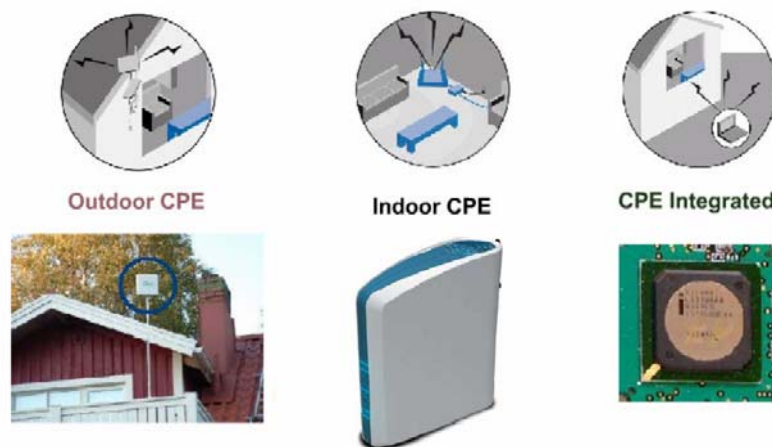


Figura 3.2.14 Equipos terminales WiMAX

- Outdoor CPE consiste en una unidad exterior (observando en la fotografía la antena) y un módem interno, requiriendo por tanto un técnico que lo instale.
- Indoor CPE consiste en un módem auto instalable, el cual no requiere técnico que lo instale.
- CPE integrado consiste en una tarjeta de datos WiMAX incluida dentro del dispositivo electrónico. En un futuro vendrá instalada por defecto.

Características

Aquí se enumeran las principales características de WiMAX:

- Mayor productividad a rangos más distantes (hasta 50 km).
 - Mejor tasa de bits/segundo/HZ en distancias largas.
 - Gran ancho de banda. Una sola estación base puede admitir de manera simultánea más de 60 enlaces con conectividad tipo T1/E1 o cientos de conexiones tipo DSL (línea digital de suscriptor).
- Sistema escalable.
 - Fácil adición de canales maximiza las capacidades de las células.
 - Anchos de banda flexibles permiten usar espectros licenciados y exentos de licencia.
- Cobertura.
 - Soporte de mallas basadas en estándares y antenas inteligentes.
 - Modulación adaptativa permite sacrificar ancho de banda a cambio de mayor rango de alcance.
 - No necesita línea de visión directa (NLOS).
- QoS (Quality of Service / Calidad de Servicio)
 - Grant/Request MAC permite vídeo y voz (Voz sobre IP, VoIP).
 - Servicios de nivel diferenciados: Best effort o Premium.
- Coste y riesgo de investigación
 - Los equipos WiMAX-CertifiedFF (certificación de compatibilidad) permiten a los operadores comprar dispositivos de más de un vendedor.
- Es independiente de protocolo
 - Es decir, puede transportar IP, Ethernet, ATM, TDM, T1/E1 y otros. La clave de la compatibilidad de este estándar con otros como WiFi (802.11), Ethernet (802.3), o Token Ring (802.5) reside en el uso de la misma capa LLC (Logical Link Controller), que actúa como interfaz de acceso a los servicios de datos que proporciona cada tecnología.

- Seguridad
 - El estándar IEEE 802.16 incluye medidas para privacidad y criptografía inherentes en el protocolo. El estándar implementa la autenticación de los instrumentos con certificados x.509 usando DES en modo CBC (cipher block chaining). También soporta algoritmos AES (Advanced Encryption Standard).
- Bandas bajo licencia
 - Opera en la banda licenciada 2.4GHz y 3.5 GHz para transmisiones externas en largas distancias.
- Bandas libres (sin licencia)
 - Opera en banda libre en 5.8 GHz, 8 GHz y 10.5 GHz (con variaciones según el espectro libre de cada país).
- Canalización
 - De 3.5, 7, 5, 10 MHz ...
- Codificación
 - Adaptativa.
- Modulación
 - Adaptativa.
- Ecuilización
 - Adaptativa.
- Potencia de transmisión
 - Controla la potencia de transmisión.
- Corrección de errores
 - ARQ (retransmisión inalámbrica).
- Acceso al medio
 - Mediante TDMA dinámico.
- Tamaño del paquete
 - Ajuste dinámico del tamaño del paquete.
- Aprovechamiento
 - Aprovechamiento dinámico de usuarios mediante DHCP y TFTP.
- Tasa de transmisión
 - Hasta 75 Mbps.

Infraestructura

La instalación de estaciones base WiMAX es sencilla y económica, utilizando un hardware que llegará a ser estándar, lo cual puede ser visto como una amenaza por los operadores, pero también, es una manera fácil de extender sus redes y entrar en un nuevo negocio en el que ahora no están, lo que se presenta como una oportunidad.

Una red punto a punto es el modelo más simple de red inalámbrica, compuesta por dos radios y dos antenas de alta ganancia en comunicación directa entre ambas. En este tipo de enlaces se utilizan habitualmente conexiones dedicadas de alto rendimiento o enlaces de interconexión de alta capacidad. Este tipo de enlaces son fáciles de instalar, pero difíciles de crear con ellos una red grande. Es habitual su uso para enlaces punto a punto en cliente finales o para realizar el backhaul de redes.

Un enlace punto a multipunto, comparte un determinado nodo (en el lado uplink), que se caracteriza por tener una antena omnidireccional (o con varios sectores) y puntos de terminación (o repetidores) con antenas direccionales con una ganancia elevada. Este tipo de red es más sencillo de implementar que las redes punto a punto, ya que el hecho de añadir un suscriptor sólo requiere incorporar equipamiento del lado del cliente, no teniendo que variar nada en la estación base. Aunque, cada sitio remoto debe encontrarse dentro del radio de cobertura de la señal, que en el caso de WiMAX (a diferencia de la tecnología LMDS) no requerirá que se sitúe en puntos con visión directa.

Además, será posible utilizar esta topología punto a multipunto para backhaul de la red de operadores, o para clientes que no deseen disponer de capacidad dedicada, al compartir los recursos con todos los terminales. El problema de este tipo de topología es que el diseño direccional de las antenas de los usuarios hace que no pueda conectar con otras redes (meshing).

Seguridad

El estándar 802.16 realiza una autenticación con certificados x.509.

El estándar x.509, se refiere a los formatos para certificados de llaves públicas y algoritmos de validación de la ruta de los certificados. Este tipo de documentos es una parte esencial de la estructura de PKI (Public Key Infrastructure) y su función es obtener los datos de identificación del titular de la llave pública.

La estructura de un certificado digital x.509 es la siguiente:

- Certificado
 - Versión
 - Número de serie
 - ID del algoritmo
 - Emisor
 - Validez
 - No antes de
 - No después de
 - Tema
 - Tema información de clave pública
 - Algoritmo de clave pública
 - Tema clave pública
 - Identificador único de emisor (opcional)
 - Identificador único de tema (opcional)
 - Extensiones (opcional)
 - ...
- Algoritmo de certificado de firma
- Certificado de firma

El uso de certificados de llaves públicas permite a los usuarios tener la confianza de que las llaves públicas que reciben para el cifrado de toda la información, por medio del algoritmo RSA, son de un titular legítimo y que por lo tanto al comenzar a enviar información cifrada, efectivamente la comunicación únicamente será entre usuarios auténticos de la red.

En una red inalámbrica es sumamente importante que la información que viaja a través de ésta se encuentre cifrada con un algoritmo suficientemente fuerte, debido a las condiciones del medio, ya que un usuario con la capacidad de conectarse a la red podría interceptar el tráfico

de ésta y por lo tanto vulnerarla fácilmente, si es que no se tiene un algoritmo de cifrado lo suficientemente robusto.

Es por este motivo que el algoritmo utilizado en este tipo de tecnologías debe ser lo más fuerte posible, por lo que tomando en cuenta el delicado punto que la seguridad representa en la adopción de un servicio inalámbrico de banda ancha, la IEEE determinó la definición de un sistema robusto de seguridad para este ambiente.

La seguridad WIMAX soporta dos estándares de cifrado de alta calidad: DES3 y AES (Advanced Encryption Standard), este último considerado el mejor para esto.

El estándar define un proceso de seguridad enfocado directamente a la estación central. También se manejan algunas exigencias mínimas de cifrado para el tráfico y para la autenticación punto a punto, estándares que son adaptados de la especificación de interfaz del servicio de datos sobre cable y el protocolo de seguridad.

Básicamente, todo el tráfico sobre una red de WiMAX debe ser cifrado usando el Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol (CCMP), el cual es un protocolo que emplea el estándar de cifrado avanzado (AES) para la seguridad de transmisión y la autenticación de integridad de datos.

La metodología que es usada para la autenticación punto a punto y el PKM-EAP (Protocolo Extensible de Autenticación por sus siglas en inglés) esta basada en el estándar TLS de cifrado de llave pública.

Transmisión de la información

Estructura de trama en downlink (FDD)

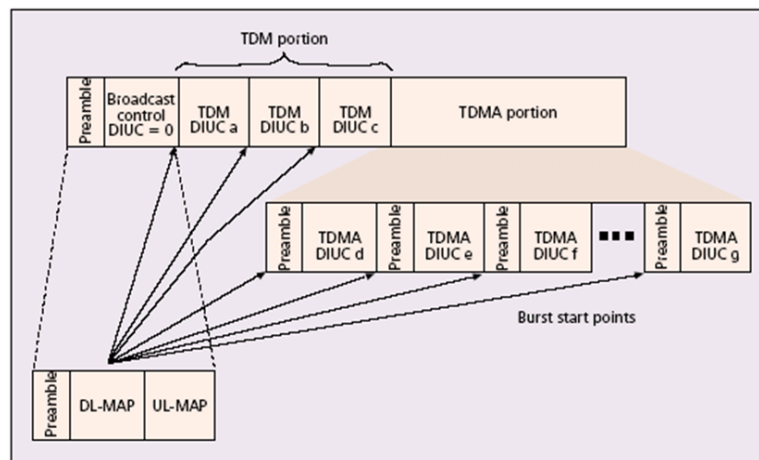


Figura 3.2.15 Estructura de trama en downlink (FDD)

El mensaje MAC DL-MAP contiene información sobre el inicio de todos los intervalos TDM y TDMA. La unidad temporal es el PS (Physical Slot). Es importante mencionar como la porción de TDMA de la trama contiene los preámbulos de los intervalos.

Estructura de trama en downlink (TDD)

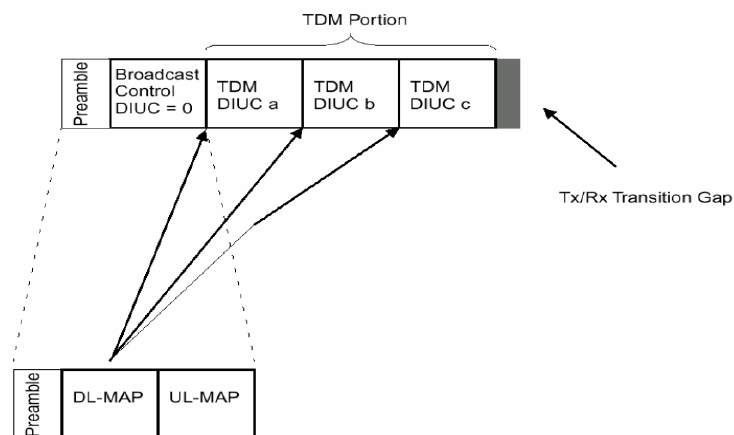


Figura 3.2.16 Estructura de trama en downlink (TDD)

Estructura de trama en uplink (FDD y TDD)

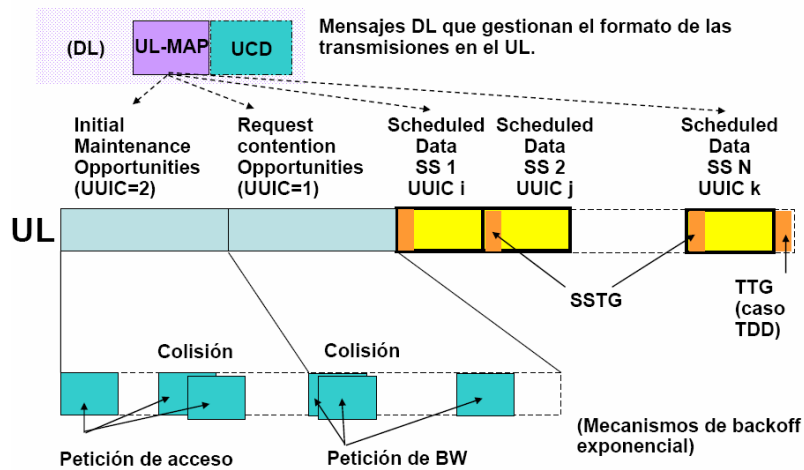
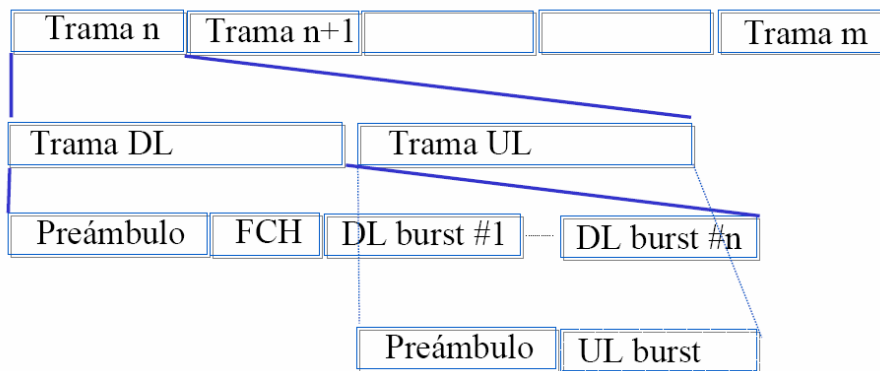


Figura 3.2.17 Estructura de trama en uplink (FDD y TDD)

Estructura trama OFDM



El preámbulo siempre va modulado en QPSK

Figura 3.2.18 Estructura de trama OFDM

* Burst significa ráfaga.

Formato de trama en OFDMA

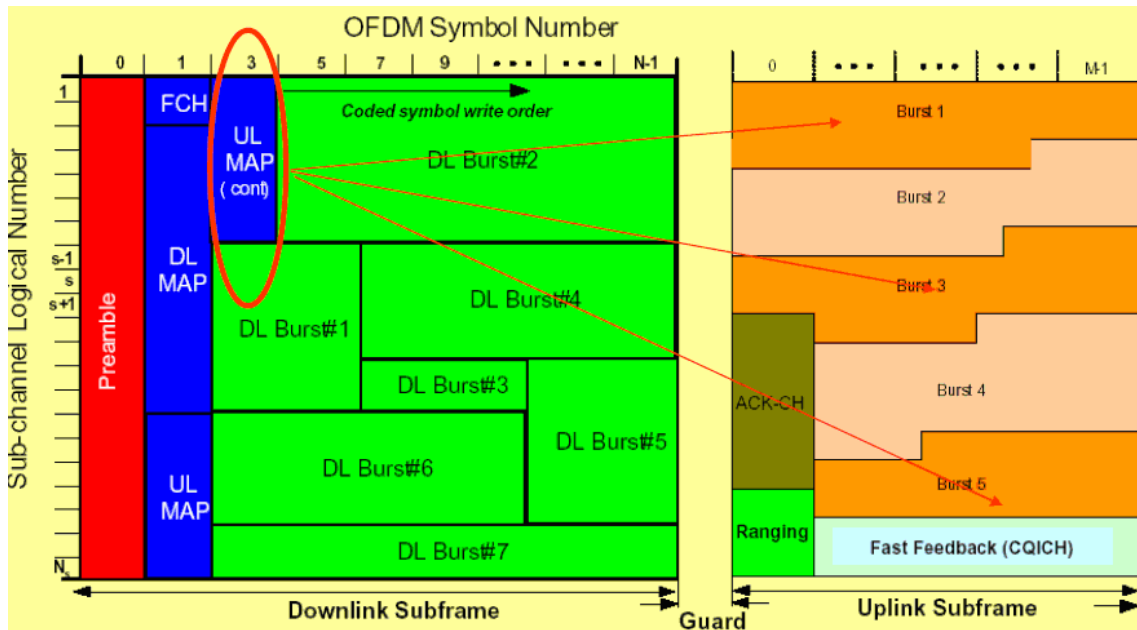


Figura 3.2.19 Formato de trama en OFDMA

Formato de trama a nivel MAC

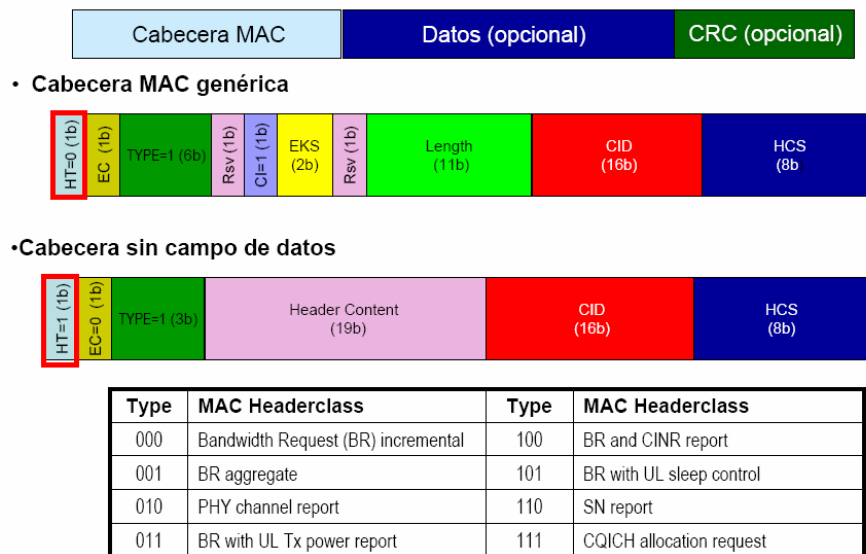


Figura 3.2.20 Formato de trama a nivel MAC

Pérdidas de la señal

Pérdidas de propagación.

Partiremos de la base de un escenario de propagación LOS, siguiendo el modelo de Hata extendido. Este escenario se rige por la ecuación:

$$Pr = Pt - Lp + Gt + Gr - Lt - Lr \quad (1)$$

Donde:

Pt = Potencia del transmisor (dBm o dBW).

Lp = Pérdidas por propagación en espacio libre entre antenas isotrópicas (dB).

Gt = Ganancia de la antena de transmisión (dBi).

Gr = Ganancia de la antena de recepción (dBi).

Lt = Pérdidas de la línea de transmisión entre el transmisor y la antena transmisora (dBi).

Lr = Pérdidas de la línea de transmisión entre la antena receptora y el receptor (dBi).

$$L_p(d) = L(d_0) + 10 \times y \times \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2)$$

Donde:

L(d₀) = Constante de propagación dependiente de la frecuencia.

y = Factor exponencial de pérdidas.

d = distancia (m).

d₀ = distancia nominal; normalmente se toma d₀ = 100 m.

El factor exponencial de pérdidas depende del entorno en el que se esté propagando la onda de radiofrecuencia.

Entorno	y (factor pérdidas)
<i>Espacio Libre</i>	2
<i>Área urbana</i>	2.7 < y < 3.5
<i>Área urbana con sombras</i>	3 < y < 5
<i>Interiores</i>	y > 5

Tabla 3.2.8 Factor exponencial de pérdidas

Podemos calcular este factor con mayor precisión mediante la siguiente fórmula:

$$y = a - b \times h_t + \frac{c}{h_t} \quad (3)$$

Dónde:

h_t es la altura (m) de la estación base.

a, b y c son coeficientes que dependen del tipo de terreno.

Tipos de terreno:

- A, Terreno montañoso con abundantes obstáculos.
- B, Terreno intermedio entre A y C.
- C, Terreno llano con apenas obstáculos.

	A	B	C
a	4.6	4	3.6
b	0.0075	0.0065	0.005
c	12.6	17.1	20

Tabla 3.2.9 Coeficientes según el tipo de terreno

En la siguiente figura observamos como varía el factor exponencial de pérdidas, para los diferentes terrenos, a medida que aumentamos la altura de la estación base.

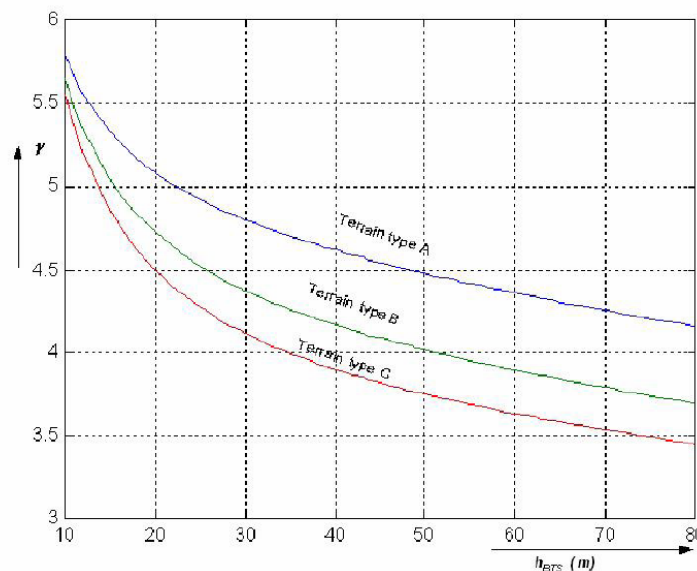


Figura 3.2.21 Variación del factor exponencial de pérdidas

En la ecuación (2) a $L(d_0)$ se le asigna habitualmente el valor:

$$L(d_0) = A.$$

Este valor depende de la frecuencia o de la longitud de onda.

$$L(d_0) = A = 20 * \log_{10} \left(4 \times \Pi \times \frac{d_0}{\lambda} \right) \quad (4)$$

Donde:

λ = longitud de onda.

d_0 = habitualmente 100 metros.

Si las ecuaciones (3) y (4) son metidas en la ecuación (2) obtendremos la siguiente fórmula:

$$L_p(d) = 20 * \log_{10} \left(4 \times \Pi \times \frac{d_0}{\lambda} \right) + 10 \times \left(a - b \times h_t + \frac{c}{h_t} \right) * \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right)$$

A menudo en ésta ecuación son usados factores de corrección:

- P_{lf} , factor de corrección de la extensión del modelo usado, al utilizar una banda superior a 2 GHz.
- P_{lht} , factor de corrección debido a la altura de la antena receptora.
- s , factor de corrección debido a las sombras, habitualmente entre 8 y 10.6 dB.

$$P_{lf} = 6 \times \log_{10} \left(\frac{f}{2} \right), \text{ con la frecuencia en GHz.}$$

$$P_{lht} = -10.8 \log_{10} \left(\frac{h_t}{2} \right), \text{ para los terrenos A y B.}$$

$$P_{lht} = -20 \log_{10} \left(\frac{h_t}{2} \right), \text{ para el terreno C.}$$

La ecuación final es la siguiente:

$$L_p(d) = A + 10 \times y \times \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + P_{lf} + P_{lht} + s$$

Aparte debemos tener en cuenta fenómenos atmosféricos como la lluvia o la niebla, ya que a las frecuencias utilizadas afectarán al enlace.

Lluvia

Las ondas de radio que se propagan a través de una región de lluvia se atenúan como consecuencia de la absorción de potencia que se produce en un medio dieléctrico con pérdidas como es el agua. Adicionalmente, también se producen pérdidas sobre la onda transmitida debido a la dispersión de parte de la energía del haz que provocan las gotas de lluvia.

No obstante, la atenuación por dispersión es generalmente reducida en comparación con las pérdidas por absorción.

Aunque la atenuación causada por la lluvia puede despreciarse para frecuencias por debajo de 5 GHz, ésta debe incluirse en los cálculos de diseño a frecuencias superiores donde su importancia aumenta rápidamente.

La atenuación específica debida a la lluvia puede calcularse a partir de la Recomendación UIT-R 838. La atenuación específica en (dB/km) se

obtiene a partir de la intensidad de lluvia R (mm/h) mediante la ley exponencial:

$$a = kR^\alpha,$$

Donde k y α son unas constantes que dependen de la frecuencia y de la polarización de la onda electromagnética.

$$k = \frac{[k_h + k_v + (k_h - k_v) \times \cos^2(\theta) \times \cos(2 \times \tau)]}{2}$$

$$\alpha = \frac{[k_h \times \alpha_h + k_v \times \alpha_v + (k_h \times \alpha_h - k_v \times \alpha_v) \times \cos^2(\theta) \times \cos(2 \times \tau)]}{2 \times k}$$

Polarizaciones:	Horizontal & $\theta = 0$	Vertical & $\theta = 0$	Circular
τ :	0°	45°	90°
k :	k_h	k_v	$(k_h + k_v)/2$
α :	α_h	α_v	$(k_h \times \alpha_h - k_v \times \alpha_v) / (k_h + k_v)$

Tabla 3.2.10 Coeficientes Lluvia 1

En nuestro caso dispondremos de una polarización vertical.

Frecuencia (GHz)	k_H	α_H	k_V	α_V
6	0,00175	1,308	0,00155	1,265
8	0,00454	1,327	0,00395	1,310
10	0,0101	1,276	0,00887	1,264
20	0,0751	1,099	0,0691	1,065
30	0,187	1,021	0,167	1,000
40	0,350	0,939	0,310	0,929
60	0,707	0,826	0,642	0,824
100	1,12	0,743	1,06	0,744

Tabla 3.2.11 Coeficientes Lluvia 2

Intensidad de lluvia excedida para las zonas hidrometeorológicas H y K.

Porcentaje de tiempo (%)	R(mm/h) - Zona H	R(mm/h) - Zona K
1,0	2	1,5
0,3	4	4,2
0,1	10	12
0,03	18	23
0,01	32	42
0,003	55	70
0,001	83	100

Tabla 3.2.12 Intensidad de lluvia

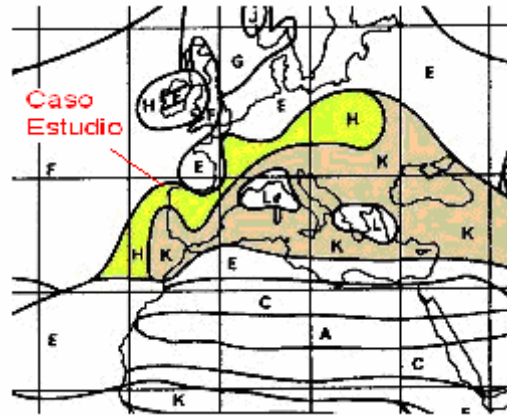


Figura 3.2.22 Mapa zonas meteorológicas H y K

Para calcular la atenuación en decibelios hay que multiplicar la atenuación anterior (dB/Km) por la distancia eficaz.

$$d_{ef} = \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}}, \text{ siendo } d_0 = 35 \times e^{(-0.015 \times R_{0.01})} \text{ y } R_{0.01} = \min(R_{0.01}, 100 \text{ mm/h})$$

Veamos el siguiente gráfico que representa la atenuación específica para distintas intensidades de lluvia:

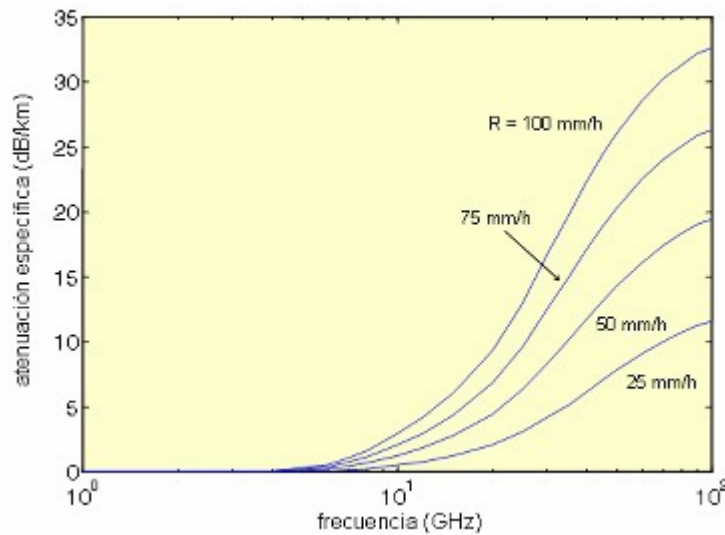


Figura 3.2.23 Atenuación específica de la lluvia

Niebla

Para la niebla compuesta totalmente de gotas minúsculas, generalmente inferiores a 0,01 cm, la aproximación de Rayleigh es válida para frecuencias inferiores a 200 GHz y se puede expresar la atenuación en términos del contenido total de agua líquida por unidad de volumen. Así pues, la atenuación específica en el interior la niebla puede expresarse como:

$$g_c = K_l \times M \text{ dB/km} \quad \text{siendo:}$$

g_c : atenuación específica (dB/km) en la niebla

K_l : coeficiente de la atenuación específica (dB/km)/(g/m³)

M: densidad de agua líquida en la nube o la niebla (g/m³).

En frecuencias del orden de 100 GHz y superiores, la atenuación debida a la niebla puede ser significativa. La densidad de agua líquida en la niebla es típicamente de unos 0,05 g/m³ en la niebla moderada (visibilidad del orden de 300 m) y de 0,5 g/m³ en niebla espesa (visibilidad del orden de 50 m).

Para calcular el valor de k_l se puede utilizar un modelo matemático basado en la dispersión de Rayleigh, que utiliza un modelo Debye doble para la permitividad dieléctrica ϵ (f) del agua. Por tanto:

$$K_l = \frac{0.819 \times f}{\epsilon^{\parallel} \times (1 + \eta^2)} \quad (\text{dB/Km}) / (\text{g/m}^3)$$

Donde f es la frecuencia (GHz), y:

$$\eta = \frac{2 + \epsilon^{\perp}}{\epsilon^{\parallel}}$$

La permitividad dieléctrica compleja del agua viene dada por:

$$\epsilon^{\parallel}(f) = \frac{f \times (\epsilon_0 - \epsilon_1)}{f_p \left[1 + \left(\frac{f}{f_p} \right)^2 \right]} + \frac{f \times (\epsilon_1 - \epsilon_2)}{f_s \left[1 + \left(\frac{f}{f_s} \right)^2 \right]}$$

$$\epsilon^{\perp}(f) = \frac{(\epsilon_0 - \epsilon_1)}{\left[1 + \left(\frac{f}{f_p} \right)^2 \right]} + \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{\left[1 + \left(\frac{f}{f_s} \right)^2 \right]} + \epsilon_2$$

Donde,

$$\epsilon_0 = 77.6 + 103.3 \times (\theta - 1)$$

$$\epsilon_1 = 5.48$$

$$\epsilon_2 = 3.51$$

$$\theta = \frac{300}{T}$$

Siendo T la temperatura en grados Kelvin.

Las frecuencias de relajación principal y secundaria son:

$$f_p = 20,09 - 142 \times (\theta - 1) + 294 \times (\theta - 1)^2 \text{ GHz}$$

$$f_s = 590 - 1500 \times (\theta - 1) \text{ GHz}$$

La siguiente figura muestra los valores de K_f en frecuencias entre 5 y 200 GHz y temperaturas entre -8°C y 20°C .

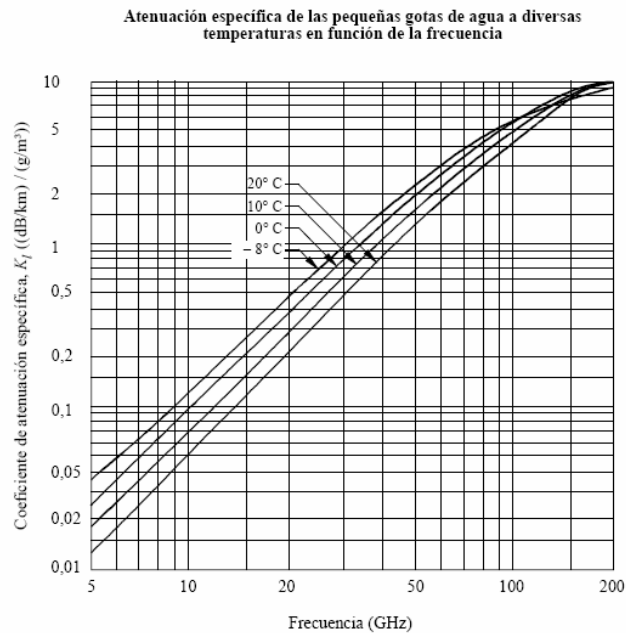


Figura 3.2.24 Coeficiente de atenuación k_f

El siguiente fenómeno es de vital importancia en nuestro entorno.

Difracción

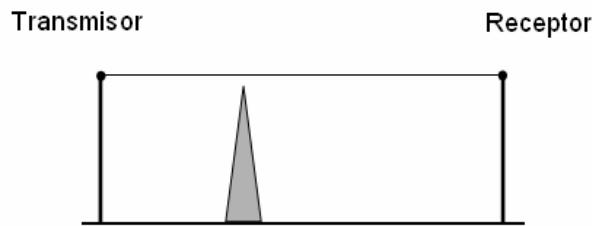


Figura 3.2.25 LOS

Aparentemente este obstáculo no produce refracción en la señal, sin embargo el siguiente estudio confirmará lo contrario.

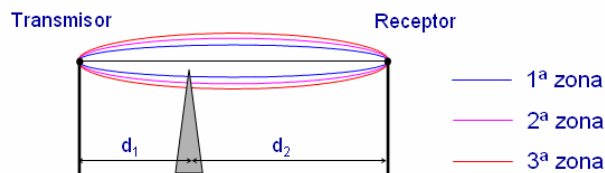


Figura 3.2.26 LOS con difracción

Si el obstáculo está dentro de la primera zona de Fresnel, las pérdidas por refracción van a ser importantes.

Zonas de Fresnel:

$$R_n = \sqrt{\frac{n \times \lambda \times d_1 \times d_2}{d}}$$

Como ya hemos mencionado la más importante va a ser la primera zona.

$$R_1(m) = 548 \sqrt{\frac{d_1(Km) \times d_2(Km)}{f(MHz) \times d(Km)}}$$

Si el obstáculo está dentro de la primera zona de Fresnel:

- Si el obstáculo es agudo y aislado,

Despejamiento normalizado:

$$v = \sqrt{2} \times \frac{h}{R_1} = 2.58 \cdot 10^{-3} \times \sqrt{\frac{f \times d}{d_1 \times d_2}} \times h$$

Y las pérdidas por difracción son:

$$L_D(v) = 6.9 + 20 \log_{10} \left(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right)$$

- Si el obstáculo es redondeado se aplica una corrección respecto al obstáculo agudo.

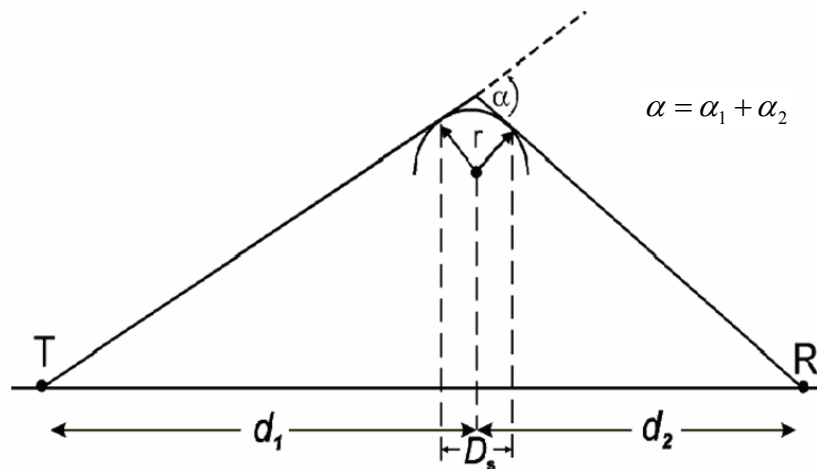


Figura 3.2.27 Obstáculo redondeado

$$L_{extra} = 11.7 \times \alpha \times \sqrt{\frac{\pi r}{\lambda}} \quad r = \frac{2 \times d_s \times d_1 \times d_2}{\alpha \times (d_1^2 + d_2^2)}$$

- Si hay varios objetos se calculan las atenuaciones por separados y se aplica un término de corrección.

Variabilidad

En la comunicación en entornos rurales y urbanos con múltiples usuarios, las condiciones del enlace son muy complejas.

La señal recibida por el receptor cambia en el tiempo con pequeños movimientos del mismo.

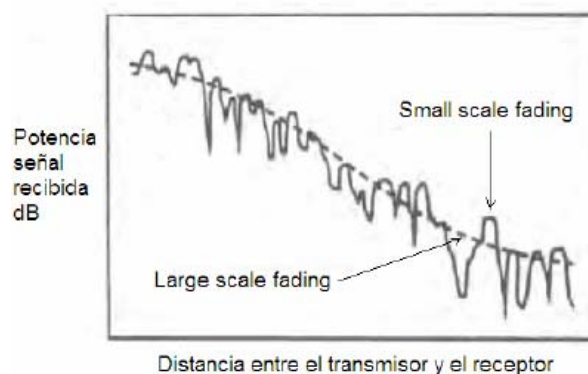


Figura 3.2.28 Variación de la señal

El desvanecimiento de pequeña escala se debe a pequeños movimientos del receptor, pues diferentes componentes de la señal llegan en distinta fase.

En las figuras de abajo observamos la recepción cuando hay una única fuente, dos fuentes y multitud de fuentes.

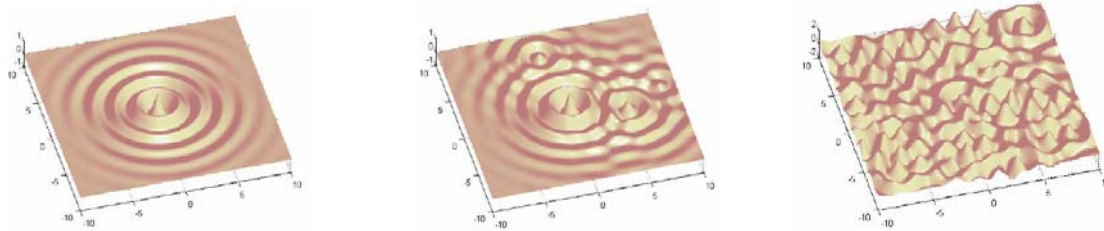


Figura 3.2.29 Desvanecimiento de la señal

Esta variabilidad se conoce como desvanecimiento y es causado por dos efectos:

- Delay Spread: Causado por los diferentes retardos con los que llegan las señales al receptor.
- Doppler Spread: Causado por las diferencias de frecuencia percibida por efecto del movimiento.

La variación temporal se modela por medio del retardo de cada señal recibida con respecto a la señal.

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n \tau_i^2 \times P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \right) - \left(\frac{\sum_{i=1}^n \tau_i \times P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \right)^2}$$

Un canal en general varía en el tiempo y en la frecuencia. Al variar en el tiempo causa desvanecimientos, y al variar en frecuencia causa distorsión de la señal.

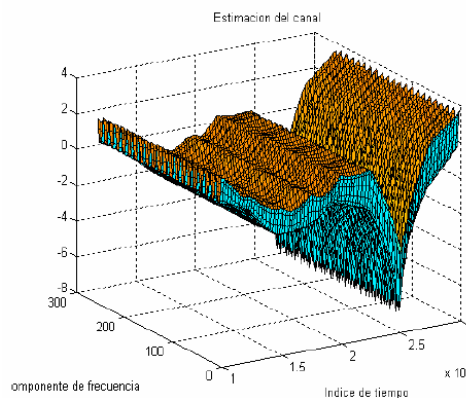


Figura 3.2.30 Variación de un canal en tiempo y frecuencia

Los ecos de la señal llegan con diferentes retardos. Si los símbolos tienen una duración igual al retardo de los ecos, se producirá ISI (Interferencia entre símbolos). El estándar 802.16 define mecanismos para evitar este fenómeno.

Al utilizar OFDM, se aprovecha la transformada rápida de Fourier para modular portadoras ortogonales, muy cercanas entre si. La separación se realiza por medio de FFT y no de procesos de filtrado. Con esto se disminuye la interferencia entre portadoras y se acercan a distancias arbitrariamente pequeñas.

Roaming

La revisión 802.16e, define la forma en que los sistemas WiMAX soportan dispositivos móviles con itinerancia (roaming), que supone una gran ventaja para los usuarios que viajan frecuentemente. También es de utilidad para servicios de voz y videoconferencias.

Cálculo de usuarios por punto de acceso

Se calcula exactamente igual que vimos en el caso de WiFi. A medida que se conecten más usuarios irá repartiéndose el ancho de banda entre todos y si el ancho de banda disponible para cada uno disminuye demasiado, la conexión será de muy baja calidad.

Fórmula para Calcular la Cantidad de Puntos de Acceso necesarios:

$$\frac{\text{Ancho de Banda} \times \text{N}^\circ \text{ de Usuarios} \times \% \text{ utilización}}{\text{Velocidad Programada}}$$

Aplicaciones

Los primeros productos que han comenzado a aparecer en el mercado se orientan a enlaces de alta velocidad para conexión a redes fijas públicas o para establecer enlaces punto a punto.

Así, WiMAX puede resultar muy adecuado para unir *hot spot* WiFi a las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo. El equipamiento WiFi es relativamente barato pero un enlace E1 o DSL resulta caro y a veces no se puede desplegar, por lo que la alternativa radio parece muy razonable.

Para las empresas, es una alternativa a contemplar, ya que el coste puede ser hasta 10 veces menor que en el caso de emplear un enlace E1 o T1. De momento no se habla de WiMAX para el acceso residencial, pero en un futuro cercano podría ser una realidad, sustituyendo con enorme ventaja a las conexiones ADSL, o de cable, y haciendo que la verdadera revolución de la banda ancha llegue a todos los hogares.

Para utilizar el servicio de acceso residencial, los usuarios reciben un aparato llamado CPE (Equipo de Acceso de usuario), que tiene apariencia y tamaño similares a un cable módem, aunque en un futuro se crearán tarjetas de datos WiMAX similares a las tarjetas de datos WiFi que vendrán incorporadas en los dispositivos electrónicos. Con este dispositivo, que se conecta a un portátil o un computador de escritorio, los usuarios obtienen acceso inmediato a la Red en cualquier lugar donde la empresa tenga cubrimiento.

Otra de sus aplicaciones encaja en ofrecer servicios a zonas rurales de difícil acceso, a las que no llegan las redes cableadas. Es una tecnología muy adecuada para establecer radio enlaces, dado su gran alcance y alta capacidad, a un coste muy competitivo frente a otras alternativas.

En los países en desarrollo resulta una buena alternativa para el despliegue rápido de servicios, compitiendo directamente con las infraestructuras basadas en redes de satélites, que son muy costosas y presentan una alta latencia. También es una buena solución de despliegue rápido de redes de telecomunicación en caso de catástrofes naturales, como por ejemplo inundaciones.

3.3 WiFi & WiMAX

Una vez presentadas ambas tecnologías, queda claro que WiFi y WiMAX no son dos tecnologías que compitan, si no que en realidad se complementan, creando una solución integrada.

WiMAX como Backhaul

WiMAX es, por sus características, una tecnología óptima para el transporte, así como WiFi lo es para la red de acceso, con lo que se puede crear una solución completamente inalámbrica para la conexión a Internet, u ofrecer otros múltiples servicios, como pueden ser los de voz sobre IP.

Actualmente una de las mayores limitaciones con el servicio WiFi público es la restricción del backhaul debido a que una conexión WiFi de 11 Mbps ó 54 Mbps tiene un enlace de transporte E1 de 2.048 Mbps, limitándose así la velocidad proporcionada por WiFi. A parte del coste de instalación del cableado y el alquiler de la línea E1.

Las redes WiFi conducen a la demanda de WiMAX, aumentando la proliferación de acceso inalámbrico e incrementando la necesidad de soluciones con backhaul (enlace que interconecta redes) eficiente en base a costes y más rápido en la última milla. Es decir, WiFi es usado en el backend, mientras WiMAX le ofrece un backhaul de gran distancia y solución de última milla.

La red ofrece un amplio rango de opciones de implementación para cubrir áreas extendidas y de última milla. Lo mejor es que la solución varía de acuerdo a los modelos de uso, el tiempo de implementación, la posición geográfica y la aplicación de red (tanto en datos, VoIP y vídeo). Cada implementación puede estar hecha a la medida que mejor se adapte las necesidades de la red de usuarios.

Una aplicación importante de esta solución es el video streaming llevado al portátil, donde el usuario final consigue el servicio sobre WiFi en los últimos metros. Como resultado de combinar el punto de acceso WiFi con el transporte WiMAX, la calidad del servicio se mejora notablemente y de nuevo permite a los operadores con un red WiMAX, o con aspiraciones a tenerla, ser capaces de ofrecer servicio inmediatamente y a todos los dispositivos que soportan WiFi y en aquella zona donde se demande establecerá hot zone con servicio WiFi.

WiMAX como Red de Acceso

WiMAX como backhaul ya está siendo implementado en diversas zonas pero WiMAX como punto de acceso está aun en proceso de consolidación, algunas empresas como BFi OPTILAS, División Comunicaciones, Gold Partner de Alvarion Ltd, integran ya un punto de acceso WiFi en sus soluciones de equipamiento WiMAX de última milla, previamente a que esta tecnología ofrezca, de forma generalizada, servicio a dispositivos de consumo.

Con esta nueva solución integral se ha logrado combinar un punto de acceso exterior WiFi en las unidades de cliente de sus soluciones WiMAX denominadas BreezeMAX y BreezeACCESS VL (ambas unidades son punto a multipunto). Las estaciones base BreezeMAX operan en las bandas de frecuencia 2.3, 2.5 o 3 GHz, mientras que la solución BreezeACCESS VL trabaja en la banda no licenciada de 5.4 GHz.

Este lanzamiento refleja la realidad del mercado, donde los dispositivos de consumo seguirán demandando además de conectividad WiMAX, conectividad WiFi como es el caso de las tarjetas PC, portátiles, PDA y smartphones (teléfonos inteligentes).

Por este motivo, Alvarion y BFi OPTILAS han tomado la decisión estratégica de lanzar una combinación integrada por WiFi y WiMAX, con la que se proporcione acceso y cobertura a los dispositivos de consumo, adelantándose de este modo a otros proveedores de la industria.

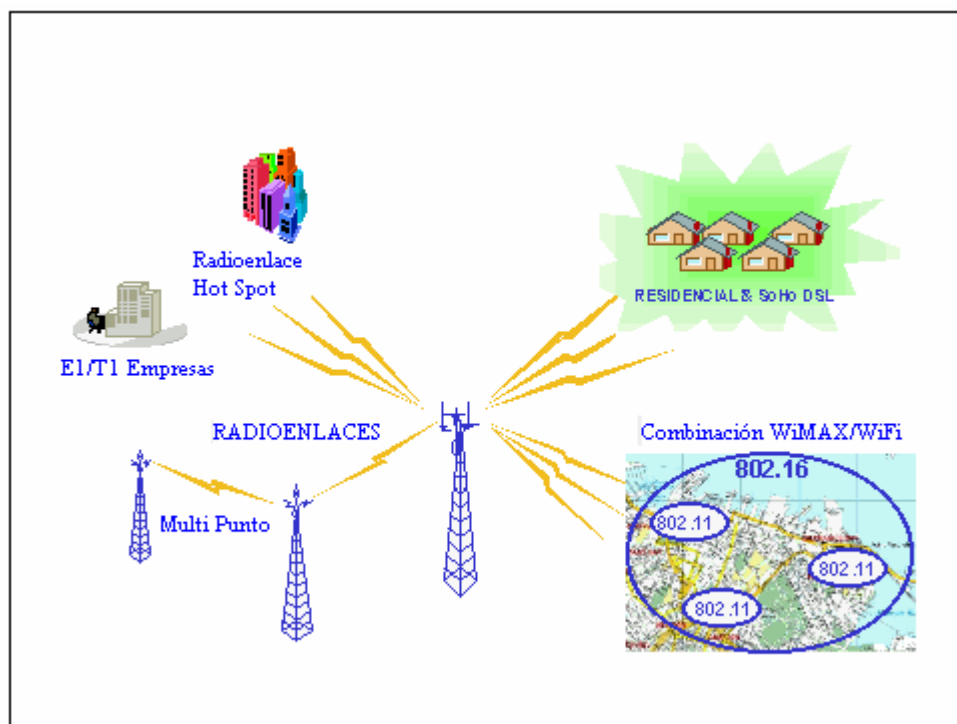


Figura 3.3. 1 Aplicaciones de WiMAX

3.4 Sistemas comerciales y su evolución

Existe una amplia gama de dispositivos en el mercado pero sólo nos centraremos en aquellos que puedan servirnos en nuestro entorno de trabajo, concretamente en el caso de WiFi no voy a profundizar demasiado ya que es un mercado ampliamente conocido, con gran variedad de dispositivos.

Sistemas WiFi

Básicamente para montar una red inalámbrica WiFi necesitaremos los siguientes dispositivos:

- Adaptador USB WiFi que conectaremos a nuestro ordenador, en caso de que no disponga de tarjeta WiFi interna (PCI o PCMCIA).
- Punto de acceso, definido en el apartado de elementos básicos de una red, dentro del punto 3.1.
- Otros elementos. Como por ejemplo antenas, amplificadores... que podemos agregar al sistema para poder direccionar y mejorar las señales de radiofrecuencia, o también hub, switches, bridges para distribuir dichas señales, etc.

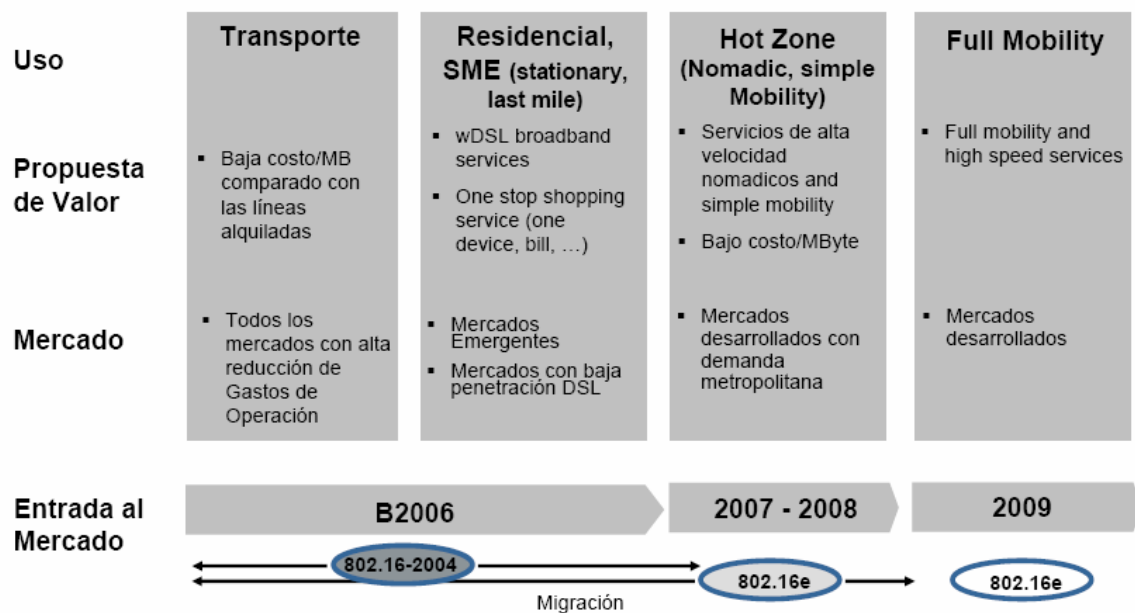
Los dispositivos WiFi varían en función del estándar 802.11 utilizado, pues no es lo mismo trabajar en la banda de 2.4 GHz a trabajar en la de 5 GHz. Hay una gran oferta de sistemas WiFi debido al auge actual de ésta tecnología.

Podemos observar algunos enlaces de proveedores en el apartado final de bibliografía.

La evolución de los sistemas WiFi es claramente hacia el 802.11g en todos los dispositivos, ya que aumenta considerablemente la velocidad de transmisión.

Aunque una evolución un poco más lejana será el 802.11n que utiliza la tecnología MIMO y dispone de velocidades de transmisión aun mayores. Tiene prevista su aprobación para finales del 2008, aunque ya se conocen sus especificaciones.

Otro estándar pendiente de aprobación durante el año 2008 es el 802.11y que opera con mayor potencia e incluye mejoras en la capa MAC, llegando a alcanzar coberturas de 5 kilómetros.

Sistemas WiMAX**Figura 3.4.1** Evolución de WiMAX

Como se observa en la imagen, la tendencia de WiMAX es claramente hacia el WiMAX móvil, ofreciendo así cuadro play:

- Voz
- Vídeo
- Datos
- Movilidad

Veremos este apartado con un poco más de detalle en el caso de WiMAX ya que es una tecnología más reciente y menos conocida por los usuarios.

La empresa israelí Alvarion es una de las más avanzadas en este campo, y es por ello que usaremos sus dispositivos, estudiándolos previamente; WiMAX es una tecnología muy reciente y está en plena evolución. Algunos de los equipos que actualmente están en el mercado son:

- Conexiones punto a punto

La familia *BreezeNet* de Alvarion ofrece una solución económica y fiable para conexiones Outdoor Punto a Punto en la banda sin licencia de 5,4 GHz.

BreezeNET es ideal para aplicaciones tales como:

- Enlaces entre edificios
- Acceso Internet/WISP
- Extensión de ADSL
- Backhaul

Modelos:

- *BreezeNET B14* (14 Mbps):

Máximo ancho de banda neto agregado 14 Mbps.
Máximo ancho de banda neto 7 Mbps en cada dirección.

- *BreezeNET B28* (28 Mbps):

Máximo ancho de banda neto agregado 28 Mbps.
Máximo ancho de banda neto 22 Mbps en cada dirección.

- **BreezeNET B100** (70 Mbps):

Máximo ancho de banda neto agregado 70 Mbps.
Máximo ancho de banda neto 60 Mbps.

- Conexiones punto a multipunto

La familia *BreezeACCESS VL* de Alvarion ofrece una solución económica y fiable para conexiones Outdoor Punto a Multipunto en la banda sin licencia de 5,4 GHz.

BreezeACCESS ideal para aplicaciones tales como:

- ISP Inalámbrico.
- Soluciones Empresas: Compitiendo con las líneas alquiladas.
- Redes Privadas: Campus, municipios, zonas rurales.
- Vídeo sobre IP: Seguridad, Vigilancia, VideoConferencias.
- Interconexión Móviles: Temporal, emergencia.
- Aplicaciones última milla: Tráfico voz y datos.
- Otras: Puertos deportivos, estaciones de ski, plataformas petrolíferas en el mar, transatlánticos, etc.
- *Integran un punto de acceso WiFi.*

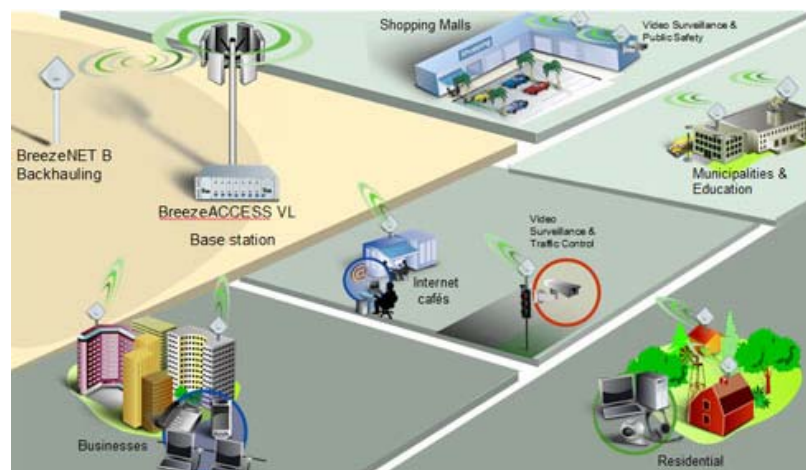


Figura 3.4.2 Aplicaciones de WiMAX

- CPE (Equipos de usuarios)

En una primera fase WiMAX funcionaba mediante antenas receptoras (ODUs) situadas en los edificios, que se encargaban de recibir y decodificar la señal emitida desde una estación base. En una etapa posterior, se venden módem auto instalables interiores (IDUs), similares a los que se ofrecen ahora para el acceso mediante ADSL.

Finalmente, durante el 2008 los receptores de la señal WiMAX serán integrados en los equipos y se podrán conectar a la Red desde cualquier lugar dentro del radio de acción de una estación base.

Los CPEs varían según el sistema sobre el que están funcionando, en concreto Alvarion tiene dos tipos de familias de acceso WiMAX dentro de las cuales hay distintos modelos. Para cada modelo existirán una serie de CPEs.

La primera familia es *BreezeMax*, en la cual ambos tipos de dispositivos IDUs (unidades interiores) y ODU (unidades exteriores) comparten las siguientes características:

- Integran Intel® PRO / Wireless 5116 interfaz de banda ancha.
- Los de tipo outdoor disponen de gran cobertura.
- Dual modo FDD/TDD software.
- Datos, voz, WiFi y E1 / T1 interfaces.
- Full indoor NLOS.
- Para escenarios urbanos, suburbanos y rurales.
- Múltiples opciones de antena.
- Soporta comunicaciones fijas y nómadas.
- Ofrecen servicios de calidad de voz.
- 7 Mbps por cada CPE.
- Gestionada por SNMP.
- No bajan de 400 €.

Algunos de los CPEs de la familia son los siguientes:

- BreezeMAX Broadband Data IDU
- BreezeMAX Networking Gateway IDU
- BreezeMAX PRO CPE (Incluye ODU e IDU)
- BreezeMAX Si CPE
- Broadband Voice Gateway CPE IDU

La segunda familia es BreezeACCESS VL, en la que los sistemas vendidos incluyen ODUs e IDUs; dichos sistemas son:

- SU-A-3-1D-VL
- SU-A-6-1D-VL
- SU-A-6-BD-VL
- SU-A-54-BD-VL
- SU-E-54-BD-VL

Ofrecen una serie de servicios como alta velocidad Internet e Intranet, VoIP, VPN...

Dicha información puede ser ampliada consultando la página Web de Alvarion proporcionada en la bibliografía del proyecto.

3.5 Normativa

802.11 WiFi

El protocolo 802.11 o WiFi es un estándar de comunicaciones del IEEE que define los 2 niveles más bajos de la arquitectura OSI (capa física y de enlace de datos) para redes WLAN. Veamos ahora la evolución de este protocolo, y los distintos estándares que han ido surgiendo desde su aparición, aunque primeramente debemos tener en cuenta que los estándares aprobados o pendientes de aprobación por el Instituto de Ingenieros Eléctricos Electrónicos (IEEE) son:

- 802.11 (Legacy)
- 802.11a
- 802.11b
- 802.11g
- 802.11n
- 802.11y

Y el resto son variantes de la versión original de la norma con otros nombres, pero estos estándares solo corresponden a versiones mejoradas y/o que contienen extensiones de su versión anterior, no son protocolos aprobados por la IEEE.

No obstante, realizaremos un estudio de cada estándar:

- 802.11 legacy,

Es la versión original del estándar IEEE 802.11, publicada en 1997, define dos velocidades de transmisión teóricas de 1 ó 2 Mbps, en la banda ISM a 2.4 GHz usando tres tecnologías diferentes:

- Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
- Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
- Infrarojos (IR)

IR sigue siendo parte del estándar, pero no hay implementaciones disponibles.

El estándar original también define el protocolo CSMA/CA (Múltiple acceso por detección de portadora evitando colisiones) como método de acceso. Una parte importante de la velocidad de transmisión teórica se utiliza en las necesidades de codificación para mejorar la

calidad de la transmisión bajo condiciones ambientales diversas.

Una de las mayores debilidades de este estándar fue que dejaba mucha libertad de implementación a los proveedores de equipos, lo cual se tradujo en dificultades de interoperabilidad entre equipos de diferentes marcas. Estas y otras debilidades fueron corregidas en el estándar 802.11b, que fue el primero de esta familia en alcanzar amplia aceptación entre los consumidores.

- 802.11a,

La revisión 802.11a al estándar original fue ratificada en 1999. El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 GHz (parte del espectro de uso común) y utiliza 52 subportadoras OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) con una velocidad máxima de 54 Mbps, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas alcanzando, aproximadamente, velocidades reales de 20 Mbps. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbps en caso necesario. 802.11a tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede interoperar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares.

Dado que la banda de 2.4 GHz tiene gran uso (pues es la misma banda usada por los teléfonos inalámbricos y los hornos de microondas, entre otros aparatos), el utilizar la banda de 5 GHz representa una ventaja del estándar 802.11a, dado que se presentan menos interferencias. Sin embargo, la utilización de esta banda también tiene sus desventajas, dado que restringe el uso de los equipos 802.11a a únicamente puntos en línea de vista, con lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso; Esto significa también que los equipos que trabajan con este estándar no pueden penetrar tan lejos como los del estándar 802.11b dado que sus ondas son más fácilmente absorbidas.

Resumen del estándar:

Rango de frecuencias:	De 5,15 a 5,25 GHz (50mW) De 5,25 a 5,35 GHz (250mW) De 5,725 a 5,825 GHz (1W)
Acceso:	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
Velocidad:	Hasta 54 Mbps
Compatibilidad:	No compatible con los sistemas 802.11b, 802.11, HiperLAN2, Infrarrojos (IR) ni con HomeRF
Distancia:	Depende de la instalación y de los obstáculos
Aplicación	Todo tipo de red de datos Ethernet

Tabla 3.5.1 802.11a

- 802.11b,

La revisión 802.11b del estándar original fue ratificada en 1999. 802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y utiliza el mismo método de acceso CSMA/CA definido en el estándar original. El estándar 802.11b funciona en la banda de 2.4 GHz. Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de 5.9 Mbps sobre TCP y 7.1 Mbps sobre UDP aproximadamente.

Aunque también utiliza una técnica de ensanchado de espectro basada en DSSS, en realidad la extensión 802.11b introduce CCK (Complementary Code Keying) para llegar a velocidades de 5,5 y 11 Mbps (tasa física de bit). El estándar también admite el uso de PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) como opcional. Los dispositivos 802.11b deben mantener la compatibilidad con el anterior equipamiento DSSS especificado a la norma original IEEE 802.11 con velocidades de bit de 1 y 2 Mbps.

Resumen del estándar:

Rango de frecuencias:	De 2.4 a 2.4835 GHz
Acceso:	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) usando Complementary Code Keying (CCK)
Velocidad:	Hasta 11 Mbps
Compatibilidad:	Compatible con sistemas 802.11 DSSS de 1 y 2 Mbps. No compatible con los sistemas 802.11 FHSS, Infrarrojos (IR) ni con HomeRF
Distancia:	Depende de la instalación y de los obstáculos, 300m típicos
Aplicación	Todo tipo de red de datos Ethernet

Tabla 3.5.2 802.11b

- 802.11c,

Estándar que define las características que necesitan los Puntos de Acceso para actuar como puentes (bridges). Ya se implementa en algunos productos.

- 802.11d,

Se refiere a la itinerancia internacional, configura dispositivos automáticamente para que cumplan con las regulaciones locales.

- 802.11e,

Su objetivo es introducir nuevos mecanismos a nivel de la capa MAC para soportar los servicios que requieren garantías de QoS (Quality of Service), por lo que es de importancia crítica para aplicaciones sensibles a retrasos temporales como la VoIP y el streaming multimedia.

Gracias a este estándar será posible, por ejemplo, utilizar aplicaciones de VoIP o sistemas de vídeo-vigilancia de alta calidad con infraestructura inalámbrica.

Hasta ahora se han utilizado soluciones alternativas, consistentes en proporcionar QoS a través de equipos intermedios, pero con muchas limitaciones cuando es necesario priorizar unos paquetes IP sobre otros (voz sobre datos, por ejemplo) y distinguir entre tipos de paquetes.

Para cumplir con su objetivo IEEE 802.11e introduce un nuevo elemento llamado Hybrid Coordination Function (HCF) con dos tipos de acceso:

- (EDCA) Enhanced Distributed Channel Access y
- (HCCA) Controlled Access.

Con EDCA, el tráfico de alta prioridad tiene una mayor probabilidad de ser enviado que el tráfico de baja prioridad, para un periodo de tiempo dado. Es decir, una estación que envíe tráfico de alta prioridad esperará menos para enviar un paquete, en promedio, que una estación que envíe tráfico de baja prioridad. Se espera que de esta forma se reduzca el problema existente en la actualidad, en el que las estaciones con tráfico de baja prioridad a veces ocupan un tiempo de canal excesivo.

HCCA es una función que define otra forma de acceder al canal. Se considera que esta forma es la más avanzada y compleja. Con HCCA, la calidad de servicio puede ser configurada y ajustada con gran precisión. Las estaciones pueden requerir información acerca del estado de las colas de otras estaciones, y mostrar dicha información, que podrá ser usada para dar prioridad a unas estaciones sobre otras. De esta forma, las estaciones que accedan a esta información podrán especificar los parámetros específicos de transmisión que requieren, como velocidad de datos, ruido, etc., lo cual mejorará el funcionamiento en las redes WiFi de aplicaciones avanzadas como VoIP y *streaming* de vídeo.

- 802.11f,

Define la comunicación entre puntos de acceso para facilitar redes WLAN de diferentes proveedores.

- 802.11g,

Ratificado en junio de 2003, es el tercer estándar de modulación. Este estándar utiliza la banda de 2.4 GHz (al igual que el estándar 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps, o cerca de 20 Mbps de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Utiliza OFDM. Es compatible con el estándar 802.11b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del estándar lo tomó el hacer compatibles los dos estándares. Sin embargo, en redes bajo el estándar g la presencia de nodos bajo el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión. Una tarjeta de interfaz de red IEEE 802.11g, por ejemplo, puede funcionar con un punto de

acceso 802.11b y viceversa, a velocidades de hasta 11 Mbps. Para lograr velocidades más altas, de hasta 54 Mbps, tanto el punto de acceso como la tarjeta de red deben ser compatibles con el estándar 802.11g.

Ofrece las mismas distancias de funcionamiento que el IEEE 802.11b. El mayor problema a la hora de introducir la modulación OFDM en la banda de 2,4 GHz fue hacerla compatible con los productos 802.11b heredados.

En IEEE 802.11g, la función RTS-CTS se puede utilizar para facilitar el funcionamiento de la red cuando hay una mezcla de clientes 802.11g y clientes 802.11b.

Los productos IEEE 802.11g son capaces de conseguir velocidades de datos más elevadas y con mayor alcance que los productos con tecnología 802.11a. La combinación de OFDM y la mejor capacidad para atravesar paredes de sus 2,4 GHz confieren a los productos 802.11g una ventaja clara sobre otras tecnologías WLAN de alta velocidad. La capacidad para proporcionar una cobertura de gran rendimiento en un área comparativamente grande desde un único punto de acceso supone un factor importante de coste.

Resumen del estándar:

Rango de frecuencias:	De 2.4 a 2.4835 GHz
Acceso:	Obligatoriamente Complementary Code Keying (CCK) y Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), opcionalmente puede incluir Packet Binary Convolution Coding (PBCC) y CCK/OFDM
Velocidad:	Hasta 54 Mbps
Compatibilidad:	Compatible con sistemas 802.11b de 11Mbps y 5,5Mbps. Compatible con sistemas 802.11 DSSS de 1 y 2 Mbps. No compatible con los sistemas 802.11 FHSS, Infrarrojos (IR) ni con 802.11a
Distancia:	Depende de la instalación y de los obstáculos, 300m típicos
Aplicación	Todo tipo de red de datos Ethernet

Tabla 3.5.3 802.11g

- 802.11h,

La especificación 802.11h es una modificación sobre el estándar 802.11 para WLAN desarrollado por el grupo de trabajo 11 del comité de estándares LAN/MAN del IEEE (IEEE 802) y que se hizo público en octubre de 2003. 802.11h intenta resolver problemas derivados de la coexistencia de las redes 802.11 con sistemas de Radares y Satélite.

El desarrollo del 802.11h sigue unas pautas recomendadas por la ITU que fueron motivadas principalmente a raíz de los requerimientos que la Oficina Europea de Radiocomunicaciones (ERO) estimó convenientes para minimizar el impacto de abrir la banda de 5 GHz, utilizada generalmente por sistemas militares, a aplicaciones ISM (ERC/DEC/(99)23).

Con el fin de respetar estos requerimientos, 802.11h proporciona a las redes 802.11a la capacidad de gestionar dinámicamente tanto la frecuencia, como la potencia de transmisión.

Control de Potencia del Transmisor

- *DFS* (Dynamic Frequency Selection o en castellano Selección Dinámica de Frecuencia) es una funcionalidad requerida por las WLAN que operan en la banda de 5GHz con el fin de evitar interferencias co-canal con sistemas de radar y para asegurar una utilización uniforme de los canales disponibles.
- *TPC* (Transmitter Power Control o en castellano Control de Potencia del Transmisor) es una funcionalidad requerida por las WLAN que operan en la banda de 5GHz para asegurar que se respetan las limitaciones de potencia transmitida que puede haber para diferentes canales en una región determinada, de manera que se minimiza la interferencia con los sistemas satélite.

- 802.11i,

Este estándar, también conocido como WPA2, elimina muchas de las debilidades de sus predecesores tanto en lo que a autenticación de usuarios como a robustez de los métodos de encriptación se refiere. Y lo consigue en el primer caso gracias a su capacidad para trabajar en colaboración con 802.1X, y en el segundo, mediante la incorporación de encriptación Advanced Encryption Standard (AES). Aparte de incrementar de manera más que significativa la seguridad de los WLAN, también reduce considerablemente la complejidad y el tiempo de roaming de los usuarios de un punto de acceso a otro.

- 802.11k,

La norma 802.11k define una serie de mecanismos cuyo objetivo es asegurar un uso más eficiente de los recursos electromagnéticos en una red 802.11, así como facilitar su administración y mantenimiento. En 802.11k se definen protocolos de comunicación entre los puntos de acceso y los dispositivos inalámbricos mediante los cuales estos últimos pueden determinar a qué punto de acceso deben conectarse en cada momento para garantizar un funcionamiento óptimo de la totalidad de la red.

- 802.11n,

En enero de 2004 se anunció la formación del TGn (*Task Group n*), un grupo de trabajo del IEEE encargado de desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11. Su objetivo principal es alcanzar una velocidad de transmisión de datos de al menos 100 Mbps en el SAP (*Service Access Point ó Punto de Acceso al servicio*) del nivel MAC del protocolo 802.11. Teóricamente, las redes WLAN existentes en la actualidad tienen la posibilidad de alcanzar velocidades de 54 Mbps, pero en realidad la velocidad de transmisión de datos rara vez supera los 20 Mbps, velocidad que decrece rápidamente cuando aumenta la densidad de dispositivos inalámbricos en la zona. El estándar 802.11n anuncia velocidades teóricas cercanas a los 300 Mbps, es decir, más de cinco veces la que se puede alcanzar actualmente con 802.11g o 802.11a. Gracias a ello, aplicaciones que consumen mucho ancho de banda, como el *streaming* de vídeo de alta definición, podrán hacer uso por fin de redes inalámbricas para su transmisión. También se espera que el radio de operación de las redes 802.11n supere los 50 metros, en media, gracias a la tecnología MIMO, que permite utilizar varios canales a la vez para enviar y

recibir datos gracias a la incorporación de varias antenas.

Será compatible con otros estándares debido a su uso de un ancho de banda de 20 MHz por canal para mantener la compatibilidad con los anteriores 802.11b y 802.11g o uso de 40 MHz en comunicaciones 802.11n y vuelta a los 20 MHz cuando se deba conectar con redes heredadas.

Existen también otras propuestas alternativas que podrán ser consideradas y se espera que el estándar que debía ser completado hacia finales de 2006, se implante hacia 2008, puesto que a principios de 2007 se acabó el segundo boceto. No obstante ya hay dispositivos que se han adelantado al protocolo y ofrecen de forma no oficial éste estándar (con la promesa de actualizaciones para cumplir el estándar definitivo, que esta pendiente de aprobación durante el año 2008).

Las características del estándar 802.11n son las siguientes:

Rango Frecuencias	2.4 GHz y/o 5 GHz
Velocidad	300 Mbps
Compatibilidad	802.11a, b y g
Tecnología	MiMo, usará varias antenas para recibir y transmitir, aumentando el número de canales (antenas) por los que circulan los datos aumentamos el ancho de banda.
Distancia	Operatividad óptima de 70 metros en entornos cerrados. Mayor distancia en las transmisiones (aprox. ¼ más) y con mejor eficiencia.
Aplicación	Diseñado para transmitir HDTV o cualquier otra transmisión multimedia, sólo en broadcast no vídeo bajo de manda. Lazo abierto o lazo cerrado.

Tabla 3.5.4 802.11n

- 802.11p

La norma 802.11p, también conocida por el acrónimo WAVE (Wireless Access for the Vehicular Environment), tiene la misión de definir las mejoras requeridas por el estándar 802.11 de manera que éste pueda ser usado en sistemas de transporte ITS (Intelligent Transportation Systems).

Asimismo, el protocolo 802.11p será la base sobre la que se desarrollará el DSRC (Dedicated Short Range Communications), otro proyecto de estandarización del IEEE impulsado por el ministerio de transporte de Estados Unidos y por un importante número de fabricantes de coches, cuyo objetivo es crear una red nacional de comunicaciones que permita el intercambio de información entre vehículos y la infraestructura viaria.

- 802.11r

La norma 802.11r es un estándar que está siendo desarrollado por el grupo de trabajo TGr del IEEE. Cuando sea finalmente aprobada, esta norma será la especificación de referencia para efectuar transiciones BSS rápidas. Las versiones 802.11a, b y g ya permiten transiciones BSS (Basic Service Set) para datos gracias al protocolo 802.11f, más conocido como IAPP (Inter-Access Point Protocol), pero el tiempo de transición es demasiado grande para el correcto funcionamiento de aplicaciones de voz como el VoIP, o de vídeo, y disminuye la seguridad de las conexiones WPA y WPA2.

La norma 802.11r convertirá las transiciones entre puntos de acceso en una operación transparente y segura para el usuario.

- 802.11s

802.11s es el estándar en desarrollo del IEEE para redes WiFi malladas, también conocidas como redes Mesh. La malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos.

En los últimos años han surgido numerosos proyectos de implantación de redes WiFi malladas. El nicho en el que esta tecnología parece haberse desarrollado de forma más espectacular es el de las redes WiFi municipales, ya que son promovidas y financiadas por ayuntamientos. También denominadas Metro WiFi, es un

fenómeno que surgió inicialmente en Estados Unidos y que ha conocido en 2006 su año de mayor desarrollo.

Inicialmente estos sistemas se concibieron como una forma económica de satisfacer las necesidades de comunicaciones de los ayuntamientos y de los servicios de emergencia, pero últimamente la utilización de WiFi se está planteando como una alternativa gratuita o de bajo coste para proporcionar servicios de banda ancha.

- 802.11u

El grupo de trabajo TGu, también conocido como WIEN SG (Wireless Internetworking with External Networks Study Group), está desarrollando una revisión del estándar 802.11 que facilitará la interoperabilidad con redes externas. La proliferación de hot spot y dispositivos móviles con conectividad WiFi que se ha producido en los últimos años ha puesto de manifiesto la necesidad de crear una norma dentro de 802.11 que especifique los requisitos y las interfaces entre redes 802.11 y otras redes externas como las redes celulares de móviles.

Las redes 802.11 actuales asumen que un usuario está siempre autorizado para solicitar el acceso a la red. 802.11u afronta aquellos casos en los que no es así, de esta forma, una red podrá permitir el acceso a un usuario en base a la relación de éste con una red externa, como la de un proveedor de móviles. También puede ofrecer servicios diferentes a distintos grupos de usuarios, en función de las características contratadas.

Desde la perspectiva del usuario, el objetivo es mejorar la experiencia de aquellos usuarios que acceden a redes WiFi desde puntos muy diferentes de la geografía. Para un cliente de un hotel, por ejemplo, esto significaría que al comprobar la conectividad WiFi de su portátil o PDA no vería una simple lista de redes identificadas por sus SSIDs, sino que se le presentaría una completa lista de redes diferenciadas en función de los servicios ofrecidos por las mismas y las condiciones de acceso a la red, que dependerían del contrato firmado por el cliente con un proveedor.

También podría anunciarse la posibilidad de acceder a una red previo pago de una cantidad, pero en cualquier caso, siempre se ofrecerán unos servicios mínimos que permitirán realizar llamadas de emergencia, por ejemplo.

- 802.11v

Este grupo de trabajo introducirá pequeños cambios en las capas PHY y MAC para mejorar la configuración y gestión de dispositivos WiFi mediante SNMP y otros protocolos. Los trabajos, que acaban de empezar, acabarán a principios de 2010.

- 802.11w,

Todavía no concluido. TGw está trabajando en mejorar la capa del control de acceso del medio de IEEE 802.11 para aumentar la seguridad de los protocolos de autenticación y codificación. Las LANs inalámbricas envían la información del sistema en tramas desprotegidas, que las hace vulnerables. Este estándar podrá proteger las redes contra la interrupción causada por los sistemas malévolos que crean peticiones desasociadas que parecen ser enviadas por el equipo válido. Se intenta extender la protección que aporta el estándar 802.11i más allá de los datos hasta las tramas de gestión, responsables de las principales operaciones de una red. Estas extensiones tendrán interacciones con IEEE 802.11r e IEEE 802.11u.

- 802.11y

En junio del año 2007 el FCC publicó este nuevo estándar que trabaja en el rango de frecuencias comprendido entre 3650 y 3700 MHz. Este estándar permitirá a las estaciones registradas alcanzar mayores potencias que las actuales. La combinación del uso de mayores potencias y las mejoras producidas en la capa MAC permitirán alcances mayores, aproximadamente de unos 5 kilómetros o superiores.

El estándar 802.11y añade tres nuevos conceptos:

- Contention Based Protocol (CBP), permite a varios usuarios usar el mismo canal radio sin precoordinación.
- Extended channel switch announcement (ECSA), consiste en un mecanismo por el cual el punto de acceso notifica a las estaciones conectadas a él la intención de cambiar de canal o de ancho de banda del canal.
- Dependent station enablement (DSE), es un mecanismo por el cual un operador extiende o deniega permisos de licencia para usar el espectro de radiofrecuencia.

802.16 WiMAX

El estándar IEEE 802.16 hace referencia a un sistema de acceso inalámbrico de banda ancha, BWA (Broadband Wireless Access), de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance (hasta 50 km), escalable, y que permite trabajar en bandas del espectro tanto "licenciado" como "no licenciado". El servicio, tanto móvil como fijo, se proporciona empleando antenas sectoriales tradicionales o bien antenas adaptativas con modulaciones flexibles que permiten intercambiar ancho de banda por alcance, según convenga en cada caso.

Existen varios estándares dentro de la familia 802.16, de los cuales estudiaremos los más destacados:

- 802.16:
- 802.16a
- 802.16b: Trabaja en la banda de 5-6 GHz con QoS.
- 802.16c: Facilita especificaciones de Interoperabilidad.
- 802.16-2004 ó 802.16d
- 802.16e

Aquí disponemos de una tabla comparativa de varios estándares:

	802.16	802.16a	802.16-2004	802.16e
Completado	Dec 2001	Enero 2003	Junio 2004	7 Dic. 2005
Espectro (GHz)	10 - 66	2 - 11	2 - 66	2 - 6
Condiciones	LoS	NLoS	LoS y NLoS	NLoS
Tasa de bit (Mbps)	32 – 134 (canales de 28 MHz)	Hasta 75 (canales de 20 MHz)	Hasta 75 (canales de 20 MHz)	Hasta 15 (canales de 5 MHz)
Modulación	QPSK, QAM-16 y QAM-64	OFDM-256, OFDMA-2048, QPSK, QAM-16, QAM-64	OFDM-256, OFDMA-2048, QPSK, QAM-16, QAM-64	Escalable OFDMA 128/256/512/1024/2048 QPSK, QAM-16, QAM-64
Movilidad	Sistema fijo	Sistema fijo	Sistema Fijo	Sistema Móvil
Anchura canal	20, 25 y 28 MHz	Seleccionable entre 1,25 y 20 MHz	Seleccionable entre 1.25 y 20 MHz	Seleccionable entre 1.25 y 20 MHz
Radio de celda típico	2 - 5 km aprox.	5 - 10 km aprox. (alcance máximo de unos 50 km)	5 - 8 Km. (Según altura de torre, ganancia de antena y poder de emisión)	2 - 5 km aprox.

Tabla 3.5.5 Estándares 802.16

IEEE 802.16

Si bien el término WiMAX sólo tiene algunos años, el estándar 802.16 ha existido desde finales de la década de 1990. En abril del 2002 se adoptó el estándar 802.16 (10-66 GHz). Así, y en principio, este estándar 802.16 se enfocaba específicamente en el uso eficiente del ancho de banda, en la región comprendida entre los 10 y los 66 GHz y definía una capa de control de acceso al medio capaz de soportar múltiples especificaciones de capas físicas, desarrolladas para el uso de esta banda de frecuencia.

IEEE 802.16a

En Enero de 2003 se aprobó el estándar 802.16a (2-11 GHz). A pesar del establecimiento del estándar 802.16a, el mercado del acceso inalámbrico fijo, FWA (Fixed Wireless Access), nunca terminó de despegar, aunque vale la pena mencionar que durante ese período toda la industria de telecomunicaciones estuvo luchando. Se cubre el rango de frecuencias de los 2 a los 11 GHz y contempla la utilización de dos técnicas de modulación, OFDM y OFDMA (aunque en Europa la técnica de OFDMA no está incluida). Del mismo modo, en los años sucesivos también se han ido introduciendo sucesivas y significativas mejoras.

IEEE 802.16-2004 (conocida previamente como Revisión D, o 802.16d)

Fue ratificada en julio de 2004 e incluye la versiones anteriores (802.16-2001, 802.16b/c de 2002, y 802.16a en 2003) y cubre tanto enlaces mediante línea de visión directa (LOS, Line of Sight) como aquellos sin línea de visión directa (NLOS, Non Line of Sight) en el rango de frecuencias 2-66 GHz. Como es costumbre en los estándares IEEE, sólo se regulan las especificaciones de las capas PHY (Physical) y MAC (Media Access Control). Los cambios introducidos en la norma 802.16-2004 estuvieron dirigidos al desarrollo de aplicaciones de interoperabilidad en el rango de frecuencias de 2-11 GHz.

Así las cosas, los actuales sistemas WiMAX se basan principalmente en dos especificaciones, el estándar 802.16-2004 de IEEE y la norma HiperMAN de ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Dos enfoques similares en lo que se ha dado en llamar tecnología BWA (Broadband Wireless Access). La diferenciación de ambas es tremendamente importante por una razón. La primera está orientada a comunicaciones en las que las estaciones emisora y receptora tienen una línea de visión directa. En la segunda, las bandas de frecuencia utilizadas permiten mantener la comunicación sin que ambos extremos estén directamente enfrentados, e incluso puede haber todo tipo de obstáculos entre medias del enlace, los cuales no impiden la transmisión de datos, como ocurre con las redes WiFi actuales o con la tecnología Bluetooth.

IEEE 802.16e, el WiMAX móvil

Aunque con la publicación oficial del estándar 802.16-2004 se asentaron las bases para el despliegue inicial de la nueva tecnología de acceso de banda ancha sin hilos, las expectativas finales de WiMAX van más allá de ser un sistema de tipo ADSL inalámbrico para entornos urbanos y rurales. Realmente los promotores de este proyecto persiguen la ambiciosa meta de que WiMAX sea la tecnología inalámbrica que unifique el mundo de la telefonía móvil y las redes de datos. Con este objetivo, en diciembre 2002, fue creado el Grupo de Trabajo IEEE 802.16e para mejorar y optimizar el soporte para la combinación de las capacidades de comunicación tanto fijas como móviles en frecuencias por debajo de los 6 GHz. Cumpliendo el calendario previsto, el 7 de diciembre de 2005 se realizó la ratificación oficial del nuevo estándar WiMAX Móvil (802,16e). La nueva versión del estándar introduce el soporte de la tecnología SOFDMA (una variación de la técnica de modulación OFDMA) el cual permite un número variables de ondas portadoras, que se añade a los modos OFDM y OFDMA ya existentes. Además, IEEE 802.16e ofrece un soporte mejorado de las tecnologías MIMO (Multiple Input Multiple Output) y AAS (Adaptive Antenna Systems). También, incluye mejoras para la optimización del consumo de energía para los dispositivos móviles y con ello disminuir el tamaño del módem CPE (Customer Premise Equipment), así como extensas características de seguridad...

Por último, también existen los grupos de trabajo de IEEE 802.16f e IEEE 802.16g que se encargan de las interfaces de administración de la operación fija y móvil.

Otra sigla que vale la pena mencionar es *WiBro* (Wireless Broadband o Banda Ancha Inalámbrica):

WiBro es una tecnología de banda ancha inalámbrica de Internet desarrollada por la industria de telecomunicaciones coreana. Adapta TDD para transmitirse, OFDMA para el acceso múltiple y 8.75 MHz como ancho de banda del canal.

Podríamos decir que es el equivalente asiático a la tecnología WiMAX.

WiBro implementa el estándar IEEE 802.16e, al igual que WiMAX, pero con unos objetivos distintos: aquí no importa la velocidad y la cobertura tanto como la fiabilidad de la señal cuando estemos en movimiento.

Las estaciones de la base WiBro ofrecerán un rendimiento de procesamiento de datos agregado de 30 a 50 Mbps y cubrirán un radio de 1,5 kilómetros. Proporcionará movilidad para los dispositivos móviles hasta 120 km/h; comparado con el LAN inalámbrico cuya movilidad es la velocidad de una persona en movimiento y la del teléfono móvil que tiene movilidad de hasta 250 km/h.

Radiaciones Electromagnéticas

Introducción

Se denomina así a la propagación de campos electromagnéticos mediante ondas a partir de una fuente. Esta denominación comprende distintos tipos de emisiones, dependiendo de la frecuencia de dichas ondas, comprendiendo no sólo las ondas empleadas en radiocomunicación que, en adelante, denominaremos emisiones radioeléctricas, sino los rayos infrarrojos, la luz visible, la ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma, producidos por la materia radiactiva.

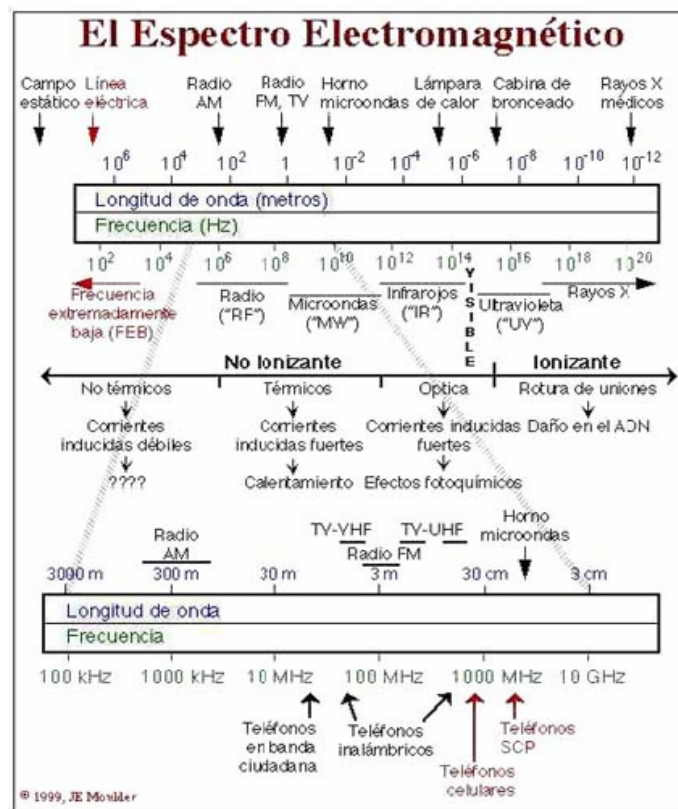


Figura 3.5.1 Espectro Electromagnético

¿Es perjudicial para el ser humano el calentamiento producido por las emisiones electromagnéticas?

Dentro de ciertos límites, el organismo humano dispone de mecanismos de termorregulación cuya misión es mantener la temperatura corporal.

Como todo el mundo sabe, tomar el sol supone una exposición a las radiaciones electromagnéticas de la luz solar, debiéndose tomar para ello ciertas precauciones. Del mismo modo, las emisiones radioeléctricas utilizadas en telecomunicaciones deben funcionar dentro de los márgenes considerados científicamente seguros.

¿Qué normativa regula las emisiones radioeléctricas utilizadas en telecomunicaciones?

La Recomendación del Consejo 1999/519/CE, de 12 de julio de 1999, relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz). Diario Oficial nº L199 del 30/07/99, establece unos valores máximos de determinados parámetros, 50 veces por debajo de los que científicamente se han comprobado que son inocuos. El Gobierno español ha adaptado nuestra normativa legal a esta Recomendación europea, respetando todo su contenido, mediante la publicación del R.D. 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas, medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas, y la Orden CTE/23/2002, de 11 de enero por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por operadores de servicios de radiocomunicaciones. Esta normativa debe satisfacer los deseos de la sociedad y su cumplimiento riguroso tiene por objeto tranquilizar a los ciudadanos respecto de las instalaciones de sistemas de telecomunicación.

¿Cómo se determinan los niveles máximos de exposición a las emisiones radioeléctricas?

La determinación de estos niveles se hace estableciendo parámetros medibles en las instalaciones. Un parámetro importante es la "Tasa Específica de Absorción" (TAE, o SAR por sus siglas en inglés) que se relaciona con la energía absorbida por el cuerpo humano. Una TAE de 4 W/Kg se considera dentro de los márgenes en los que el organismo humano dispone de mecanismos de autorregulación de la temperatura corporal.

La normativa establece la relación entre la TAE y el nivel de densidad de potencia del campo electromagnético, que se mide en W/m^2 o mW/cm^2 . La normativa fija unos límites máximos para los valores de TAE y densidad de potencia unas 50 veces inferiores a los considerados inocuos.

¿Qué límites establecen la normativa española y la Unión Europea para la densidad de potencia?

La Comisión Europea, a través de la Recomendación del Consejo citada anteriormente, establece una Tasa de Absorción Específica máxima de 0,08 W/Kg que para las frecuencias utilizadas en telefonía móvil (900 y 1.800 MHz), corresponde a unos límites de 0.45 y 0.9 mW/cm^2 , respectivamente, para la densidad de potencia. Para las frecuencias utilizadas en los sistemas de telefonía fija vía radio este límite es 1 mW/cm^2 . Estos límites son los establecidos en la normativa española.

¿Cómo se puede comprobar que las instalaciones cumplen la normativa?

Mediante la existencia de un proyecto técnico y la certificación de fin de obra firmada por un ingeniero de telecomunicación, y visados por el Colegio profesional correspondiente, que verifique que la instalación cumple los niveles de referencia establecidos en la normativa. La normativa española establece la obligación para los operadores de presentar una certificación de conformidad con la normativa vigente de las instalaciones que estén en funcionamiento, en el plazo de nueve meses a partir de su entrada en vigor. Además los proyectos de nuevas estaciones deben incluir un estudio que indique los niveles de exposición radioeléctrica en áreas cercanas. Las nuevas estaciones deberán pasar una inspección por los servicios técnicos del Ministerio de Ciencia y Tecnología o presentar una certificación de conformidad. Anualmente los instaladores deberán presentar una certificación de que se mantienen los niveles de emisión dentro de los límites establecidos en la normativa.

Situación actual en España para WiFi

Actualmente, en España la tecnología WiFi utiliza la banda de espectro de 2.4 GHz en su mayoría, aunque también empieza a usarse la de 5 GHz. En España, ambas bandas están denominadas de uso común. En concreto, las redes de telecomunicaciones inalámbricas soportadas en la tecnología WiFi utilizan las bandas de frecuencias de 2400 a 2483.5 MHz (usualmente denominada banda de 2.4), de 5150 a 5350 y de 5470 a 5725 MHz (usualmente denominada banda de 5 GHz). En lo que se refiere a la regulación de estas bandas, es necesario tener en cuenta lo establecido en la Orden de 9 de marzo de 2000, por la que se aprueba el Reglamento de Desarrollo de la Ley 11/1998, establecida el 24 de abril, General de Telecomunicaciones, en lo relativo al uso del dominio público radioeléctrico. Según éste, el uso del dominio público radioeléctrico puede ser de tres tipos:

- Común
- Especial
- Privativo

Al hablarse del uso **común**, ello implica que el uso del dominio público radioeléctrico es libre. Por tanto, no es necesario obtener una autorización de la Agencia Estatal de Radiocomunicaciones (AER) para el uso de esta banda de frecuencias. De esta manera, cualquier compañía puede utilizar esas bandas para prestar sus servicios sin perjuicio de que dichos servicios y la red establecida deban ser notificados previamente a la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (CMT). No obstante, los servicios asociados a un uso común del espectro no deberán producir interferencias ni podrán solicitar protección frente a otros servicios de telecomunicaciones autorizados de categoría diferente. La citada Orden establece que tendrá la consideración de "uso común" la utilización, con las características técnicas correspondientes, de aquellas bandas, sub-bandas, canales y frecuencias que se señalen en el CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias), no precisando este uso común el otorgamiento de ningún título habilitante.

Dentro de este marco normativo, cabe revisar concretamente la situación de las posibles bandas de frecuencias utilizadas por la tecnología WiFi para la prestación de los correspondientes servicios de comunicaciones electrónicas.

FCC y CNAF. Normas UN-85 y UN-128

	FCC		CNAF
	Punto a Multipunto	Punto a Punto	
2400-2483.5 MHz	36 dBm / 4W <i>(Si Gant aumenta 1 dB sobre 6 dBi, TPO debe disminuir 1 dB)</i>	PIRE variable <i>(TPO=36 dBm para Gant = 6dBi. Si Gant aumenta 1 dB sobre 6 dBi, TPO debe disminuir 1/3 dB).</i>	20 dBm/ 100mW <i>(preferentemente indoor)</i>
5.15-5.25 GHz	23 dBm / 200mW <i>(TPOmax = 50 mW)</i>	N/A	23 dBm/ 200mW <i>(sólo indoor) (sin y con TPC)</i>
5.25-5.35 GHz	30 dBm / 1W <i>(TPOmax = 250 mW)</i>	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • 20 dBm/ 100mW <i>(sin TPC y con DFS)</i> • 23 dBm/ 200mW <i>(con TPC y con DFS) (solo indoor)</i>
5.47-5.725 GHz	30 dBm / 1W <i>(TPOmax = 250 mW)</i>	N/A	<ul style="list-style-type: none"> • 27 dBm/ 500mW <i>(sin TPC y con DFS)</i> • 30 dBm/ 1W <i>(con TPC y con DFS) (indoor y outdoor)</i>
5.725-5.825 GHz	36 dBm / 4W <i>(TPOmax = 1 W)</i>	53 dBm / 200W <i>(Si Gant aumenta 1 dB sobre 23 dBi, TPO debe disminuir 1 dB)</i>	Dispositivos de corto alcance CNAF: UN-130 <i>(pire = 25 mW)</i>

Tabla 3.5.6 FCC y CNAF. Normas UN-85 y UN-128

TPO, Potencia de Transmisión.

BANDA DE 2.4 GHz, de uso común

El CNAF, aprobado por la orden CTE/630/2002, de 14 de marzo de 2002 establece que las bandas comprendidas entre los 2300-2450 MHz, los 2450-2483.5 MHz y los 2483.5-2500 MHz, entre otras, están asignadas a los servicios "fijo", "móvil" y "radiolocalización", y que, en cuanto a su uso, éste podrá ser de uso mixto ("privativo" o de "utilización por el Estado") o de "uso especial". No obstante, esta misma norma establece también determinadas excepciones que se detallan en las Notas UN (Utilización Nacional) para el "uso común" de algunas de estas bandas.

A tales efectos, la Nota UN-85 establece que la banda de frecuencias de los 2400 a 2483.5 MHz podrá ser utilizada de forma libre en redes de área local para la interconexión sin hilos entre ordenadores y/o terminales y dispositivos periféricos para aplicaciones en el interior de edificios. La potencia total será inferior a 100 mW (pire). Además, prevé otras condiciones de uso siempre que éstas sean conformes a la Recomendación de la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y telecomunicaciones (CEPT) y el Comité de Comunicaciones Electrónicas (ECC). Sin perjuicio de lo anterior, la misma nota determina que esta banda de frecuencias también podrá utilizarse para aplicaciones generales de baja potencia en recintos cerrados y exteriores de corto alcance siempre que la

potencia máxima no exceda del citado límite de 100 mW. Esta utilización también se considera de uso común. Al considerarse de uso común, o de uso libre, como ya se ha comentado, significa que no es necesario obtener una autorización o concesión demanial de la AER/SETSI para el uso de esta banda de frecuencias. Por lo tanto, cualquier compañía puede utilizar la banda para prestar sus servicios, sin perjuicio de que dichos servicios y la red establecida deban ser notificados previamente a la CMT. La única condición que establece la nota de utilización nacional señalada para este tipo de uso de la citada banda de frecuencias de 2.4 GHz es que las características radioeléctricas de los equipos que se utilicen deben ajustarse a las especificaciones del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI) ETS 300 328, ETS 300 440 o bien al estándar específico, si es el caso y en consecuencia deberá realizarse la correspondiente evaluación de conformidad.

BANDA DE 5 GHz, de uso común

En la CMR-03 (Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones, celebrada en julio de 2003 en Ginebra) se establecieron con éxito nuevas atribuciones de frecuencias al servicio móvil en las bandas de 5.150-5.350 GHz y 5.470-5.725 GHz para la instalación de nuevos sistemas de acceso inalámbrico, y en particular para las WLAN.

La CMR-03 precisó que los dispositivos inalámbricos no requieren licencias individuales si se utilizan para crear redes de banda ancha en los hogares, las oficinas y las escuelas. Asimismo, estas redes también se pueden utilizar en las instalaciones públicas de lugares "sensibles" tales como aeropuertos, cafeterías, hoteles, hospitales, estaciones de ferrocarril y centros de congresos, a fin de ofrecer acceso de banda ancha a Internet. La eficacia de este tipo de redes quedó patente en el propio centro de conferencias ya que se facilitaron así los trabajos y los delegados pudieron disponer de un acceso rápido y fácil a los documentos y a las redes internas de sus empresas. En la CMR-03 también se estableció que la parte inferior del espectro de 5 GHz debía utilizarse principalmente para aplicaciones de interiores, y los primeros 100 MHz (5150-5250 MHz) estarían limitados exclusivamente a dicha utilización. El empleo de estas bandas de frecuencias está, en todo caso, sujeto a la adopción de mecanismos de reducción de la interferencia y a límites de la potencia de emisión, a fin de que no causen interferencias a otros servicios de radiocomunicaciones que funcionan en la misma zona del espectro.

En este sentido, el Gobierno Español, de acuerdo con las conclusiones que se adoptaron en la CMR-03 de Ginebra, y conforme a la Recomendación de la Comisión Europea sobre las Redes Radioeléctricas de Área Local (WLAN), modificó mediante la Orden CTE/2082/2003, de 16 de julio, el CNAF, armonizando las redes LAN y WiFi con el espectro radioeléctrico europeo y permitiendo el uso de la banda de 5GHz para LANs o HiperLANs en España.

De acuerdo con la evolución expuesta en cuanto a la normativa internacional, la modificación del CNAF por parte de la orden CTE/2082/2003, de 16 de julio, responde al rápido desarrollo tecnológico de

las WLAN y de los sistemas WiFi para la prestación de servicios de acceso de banda ancha, y a la consecuente presión de la Comisión Europea para establecer plataformas alternativas de infraestructuras con el fin de reforzar la competencia en beneficio del consumidor sobre la base de los costes, funcionalidad y calidad en la prestación de servicios. Las bandas de frecuencias de 5 GHz podrán ser utilizadas por el servicio móvil en WLAN de altas prestaciones, en conformidad con las condiciones que se indican a continuación:

- Banda de 5.150-5.350 GHz:

En esta banda el uso por el servicio móvil en redes de área local se restringe para su utilización exclusivamente en el interior de recintos y las características técnicas deben ajustarse a la tabla adjunta y a las movilidades técnicas contempladas en la misma. Las utilidades por el servicio móvil en redes de área local en un uso restringido al interior se consideran de uso común. El uso común no garantiza la protección frente a otras utilidades ni puede causar perturbaciones a servicios existentes legalmente autorizados.

Banda (MHz)	Potencia (pire)		
	Sistemas sin TPC	Sistemas con TPC	Sistemas con TPC y con DFS
5.150-5.250	30 mW	120 mW	200 mW
5.250-5.350	60 mW con DFS	200 mW con DFS	200 mW

Tabla 3.5.7 pire en banda de 5.150-5.350 GHz

TPC, técnicas de control de potencia.
DFS, selección dinámica de frecuencias.

- Banda de 5.470-5.725 GHz:

Esta banda puede ser utilizada para las WLANs en el interior o en el exterior de recintos con potencia inferior o igual a 1W (pire). Estos sistemas deberán disponer de técnicas de control de potencia (TPC) y selección dinámica de frecuencias (DFS) pero siempre cumpliendo con las especificaciones de la Recomendación UIT-R M.1652 sobre sistemas de acceso radio incluyendo WLAN en la banda de 5 GHz. Los usos que se hagan en esta banda se consideran de uso común que no garantiza la protección frente a otras utilidades ni puede causar perturbaciones a servicios existentes legalmente autorizados.

Asimismo, en la CMR-03, se establecieron las pautas en cuanto al funcionamiento de las estaciones del servicio móvil de acuerdo con las condiciones siguientes:

- En la banda de 5.150-5.350 GHz, las estaciones se utilizan sólo en locales interiores y valor medio máximo de pire de 200mW.
- En la banda de 5.470-5.725 GHz, el empleo de las estaciones se limitará a un valor de pire medio máximo de 1W.

Situación actual en España para WiMAX

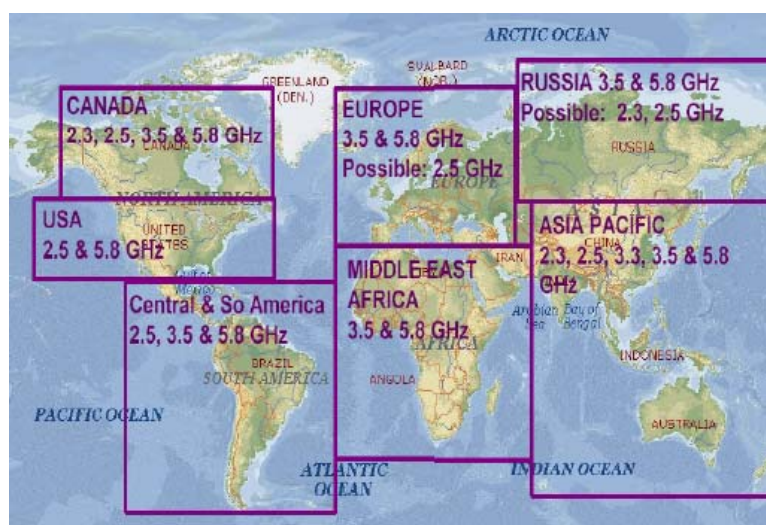


Figura 3.5.2 Frecuencias WiMAX a nivel mundial

Actualmente, el enfoque se realiza en las frecuencias dentro del rango que existe entre 2-6 GHz del espectro. Aquí, el ancho de banda reservado es más estrecho que el disponible en el rango de 10 a 66 GHz, al que nos referiremos como ondas milimétricas, respecto a las centimétricas del primer caso. Las ondas milimétricas se adecuan más a backhuals con anchos de banda elevados y visión directa, a diferencias de las centimétricas.

El WiMAX Forum mantiene que las bandas de frecuencia deben ser colocadas de manera que los operadores con licencia puedan prestar los servicios y utilizar las tecnologías más adecuadas para su entorno. En los próximos años, el WiMAX Forum cree que se puede lograr un nivel razonable de armonización en las bandas de frecuencias que veremos a continuación.

- *Banda libre de 5 GHz:*

El rango de frecuencias de interés incluye las bandas entre 5,25 GHz y 5,85 GHz. La banda entre 5,15 GHz y 5,25 GHz es la más utilizada para aplicaciones interiores de baja potencia, por lo que queda fuera del interés de las aplicaciones WiMAX. Este es el caso de la banda de frecuencia usada en 802.11a (que llega hasta los 5,35GHz). Además, se caracteriza por disponer de poca potencia en las frecuencias bajas. Para el caso de las bandas inferiores a 5,47 GHz la potencia máxima es de 200 mW p_{ire}, mientras que para la banda de 5,47-5.725 GHz la potencia máxima es de 1 W p_{ire}.

En la mayoría de los países la banda de 5.47-5.725 es una banda libre, a excepción de algunos países donde hay licencias de uso, para tener constancia de las operaciones, esta banda es estratégica para permitir cubrir mercados remotos o rurales con una baja tasa de población, que pueden quedar fuera del interés de los operadores

tradicionales.

En la banda superior (5725-5850 MHz) muchos países permiten una mayor potencia de salida (4 W en lugar de 1 W pIRE) lo que hace que la banda sea más atractiva para aplicaciones WiMAX en larga distancia. Además de que no está tan ocupada, al estar libre de tecnologías WiFi o de la banda WRC. El WiMAX Forum promueve acciones, especialmente en Europa, para que se libere esta banda de manera armónica, que por ahora sólo se ha realizado en el Reino Unido e Irlanda. Esta banda usará TDD y canales de 10 MHz de ancho.

- Banda con licencia de 3,5GHz

Se trata de la primera banda utilizada para operadores de banda ancha con licencia, que generalmente se localiza entre los 3,4 y 3,6 GHz, aunque hay nuevas posibilidades en el rango 3,3 y 3,4 GHz (en la actualidad en China, en fase de consultas, y la India, donde ya se ha liberado parte del espectro) y en el 3,6-3,8 GHz (donde Francia ha sido la primera, seguida por el Reino Unido, el resto de Europa y Estados Unidos, donde está en fase de consultas). Bandas superiores a ésta, puede que sean ocupadas por el Reino Unido, hasta los 4,2 GHz.

Las bandas entre 3,4 y 3,6 GHz han sido reservadas por la mayoría de los países para servicios fijos, móviles y/o por satélite, con la excepción de los Estados Unidos. En estas bandas el enfoque del foro WiMAX será el de minimizar los requisitos técnicos y reglamentarios no necesarios que puedan inhibir el desarrollo de WiMAX para esta clase de operadores. En ellas se opera tanto con TDD como con FDD, existiendo por lo general canales de 3,5 y 7 MHz.

Las características de la banda la orientan hacia aplicaciones fijas, quedando fuera del objetivo para aplicaciones móviles del 802.16e.

- Banda mixta de 2,5GHz

Las bandas entre 2,5 y 2,69 GHz (Multichannel Multipoint Distribution Service) han sido reservadas por Estados Unidos, México, Brasil y algunos países de Asia (principalmente Singapur), donde ha sido poco utilizadas para su utilidad original, relacionada con la transmisión de televisión. El WiMAX Forum realiza esfuerzos globales con el objetivo de aumentar la disponibilidad de estas bandas para aplicaciones de banda ancha tanto fija como móvil, estando el horizonte fijado para conseguir su disponibilidad en el 2008. Esta banda usa tanto FDD como TDD, con ancho de banda de los canales de 5 MHz, con 6 MHz en el caso de los Estados Unidos (que cuenta con 31 canales).

También en Asia, Australia y Nueva Zelanda, se utiliza la banda de 2,3 GHz, que se espera que se cubra con los sistemas de 2,5 GHz. Esta banda de 2,3 (llamada WCS) está formada por dos slots de 15 MHz, (2305-2320 MHz y 2345-2360 MHz), con una separación en medio de 25 MHz, debido a que está reservado para servicios de radio digital (DARS).

Se considera que esta banda intermedia puede suponer una fuente de interferencias.

Esta banda del espectro está orientada al desempeño de servicios móviles, dentro del estándar 802.16e, ya que es la que presenta un mejor comportamiento para este tipo de servicios.

- Otras bandas de frecuencia:

No todo el espectro de radiofrecuencia es igual, las señales se propagan más lejos cuanto menor sea la banda de frecuencia utilizada, creando una relación directa entre el número de estaciones base utilizadas para cubrir un área de servicio dada. De manera más específica, a menor frecuencia, menor número de estaciones base. Ya que el coste de las instalaciones es determinante a la hora de acelerar el despliegue de operadores, el acceso a bandas de frecuencias menores es fundamental.

Hay ejemplos de países en vías de desarrollo en los que el uso de bandas de frecuencia menores es fundamental para permitir un despliegue. El WiMAX Forum trabaja con organismos reguladores para la reserva de espectro, tanto con licencia como libre, en bandas por debajo del 1 GHz, especialmente en bandas que queden libres en migraciones a televisión digital. Por ejemplo, en el caso de Estados Unidos, se cree que van a quedar bandas libres en el rango de los 700 MHz.

Uso libre o con licencia:

Los beneficios de las soluciones basadas en WiMAX, tanto en espectro con licencia como de uso libre, sobre las soluciones cableadas, son la eficiencia en costes, escalabilidad y flexibilidad. En este apartado nos centraremos en ver cuáles son las diferencias, dentro de WiMAX, entre la utilización de espectro libre o bandas licenciadas. En general, veremos que en las bandas de licencia se obtiene una mayor calidad de servicio con un mayor coste de entrada (por la compra del espectro), mientras que las bandas libres de licencia presentan una menor calidad, pero tiene un menor coste y una mayor interoperatividad.

- Bandas con licencia:

Para emplear una solución con licencia es preciso que el operador adquiera espectro, que es un proceso muy variable en función del país en el que se quiera operar, teniendo que pasar por subastas, elevados precios y retardos considerables. Por contra, esta barrera de entrada, acompañada del uso exclusivo de una banda, permite conseguir una gran calidad y una interferencia muy baja.

Las frecuencias bajas asociadas a bandas licenciadas (2,5 GHz y 3,5 GHz) permiten conseguir una mejor característica NLOS. Según se incremente el despliegue de los operadores aparecerán las primeras interferencias dentro de las propias redes, que se deberán reducir con un diseño apropiado de la red.

- Bandas de uso libre:

El elevado coste de la adquisición de espectro lleva a muchos operadores inalámbricos a considerar el uso de bandas sin licencia para áreas rurales o mercados emergentes. Este tipo de soluciones tiene una serie de ventajas respecto a las soluciones de bandas con licencia, como es el menor coste, la mayor escalabilidad o la mayor interoperatividad.

Los proveedores de servicio en mercados emergentes, como países en desarrollo o países maduros con áreas subdesarrolladas, pueden reducir el tiempo de llevar al mercado el servicio y los costes iniciales si optan por usar soluciones basadas en licencia abiertas. Además, también es posible usar estas soluciones en el caso de operadores con licencia, como backup (recursos adicionales para ofrecer seguridad en caso de emergencia) de su red habitual.

Las soluciones en bandas de libre uso están limitadas en términos de la potencia de salida transmitida, a pesar de que no sea precisa licencia. Esta potencia es el único condicionante para los proveedores, que pueden usar el espectro tanto como deseen. Otra limitación es la calidad de servicio, que vendrá dada también por el número de señales interferentes de otros operadores.

4. Caso de estudio

El despliegue de La Sociedad de la Información se apoya en el estímulo mutuo entre el crecimiento de las redes de telecomunicación de alta velocidad y los servicios que éstas posibilitan y de los que se financian.

Este caso de estudio se centrará en las aplicaciones de una red de telecomunicación inalámbrica basada en la complementariedad de las tecnologías WiFi y WiMAX en un entorno marítimo, ya que una de las más crecientes demandas de la industria naval es la necesidad de disponer de comunicaciones de banda ancha fiables, robustas y económicamente competitivas.

La literatura existente en torno a esta temática es muy escasa debido, fundamentalmente, al carácter incipiente e innovador de la tecnología WiMAX.

Los servicios que se podrían ofrecer serían entre otros:

- **Provisión de acceso a Internet de banda ancha:**

La *killer-application* de la tecnología WiMAX en este entorno es, sin duda, la provisión de acceso a Internet. Así, se abre un potencial modelo de negocio para operadores de acceso a Internet inalámbricos (WISP's) especializados en acceso marítimo. De este modo, con una red de estaciones base costeras con tecnología WiMAX, es factible proveer acceso a Internet de banda ancha a usuarios "fijos" ubicados en la zona de cobertura marítima, próxima a la costa.

De igual modo, es factible la provisión de servicios de telefonía IP, sustituyendo y mejorando los sistemas actuales de radiotelefonía (*shore-to-ship calling*) actualmente dependientes de una entidad portuaria y de escasa privacidad.

- **Telecontrol, telemedida y telemando:**

Los sistemas actuales de telecontrol, telemedida y telemando podrían sustituir sus accesos, tradicionalmente basados en módems FSK en la banda de 400 MHz y con velocidades máximas de 9600 bps, pudiendo mejorar así su capacidad de comunicación.

- **Vídeo-vigilancia:**

Una vez que se dispone de una red inalámbrica de banda ancha, con garantías de servicio y baja latencia, se puede considerar la instalación de cámaras de vídeo-vigilancia en puntos estratégicos situados en el mar (balizas, radiofaros, molinos de viento marinos, islas, etc.). En este sentido, existen varios casos de éxito en la zona del Levante español, para

monitorización de cámaras IP y sensores en instalaciones de energía solar en el mar.

- **Cobertura de regatas y eventos deportivos:**

Las regatas marítimas presentan una alta demanda de ancho de banda, tanto por motivos de seguridad (telemetría, posicionamiento, etc.) como para ocio (cámaras embarcadas, conexiones en directo, etc.).

En combinación con sistemas de posicionamiento, se pueden mejorar también los servicios de telemetría, para transmitir en tiempo real la ubicación de los barcos y realizar una representación gráfica de la misma. En este sentido, cabe reseñar una experiencia piloto celebrada en la pasada regata "Desafío Audi" en Sanxenxo (Pontevedra, 2007), donde se consiguió transmitir vídeo en IP codificado directamente desde el campo de regatas.

- **Establecimiento de hot-spot marítimos:**

De forma similar a los hot-spot WiFi, es factible la creación de una red inalámbrica de banda ancha para el uso exclusivo por parte de una empresa u organismo, tanto para la comunicación barco-costa, costa-barco o barco-barco. Este último caso (barco-barco) puede ser de aplicación en estructuras flotantes en la costa o en alta mar, tales como plataformas petrolíferas o parques eólicos marítimos, donde se podrían crear una amplia zona de cobertura inalámbrica para uso privado.

El caso de estudio consiste en controlar y monitorizar una piscifactoría situada en alta mar, concretamente en la ría de Vigo (Pontevedra), situada en las Rías Baixas gallegas en España (ubicación 42° 13' N 8° 49' O).

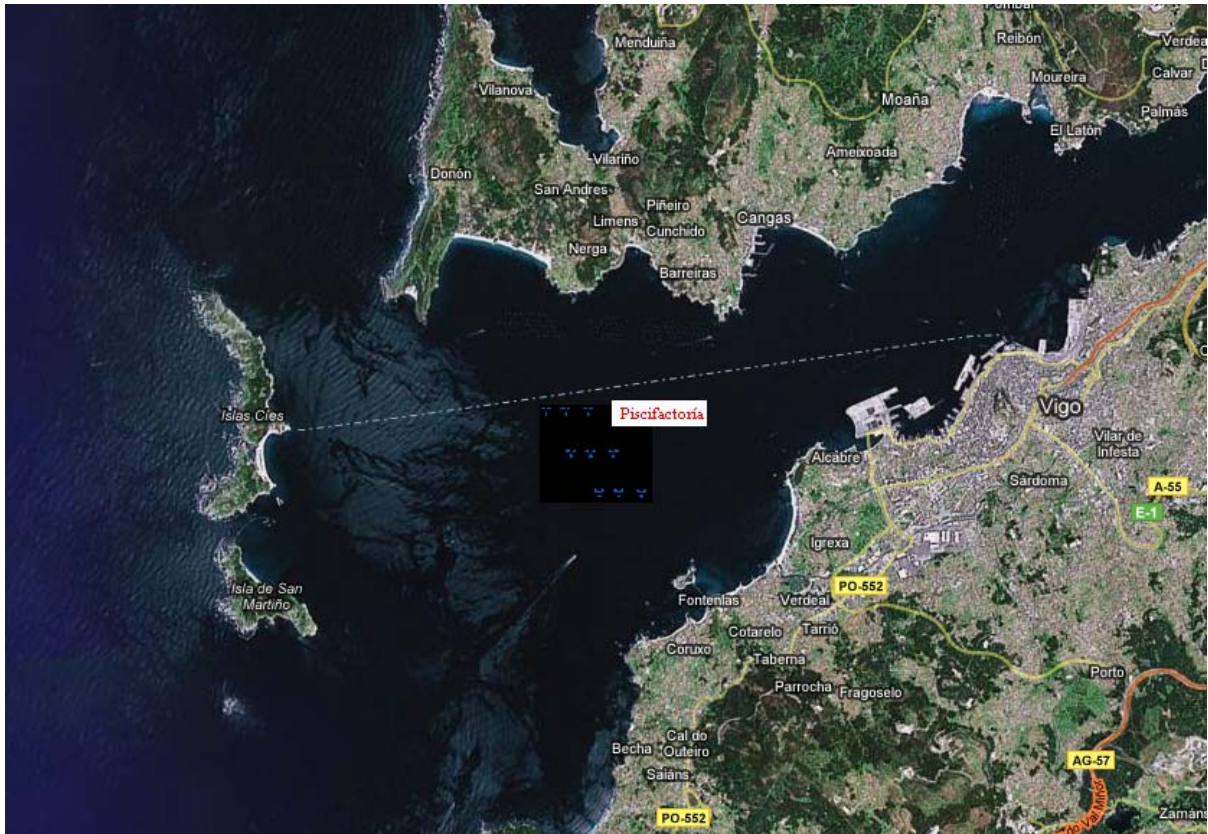


Figura 4.1 Localización del caso de estudio

Realizando un zoom de la imagen, podremos ver con más claridad la ubicación de la piscifactoría:

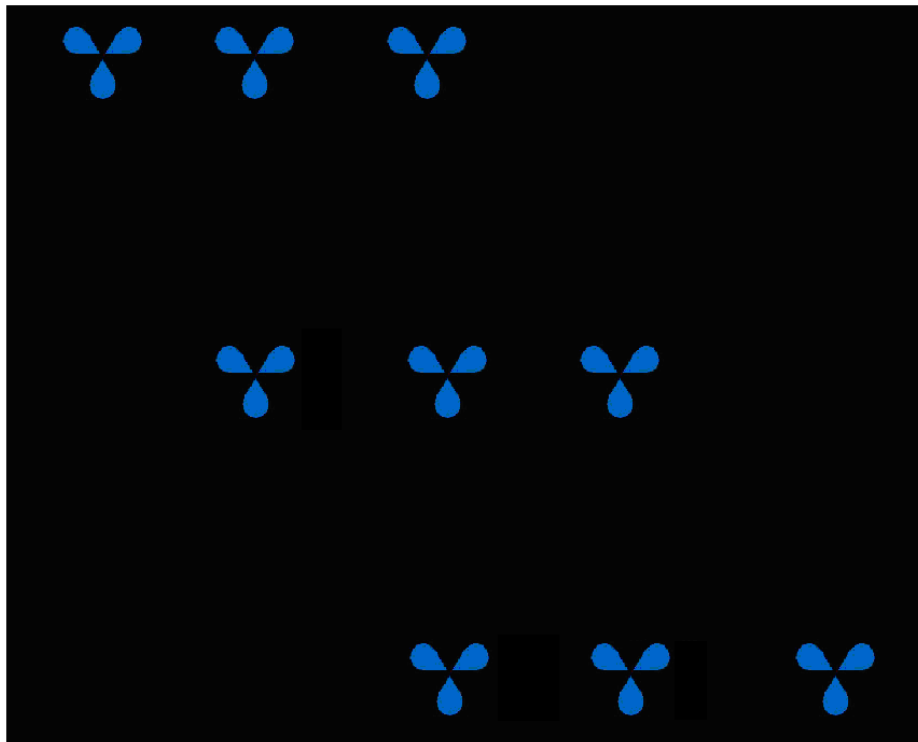


Figura 4.2 Zoom de la localización de la piscifactoría

Dichas jaulas tendrán los diferentes peces en distintas fases de evolución.

Las principales motivaciones para llevar a cabo este proyecto han sido la necesidad de ejercer controles remotos de la producción y de la seguridad, así como la monitorización a distancia del estado general del mar y de la instalación.

Ha influido notoriamente la intención de solucionar problemas actuales que sufren las piscifactorías en lo que a seguridad se refiere, ya que embarcaciones desconocidas frecuentan las piscifactorías coincidiendo con un descenso de la producción. El elevado coste de las patrullas hacía necesario la implantación de un sistema de control remoto que al mismo tiempo pudiera aprovecharse para el control de producción, monitorizando los procesos de pesca y alimentación de los peces.

Para la comunicación mar-tierra se va a optar por un radio-enlace WiMAX en la banda 5.4 GHz. El resto de la infraestructura de comunicaciones en alta mar consiste en una red local inalámbrica WiFi, en la banda de 2.4 GHz, que permite la conexión entre los diferentes viveros y embarcaciones que se situen dentro de la zona de cobertura.

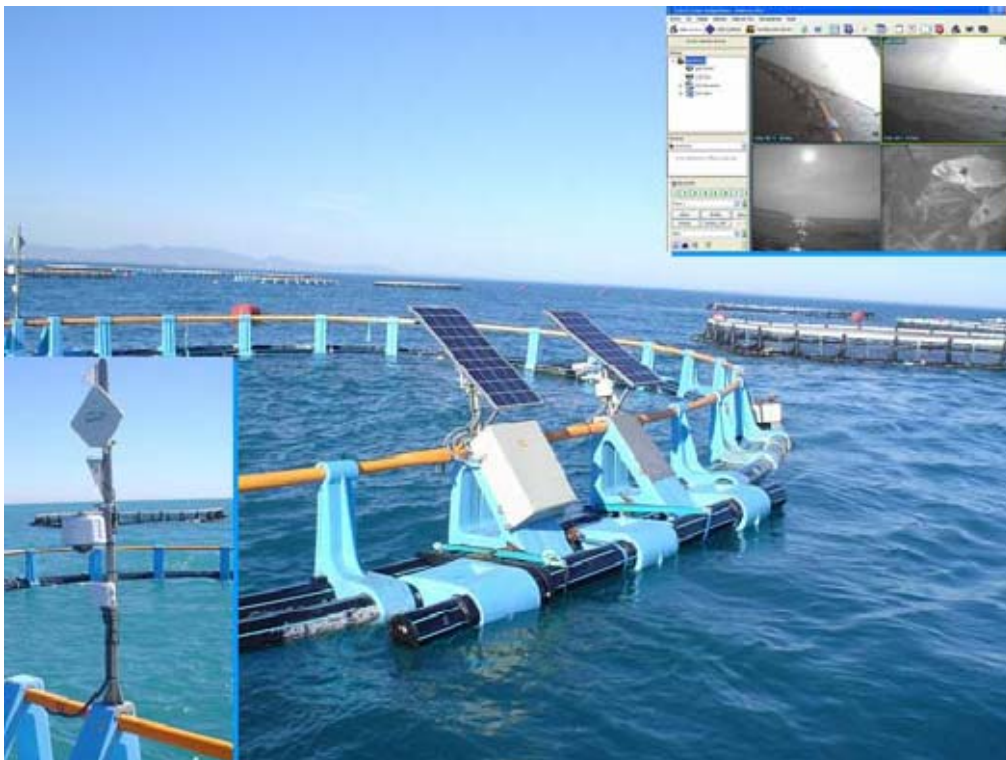


Figura 4.3 Fotografía de las jaulas a implementar

5. Metodología en el proyecto de despliegue

- *Especificación de la red*

- *Arquitectura de la red*

Básicamente el sistema de telecomunicación a implementar tiene dos tipos de enlaces:

- Punto a Punto: implementado con tecnología WiMAX.
- Punto a Multipunto: implementado con tecnología WiFi.

El esquema funcional es el siguiente:



Figura 5.1 Arquitectura de la red

Veamos un zoom de la imagen, observando los dos tipos de tecnologías usadas (WiFi y WiMAX), y la disposición de las jaulas.

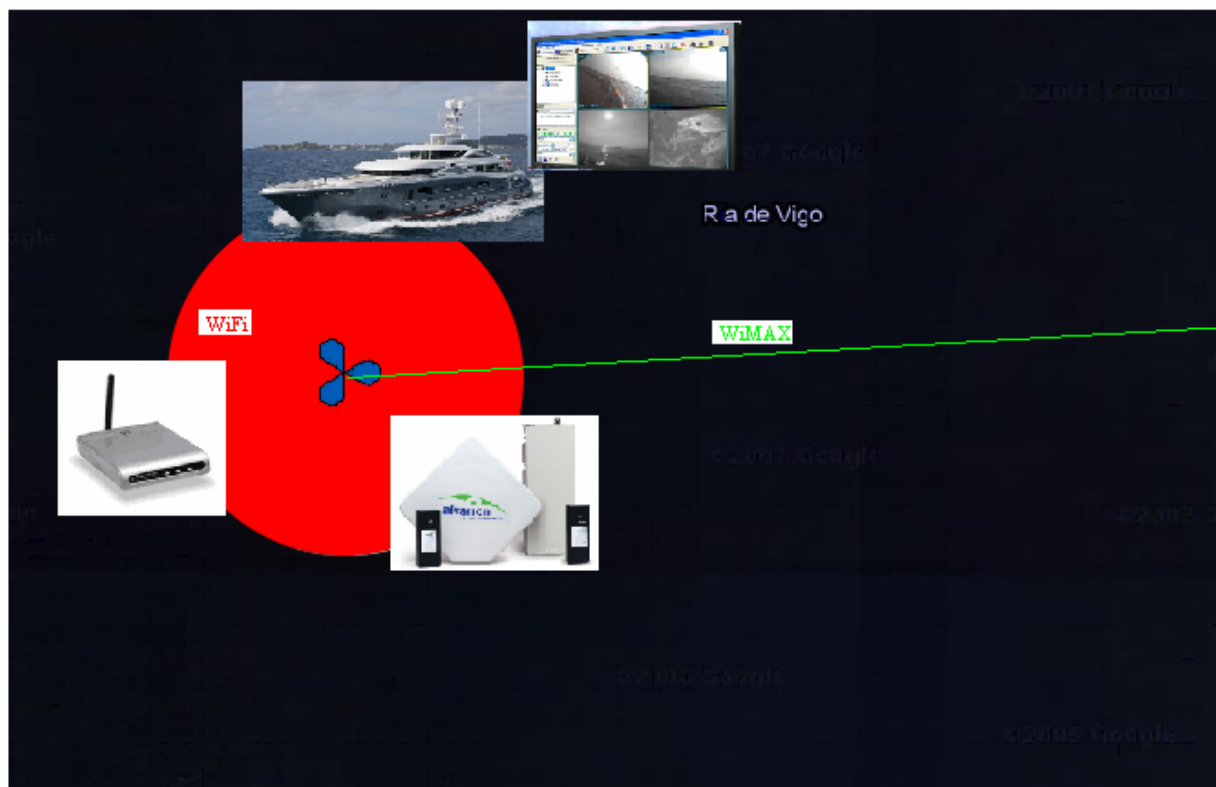


Figura 5.2 Zoom de la Arquitectura de la red

- Equipos necesarios

La piscifactoría constará de 27 jaulas independientes, que contendrán los diferentes tipos de peces. Cada jaula será controlada por varias cámaras de video que estarán grabando las 24 horas del día. Esta información será enviada a tierra, mediante un enlace de telecomunicación WiMAX. También existirá la posibilidad de que desde barcos autorizados, puedan acceder a la visualización de las cámaras sumergidas desde las inmediaciones de la instalación mediante la tecnología WiFi.



Figura 5.3 Croquis del sistema

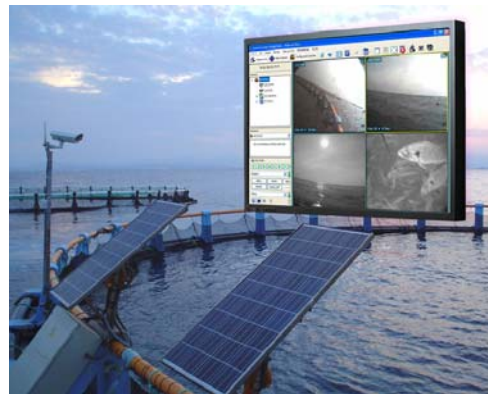


Figura 5.4 Foto de las jaulas a implementar

La piscifactoría cuenta con una nave en tierra, donde se encuentran las oficinas principales, y con una instalación en el mar, a unos 10 Km (5.396 millas náuticas) de la costa, que consiste en 27 jaulas independientes de 10 metros de diámetro cada una.

Las jaulas no serán totalmente redondas si no que estarán ligeramente deformadas en uno de los extremos, para que puedan unirse cada tres jaulas en un punto común.

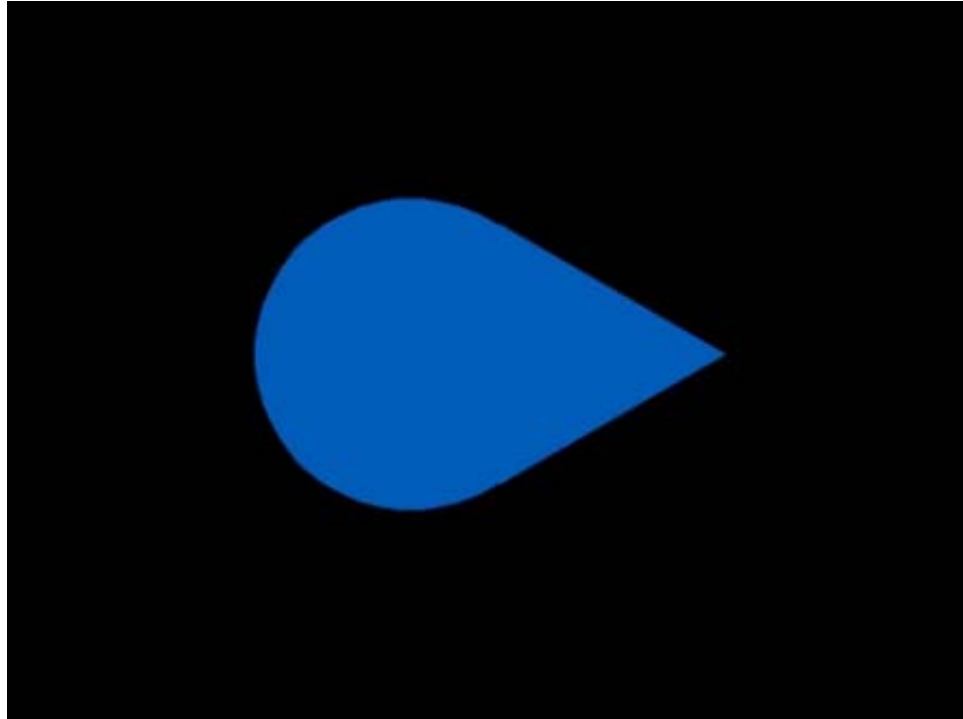


Figura 5.5 Superficie de la jaula

Aquí se observa claramente la forma de la superficie de la jaula.

Se realizan módulos compuestos por tres jaulas debido a un ahorro económico, ya que de esta forma se usan tres veces menos dispositivos que si cada módulo de telecomunicación está formado por una única jaula. Aunque el ancho de banda requerido será mayor al enviar tres veces más información.

El cliente nos ha pedido como requisito, entre otros, que la instalación tenga el menor impacto posible en el paisaje marino, debido fundamentalmente a que el ayuntamiento de Vigo compensa económicamente estas ideas.

Otro requisito implícito, es el económico. Encontrar una buena solución con los costes menores posibles.

A simple vista podemos hacernos una idea de algunas características del entorno marítimo que afectarán a nuestro enlace:

- Oscilaciones de los equipos respecto a la estación base, debido al oleaje.
- Lluvia.
- Niebla.

- Gases atmosféricos de vapor de agua y de oxígeno.
- Reflexiones en la superficie del mar.
- Brisa marina.
- Etc.

Debido a las especificaciones del cliente y habiendo analizado previamente todos los tipos de tecnologías posibles (ver el apartado sexto de análisis tecno-económico), hemos decidido utilizar tecnologías inalámbricas, ya que sin duda reducirán considerablemente el impacto medio ambiental. En concreto haremos uso de las tecnologías inalámbricas WiFi y WiMAX, las cuales se complementan en su servicio.

Para la comunicación mar-tierra se va a optar por un radio-enlace WiMAX en la banda sin licencia de 5.4 GHz.

Para la comunicación módulo-barco se optará por un radio-enlace WiFi, en la banda sin licencia de 2.4 GHz.

Los usuarios de las distintas embarcaciones acceden a la red WiFi mediante un ordenador con conexión WiFi, un usuario y una clave que se les proporciona en las oficinas principales de la empresa. La cobertura de cada red WiFi en su respectivo módulo es de 50 metros.

Las jaulas como antes explicamos, llevarán instalado un sistema de video. Dicho sistema se compone de 2 cámaras de video sumergidas y una cámara en la superficie que están grabando las 24 horas del día. Poseen diversas funciones como monitorización submarina, monitorización nocturna o control de giro y zoom (en el caso de las cámaras superficiales). Aparte necesitaremos un núcleo de transmisores de vídeo IP, que codifiquen la señal de vídeo analógica en MPEG4 y la transmitan en diferentes flujos IP para la grabación o la visualización en directo desde las oficinas, ofreciendo alta resolución y máximo número de imágenes por segundo.

Todas las cámaras son visualizadas, grabadas las 24 horas y controladas desde tierra mediante una solución de vídeo IP, empleando codificadores de vídeo, software de gestión y de grabación de vídeo.

El enlace de telecomunicación WiFi es bidireccional:

- Módulo → barco: Se transmite información video.
- Barco → Módulo: Se transmite usuario y pass Word.

El enlace de telecomunicación WiMAX es bidireccional:

- Módulo → Costa: Se transmite información de video.
- Costa → Módulo: Se transmite información de control de las cámaras superficiales (giro y zoom).

Paralelamente a las comunicaciones y al sistema de vídeo IP, se hará necesario el desarrollo de un sistema de alimentación eléctrica autónomo, basado en paneles solares, y un no menos importante sistema de soportes y armarios que permiten la supervivencia de la electrónica en las condiciones extremas en que está funcionando.

Cálculo de la capacidad requerida

MPEG-4 tiene como margen de ancho de banda desde 5 kbps a 10 Mbps.

Tendremos dos tipos de grabaciones:

- Cámaras sumergidas: necesitaremos un ancho de banda alto de unos 2 Mbps, al ser un entorno hostil. Dispondremos de 2 cámaras por jaula.
- Cámara superficial: Usaremos 1 Mbps de ancho de banda, al disponer de mejores condiciones que en el caso anterior. Contaremos con una cámara por jaula.

Unidades	Tipo de cámara	Ancho de banda/Unidad
2	Sumergidas	2 Mbps
1	Superficie	1 Mbps

Tabla 5.1 Capacidad requerida por jaula

Luego en el caso de WiMAX necesitaremos en total 5 Mbps por jaula y 15 Mbps en cada módulo. Aunque tendremos que añadirle 1 Mbps más para la información de control de las cámaras superficiales.

Mientras que para el caso de WiFi al transmitir solamente el video de las cámaras sumergidas, necesitaremos en total 4 Mbps por jaula y 12 Mbps en cada módulo.

Cada módulo de 3 jaulas se comunicará mediante un enlace WiMAX con las oficinas de tierra, y también dicho módulo dispondrá de su respectivo punto de acceso WiFi al que se podrán conectar varios usuarios simultáneamente.

- Análisis de pérdidas

Veamos primero el clima de la zona, para poder hacernos una idea de la influencia de factores medioambientales en el análisis de pérdidas.

El clima de la ciudad de Vigo es oceánico con influencias mediterráneas. Se caracteriza por unos inviernos suaves y lluviosos, y unos veranos cálidos pero no extremos, pues las temperaturas no suelen superar los 25°C.

La siguiente tabla refleja la temperatura y precipitaciones medias mensuales:

MES	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct.	Nov.	Dic.
Tempr. °C	10	11	13	14	15	17.3	19.4	19.4	18.0	14.6	11.3	9.2
Precipitac. mm.	255	219	145	148	141	73	43	40	113	215	228	298

Tabla 5.2 Temperatura y precipitaciones medias mensuales

Luego podemos observar que no hay temperaturas extremas durante el año, si no que se produce un cambio suave entre los meses de verano y los de invierno. Sin embargo las precipitaciones son abundantes, sobre todo en los meses de invierno.

Propagación:

WiMAX:

No podemos aplicar la fórmula expuesta en la parte de estado del arte ya que este caso, entorno marítimo, no está considerado. Era una fórmula referente a un enlace terrestre, y proporciona mayores pérdidas de las realmente existentes.

Como no hay modelos de pérdidas existentes para este entorno, vamos a utilizar el siguiente modelo de pérdidas en el espacio libre y a este modelo le iremos añadiendo otras pérdidas producidas por diferentes factores:

Pérdidas en el espacio libre:

$d = 10.000$ m, es la distancia en metros entre módulo y costa.

$f = 5.4$ GHz

$$L_p = 20 \times \log_{10} \left(\frac{4 \times \pi \times d}{\lambda} \right) = 92.45 + 20 \times \log_{10} (f_{GHz}) + 20 \times \log_{10} (d_{Km})$$

$$= 127.1 \text{ dB}$$

WiFi:

$d = 50$ m, es la distancia en metros entre módulo y barco.

$f = 2.4$ GHz

$$L_p = 20 \times \log_{10} \left(\frac{4 \times \pi \times d}{\lambda} \right) = 92.45 + 20 \times \log_{10}(f_{GHz}) + 20 \times \log_{10}(d_{km}) = 74 \text{ dB}$$

A estas ecuaciones habrá que añadirle los efectos ocasionados por la reflexión causada por objetos tanto próximos como lejanos al trayecto directo, la difracción producida por objetos próximos al trayecto directo de propagación, las pérdidas por polarización y las pérdidas por desapuntamiento de las antenas.

Reflexión:

$$L_{TP} = 40 \times \log(d) - 20 \times \log(h_1) - 20 \times \log(h_2)$$

WiMAX

$$L_{TP} = 40 \times \log_{10}(10000) - 20 \times \log_{10}(5) - 20 \times \log_{10}(30) = 116.48 \text{ dB}$$

WiFi

$$L_{TP} = 40 \times \log_{10}(50) - 20 \times \log_{10}(5) - 20 \times \log_{10}(6) = 38.42 \text{ dB}$$

Ambos valores son inferiores a las pérdidas de propagación calculadas anteriormente, con lo que despreciaremos este factor. Lo despreciamos porque se coge el máximo entre las pérdidas de propagación y las pérdidas de reflexión, siendo en este caso las pérdidas de propagación mayores.

Difracción:

En el mar apenas hay obstáculos, salvo embarcaciones que se interpongan entre la antena transmisora y la antena receptora. Veamos la influencia en la señal en el peor caso, que se producirá cuando exista un barco cercano a las proximidades de la antena situada en alta mar que es la que tiene menos altura.

Para realizar el cálculo, haremos uso de dos modelos:

- modelo para objeto puntiagudo
- modelo para objeto redondeado

Como el barco no será ninguno de los dos modelos, calcularemos los dos y realizaremos una media ponderada.

Modelo objeto puntiagudo:

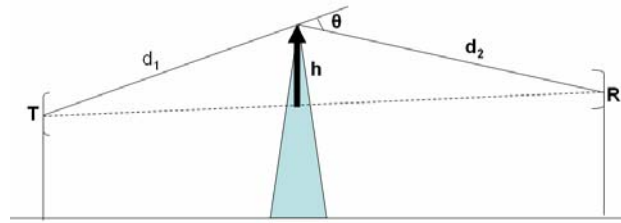


Figura 5.6 Objeto puntiagudo

Modelo objeto redondeado:

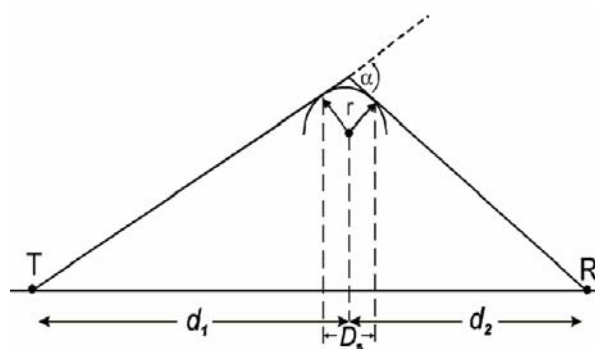


Figura 5.7 Objeto redondeado

WiMAX

Modelo objeto puntiagudo:

Suponemos un caso probable en el que un barco que va a estudiar el estado de los peces, cruza por delante de nuestro enlace:

Si tenemos,

$$f = 5.4 \text{ GHz}$$

$$d = 10 \text{ Km}$$

$$d_1 = 30 \text{ m,}$$

$$d_2 = 9970 \text{ m}$$

$$\text{Altura del obstáculo} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Altura antena tx} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Altura antena rx} = 30 \text{ m}$$

Entonces, realizando los cálculos necesarios, tenemos un $h = 0.925$, con lo que hallamos las pérdidas finales:

$$\nu = 1.014$$

$$L = 14.016 \text{ dB}$$

Modelo objeto redondeado:

Si tenemos,

$$D_s = 8 \text{ m}$$

$$d_1 = 26 \text{ m}$$

$$d_2 = 9966 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = \text{arco tangente} \left(\frac{6-5}{26} \right) = 2.2^\circ$$

$$\alpha_2 = \text{arco tangente} \left(\frac{30-6}{9966} \right) = 0.138^\circ$$

$$\alpha = \alpha_1 + (-\alpha_2) = 2.062^\circ$$

$$\text{Luego } \alpha = 2.062^\circ \times \frac{\pi}{180} = 0.036 \text{ radianes}$$

$$r = \frac{2 \times d_s \times d_1 \times d_2}{\alpha \times (d_1^2 + d_2^2)} = \frac{2 \times 8 \times 26 \times 9966}{0.036 \times (26^2 + 9966^2)} = 1.1584$$

$$L_{\text{extra}} = 11.7 \times \alpha \times \sqrt{\frac{\pi \times r}{\lambda}} = 11.7 \times 0.036 \times \sqrt{\frac{\pi \times 1.16}{0.0555}} = 3.4122 \text{ dB}$$

Media ponderada:

Luego las pérdidas totales por difracción serán de 15.72 dB

Para no ser repetitivos en los cálculos, en las siguientes tablas se muestran las pérdidas por difracción producidas en diferentes situaciones:

Antena 5 metros	
Distancia del obstáculo	L_{totales}
30 metros	15.7 dB
250 metros	8.4 dB
400 metros	6.2 dB

Tabla 5.3 Antena 5 metros WIMAX

Antena 6 metros	
Distancia del obstáculo	$L_{totales}$
10 metros	5.6 dB
50 metros	5.1 dB
100 metros	4.8 dB

Tabla 5.4 Antena 6 metros WiMAX

WiFi

Modelo objeto puntiagudo:

Suponemos un caso probable en el que un barco está cruzando por delante de nuestro enlace de telecomunicación.

Si tenemos,

$$f = 2.4 \text{ GHz}$$

$$d = 50 \text{ m}$$

$$d_1 = 30 \text{ m}$$

$$d_2 = 20 \text{ m}$$

$$\text{Altura del obstáculo} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Altura antena tx} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Altura antena rx} = 6 \text{ m}$$

Entonces, realizando los cálculos necesarios, tenemos un $h = 0.4 \text{ m}$, con lo que hallamos las pérdidas finales:

$$\nu = 0.4615$$

$$L = 9.97 \text{ dB}$$

Modelo objeto redondeado:

Si tenemos,

$$D_s = 8 \text{ m}$$

$$d_1 = 26 \text{ m}$$

$$d_2 = 16 \text{ m}$$

$$\alpha_1 = \text{arco tangente} \left(\frac{1}{26} \right) = 2.2^\circ$$

$$\alpha_2 = \text{arco tangente} \left(\frac{0}{16} \right) = 0^\circ$$

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 2.2^\circ$$

$$\text{Luego } \alpha = 2.2^\circ \times \frac{\pi}{180} = 0.0384 \text{ radianes}$$

$$r = \frac{2 \times d_s \times d_1 \times d_2}{\alpha \times (d_1^2 + d_2^2)} = \frac{2 \times 8 \times 26 \times 16}{0.0384 \times (26^2 + 16^2)} = 185.77$$

$$L_{extra} = 11.7 \times \alpha \times \sqrt{\frac{\pi \times r}{\lambda}} = 11.7 \times 0.0384 \times \sqrt{\frac{\pi \times 185.77}{0.125}} = 30.73 \text{ dB}$$

Media ponderada:

Luego las pérdidas totales por difracción serán de 25.34 dB

Para no ser repetitivos en los cálculos, en las siguientes tablas se muestran las pérdidas por difracción producidas en diferentes situaciones:

Antena 5 metros	
Distancia del obstáculo	$L_{totales}$
30 metros	25.34 dB
40 metros	16.34 dB

Tabla 5.5 Antena 5 metros WiFi

Antena 6 metros	
Distancia del obstáculo	$L_{totales}$
10 metros	3.65 dB

Tabla 5.6 Antena 6 metros WiFi

Pérdidas por polarización:

Se deben al movimiento de la antena por acción del oleaje.

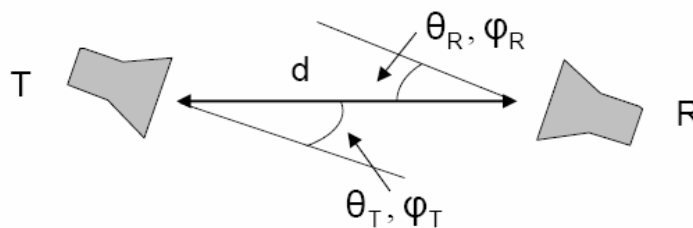


Figura 5.8 Pérdidas Polarización

Si θ fuese de 45° las pérdidas serían de 3 dB, pero esto es un caso extremo.

WiMAX

En este caso una antena está expuesta al oleaje, mientras que la otra antena está fija en la costa. Luego las pérdidas máximas serán de 3 dB.

WiFi

En este otro caso, las dos antenas están expuestas al oleaje con lo que las pérdidas máximas serán mayores que en el caso de WiMAX, serán en el caso extremo, de 6 dB.

Pérdidas por desapuntamiento:

Son pérdidas que tendremos en los siguientes tipos de enlaces:

Enlace	Antena Tx	Antena Rx	Pérdidas
WiMAX	Direccional	Direccional	1 dB
WiFi	Omnidireccional	Omnidireccional	0 dB

Tabla 5.7 Pérdidas por desapuntamiento

No se pueden evitar, ya que son errores de falta de precisión a la hora de orientar las antenas direccionales.

También se debe tener en cuenta los efectos de los agentes meteorológicos que, según la frecuencia utilizada, tendrán un efecto más o menos acusado. Los principales agentes que hay que tener en cuenta en este escenario son los siguientes:

Lluvia:WiMAX:

En nuestro caso tomaremos los datos de la frecuencia de 6 GHz, que se aproxima lo suficiente a la frecuencia de 5.4 GHz. Luego,

$$k = k_v = 0,00155$$

$$\alpha = \alpha_v = 1,265$$

La polarización de la antena es vertical, por eso tomamos los datos anteriores.

Además Galicia pertenece a la zona H, luego durante menos del 0.01 % del año llueve 32 mm/h.

$$At \text{ (dB/Km)} = 0,00155 \times 32^{1.265} = 0.1243 \text{ dB/Km}$$

Si la longitud del enlace es de 10 Km, entonces la distancia eficaz será:

$$d_0 = 35 \times e^{-0.015 \times 32} = 21.65 \text{ Km}$$

$$d_{ef} = \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}} = \frac{10}{1 + \frac{10}{21.65}} = 6.84 \text{ Km}$$

$$A_t \text{ (dB)} = 0.1243 \text{ dB/Km} \times 6.84 \text{ Km} = 0.85 \text{ dB}$$

Luego vemos como la atenuación es muy pequeña.

WiFi

En el caso de WiFi las pérdidas serían despreciables debido a la utilización de una frecuencia más baja.

Niebla:

Calculamos exactamente los valores para los dos tipos de enlace, sabiendo que la temperatura media máxima durante el año es de 19.4° C o lo que es lo mismo 292.4° K:

WiMAX

Si nos ponemos en el peor de los casos $M = 0.5 \text{ g/m}^3$

Si la temperatura es la media máxima del año:

$$T = 292.4^\circ \text{ K}$$

$$\theta = \frac{300}{T} = 1.026$$

$$\varepsilon_0 = 77.6 + 103.3 \times (\theta - 1) = 80.28$$

$$\varepsilon_1 = 5.48$$

$$\varepsilon_2 = 3.51$$

$$f_p = 20.09 - 142 \times (\theta - 1) + 294 \times (\theta - 1)^2 = 16.6 \text{ GHz}$$

$$f_s = 590 - 1500 \times (\theta - 1) = 551 \text{ GHz}$$

$$\varepsilon'' = 22.027$$

$$\varepsilon' = 73.12$$

$$\eta = 3.41$$

$$K_l = 0.0159 \text{ (dB/Km)/(g/m}^3\text{)}$$

$$M = 0.5$$

$$g_c = 0.0159 \times 0.5 = 0.008 \text{ dB/Km}$$

$$d_{ef} = \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}} = \frac{10}{1 + \frac{10}{21.65}} = 6.84 \text{ Km}$$

Luego,

$$L = 6.84 \text{ Km} \times 0.008 \text{ dB/Km} = 0.054 \text{ dB}$$

Si la temperatura es la media mínima del año, 9.2°C:

$$T = 282.2^\circ \text{ K}$$

$$\theta = \frac{300}{T} = 1.063$$

$$\varepsilon_0 = 77.6 + 103.3 \times (\theta - 1) = 84.11$$

$$\varepsilon_1 = 5.48$$

$$\varepsilon_2 = 3.51$$

$$f_p = 20.09 - 142 \times (\theta - 1) + 294 \times (\theta - 1)^2 = 12.31 \text{ GHz}$$

$$f_s = 590 - 1500 \times (\theta - 1) = 495.38 \text{ GHz}$$

$$\varepsilon'' = 28.96$$

$$\varepsilon' = 71.41$$

$$\eta = 2.53$$

$$K_l = 0.02 \text{ (dB / Km) / (g / m}^3\text{)}$$

$$M = 0.5$$

$$g_c = 0.02 \times 0.5 = 0.01 \text{ dB/Km}$$

$$d_{ef} = \frac{d}{1 + \frac{d}{d_0}} = \frac{10}{1 + \frac{10}{21.65}} = 6.84 \text{ Km}$$

Luego,

$$L = 6.84 \text{ Km} \times 0.01 \text{ dB/Km} = 0.07 \text{ dB}$$

WiFi

Para este caso las pérdidas serán despreciables pues la frecuencia que se utiliza es menor.

Los factores atmosféricos siguientes son más dependientes de la zona, con lo que se describirán sus efectos al no haberlo hecho en la parte de estado del arte.

Nieve:

La atenuación de las microondas al atravesar nieve "seca" es al menos un orden de magnitud inferior que para la lluvia considerando la misma tasa de precipitación. No obstante, la atenuación para la nieve "húmeda" es comparable en la banda de frecuencias milimétricas.

Luego tendremos que calcular la atenuación con respecto a la de la lluvia, simplemente restándole 10 dB a la atenuación respectiva de la lluvia.

$$\text{Relación Lluvia/ Nieve } 10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{10} \right) = -10 \text{ dB}$$

La lluvia en el caso de WiFi no era tomada en cuenta, al no tener apenas influencia. En el caso de WiMAX las pérdidas eran de 0.85 dB, que al restarle los 10 dB nos hacen despreciar también este parámetro.

Atenuación por gases atmosféricos:

Este es un fenómeno atmosférico que, obviamente, está muy presente en zonas marítimas debido a la evaporación del agua del mar. Los vapores de agua y de oxígeno no condensados presentan una importante absorción a determinadas frecuencias. Debido a esto existen frecuencias en el rango de las microondas que experimentan una fuerte atenuación frente a otras que no acusan tanto este efecto además, la atenuación producida por estos gases atmosféricos es aditiva.

Como se puede observar en la siguiente gráfica por debajo de los 15 GHz la atenuación introducida es despreciable (mucho menor que 0.01 dB/Km).

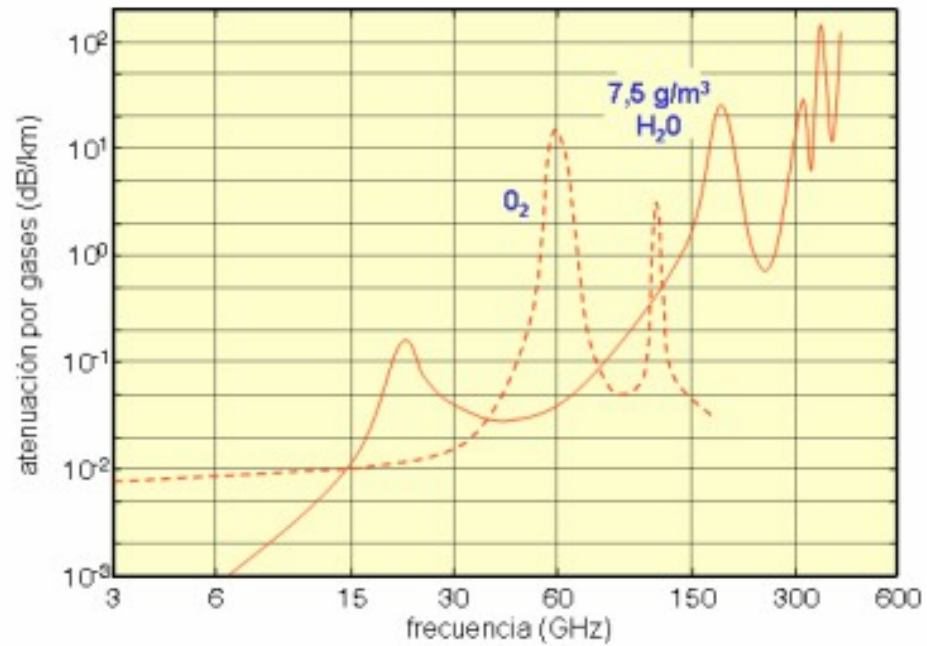


Figura 5.9 Atenuación por gases atmosféricos

En nuestro caso utilizamos frecuencias muy inferiores a 15 GHz, por lo que despreciaremos también este parámetro de atenuación.

Conductos por evaporación de agua:

Debido a la evaporación del agua de la superficie marina, existe a menudo una región sobre ésta donde se produce un rápido cambio de la humedad, el cual causa una variación descendente del índice de refracción con la altura más acusado de lo normal. A esta región se le denomina *conducto*, y este cambio en el índice de refracción puede provocar que las ondas que viajan dentro del conducto describan una curva hacia la superficie terrestre en donde se reflejarán, produciéndose un efecto guía onda que puede llevar a alcanzar unas distancias de propagación mucho mayores con respecto a los mecanismos de propagación normal de la onda.

El conducto provoca transmisiones guiadas de poca atenuación y grandes alcances. Son de aparición esporádica por lo que no son útiles para un canal de comunicaciones pero sí pueden ser responsables de fuertes interferencias por alcances anormales.

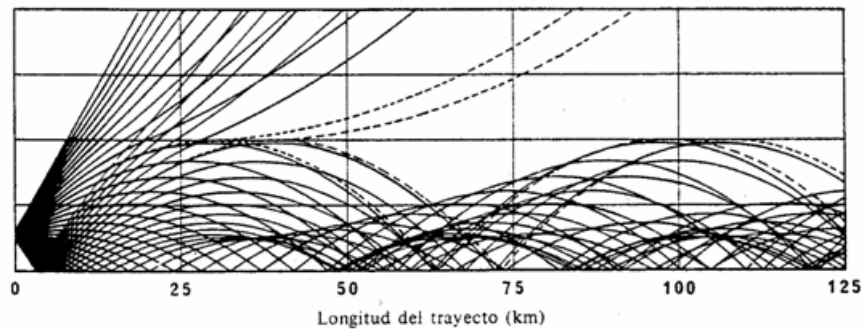


Figura 5.10 Conductos por evaporación de agua

Este fenómeno no lo tendremos en cuenta, pues a las distancias de trabajo apenas afecta.

Brisa marina:

Se originan por las diferencias de temperatura entre el mar y la tierra. Durante el día, la tierra se calienta más rápidamente que el mar, originándose, a partir del mediodía aproximadamente, una circulación de aire del mar hacia la tierra. Durante la noche, la tierra se enfría más rápidamente que el mar invirtiéndose la corriente. La fuerza del viento resultante depende de la diferencia de temperatura entre ambos elementos, por lo que las brisas se muestran con más claridad en verano. Estas variaciones llevan a una modificación del trayecto de las ondas propagadas debido al movimiento de objetos existentes entre transmisor y receptor, como por ejemplo ramas de árboles, lo que afecta a la calidad de los radioenlaces (multitrayecto, variación del alcance, etc.); sin embargo en nuestro caso, en el mar no existirán objetos que se interpongan, los cuales puedan influir al sufrir dicha brisa.

En Vigo los vientos son muy suaves, al no haber grandes contrastes térmicos, por lo que despreciaremos este factor.

Luego las pérdidas totales para ambos enlaces son:

Tipos de pérdidas	WiMAX (dB)	WiFi (dB)
Pérdidas Propagación	127.1	74
Lluvia	0.850	0
Niebla	0.07	0
Nieve	0	0
Gases atmosféricos	0	0
Conductos evaporación	0	0
Brisa marina	0	0
Reflexión	116.48	38.42
Difracción Antena de 5 metros	Obstáculo 30 m. : 15.7 Obstáculo 250 m. : 8.4 Obstáculo 400 m. : 6.20	Obstáculo 30 m. : 25.34 Obstáculo 40 m. : 16.34
Difracción Antena de 6 metros	Obstáculo 10 m. : 5.64 Obstáculo 50 m. : 5.15 Obstáculo 100 m. : 4.8	Obstáculo 10 m. : 3.65
Polarización	3	6
Desapuntamiento	1	0

Tabla 5.8 Pérdidas totales

Hay que tener en cuenta que ésta tabla de pérdidas se refiere a las pérdidas máximas en cada caso, ya que nos hemos puesto en los casos extremos.

Las pérdidas totales por lo general van a ser menores que la suma de todas las variantes anteriores, aunque nuestro sistema debe funcionar correctamente en el peor de los casos, por eso hemos considerado casos extremos, para seleccionar nuestros equipos.

- Selección de equipos

Según los cálculos anteriores y teniendo en cuenta las pérdidas producidas por el entorno, los equipos a utilizar serán los siguientes:

Alvarion BreezeNet B100

PIRE = 21 dBm

$G_{RECEPTORA} = 28$ dB

Sensibilidad = -88 dBm

Consumo = 25 W

$$Sensibilidad = Pire + G_{receptor} - L_{totales}$$

Para este dispositivo la sensibilidad es de -88 dBm, luego las máximas pérdidas capaces de soportar son de 137 dBm y por encima de estas pérdidas la comunicación se cortará.

Cálculo de la tasa binaria neta:

$$R_b = \frac{N \cdot \log_2(M) \cdot c}{T_{OFDM}} \quad T_{OFDM} = T_g + T_s \quad T_s = \frac{N_{FFT}}{BW \cdot \alpha}$$

N = Número de portadoras de datos utilizadas = 1702

M = Número de niveles de modulación = 4

c = Tasa de código = $\frac{3}{4}$

BW = Ancho de banda del canal = 20 MHz

N_{FFT} = Tamaño de la FFT = 2048

α = Relación entre la frecuencia de muestreo y BW = 8/7

$$T_g = \text{Tiempo de guarda} = \frac{T_s}{4}$$

Realizando las operaciones, obtenemos un $R_b = 22.8$ Mbps.

BreezeNet B es una familia de enlaces wireless punto a punto que opera en la banda sin licencia de 5.47-5.725 GHz. Proporciona eficiencia y alta seguridad en las conexiones punto a punto. Pensada para entornos con dificultades climatológicas severas.

BreezeNet B está certificado con el IP67, lo que significa que el equipamiento es muy robusto, resistente al agua, puede soportar intensos calores, humedades, en general todo tipo de condiciones ambientales adversas.

Como ya hemos mencionado opera en la banda de 5 GHz, usando tecnología avanzada que garantiza un enlace óptimo en radiofrecuencias densamente utilizadas. Los productos BreezeNet B operan en modo TDD usando modulación OFDM con FEC. Gracias a OFDM soporta el multicamino, pudiendo trabajar en entornos sin línea de vista (NLOS).

El sistema también dispone de modulación adaptativa por selección automática para maximizar la tasa transferencia de datos y mejorar la eficiencia espectral.

El sistema soporta VLAN basadas en IEEE 802.1Q permitiendo operaciones de seguridad y VPN (redes privadas virtuales).

Es gestionado por una sencilla herramienta llamada BreezeConfig, aunque también puede ser gestionado mediante el protocolo SNMP.

BreezeNet B100 proporciona velocidades de 54 Mbps y 108 Mbps en modo turbo.

Para más información ver la la hoja de especificaciones, incluida en el anexo de este proyecto.

Punto de Acceso PheeNet [WAP-654G] + Antena exterior omnidireccional RW43

PIRE = 20 dBm

$G_{RECEPTORA} = 6$ dB

Sensibilidad = -75 dBm

Consumo = 12 W

$$Sensibilidad = Pire + G_{receptor} - L_{totales}$$

Si transmitimos desde un barco (suponiendo que transmite a la máxima potencia, 20 dBm) al módulo de tres jaulas, la sensibilidad del punto de acceso es de - 75 dBm, luego si las pérdidas son mayores de 101 dBm, el enlace de telecomunicación comenzará a dar problemas.

La tasa binaria neta es 24 Mbps.

Se trata de un punto de acceso IEEE 802.11g de gran potencia con todas las funciones (Cliente, Repetidor, P2P, PMP), Antena extraíble con conector RP-SMA.

La antena exterior es de tipo dipolo omni-direccional con ganancia de 6 dBi apta para la comunicación inalámbrica a largas distancias y en la banda de los 2400- 2485 MHz.

Para más información ver las la hoja de especificaciones, incluida en el anexo de este proyecto.

Adaptador WiFi USB 2.0 WGTLU para el portátil del barco

PIRE = 20 dBm

$G_{RECEPTORA} = 3$ dB

Sensibilidad = -74 dBm

$$Sensibilidad = Pire + G_{receptor} - L_{totales}$$

Si transmitimos desde el módulo de tres jaulas (suponiendo que transmite a la máxima potencia, 20 dBm) hacia el barco, la sensibilidad de la antena receptora es de - 74 dBm, luego si las pérdidas son mayores de 97 dB, el enlace de telecomunicación comenzará a dar problemas.

La tasa binaria neta es 24 Mbps.

El Adaptador USB 2.0 WGTLU es compatible con el estándar IEEE 802.11g y el IEEE 802.11b. Aparte utiliza la normativa Super G para alcanzar velocidades de hasta 108 Mbps, al operar en el mismo rango de frecuencias (2,4 GHz), lo que permite una compatibilidad total con todos los sistemas WiFi de 11 Mbps y de 54 Mbps existentes en el mercado. Puede alcanzar distancias de hasta 1 Km.

Para más información ver las la hoja de especificaciones, incluida en el anexo de este proyecto.

IndigoVision Soluciones de video y audio IP

Codificadores VideoBridge 8000

Consumo = 5 W.

Son dispositivos que disponen de un hardware que permite comprimir y transmitir vídeo, audio, alarmas y datos de control sobre red IP mediante codificación MPEG4. Configurados como transmisores envían la señal de video a través de la red IP y configurados como receptores reciben la señal de video de la red IP.

Para más información ver las la hoja de especificaciones, incluida en el anexo de este proyecto.

Rack VideoBridge 8000

Consumo = 55 W.

Es capaz de albergar hasta 10 tarjetas de vídeo de las mismas prestaciones que los codificadores. La principal ventaja que ofrece este dispositivo es que únicamente se requiere una conexión de red. Se puede configurar como transmisor o como receptor.

Para más información ver las la hoja de especificaciones, incluida en el anexo de este proyecto.

Software VideoBridge Control Center

Es una aplicación altamente escalable que permite controlar, de forma local o remota, cualquier sistema CCTV (Circuitos Cerrados de TV), desde sistemas sencillos con un reducido número de cámaras hasta sistemas mucho más complejos con centenares de cámaras.

Junto a la tecnología de compresión y transmisión de vídeo que ofrecen los VideoBridges y al Networked Video Recorder, el Control Center proporciona una solución completa de sistema CCTV digital.

Networked Video Recorder

Es también una aplicación software que es capaz de grabar simultáneamente cada una de las cámaras del sistema a una tasa de 25/30 fps (frames por segundo) y que se ejecuta en un PC, un servidor dedicado o en un Standalone NVR. En nuestro caso lo ejecutaremos en un PC.

Cámaras de video submarinas CM-27:

Consumo: 2 W

Cámara sumergible especialmente diseñada para ser utilizada en situaciones extremas, como puede ser debajo del agua, en donde la cámara tiene que poder soportar 3 atmósferas.

Para más información ver las la hoja de especificaciones, incluida en el anexo de este proyecto.

Cámara de video superficie Speed Domo PTZ:

Consumo: 8 W

Con un movimiento #Pan# (Horizontal) y #Tilt# (Vertical) de alta velocidad, 360° de movimiento continuo de rotación y 180° de movimiento vertical, 480 líneas de TV de resolución, el Domo de alta velocidad PTZSD627DL puede instalarse fácilmente en diversas aplicaciones de seguridad. Mediante el protocolo de comunicación RS-485 incluido en el sistema, es totalmente compatible con diversos sistemas de DVR, Servidores IP, pudiendo controlar las funciones PTZ, Zoom +/-, Iris, velocidad, tanto en remoto como en local.

Para más información ver las la hoja de especificaciones, incluida en el anexo de este proyecto.

Balance de potencia requerida por cada módulo

La siguiente tabla refleja la potencia requerida por cada módulo de tres jaulas:

Dispositivos	Unidades	Potencia (W)/ unidad	Potencia (W)/ total
Equipo Alvarion	1	25	25
Punto Acceso WiFi	1	12	12
Rack Indigovision	2	55	110
Cámara superficie	3	8	24
Cámara submarina	6	2	12

Tabla 5.9 Balance de potencia requerida por cada módulo

La potencia total requerida por módulo de 3 jaulas será: 183 W

Paneles solares

Una vez que hemos calculado la potencia requerida por cada módulo, deberemos conseguir esta potencia mediante algún tipo de mecanismo, en este caso utilizaremos paneles solares.

Utilizaremos ocho paneles solares de 233 W cada uno, para cada módulo de tres jaulas, que en conjunto proporcionan 1864 W.

En realidad el consumo requerido es de 183 W, pero tenemos que tener en cuenta que durante la noche no hay sol y deberemos almacenar energía. Luego si suponemos que contamos con tres horas de sol al día deberemos almacenar ocho veces más de lo requerido ($183 \times 8 = 1464$) pero también tenemos que tener en cuenta que no son cálculos exactos y debemos contar con un margen de potencia almacenada, de ahí los 1864 W.

Para más información ver las la hoja de especificaciones, incluida en el anexo de este proyecto.

Baterías

Es el dispositivo que utilizaremos para almacenar la energía eléctrica. Son altamente peligrosas para el mar, así que deberán estar completamente aisladas en sus respectivos soportes.

Existen variedad de baterías de distintas capacidades y de diferentes tipos aunque en este proyecto solo mencionaremos su uso debido a que dicho proyecto tiene como objetivo centrarse en la parte de telecomunicación.

- *Planificación.*

En el siguiente mapa vemos la ubicación exacta de la piscifactoría. Como ya mencionamos se encuentra en las Rías Baixas gallegas (España, ubicación 42° 13' N 8° O).

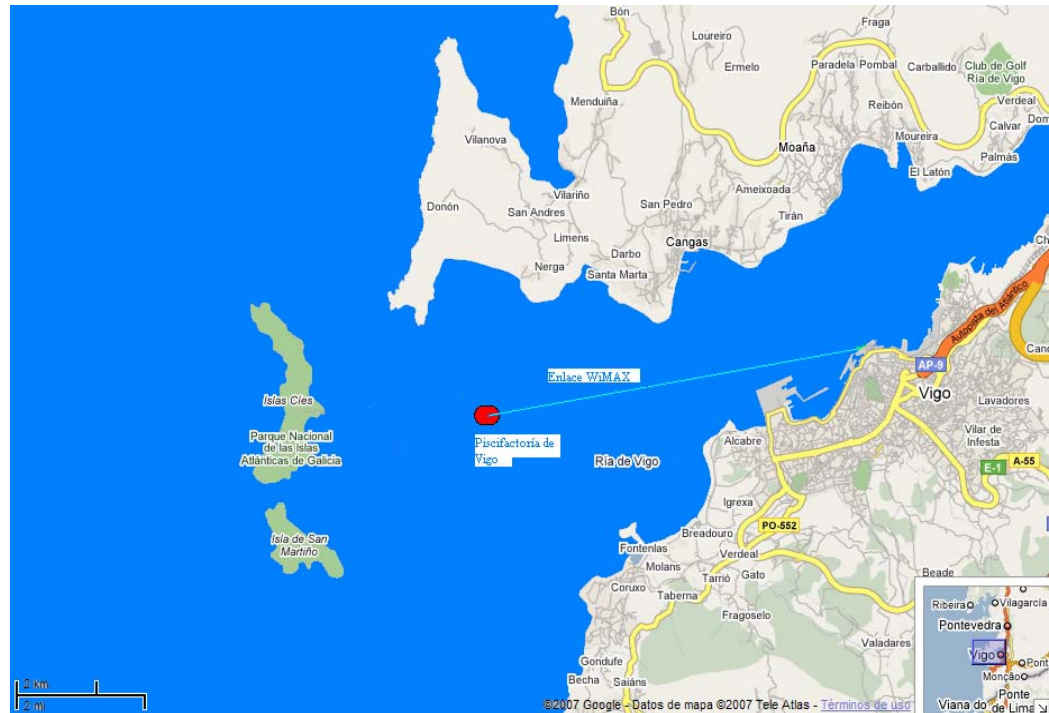


Figura 5.11 Ubicación de la piscifactoría

Una vez situada la piscifactoría, podemos analizar la situación de las jaulas en ella, ya que deberemos tener en cuenta varios factores.

Primeramente tenemos que explicar la razón por la que decidimos juntar las jaulas en módulos de tres jaulas; la razón es que de esta forma nos ahorramos equipos (usamos una tercera parte de equipos) y por lo tanto dinero, aparte de reducir la interferencia con el resto de los equipos. El único problema sería que se requiere mayor ancho de banda en la transmisión, pero con los equipos WiMAX utilizados, esto no sería un problema. Se consultó la idea con los directores de la piscifactoría y finalmente fue aceptada.



Figura 5.12 Módulo de tres jaulas

Se puede plantear la idea de unir las nueve transmisiones WiMAX en una sola transmisión para reducir aun más los costes, pero debido al ancho de banda requerido y la distancia del enlace no hay equipos WiMAX que soporten tal transmisión actualmente.

Una vez decidido que en cada módulo de tres jaulas vamos a colocar un módulo de telecomunicación (WiMAX&WiFi), deberemos estudiar la interferencia de unos módulos con otros y la forma en que los colocaremos para reducirla.

En el caso de WiFi, usando la banda de 2.412-2.485, hay que tener en cuenta que para reducir lo máximo posible la interferencia, usaremos solo tres frecuencias (canal 1, canal 7 y canal 13). Dichas frecuencias deberán ser reutilizadas, con lo que nos aparecerá el fenómeno de la interferencia cocanal. Debemos reducir esta interferencia lo máximo posible, pues este ruido al ser de la misma frecuencia va a ser imposible de eliminar. En el siguiente plano se observa más claramente la repartición de frecuencias.

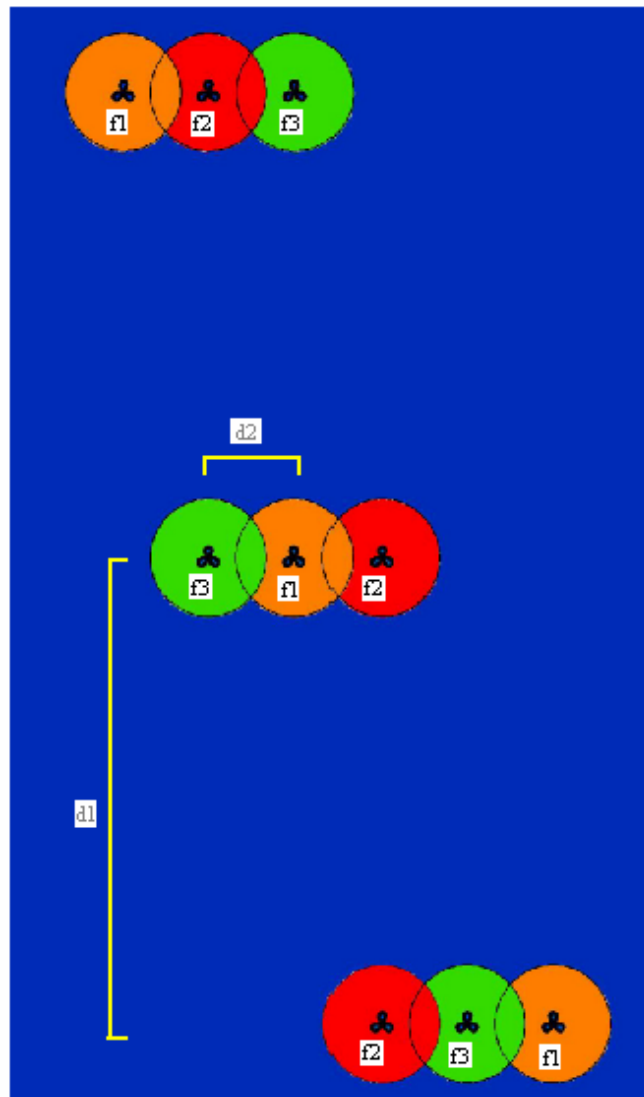


Figura 5.13 Colocación específica de los módulos

Cada módulo es colocado de tal manera para reducir lo máximo posible las interferencias con los otros dos módulos que tienen la misma frecuencia. Se separan a una distancia d_1 y a una distancia d_2 (las cuales calcularemos posteriormente) para evitar interferencias.

No obstante las distancias de separación de los módulos, no fueron elegidas al azar si no que se hicieron diferentes cálculos del SNR a distintas distancias para hallarlo.

Las frecuencias utilizadas son las siguientes:

$$f_1 = 2.412 \text{ GHz}$$

$$f_2 = 2.442 \text{ GHz}$$

$$f_3 = 2.472 \text{ GHz}$$

Ahora calculemos las distancias de separación entre los módulos (con la idea de disponer de una cobertura de 50 metros en cada punto de acceso), poniéndonos en el peor de los casos cuando el barco se encuentre en la mitad de la instalación, intentando comunicarse con los módulos centrales y teniendo interferencias de los módulos de los extremos (que posean la misma frecuencia).

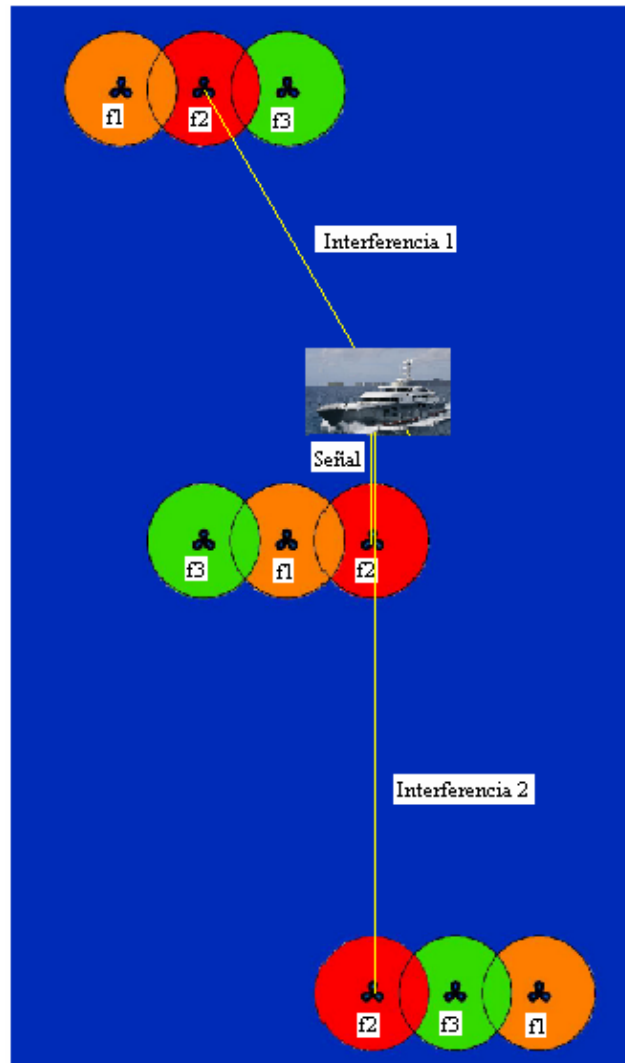


Figura 5.14 Barco comunicándose con un módulo central

Analizamos el caso en el que el barco se quiere comunicar con el módulo central de frecuencia f_2 , debido a que es el caso en el que la interferencia será mayor, según la situación de los otros dos módulos interferentes de frecuencia f_2 .

En cambio para los otros dos módulos centrales de frecuencias f_1 y f_3 , las interferencias serán menores debido a que sus respectivos módulos interferentes, estarán a mayor distancia que en el caso de f_2 . Por lo tanto su SNR será mayor.

Veamos los resultados del SNR si las jaulas interferentes están a d_1 igual a 1000 metros y d_2 igual a 100 metros de distancia.

Cálculo interferencia cocanal

Suponiendo que el barco está a 1 metro de distancia de dicho módulo central:

$$P_0 = \frac{P_t \times k}{d_0^2} = \frac{100 \times k}{1^2} = 100 \times k \quad \text{mW}$$

$$I_1 = \frac{P_t \times k}{d_i^2} = \frac{100 \times k}{\left(\sqrt{1000^2 + 200^2}\right)^2} = \frac{100 \times k}{1040000} = 9.61 \times 10^{-5} \times k \quad \text{mW}$$

$$I_2 = \frac{P_t \times k}{d_i^2} = \frac{100 \times k}{\left(\sqrt{1000^2}\right)^2} = \frac{100 \times k}{1000000} = 1 \times 10^{-4} \times k \quad \text{mW}$$

$$snr = \frac{P_0}{\sum_{i=1}^6 I_i} = \frac{100 \times k}{\left(9.61 \times 10^{-5} + 10^{-4}\right) \times k} = 509944$$

$$SNR = 10 \times \log_{10}(snr) = 57.07 \text{dB}$$

Observamos como en este caso la interferencia, a las distancia de separación establecidas, es despreciable. Siendo la señal recibida óptima.

Suponiendo que el barco está a 50 metros de distancia de dicho módulo central:

$$P_0 = \frac{P_t \times k}{d_0^2} = \frac{100 \times k}{50^2} = 0.04 \times k \quad \text{mW}$$

$$I_1 = \frac{P_t \times k}{d_i^2} = \frac{100 \times k}{\left(\sqrt{950^2 + 200^2}\right)^2} = \frac{100 \times k}{942500} = 1.06 \times 10^{-4} \times k \quad \text{mW}$$

$$I_2 = \frac{P_t \times k}{d_i^2} = \frac{100 \times k}{\left(\sqrt{1050^2}\right)^2} = \frac{100 \times k}{1102500} = 9.07 \times 10^{-5} \times k \quad \text{mW}$$

$$snr = \frac{P_0}{\sum_{i=1}^6 I_i} = \frac{0.04 \times k}{\left(1.06 \times 10^{-4} + 9.07 \times 10^{-5}\right) \times k} = 203.35$$

$$SNR = 10 \times \log_{10}(snr) = 23.08 \text{dB}$$

La señal se va a recibir sin problemas, pues para WiFi es un SNR bueno.

Los cálculos anteriores se aplican sobre un barco que se quiera comunicar con los módulos centrales que serán los módulos que mayor interferencia reciban, pues están en la mitad del sistema.

Si los cálculos se aplicasen con un barco que quiera comunicarse con los módulos de los extremos, el SNR será mayor ya que la interferencia de los otros módulos será menor, y a una distancia de 50 metros la señal se recibirá bien.

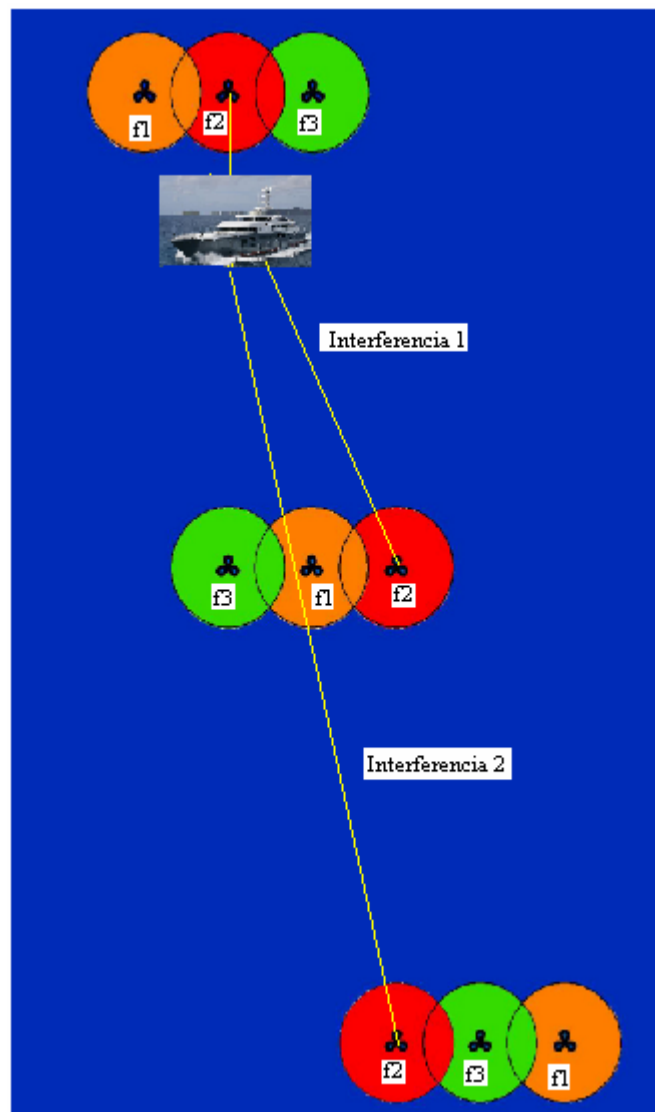


Figura 5.15 Barco comunicándose con módulo exterior

En este caso por ejemplo:

$$P_0 = 0.04 \times k \text{ mW}$$

$$I_1 = 1.06 \cdot 10^{-4} \times k \text{ mW}$$

$$I_2 = 2.6 \cdot 10^{-5} \times k \text{ mW}$$

$$\text{SNR} = 24.8 \text{ dB}$$

Donde se observa que el SNR es mayor que en el caso anterior, recibándose así la señal en mejores condiciones.

En conclusión podemos afirmar que un barco que esté comunicándose a 50 metros de la jaula, lo hará en buenas condiciones en lo que a interferencia se refiere.

Por último hay que destacar que el cálculo de las distancias de separación de los módulos no fue al azar, sino que se probaron varias opciones, calculando sus correspondientes SNR. De todas estas opciones, la que mejor SNR nos ofrecía era la anteriormente mostrada y por no ser repetitivos, no he creído conveniente mostrar el resto de los cálculos realizados.

En el caso de WiMAX al usar la banda de 5.47-5.725 GHz, sabiendo que la anchura del canal es de 20 MHz, se deduce que no va a haber problemas de interferencias pues al existir solamente 9 equipos WiMAX, podemos escoger un canal para cada equipo sin problemas de reutilización de frecuencias.

• Emisiones Radioeléctricas.

Cálculo de los niveles de emisiones radioeléctricas.

Los dos sistemas radiantes que vamos a utilizar son el sistema WiFi y el sistema WiMAX.

WiMAX

Cumpliendo con la normativa española anteriormente mencionada, la potencia máxima de emisión será de:

$$\begin{aligned} \text{PIRE} &= 21 \text{ dBm} \\ \text{pire} &= 125.9 \text{ mW} \end{aligned}$$

WiFi

Cumpliendo con la normativa española anteriormente mencionada, la potencia máxima de emisión será de:

$$\begin{aligned} \text{PIRE} &= 20 \text{ dBm} \\ \text{pire} &= 100 \text{ mW} \end{aligned}$$

Muy por debajo de lo que podría ser perjudicial para el ser humano.

Distancia de seguridad

$$D_{MAX} = \sqrt{\frac{M \times P_{PIRE}}{4 \times \pi \times S_{MAX}}}$$

En donde,

M = Factor de reflexión = 4,

P_{PIRE} = pire,

S_{MAX} = Nivel de referencia máximo permitido = $10 \text{ W} / \text{m}^2$

Para el caso de WiMAX,

$$D_{MAX} = \sqrt{\frac{4 \times 0.125}{4 \times \pi \times 10}} = 0.063 \text{ m} = 6.3 \text{ cm}$$

Para el caso de WiFi,

$$D_{MAX} = \sqrt{\frac{4 \times 0.1}{4 \times \pi \times 10}} = 0.0564 \text{ m} = 5.64 \text{ cm}$$

Luego a partir de estas distancias las emisiones no serán perjudiciales para el ser humano, y como se puede deducir, los usuarios estarán a una distancia mayor de la calculada anteriormente.

• *Dimensionado de la red*

En este apartado nos vamos a referir exclusivamente a los equipos de telecomunicación que son los que verdaderamente nos importan en este proyecto.

UNIDADES	EQUIPOS
54	<i>Cámaras submarinas</i>
27	<i>Cámaras superficie</i>
18	<i>Rack Indigovision</i>
18	<i>Alvarion</i>
9	<i>Punto de Acceso</i>
9	<i>Antena exterior WiFi</i>
54	<i>Divisor señal digital</i>
1	<i>Receptor WiFi</i>
1	<i>Software Indigovision</i>
2	<i>Receptor Indigovision</i>
72	<i>Placas solares</i>

Tabla 5.10 Número de equipos

Tendremos en concreto:

- 2 Cámaras submarinas por jaula.
- 1 Cámara de superficie por jaula.
- 2 Rack VideoBridge 8000 por módulo de 3 jaulas.
- 1 Equipo Alvarion por módulo de 3 jaulas más su equipo recíproco de Alvarion en la costa.
- 1 Punto de Acceso WiFi por módulo de 3 jaulas.
- 1 Antena exterior WiFi por módulo de 3 jaulas.
- 1 Divisor de señal de vídeo por cada cámara submarina.
- 1 Receptor WiFi por cada barco.
- 2 Receptor Indigovision por cada monitor que se instale; en este caso se refiere a un receptor para el barco y un receptor para la costa.
- 8 Paneles solares por cada módulo de 3 jaulas.

Como ya mencionamos anteriormente las cámaras submarinas usarán 2 Mbps mientras que las superficiales usarán 1 Mbps.

Si por módulo de tres jaulas tenemos 6 cámaras submarinas y 3 superficiales, necesitaremos 15 Mbps para transmitir el video en el caso de WiMAX. Además habrá que sumarle 1 Mbps para el control de las cámaras superficiales.

Mientras que en el caso de WiFi al transmitir solamente el video de las cámaras submarinas el ancho de banda requerido será de 12 Mbps.

Los equipos de Alvarion WiMAX transmiten a 22.8 Mbps netos, mientras que los equipos WiFi transmiten a 24 Mbps, dejando márgenes por errores de precisión, por futuras ampliaciones en cuanto al número de cámaras por jaula...

Los diferentes tipos de cables y conectores que unen los dispositivos los mencionamos en la parte de "despliegue" que veremos más adelante.

• Planos y esquemas

En el siguiente esquema se muestra de forma general el sistema de telecomunicación a instalar.

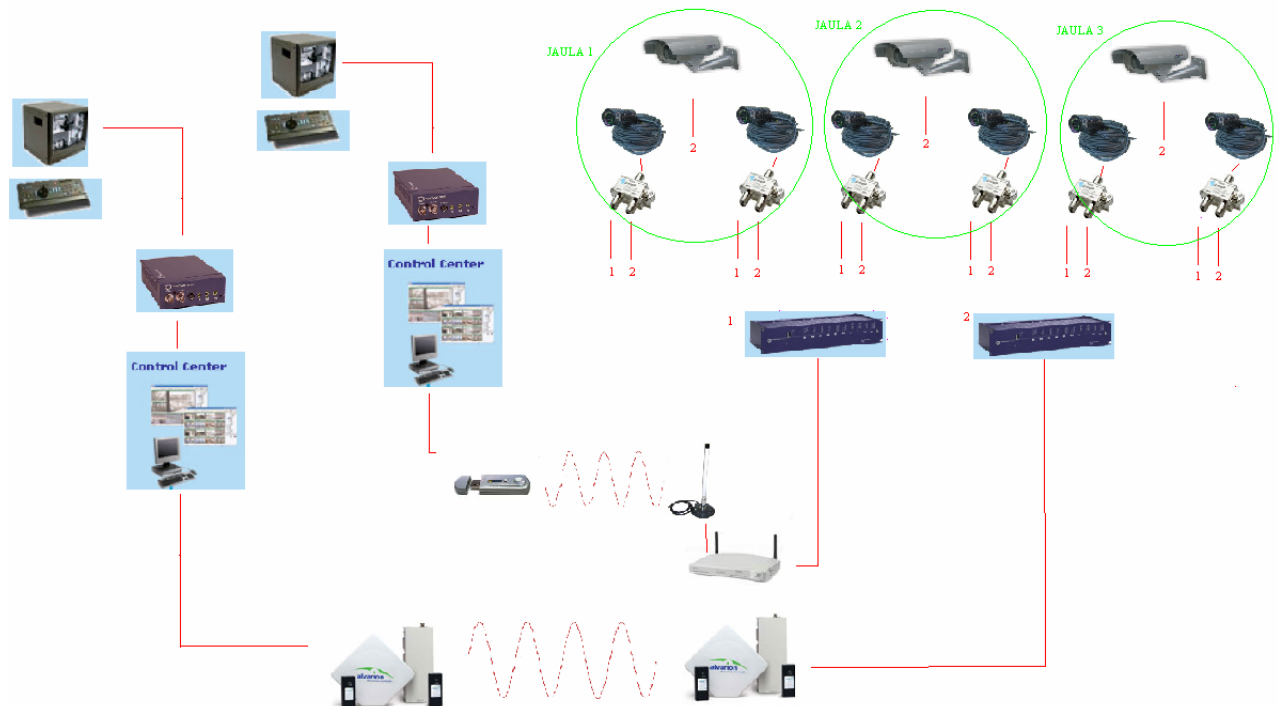


Figura 5.16 Sistema de telecomunicación

Observamos la utilización de dos rack VideoBridge 8000, uno de ellos será para transmitir por WiFi (a los barcos) la información de las cámaras submarinas únicamente y el otro rack será para enviar la información de las cámaras submarinas y superficiales mediante WiMAX (a la costa) y también recibirá información de control de las cámaras superficiales.

Deberemos hacer uso de divisores de señal de video, para enviar la información de las cámaras submarinas por WiFi o WiMAX.

El resto del sistema es fácil de entender con la observación de la figura.

Aunque hay que mencionar que en la costa se colocarán 9 equipos WiMAX, recíprocos a los de alta mar, y dichos equipos estarán integrados en una red de área local (los equipos tienen conexiones de red del tipo RJ45), de tal forma que cualquier ordenador dentro de esta red, pueda acceder a la visualización de cualquier módulo de jaulas.

La siguiente imagen muestra con detalle la jaula a desarrollar, y la colocación de los equipos en ésta.

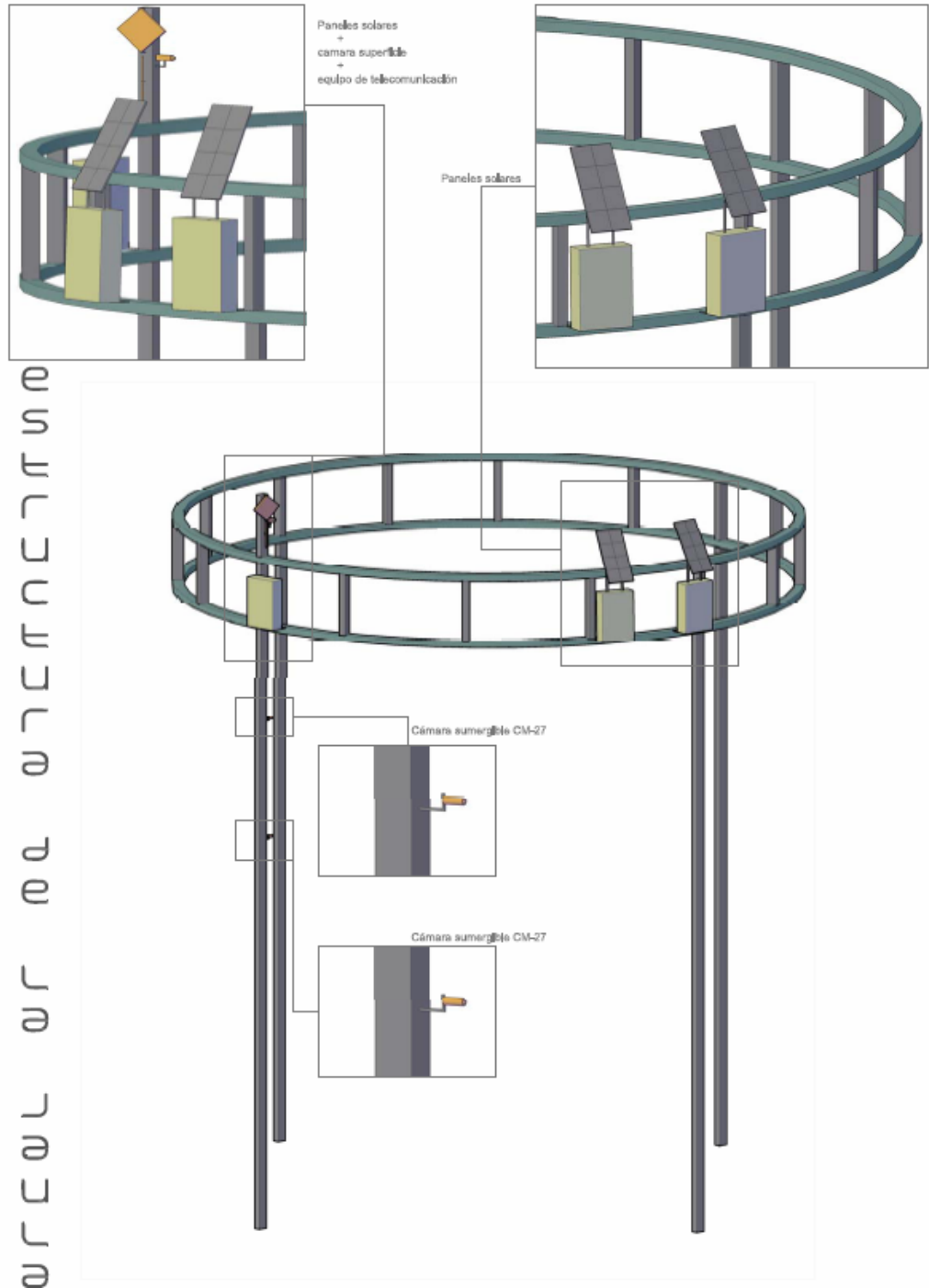


Figura 5.17 Jaula

En la siguiente figura definimos las distancias de separación de las jaulas.

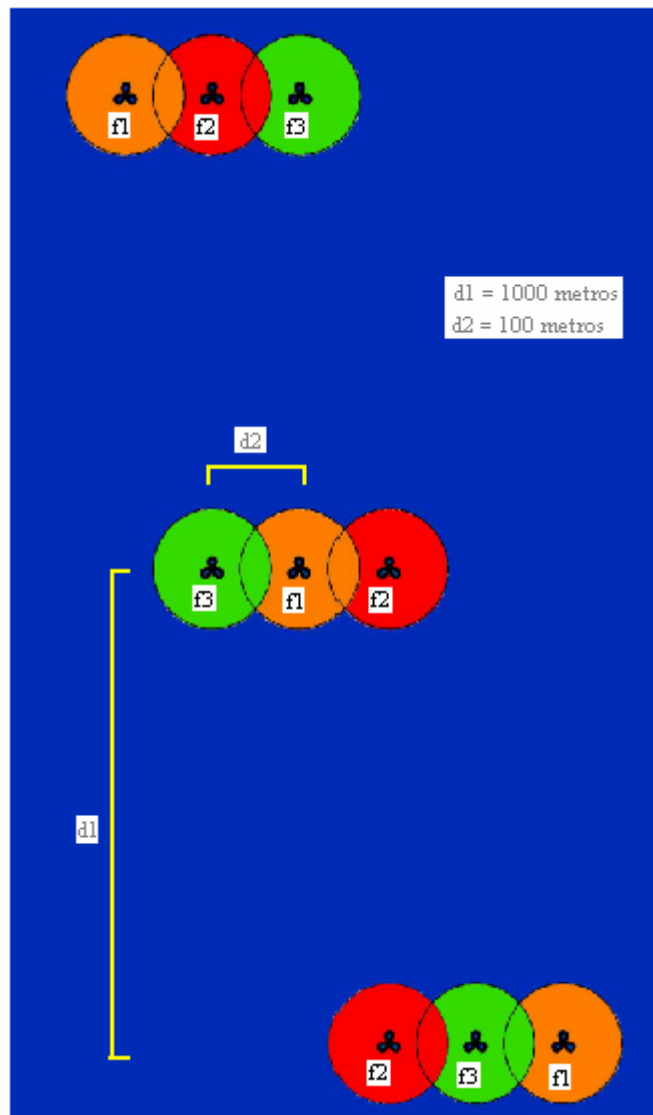


Figura 5.18 Separación de los módulos

En el eje horizontal, cada módulo está separado 100 metros con su módulo contiguo mientras que en el eje vertical, está separado 1000 metros.

• Presupuesto de ejecución

Este apartado se centrará exclusivamente en los dispositivos relacionados con el proyecto de telecomunicación, dejando a un lado los materiales usados en el soporte de las jaulas, los anclajes de las jaulas, la mano de obra...

EQUIPOS	COSTE(€)/Unidad	Unidades	Total (€)
Cámara submarina	209	54	11.286
Cámara superficie	1.135	27	30.645
Rack Indigovision	5.450	18	98.100
Alvarion	10.820	18	194.760
Punto Acceso WiFi	54	9	486
Antena exterior WiFi	76	9	684
Divisor señal digital	9	54	486
Receptor WiFi	20	1	20
Software Indigovision	1.033	1	1.033
Rx Indigovision	559	2	1.118
Placa Solar	307	72	22.104

Tabla 5.11 Presupuesto equipos

El coste total es de 360.722 € ó 60.019.090 pesetas

A este presupuesto habría que añadirle los cables y conectores que vamos a utilizar:

Cables	Precio
HDF400	4.73 €/m
RG58	0.73 €/m

Tabla 5.12 Presupuesto cables coaxiales

Conectores	Precio
N (crimpar HDF 400)	3.74 €
SMA (crimpar RG58)	3.5 €
RPSMA (crimpar RG58)	3.90 €
F (crimpar RG58)	2.78 €
BNC (crimpar RG58)	1 €

Tabla 5.13 Presupuesto conectores

Cables y conectores	Precio
RS485	3 €/m
RJ45	2.6 €/m

Tabla 5.14 Presupuesto cables y conectores

Aparte tendríamos que añadir costes de crimpado, de instalación de equipos...

- *Despliegue*

En este apartado también nos referiremos exclusivamente a lo correspondiente al enlace de telecomunicación.

La siguiente fotografía refleja el tipo de instalación que queremos implementar.

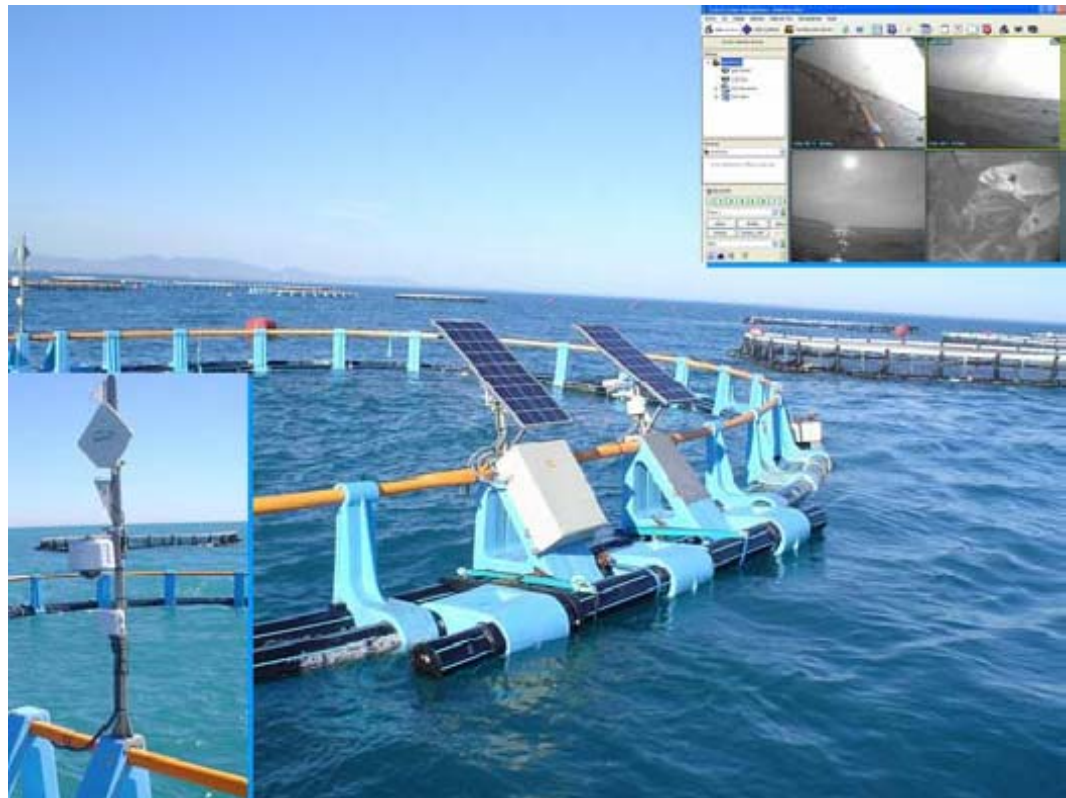


Figura 5.19 Foto de la jaula a implementar

Cada jaula estará anclada al fondo marino de tal forma que sea flexible a los movimientos producidos por el oleaje, pero a la vez este fijada a la zona. Como se observa en la fotografía los equipos de telecomunicación estarán fijados a la jaula, siendo por lo tanto susceptibles al oleaje.

Las antenas se elevan 5 metros por encima del nivel del mar, estando enganchadas a una extensión cilíndrica de acero inoxidable, recubierto de plástico.

A la hora de colocar las antenas, como estarán al aire libre sin protección, deberemos tener en cuenta distintos factores:

Esto implica la exposición a efectos meteorológicos tales como:

- Lluvia: Están preparados para ello de fábrica.
- Oleaje: Deberán estar bien fijados al soporte respectivo.
- Carga del viento: Deberán estar bien fijados teniendo en cuenta el estudio siguiente.
- Rayos: Se deberá implantar un pararrayos con el fin de evitar que alguna tormenta nos estropee el sistema.

Carga del viento

Los anclajes y soportes de las antenas se deben dimensionar para soportar la fuerza resultante del empuje del viento.

$$E = P_v \times S_e (N)$$

$$P_v = \text{Presión equivalente del viento } (P_a)$$

$$S_e = \text{Superficie efectiva de la antena } (m^2)$$

En nuestro caso el tipo de antena será rectangular, luego:

$$E = 0.65 \times a \times b \times v^2 (N)$$

Para WiMAX,

$$a = 30.5 \text{ cm}$$

$$b = 30.5 \text{ cm}$$

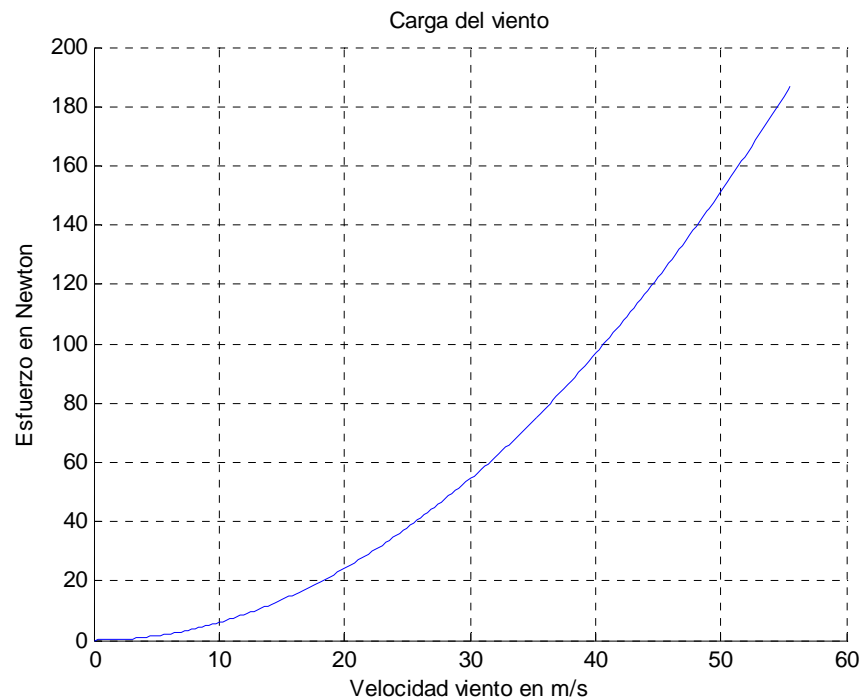


Figura 5.20 Carga viento antena WiMAX

Para WiFi,
a= 1 cm
b= 45 cm

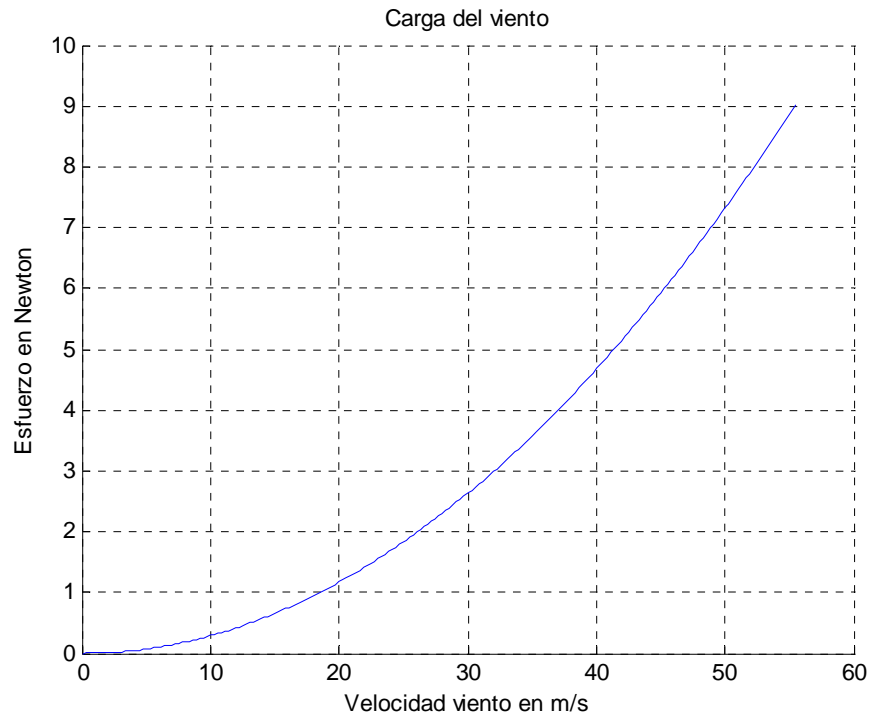


Figura 5.21 Carga viento antena WiFi

Por último calculemos la carga del viento para la barra que soportará las dos antenas anteriores, suponiendo que es de 5 metros de altura y 8 centímetros de diámetro.

a = 5 m.
b = 0.08 cm.

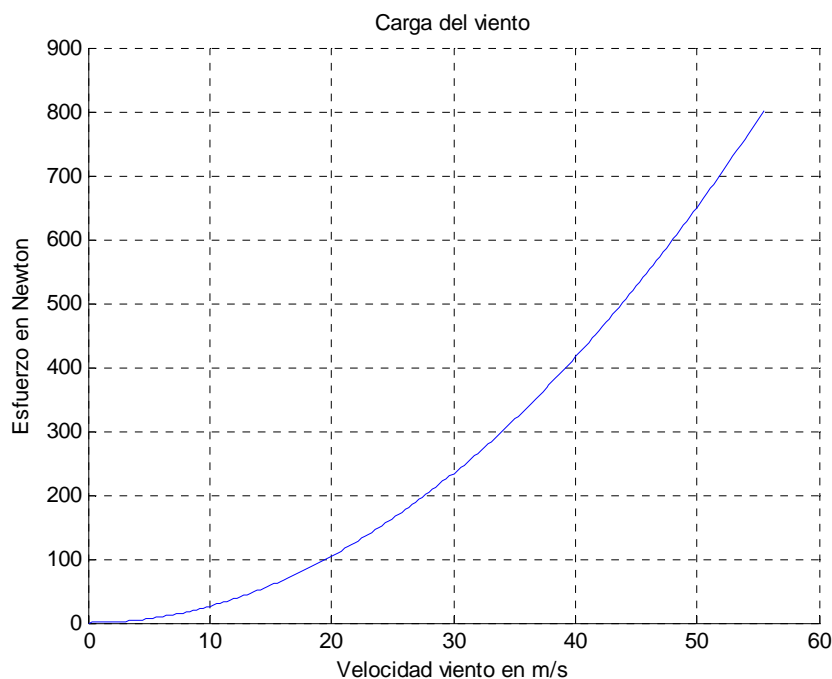


Figura 5.22 Carga viento Barra soporte

Una vez calculadas las gráficas, veamos un cuadro elaborado por el Instituto Nacional de Meteorología sobre la velocidad del viento en Galicia, realizado sobre estimaciones tomadas en el año 2006:

Ciudades	Velocidad media del viento (Km/h)	Velocidad media de las rachas máximas	Velocidad más alta alcanzada (Km/h)	Nº días/año con rachas > 60 Km/h	Nº días/año con rachas > 80 Km/h	Nº días/año con rachas > 100 Km/h
Monteventoso	29	58.7	174	119.4	56.5	24.7
A Coruña	16	39.3	130	42.2	7.8	1.1
Santiago	14	36.5	120	20.5	4.5	0.8
Vigo	14	36.3	122	18.7	2.8	0.4
Lugo	13	32.6	115	13.6	0.6	0.2
Pontevedra	8	29.6	115	10.7	0.6	0.3
Ourense	7	27	90	3.6	0.3	0

Tabla 5.15 Cuadro sobre la velocidad del viento en Galicia

La máxima velocidad alcanzada es de

$$122 \frac{Km}{hora} \times 1000 \times \frac{metros}{Km} \times \frac{1}{3600} \times \frac{hora}{segundos} = 33.89 \frac{metros}{segundo}$$

Luego mirando en las gráficas:

- Para la antena WiMAX la estructura debe soportar una fuerza de unos 60 Newton, aproximadamente.
- Para la antena WiFi la estructura debe soportar una fuerza de unos 3.8 Newton, aproximadamente.
- En el caso del mástil la fuerza que debe soportar es de 290 N. A estos 290 N habrá que sumarle la fuerza que debe soportar la antena WiMAX que es la que sobresale del mástil.

Luego en total la estructura deberá alcanzar una resistencia de 360 Newton aproximadamente, teniendo en cuenta un margen de seguridad.

Pararrayos

Es importante no olvidar la instalación de un pararrayos, ya que en el mar también se producen tormentas, y no olvidemos que las antenas son objetos puntiagudos, los cuales atraen fuertemente a los rayos. Si no queremos que un rayo nos estropee todo el sistema deberemos hacer uso de este dispositivo.

Para más información ver las la hoja de especificaciones, incluida en el anexo de este proyecto.

Conexión de las antenas con los equipos respectivos

WiMAX:

Es necesario elegir el cable de RF de 50 Ω más adecuado, veamos un par de candidatos.

Cables 50 Ω	dB/m (5.4 GHz)	Calibre (mm)
HDF400	0.3	10.3
RG316U	2.7	2.52

Tabla 5.16 Cables de 5.4 GHz

Si vemos las especificaciones del equipo Alvarion, observamos que tanto la antena como el equipo usan un conector de tipo N.

En nuestro caso elegiremos el cable coaxial HDF400 y necesitaremos un conector tipo N para dicho cable:



Figura 5.23 Conector N



Figura 5.24 HDF400

WiFi:

Es necesario elegir el cable de RF de 50 Ω más adecuado en cuanto a mecánica, atenuación y coste.

Cables 50 Ω	dB/m (2.4 GHz)	Calibre (mm)	Precio aprox. (€/m)
RG-58	0.813	5	0.3
RG-316	1.136	3	0.3
LMR-400	0.217	10.3	3
RG-214	0.405	10.3	1.2
LMR-240	0.415	6.2	1.5

Tabla 5.17 Cables de 2.4 GHz

En las especificaciones vemos que la antena usada utiliza un conector tipo SMA y el equipo un conector tipo RPSMA.

En nuestro caso elegiremos el cable coaxial RG-58 y necesitaremos un conector SMA y un conector RPSMA para dicho cable, el cual es fácilmente crimpable.

Conector RP-SMA Hembra para RG-58/LMR-195:



Figura 5.25 Conector RP-SMA

Conector SMA Macho para RG-58:



Figura 5.26 Conector SMA

Conexión de los equipos entre sí.

La cámara sumergible y el divisor de señal de vídeo tienen ambos conectores de tipo F.



Figura 5.27 Cámara sumergible + conector F

El divisor de señal de vídeo tiene conectores tipo F y el Rack de Indigovisión tiene conectores tipo BNC para la señal de vídeo, luego necesitaremos un cable coaxial RG58 que es fácilmente crimpable con los conectores BNC y F.



Figura 5.28 Conector F + Rack VideoBridge 8000

Conector BNC para crimpar un RG58:



Figura 5.29 Conector BNC

Conector F para crimpar un RG58:



Figura 5.30 Conector F

La cámara de superficie tendrá, al igual que el rack de Indigovision, un canal de vídeo con conector BNC que transmitirá en una sola dirección y tendrá también un canal de datos RS-485 por el que se transmitirán funciones de control.



Figura 5.31 Cámara superficie + Rack VideoBridge 8000

Necesitaremos un cable RG58 al ser fácilmente crimpable con este conector (BNC).

Y un cable RS-485:



Figura 5.32 Cable RS-485

Ambos dispositivos:

- WiMAX
- WiFi

Tendrán una conexión de red con el Rack de Indigovision del tipo RJ-45, como la que vemos en la figura 5.35.



Figura 5.33 Rack VideoBridge 8000 + Equipo WiMAX



Figura 5.34 Rack VideoBridge 8000 + Equipo WiFi



Figura 5.35 Cable RJ-45

Faltarían las conexiones con las baterías, esta información se obtiene mirando las hojas de especificaciones, incluida en el anexo de este proyecto.

- *Certificación y puesta en servicio*

En este apartado se mencionará la metodología a seguir, pues en este caso al no realizarse la instalación real del proyecto, no tendremos informe de instalación y pruebas, hoja de incidencias...

- Objetivo de este apartado:

Realizar la aceptación del emplazamiento instalado, efectuar la puesta en servicio y verificar la conformidad de la red.

- Para desarrollar este apartado tenemos como información de entrada:

Proyecto de despliegue, informe de instalación y pruebas además de la hoja de incidencias de la instalación.

- Una vez desarrollado este apartado la información de salida es la siguiente:

Informe de puesta en servicio y pruebas de conformidad.

6. Estudio de viabilidad tecno-económica

La aplicación de WiMAX al sector marítimo, es una de las más crecientes demandas de la industria naval debido a la necesidad de disponer de comunicaciones de banda ancha fiable, robusta y económicamente competitiva.

Las tecnologías tradicionales que utilizan la banda de HF presentan problemas de escaso ancho de banda; mientras que tecnologías de acceso móvil celular 2G y 3G, no son suficientes para cubrir las necesidades actuales en estos escenarios; debido fundamentalmente a la alta latencia en las conexiones y las limitaciones de alcance.

Otras tecnologías de acceso alternativas, como la vía satélite, presenta limitaciones económicas asociadas al elevado coste de los equipos y del servicio.

Veamos ahora con más profundidad las desventajas de las tecnologías que podríamos utilizar para sustituir a WiMAX, que nos llevaron a descartar dichas posibilidades:

- Comunicación vía satélite:
 - 1/4 de segundo de tiempo de propagación (Retardo).
 - Sensitividad a efectos atmosféricos.
 - Sensibles a eclipses.
 - Requieren transmitir a mucha potencia.
 - Posibilidad de interrupción por cuestiones de estrategia militar.
 - Equipos caros.
- Tecnología 3G:
 - Cobertura máxima de 1 Km. Las estaciones base WiMAX ofrecen una cobertura de hasta 50 km en espacios abiertos y de hasta 10 km en ciudad.
 - Una estación base WiMAX cuesta la cuarta parte que una estación base 3G.
 - En WiMAX la tasa de transferencia está comprendida entre los 16 Mbps, para dispositivos móviles, y 70 Mbps, para enlaces fijos. En 3G la velocidad es de 2Mbps.

- Tecnologías HF:
 - Escaso ancho de banda.
 - Aunque tienes gran alcance, sobre todo las ondas aéreas, dependen de si es de día o de noche (debido a la física de la ionosfera), con lo que dependen también del mes y estación del año. Ya que a unas determinadas frecuencias la señal se comportará mejor de día y a otras frecuencias se comportará mejor de noche.

Otro competidor de WiMAX es LMDS, pero WiMAX a diferencia de alternativas como LMDS, no exige que los puntos de interconexión estén en una misma "línea de visión" (sin obstáculos intermedios) para que las transmisiones puedan llevarse a cabo. Esto constituye una ventaja esencial, como también su cobertura (LMDS sólo soporta distancias de hasta 7 kilómetros desde la estación base), pero, además, el elevado rendimiento de WiMAX, permite que los proveedores puedan utilizarla para ofrecer, no sólo banda ancha, sino todo tipo de servicios de voz y vídeo.

También una posible alternativa sería usar sistemas cableados submarinos, para sustituir a WiMAX. Pero dichos sistemas cableados crearían un fuerte impacto en el entorno marítimo, además de los problemas que conlleva su implantación, su mantenimiento, su reparación... que aunque en un principio pueda parecer más barato, con el tiempo se va encareciendo en comparación con otras tecnologías inalámbricas.

Por todos estos motivos se descartaron estas tecnologías alternativas, eligiéndose como tecnología ideal para este caso la tecnología WiMAX en combinación con la tecnología WiFi.

7. Conclusiones

De este estudio se destacaría lo siguiente:

- La característica más destacada de WiFi y WiMAX trabajando como punto a multipunto es la ausencia de cableado, lo que permite movilidad dentro de la zona de cobertura.
- Si WiMAX trabaja como punto a punto la característica más destacada sería el ahorro de costes de implantación, mantenimiento y reparación de cableado, a parte de otras características como por ejemplo el ancho de banda proporcionado.
- WiMAX, aparte de la ausencia de cableado, dispone de un gran alcance (hasta 50 Kilómetros) aunque dicho alcance depende mucho de los obstáculos que se interpongan, al usar WiMAX frecuencias altas.
- Este trabajo demuestra que ambas tecnologías WiFi y WiMAX no son rivales sino complementarias.
- Las frecuencias en las que trabajamos son sin licencia, lo que supone ahorro económico.
- El inconveniente de usar bandas sin licencia es que tenemos una limitación en la potencia de emisión para no interferir con otros sistemas que esten usando la misma parte del espectro.
- El proyecto de despliegue implementado se refiere a un caso real y las fases del proyecto definidas son las usuales en este tipo de proyectos.
- La metodología de planificación propuesta puede servir para proyectos similares.
- Cuanto a mayor altura se instalen las antenas, más alcance y ancho de banda tendremos, al tener menos obstáculos en la trayectoria del enlace. Se ha deducido que es preferible usar las antenas de 6 metros de altura para que el sistema funcione siempre y no haya cortes de señal por obstáculos que se interpongan en el trayecto.
- Los estándares WiFi están evolucionando mucho, de hecho las expectativas del nuevo estándar 802.11n (pendiente de aprobación) son muy altas, 300 Mbps teóricos y 70 metros de alcance indoor.
- WiMAX por su parte evoluciona hacia la movilidad mediante el estándar WiMAX móvil.
- En el caso de WiMAX hay que tener en cuenta que el ancho de banda se reduce considerablemente con la distancia.

- Hay que tener en cuenta que los dispositivos WiMAX tienen un alto consumo de batería.
- Debido a los precios tan competitivos de ambas tecnologías, permitirán su implantación en zonas donde la banda ancha no ha llegado aún por razones económicas.
- Es un proyecto de despliegue real que abre varias puertas de mercado, como ya hemos mencionado, en zonas marítimo-costeras: provisión de acceso a Internet de banda ancha, cobertura de regatas y eventos deportivos, establecimiento de hot-spot marítimos...
- Sin duda WiMAX contribuirá significativamente al desarrollo definitivo de la sociedad de la información.
- Finalmente, el uso de las tecnologías inalámbricas está regulado y hay establecidas normas que definen las pautas de seguridad radioeléctrica que deben de cumplir los fabricantes.

8. Referencias

Web utilizadas

Debido a que este proyecto se basa en tecnologías de reciente aparición, sobre todo en el caso de WiMAX, apenas hay libros que traten estos temas, y si los hay quizás estén anticuados debido a la rápida evolución de éstas tecnologías, por lo que el estudio del estado del arte se ha basado en información extraída de diferentes Web, recientemente actualizadas. Aquí menciono algunas de las Web consultadas:

Estado del arte

- WiMAX

- <http://www.idg.es/pcworldtech/mostrarArticulo.asp?id=177532&seccion=movilidad>
- <http://www.unitecnologica.edu.co/ieeetb/IJET/PlaneacionredesWimax2007.pdf>
- <http://www.codiumnetworks.com/img/QueesWiMAX.pdf>
- <http://www.des.udc.es/uploads/media/JoseIgnacioAlonsoMontes.pdf>
- http://www.soros.es/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=5
- <http://www.uniautonomadevallenia.edu.co/oldweb/docentes/gangulo/Aplicaciones/Redes/LAN%20exposiciones/wimax.ppt#264,5,CARACTERISTICAS>
- http://www.intel.com/espanol/netcomms/wp04_espanhol.pdf
- <http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/politicas/eventos/milla/exposiciones/Americatel.pdf>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/HiperMAN>
- http://www.uv.es/montanam/ampliacion/amplif_6-2.ppt#668,10,Diapositiva10
- <http://www.ola.com.co/formas/13140/Wi-Max-Orbitel.pdf>
- <http://www.tsc.uc3m.es/~dani/typ-2.ppt#282,20,AtenuacióndebidaalosGasesde laTroposfera>
- <http://www.34t.com/unique/WiFiAntenas.asp>
- <http://www.tsc.uniovi.es/catedra-telefonica/archivos/WiMAX.pdf>
- http://www.nodotics.cl/documentos/seminariojulio2007/metodologia_casi_entel_empresas.pdf
- [file:///C:/Documents%20and%20Settings/LB1/Escritorio/completar%20estado%20del%20arte%20con%20esto%202.ppt#262,6,IEEE802.16andBWA\(3/5\)](file:///C:/Documents%20and%20Settings/LB1/Escritorio/completar%20estado%20del%20arte%20con%20esto%202.ppt#262,6,IEEE802.16andBWA(3/5))

- http://www.jesustrujillo.com/Archivos%20Descarga/Tutoriales/SPANISH_WiMAX_WIBRO.pdf
- <http://web.csie.chu.edu.tw/~chang/course/wireless-comm/lecture/wireless-man.ppt#895,45,WiMax/The family of 802.16 standard>
- <http://www.ee.ualberta.ca/~iwcl/publications/other/UoFA.10Feb2006.pdf>
- http://www.motorola.com/mot/doc/6/6674_MotDoc.pdf
- <http://www.cs.umd.edu/class/spring2007/cmsc818z/802.16.ppt#261,11,Physical Layer>

- WiFi

- <http://www.des.udc.es/uploads/media/JoseIgnacioAlonsoMontes.pdf>
- http://www.soros.es/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=5
- <http://www.inf.utfsm.cl/~jcanas/ramos/SistemasCom/Apuntes/tema1-1.pdf>
- http://dns.bdat.net/seguridad_en_redes_inalambricas/x187.html
- http://beta.redes-llinux.com/manuales/wireless/funcionamiento_nivel_fisico.pdf
- <http://www.ceditec.etsit.upm.es/dmdocuments/wifi.pdf>
- <http://www.tsc.uc3m.es/~dani/typ-2.ppt#282,20,Atenuación debida a los Gases de la Troposfera>
- http://www.tropos.com/pdf/technology_briefs/tropos_techbrief_wi-fi_technologies.pdf
- <http://www.cs.uwaterloo.ca/~dthadall/research/papers/ImprovingVehicularThroughput-Seminar.pdf>
- <http://www.ceditec.etsit.upm.es/dmdocuments/wifi.pdf>
- <http://www.34t.com/unique/WiFiAntenas.asp>
- <http://www.x-net.es/tecnologia/wireless.pdf>
- http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11y
- http://www.comlab.hut.fi/opetus/333/2004slides/topic_15.pdf
- file:///C:/Documents%20and%20Settings/LB1/Escritorio/completar%20estado%20arte%20con%20esto%201.ppt#317,7,Diapositiva_7

Equipos

- WiMAX

- www.coitcv.org/cms/show_content.asp?obj=2976
- http://www.alvarion.com/solutions/backhaul/products/breezenet_b/

- WiFi

- <http://www.wimacom.com/tienda/pheenet-wap654g-punto-acceso-wireless-80211g-mbps-cliente-bridge-repetidor-universal-conector-antena-rpsma-p-492.html>
- <http://www.e-wirelesslan.net/>
- <http://www.comprawifi.com/>

- Video

- http://www.indigovision.cn/files/international/ds_transmisoresreceptores_esp.pdf
- <http://www.radiocamaras.com/main.asp?opc=.CM-27>
- http://www.domolandia.com/VIDEOVIGILANCIA-CAMARAS-ANALOGICAS-EXTERIOR/c35_39/p209/CAMARA-SPEED-DOMO-P/T/Z-DE-PARED-PARA-EXTERIOR/product_info.html
- <http://www.fiecov.es/Aselec/Egeria%5CWebPublisher%5CArchivos%5CVideo%20IP.pdf>
- <http://www.indigovision.com/datasheets/transmitters%20datasheet%20v7.0.pdf>

- Panel solar

- <http://www.gruposolar.es/PDF/MONO%20CASTELLANO.pdf>
- <http://www.marviva.org/nautica/docu-nautica-5-6-4-4--.html>

- Cables

- <http://www.wifisafe.com/cables.php>
- http://www.it.uniovi.es/docencia/Telecomunicaciones/proyectos/material/proy_wifi.pdf
- <http://www.superinventos.com/S160160.htm>
- <http://tienda.instantbyte.com/index.php?cPath=7&sort=2a&page=2>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Conector_N

Anexos

A1 Catálogos de equipos comerciales

Equipo Alvarion

Radio																			
Frequency	2.400-2.4835 GHz, 5.15-5.35 GHz, 5.47-5.725 GHz, 5.725-5.850 GHz*																		
Radio type	OFDM, TDD																		
Channel bandwidth	20 MHz (40 MHz in turbo mode)																		
Center frequency resolution	10 MHz space (B14 and B28), 5 MHz (B100)																		
Output power (at antenna port)	Up to 21 dBm (dependent upon regulation)																		
Modulation	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM																		
Sensitivity, typical (dBm at antenna port)	<table border="1"> <tr> <td>Modulation</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Level (20 MHz)</td> <td>-89</td> <td>-88</td> <td>-86</td> <td>-84</td> <td>-81</td> <td>-77</td> <td>-73</td> <td>-71</td> </tr> </table> <p>- Modulation Level combines modulation scheme and coding gain. - When using 40 MHz (turbo mode) sensitivity is reduced by 3 dB</p>	Modulation	1	2	3	4	5	6	7	8	Level (20 MHz)	-89	-88	-86	-84	-81	-77	-73	-71
Modulation	1	2	3	4	5	6	7	8											
Level (20 MHz)	-89	-88	-86	-84	-81	-77	-73	-71											
Antenna	<table border="1"> <tr> <td>BU and RB 2.4 GHz</td> <td>16dBi, 20° horizontal x 20° vertical flat</td> </tr> <tr> <td>Integrated antenna</td> <td>EN 301 525 v1.1.1 TS 2(2000-06) compliant</td> </tr> <tr> <td>BU and RB 5 GHz</td> <td>21dBi, 10.5° horizontal x 10.5° vertical, flat</td> </tr> <tr> <td>Integrated antenna</td> <td>EN 302 085, Class TS 1,2,3,4,5 compliant</td> </tr> <tr> <td>BU and RB 2.4 GHz</td> <td>24 dBi, 6° horizontal x 10° vertical flat</td> </tr> <tr> <td>Detached antenna</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BU and RB 5 GHz</td> <td>23 dBi, 9° flat</td> </tr> <tr> <td>Detached antenna</td> <td>28 dBi, 4.5° flat</td> </tr> </table>	BU and RB 2.4 GHz	16dBi, 20° horizontal x 20° vertical flat	Integrated antenna	EN 301 525 v1.1.1 TS 2(2000-06) compliant	BU and RB 5 GHz	21dBi, 10.5° horizontal x 10.5° vertical, flat	Integrated antenna	EN 302 085, Class TS 1,2,3,4,5 compliant	BU and RB 2.4 GHz	24 dBi, 6° horizontal x 10° vertical flat	Detached antenna		BU and RB 5 GHz	23 dBi, 9° flat	Detached antenna	28 dBi, 4.5° flat		
BU and RB 2.4 GHz	16dBi, 20° horizontal x 20° vertical flat																		
Integrated antenna	EN 301 525 v1.1.1 TS 2(2000-06) compliant																		
BU and RB 5 GHz	21dBi, 10.5° horizontal x 10.5° vertical, flat																		
Integrated antenna	EN 302 085, Class TS 1,2,3,4,5 compliant																		
BU and RB 2.4 GHz	24 dBi, 6° horizontal x 10° vertical flat																		
Detached antenna																			
BU and RB 5 GHz	23 dBi, 9° flat																		
Detached antenna	28 dBi, 4.5° flat																		
Antenna port (detached model)	N Type, 50 Ohm																		
Data Communication																			
Standard compliance	IEEE 802.3 CSMA/CD																		
VLAN support	Based on 802.1q, Q-in-Q support (802.3ad)																		
Security	<p>a. Association protocol - ESSID</p> <p>b. WEP 128, AES 128 (FPS -197- licensed upgrade on BreezeNET B100 only)</p> <p>c. IP level filtering for user addresses or protocols</p> <p>d. Access direction and IP address filtering for management</p>																		
Configuration and Management																			
Management options	Via Telnet SNMP based configuration utility Configuration upload/download																		
Remote management access	From wired LAN, wireless link																		
Management access protection	<p>a. Multi-level password</p> <p>b. Configuration of remote access direction (from Ethernet only, from wireless link only or from both sides)</p> <p>c. Configuration of IP addresses of authorized stations</p>																		
Allocation of IP parameters	Configurable or automatic (DHCP client)																		
Software upgrade and configuration up/download	TFTP/FTP download																		
SNMP agent	SNMP V1 Client, MIB II, Bridge MIB, Private BreezeNET B MIB																		
Electrical Characteristics - RB and BU																			
Power consumption	25W																		
Input power	AC, 100-240 VAC, 50-60 Hz (DC 10.5-32UDC with OPS-DC add-on module)																		
Indoor - outdoor cable	CAT5 shielded, 90m max																		
Indicators	<table border="1"> <tr> <td>Indoor unit</td> <td>Power, Link and Ethernet LEDs</td> </tr> <tr> <td>Outdoor unit</td> <td>Status, Ethernet and W-Link LEDs</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SNR, 10 LEDs bar indicator (RB only)</td> </tr> </table>	Indoor unit	Power, Link and Ethernet LEDs	Outdoor unit	Status, Ethernet and W-Link LEDs		SNR, 10 LEDs bar indicator (RB only)												
Indoor unit	Power, Link and Ethernet LEDs																		
Outdoor unit	Status, Ethernet and W-Link LEDs																		
	SNR, 10 LEDs bar indicator (RB only)																		
Connectors	<table border="1"> <tr> <td>Data</td> <td>RJ-45</td> </tr> <tr> <td>AC Power</td> <td>3 pin AC power plug (indoor unit only)</td> </tr> </table>	Data	RJ-45	AC Power	3 pin AC power plug (indoor unit only)														
Data	RJ-45																		
AC Power	3 pin AC power plug (indoor unit only)																		
Physical and Environmental																			
Dimensions - RB and BU	<table border="1"> <tr> <td>Indoor unit</td> <td>16 x 9 x 6 cm (0.55 Kg)</td> </tr> <tr> <td>Outdoor unit with integrated antenna in 2.4 GHz</td> <td>43.2 x 30.2 x 5.9 cm (2.9 Kg)</td> </tr> <tr> <td>Outdoor unit with integrated antenna in 5 GHz</td> <td>30.5 x 30.5 x 6.2 cm(3.3kg)</td> </tr> <tr> <td>Outdoor unit detached (w/o antenna)</td> <td>30.6 x 12 x 4.7 cm (1.85 Kg)</td> </tr> </table>	Indoor unit	16 x 9 x 6 cm (0.55 Kg)	Outdoor unit with integrated antenna in 2.4 GHz	43.2 x 30.2 x 5.9 cm (2.9 Kg)	Outdoor unit with integrated antenna in 5 GHz	30.5 x 30.5 x 6.2 cm(3.3kg)	Outdoor unit detached (w/o antenna)	30.6 x 12 x 4.7 cm (1.85 Kg)										
Indoor unit	16 x 9 x 6 cm (0.55 Kg)																		
Outdoor unit with integrated antenna in 2.4 GHz	43.2 x 30.2 x 5.9 cm (2.9 Kg)																		
Outdoor unit with integrated antenna in 5 GHz	30.5 x 30.5 x 6.2 cm(3.3kg)																		
Outdoor unit detached (w/o antenna)	30.6 x 12 x 4.7 cm (1.85 Kg)																		
Operating temperature	<table border="1"> <tr> <td>Outdoor unit</td> <td>-40°C to 55°C</td> </tr> <tr> <td>Indoor unit</td> <td>0°C to 40°C</td> </tr> </table>	Outdoor unit	-40°C to 55°C	Indoor unit	0°C to 40°C														
Outdoor unit	-40°C to 55°C																		
Indoor unit	0°C to 40°C																		
Operating humidity	<table border="1"> <tr> <td>Outdoor unit</td> <td>5%-95% non condensing, weather protected</td> </tr> <tr> <td>Indoor unit</td> <td>5%-95% non condensing</td> </tr> </table>	Outdoor unit	5%-95% non condensing, weather protected	Indoor unit	5%-95% non condensing														
Outdoor unit	5%-95% non condensing, weather protected																		
Indoor unit	5%-95% non condensing																		
Standards and Regulations																			
Radio	FCC part 15.247, ETSI: EN 301 753, EN 301 893 (1.3.1), EN 300 440-1/2, EN 300 328																		
EMC	FCC part 15 class B, ETSI: EN 301 489-1																		
Safety	UL 60950-1, EN 60950-1																		
Lightning protection	EN 61000-4-5, Class 3 (2kV)																		
Environmental	<table border="1"> <tr> <td>Operation</td> <td>ETSI 300 019 part 2-3 class 3.2E for indoor unit ETSI 300 019 part 2-4 class 4.1E for outdoor unit</td> </tr> <tr> <td>Transportation</td> <td>ETSI 300 019-2-2 class 2.3</td> </tr> <tr> <td>Storage</td> <td>ETSI 300 019-2-1 class 1.2E</td> </tr> </table>	Operation	ETSI 300 019 part 2-3 class 3.2E for indoor unit ETSI 300 019 part 2-4 class 4.1E for outdoor unit	Transportation	ETSI 300 019-2-2 class 2.3	Storage	ETSI 300 019-2-1 class 1.2E												
Operation	ETSI 300 019 part 2-3 class 3.2E for indoor unit ETSI 300 019 part 2-4 class 4.1E for outdoor unit																		
Transportation	ETSI 300 019-2-2 class 2.3																		
Storage	ETSI 300 019-2-1 class 1.2E																		
<p>Note: Not all options are available in all regions. Please contact your local representative for further information. * 5.15-5.35 GHz is only available for the B14 and for the B28 (not for the B100)</p>																			

Punto de acceso WiFi

PheeNet [WAP-654G] Punto de Acceso Wireless 802.11g 54 MBps Cliente Bridge Repetidor Universal conector antena RP-SMA

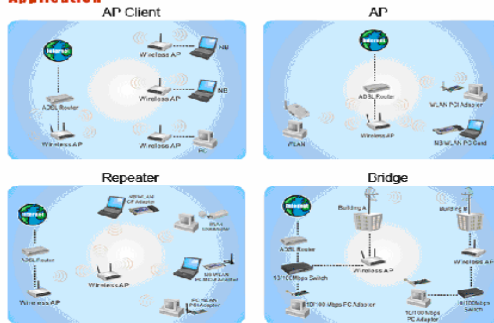
WAP-654G

Se trata de un punto de acceso IEEE802.11g 54Mbps 200mW de gran potencia con todas las funciones (Cliente, Repetidor, P2P, PMP), Antena extraíble con conector RP-SMA



53,95EUR
62,58EUR(con iva)

Application



Features

- 1.4 Operation Modes : Access Point(AP), Client, WDS, AP + WDS modes
2. Support AP/Bridge Mode simultaneously
3. Fully Backwards Compatible with all 802.11b Wireless Network
4. 54Mbps, Up to 5X Faster than 802.11b Products
5. Support 200mW High Power
6. Support Power Over Ethernet
7. Wireless Distribution System(WDS) when running in Repeater mode
8. Maximum Wireless Security with 802.1x, WPA, and AES
9. Maximum Internet Security with IPSEC (DES,3DES,AES-128)
10. Support TPC
11. Support Signal Strength

Specification

Industrial Standard	
Standard	IEEE 802.11g IEEE 802.11b IEEE 802.11 ANSI/IEEE 802.3u 100Base-TX Fast Ethernet ANSI/IEEE 802.3 N-way Auto-Negotiation IEEE 802.11d IEEE 802.11h
Interface	100/10 Base-TX (RJ-45) x 1
Security	- 802.1x, WEP,WPA TKIP, WPA2 AES/Mixed mode for PSK and TLS(Radius) -WDS supported with WEP,TKIP and AES encryption - Wireless access control by MAC address (deny or accept)
RF	
Frequency Band	2.412~2.472 GHz ISM band
Signal Type & Modulation	802.11g: OFDM (64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK) 802.11b : DSSS(CCK, DQPSK,DBPSK)
Antenna	Dual detachable Antenna (Reverse SMA Connector)
Output Power	200mW
Transmit Power Variation	100%, 50%, 25%, 10%, 5%
Sensitivity	802.11b 1Mbps: -91dBm, 2Mbps: -90dBm, 5.5Mbps:-89dBm, 11Mbps:-87dBm 802.11g 6Mbps:-84dBm, 9Mbps:-82dBm, 12Mbps:-79dBm, 18Mbps:-77dBm, 24Mbps:-75dBm, 36Mbps:-73dBm, 48Mbps:-70dBm, 54Mbps:-68dBm
Channels	By Country (IEEE802.11d)
Operating Mode	AP Mode : 802.11b/g Access Point(AP) Repeater Mode: WDS Repeater , Universal Repeater Bridging Mode : P2P, PTMP, Client Mode : Ad-Hoc and infrastructure mode Support Radius client used in client mode Support site survey scan and manual connect Support MAC Clone
Management	Web configuration
Hardware	
Base Platform	RL8186+ RL2560 (MIPS R3000 ISA-1)
Clock Speed	200 MHz
Reset Switch Built-in	Push-button momentary contact switch
SDRAM	On board : 8Mbytes
Flash	On board : 2Mbytes
Built-In LED Indicators	Power Status always On / Blinking: while upgrading firmware Ethernet On: Blinking: Active Wireless Blinking : Active
Environment	Operating Temperature:0~50°C Storage Temperature:0~70°C Humidity: 5%~95%(non condensing)
Power Supply	12 VDC, 1A input
Dimensions	112 (L) x 73(W) x 31(H) (mm)

Antena exterior WiFi

Antena omnidireccional 6dbi exterior con base magnetica desmontable + 1.8m cable RP-SMA

Precio: 76.36 €



Informacion del Producto

Antena tipo dipolo omni-direccional con ganancia de 6 dBi apta para la comunicación inalámbrica a largas distancias y en la banda de los 2400-2485 MHz.

Dispone de una gran base magnética que la hacen ideal para comunicaciones inalámbricas móviles, en donde se requiera mayor alcance sin renunciar a la movilidad. En esta base hay integrado un cable de 1,8m con conector tipo SMA Macho-Invertido para conectar directamente a un periférico Wireless 802.11. Ideal para ser conectada a equipos wireless LAN compatibles 802.11 (puntos de acceso, adaptadores, etc.).

De montaje fácil la hacen ideal para la comunicación de edificio a edificio y sobretodo para interiores y naves industriales.

Polarización vertical.

Obertura del haz de 60 grados (vertical).

SWR \leq 1.5:1.

Longitud de 450 mm y peso de 860 g.

Cobertura aproximada en condiciones normales de hasta 500m.

Adaptador WiFi

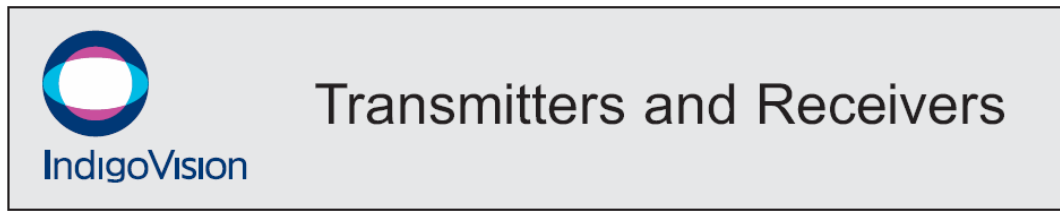
Características:



- Instalación simple
- Interfaz USB 2.0
- Encriptación WPA, 802.1x, WEP de 64 y 128 bits
- Opera en 2.4GHz, totalmente compatible con 802.11b y 802.11g
- Velocidad máxima de operación inalámbrica de 108Mbps
- Roaming entre células y entre 802.11b a 802.11g
- Soporta Windows 98SE/ME/2000/XP
- Soporta Hasta 1 Km con la opción XR

Características	Instalación simple Interfaz USB 2.0 Encriptación WPA, 802.1x, WEP de 64 y 128 bits Opera en 2.4GHz, totalmente compatible con 802.11b y 802.11g Velocidad máxima de operación inalámbrica de 108Mbps Roaming entre células y entre 802.11b a 802.11g Soporta Windows 98SE/ME/2000/XP Soporta Hasta 1 Km con la opción XR
Interface	USB 2.0 Indicador luminoso: Un LED para enlace y actividad Antena: Integrada
Chip	ATHEROS AR5523A-00
Estándares	IEEE 802.11b IEEE 802.11g
Rango de frecuencias	Desde 2,412GHz hasta 2,497GHz
Técnicas de Modulación	802.11b: 11 y 5,5Mbps – CCK / 2Mbps – DQPSK / 1Mbps – DBPSK 802.11g OFDM
Velocidades de operación	802.11b 11Mbps, 5,5Mbps, 2Mbps y 1Mbps 802.11g 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6Mbps
Sensibilidad de recepción	11Mbps 10-5 BER a -80dBm típico 54Mbps 10-5 BER a -65dBm típico
Canales	802.11b Estados Unidos:11 ; Europa:13 802.11g Estados Unidos, Europa y Japón: 13
Condiciones Operativas	Temperatura: entre 0°C v 50°C Humedad: Hasta 95% sin condensación
Controladores incluidos	Windows 98SE/2000/ME/XP/2003

Transmisor y Receptor de vídeo VB8000



IndigoVision Transmitters and Receivers allow traditional analog video cameras and monitors to be integrated into an IP network. The standalone unit is available as either a Transmitter only or as a Transmitter/Receiver. The 10-Channel Rack can take any combination of Receiver or Transmitter cards. Two levels of compression technology are available: the 9000 Series provides H.264 and the 8000 Series provides MPEG-4.



10-Channel Rack and Standalone Transmitter/Receiver

Video Performance	Full frame rate, full color: 25/30fps guaranteed														
9000 Series	H.264 (ISO14496-10) video compression														
8000 Series	MPEG-4 (ISO14496-2) video compression														
Audio Compression	MPEG-4 Advanced Audio Encoding at 16 KHz sample rate & 16 bit resolution														
Video Bit Rate	User-configurable bit rates from 32Kbps up to 4Mbps														
Resolution	SIF: 352 x 288 pixels (PAL) 352 x 240 pixels (NTSC)	2SIF: 704 x 288 pixels (PAL) 704 x 240 pixels (NTSC)	4SIF: 704 x 576 pixels (PAL) 704 x 480 pixels (NTSC)												
9000 Multi-streaming	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4SIF</td> <td>1 stream</td> <td>1 stream</td> </tr> <tr> <td>2SIF</td> <td>2 streams</td> <td>2 streams</td> </tr> <tr> <td>SIF</td> <td>3 streams</td> <td>3 streams</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	4SIF	1 stream	1 stream	2SIF	2 streams	2 streams	SIF	3 streams	3 streams	You can combine one selection from column A plus one selection from column B: e.g. 2x2SIF streams plus 3xSIF streams e.g. 1x4SIF stream plus 1x4SIF stream	
	A	B													
4SIF	1 stream	1 stream													
2SIF	2 streams	2 streams													
SIF	3 streams	3 streams													
8000 Multi-streaming	SIF: 3 streams; 2SIF: 2 streams; 4SIF: 1 stream														
Video Output	NTSC/PAL composite video, 75 Ohms; 1V p-p, standard BNC connector. Software decode for display to PCs														
Audio Input	Line in 3.5mm jack. Nominal voltage: 1V p-p, 16bit, 16kHz sampling; Mic 30mVp-p. Mic types: support for condenser and dynamic														
Audio Output	Line out 3.5mm jack. 1V p-p, Minimum load impedance: 32 Ohms														
Network Interface	TCP, UDP, ICMP, IGMP, SNMP, HTTP; Embedded Linux firewall; Up to 16 simultaneous unicast video users plus unlimited multicast users														
Time	Embedded real-time clock; NTP Client														
Onboard Diagnostics	Serial; network; video; events														
Regulatory	EN 55022(1994) ITE - Class A; EN 61000-3-2(1995) - Class A; EN 55024(1998) ITE immunity standard; EN 61000 3-3(1995) voltage fluctuation; CFR47(1995) Part 15 subpart B -Class A														

The following specifications differ for the standalone units (Transmitter and Transmitter/Receiver) and the 10-Channel Rack.

	Standalone Transmitter & Transmitter/Receiver	10-Channel Rack
Binary Input/Output	4 opto-isolated inputs; 2 solid state relay outputs	10 opto-isolated inputs; 10 solid state relay outputs
Dimensions	167 x 110 x 45 mm, 0.6Kg (excluding power supply)	88 x 218 x 483 mm; 3.6kg
Electrical	Operating voltage: Power over Ethernet (802.3AF); 24V AC/DC @ 0.25A; Power consumption: 5W (typical) 6W (max); Power supply not provided on 9000 Series boxes	Operating voltage: 3.3V DC @ 20A; Power consumption: 55W (typical) 66W (max); Dual redundant power connectors
Ethernet	IEEE802.3 and IETF: 10/100 Base-T Ethernet	10/100/1000 Base-T Ethernet; Dual redundant switch ports
Video Input	NTSC/PAL video; 75 Ohms 1V p-p, standard BNC connector; S-Video	NTSC/PAL video; 75 Ohms 1V p-p, standard BNC connector
Data Input/Output	1 Data port: RS232/RS422/RS485 up to 115.2 Kbps 1 Data/Console port: RS232 up to 115.2 Kbps	10 Data ports: RS232/RS422/RS485 up to 115.2 Kbps 1 Console port: RS232 up to 115.2 Kbps
Environmental	Operating temp.: 0 to +50°C/+32 to +122°F; Storage temp.: -20 to +70°C/-4 to +158°F; Extended temp. Option A: 0 to +65°C/+32 to +149°F; Extended temp. Option B: -30 to +65°C/-22 to +149°F	Operating temp.: 0 to +50°C/+32 to +122°F Storage temp.: -20 to +70°C/-4 to +158°F

www.indigovision.com

FC CE Doc: v7.0

Cámara de video submarina

Cámara Sumergible hasta 30 metros (3 atmósferas) CM-27



CAMARA SUMERGIBLE especialmente diseñada para ser utilizada en situaciones extremas, como puede ser debajo del agua, en donde la cámara tiene que poder soportar 3 atmósferas.

Esta compuesta por un sensor CCD 1/3" COLOR fabricado por SHARP tipo super sensitive con una resolución de mas 380 líneas, además conmuta automáticamente a B/N cuando la luz es inferior a 1 Lux.

Incorpora un juego de 6 LED de luz blanca, para que tengamos un visión nítida cuando a cierta profundidad haya una carencia de luz.

La cámara CM-27 ha pasado numerosos test para soportar las condiciones de presión a la que puede someterse, garantizando que hasta una profundidad de 50 metros no existe ningún problema de condensación de vaho en el interior de la cámara.

La carcasa esta protegida contra la erosión del agua salada así como el uso en intemperie en las más duras condiciones.

El cable esta protegido contra la presión submarina, así como de desgarros o cortes hasta un nivel concreto.

Se suministra con 30 Metros de cable de alta resistencia por el que va también la tensión de alimentación de 12 V.

Por su elevada robustez se garantiza un MTBF (Tiempo medio entre fallos) de mas de 80.000 horas, lo que la convierten en una cámara profesional.

Su campo de aplicaciones es muy amplio: uso en puertos maritimos, inspección de barcos y pequeñas embarcaciones, pesca, seguimiento de animales marinos, visión en acuarios, inspección de pozos, fontanería, total intemperie..etc

242,44 € con IVA

COMPRAR ►

209,00 €

Cámara de video superficie

CAMARA SPEED DOMO P/T/Z DE PARED PARA EXTERIOR [PTZSD627DL]

1,135.00EUR

CARACTERÍSTICAS

Cámara Speed Domo P/T/Z de pared para exterior
Zoom óptico 27 X, digital 10 X, reducidas dimensiones, sensibilidad 0,01 Lux
Ref.: PTZSD627DL



El Domo de alta velocidad PTZSD627DL es un Domo inteligente, para fijación en paredes, esquinas de edificios (Accesorio opcional) y báculos de farolas (Accesorio opcional), y uso en exteriores e interiores, especialmente indicado para la vigilancia de seguridad en almacenes, bancos, estaciones, instalaciones deportivas, aparcamientos, supermercados, hoteles, # etc.

DESCRIPCIÓN

El Domo de alta velocidad PTZSD627DL utiliza una nueva generación de Cámaras DSP de alta sensibilidad con un Zoom óptico de 27 X y ampliación digital de 10 X, lo que le convierte en una solución de altas prestaciones y gran fiabilidad.

Con un movimiento #Pan# (Horizontal) y #Tilt# (Vertical) de alta velocidad, 360º de movimiento continuo de rotación y 180º de movimiento vertical, 480 líneas de TV de resolución, el Domo de alta velocidad PTZSD627DL puede instalarse fácilmente en diversas aplicaciones de seguridad. Mediante el protocolo de comunicación RS-485 incluido en el sistema, es totalmente compatible con diversos sistemas de DVR, Servidores IP , pudiendo controlar las funciones PTZ, Zoom +/-, Iris, velocidad, tanto en remoto como en local.

La carcasa dispone de sistema de calefacción y ventilación mediante termostatos.

Opcionalmente se encuentran disponibles soportes para su colocación en techo, esquina y farola o poste.

APLICACIONES HABITUALES

El Domo de alta velocidad PTZSD627DL permite gracias a su velocidad y a la magnificación de imagen, una eficaz vigilancia en almacenes, bancos, estaciones, instalaciones deportivas, aparcamientos, supermercados, hoteles, # etc.

Es el complemento ideal al servidor de Video IP MPG4 Ref.: VS3102

CARACTERÍSTICAS

Cámara:

Color, Sensor CCD 1/4" alta sensibilidad 0.01 lux.

Zoom:

27X Optico / 10X Digital

Sistema de enfoque:

Auto-Sensing, manual, Infinito, AF con intervalo , Zoom disparo AF.

Características diversas:

Balance automatico de blancos, Compensación de contraluz, Control auto iris, Obturador electronico, Autoenfoco preciso y continuo sobre el sujeto. Auto protection cuando falla alimentación. Auto Flip dome rotation. OSD para control de la cámara.

Carcasa:

Reducidas dimensiones 238mm.(H) x 214mm (Ø) Brazo de fijación en pared/baculo 200mm (L) , Calfacción y ventilación mediante termostatos. Protección IP66

Comunicaciones:

Protocolo RS-485, totalmente compatible con DVR y Servidores IP.

Velocidad de giro:

0.3~240º/sg.

Rango de barrido horizontal:

360º de forma continua

Rango de giro vertical:

menor de 90º

Posiciones preestablecidas:

64 posiciones

Tiempo de búsqueda de posición preestablecidas:

menos de 3 sg

Tiempo de búsqueda de Zoom:

menos de 1.65 sg

Precisión de barrido:

0.225º +- 0.003º

Tensión de alimentación:

DC12V+-20%, 230V 50hz+-10%

Consumo:

menor de 10W

Formato de camara:

PAL/NTSC

Elementos de imagen:

752(H) x 583(V) PAL / 768(H) x 494(V) NTSC

Relación S/R:

>48dB

Resolución horizontal:

480 Líneas

Temperatura:

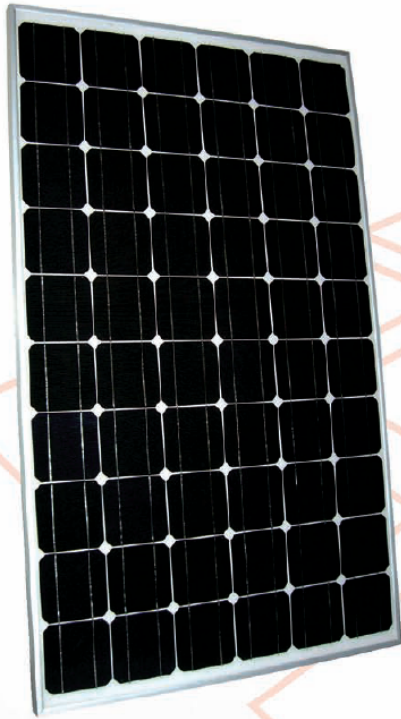
-45º C ~ 50º C

Tasa de transmisión:

2400, 4800, 9600 Baudios

Panel Solar

MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO – GS60156M



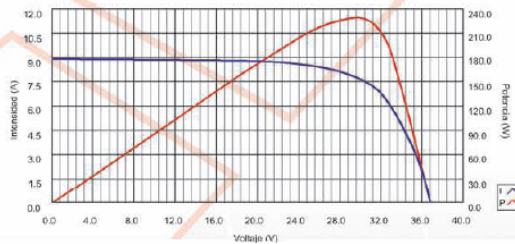
Los materiales usados en el proceso de producción de Gruposolar cumplen con los más estrictos requisitos tecnológicos. Nuestra empresa garantiza la más alta calidad a lo largo de todo el proceso de producción de los módulos fotovoltaicos, lo que nos permite satisfacer las necesidades más exigentes de nuestros clientes.

Características del producto:

- Vidrio solar altamente transparente de 4 mm y marco de aluminio anodizado para una perfecta estabilidad y una larga duración
- Células monocristalinas de 156x156 mm con elevados niveles de eficiencia.
- Conexiones eléctricas con conectores Tyco
- Potencias: 221Wp, 224Wp, 227Wp, 230Wp y 233Wp
- Tensión nominal del sistema: 1.000 V
- Medidas: 1.674 x 998 x 40 mm.
- Peso: 23 kg.

Control de calidad

El sistema de producción de Gruposolar verifica todo el proceso paso a paso, permitiendo así obtener los máximos niveles de calidad en sus módulos fotovoltaicos.



Datos eléctricos

Potencia máxima (±3%)	Pmpp	221	224	227	230	233	W
Tens. punto de máx. potencia	Vmpp	28,33	28,65	28,76	29,1	29,1	V
Corriente punto máx. potencia	Impp	7,8	7,81	7,9	7,9	8,01	A
Tensión de circuito abierto	Voc	36,56	36,73	36,81	36,7	36,8	V
Corriente en cortocircuito	Isc	8,41	8,53	8,7	8,58	8,61	A

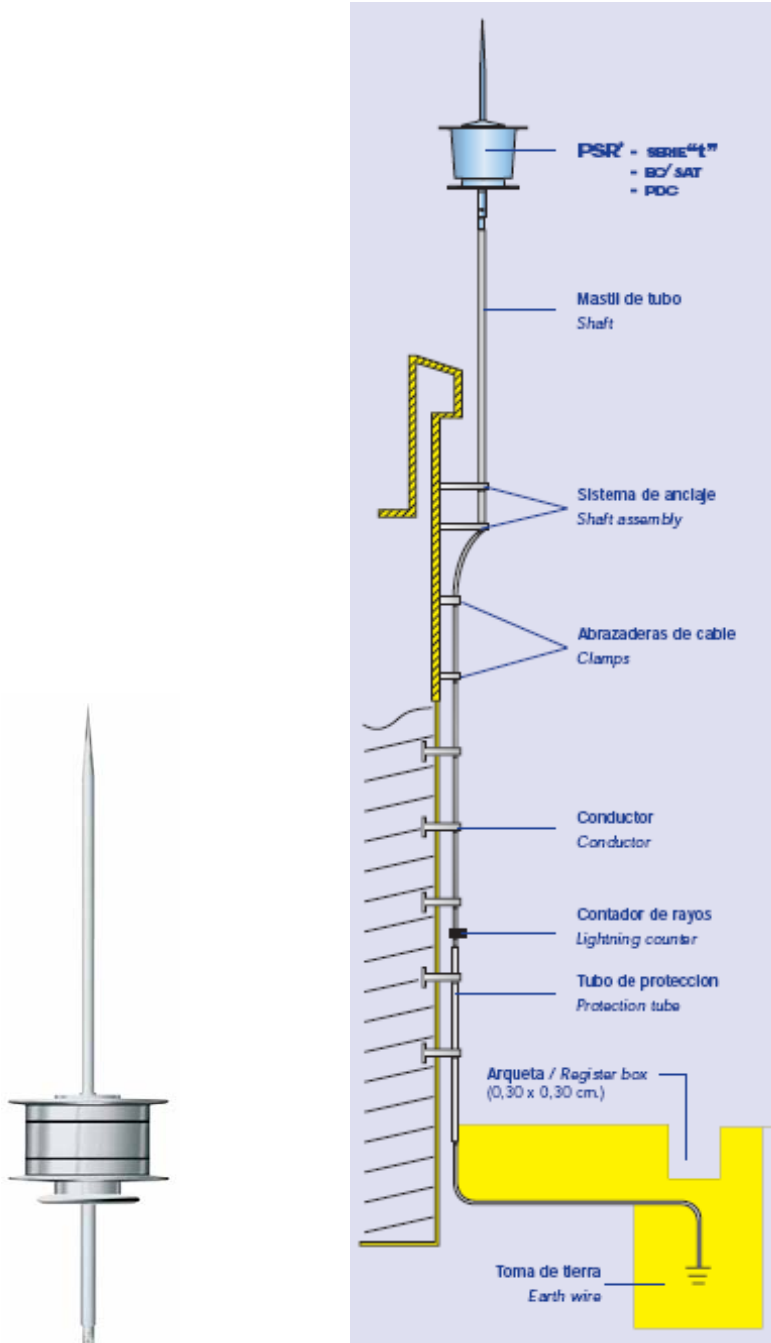
Datos referidos a condiciones estándar de ensayo (STC): radiación de 1000 W/m2 con espectro AM 1,5 y temperatura de célula 25° C.

Coefficientes de temperatura

Coefficiente de potencia	Tk (Pmpp)	-0,44 %/°C
Tensión en vacío	Tk (Voc)	-126 mV/°C
Corriente en cortocircuito	Tk (Isc)	2,1 mA/°C

Pararrayos

El pararrayos está dividido en distintas partes y el cliente elige las que desea.



PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO (AT) EC-SAT <i>LIGHTNING CONDUCTOR WITH STREAMER DEVICE (AT) EC-SAT</i>						
Ref.	Modelo <i>Model</i>	"h" Altura Mastil <i>Shaft Height</i>	Radio Acción Nivel 1 <i>Protection Level 1</i>	Radio Acción Nivel 2 <i>Protection Level 2</i>	Radio Acción Nivel 3 <i>Protection Level 3</i>	€
9001	EC-SAT 250	6 m.	40 m.	60 m.	70 m.	896,00
9002	EC-SAT 500	6 m.	50 m.	70 m.	80 m.	1.109,00
9003	EC-SAT 750	6 m.	65 m.	80 m.	90 m.	1.270,00
9004	EC-SAT 1000	6 m.	80 m.	93 m.	107 m.	1.420,00

Descripción:

Pararrayos con dispositivo de cebado (At) disponiendo de triple sistema de protección, aislamiento estanco y vía de chispas de máxima respuesta. No contiene componentes radiológicos. Bajo mantenimiento, alta resistencia a los agentes atmosféricos y elementos corrosivos. Seguridad y rigidez a múltiples impactos de rayos. Fabricado en acero inoxidable. Posee ensayos del L.C.O.E. Normalizaciones: UNE 21.186, 21.308, NF-C 17.102 y NP 4.426. AISI 316 norma internacional.

Description:

Lightning conductor with streamer device (At) with tripple protection system, watering isolation and spark gap of maximum response. It does not contain radiological components. Low maintenance, high resistance to enviromental and corrosive elements. Safety and endurance to multiple lightning impacts. Archived the L.C.O.E. trials. Standard UNE 21.186, 21.308, NF-C 17.102 and NP 4.426. Manufactured in stainless steel AISI 316 international standard.

Divisor de señal digital



> DIVISOR DE DOS SALIDAS A 75 OHMS 1 GHZ

Precio público: 50 €

:: Sinopsis

Divisor (Splitter) de alto rendimiento, con paso de voltaje por todos los puertos y 2 salidas de 1 GHz a 75 Ohms para señal de televisión o cable. Cuenta con caja soldada de aleacion de Zinc terminada en cromo anticorrosivo, que proporciona un escudo contra interferencia electromagnetica de 130 dB (EMI), perdida por insercion de 3,6 a 4,2 dB y aislamiento de puertos de 25 a 28 dB

A2 Códigos Matlab utilizados

```
%CALCULO PERDIDAS PROPAGACION EN WIFI
```

```
clc  
close all  
clear all
```

```
d=0.05; %En Km  
f=2.4; %En GHz
```

```
Lp= 92.45 + 20*log10(f)+ 20*log10(d)
```

```
%CALCULO PERDIDAS PROPAGACION EN WiMAX
```

```
clear all
```

```
d=10; %En Km  
f=5.4; %En GHz
```

```
Lp= 92.45 + 20*log10(f)+ 20*log10(d)
```

```
%PERDIDAS POR LLUVIA EN WiMAX, CON ANTENA POLARIZADA VERTICALMENTE
```

```
clc  
close all  
clear all
```

```
d=10; % distancia del enlace
```

```
%Datos extraidos de las tablas correspondientes
```

```
tao=45;  
R=32;  
kv=0.00155;  
alpha_v=1.265;
```

```
k=kv;  
alpha=alpha_v;
```

```
%Calculo de la atenuacion en dB/Km  
at=k*R^alpha;
```

```
%Calculo de la distancia equivalente  
R=min(R, 100);  
do=35*exp(-0.015*R);  
d_equivalente = d /(1+d/do);
```

```
%Calculo de la atenuacion en dB  
at_lluvia= at*d_equivalente
```

%ATENUACION POR NIEBLA en WiMAX

```
clc
close all
clear all
```

```
d=10; %distancia del enlace
R=32; %intensidad de lluvia
T= 292.4; %temperatura máxima en grados Kelvin
```

```
teta= 300/T;
epsilon_0= 77.6 + 103.3*(teta-1);
epsilon_1=5.48;
epsilon_2=3.51;
f=5.4; %En GHz
M=0.5;
```

```
fp= 20.09 - 142*(teta -1)+294*(teta-1)^2;
fs=590-1500*(teta-1);
```

```
epsilon_2prima=f*(epsilon_0-epsilon_1)/(fp*(1 + (f/fp)^2)) + f*(epsilon_1-
epsilon_2)/(fs*(1 + (f/fs)^2))
epsilon_prima=(epsilon_0-epsilon_1)/(1 + (f/fp)^2) + (epsilon_1-epsilon_2)/(1 +
(f/fs)^2) + epsilon_2
```

```
mu = (2+epsilon_prima)/epsilon_2prima
```

```
Kl=(0.819*f)/(epsilon_2prima*(1+mu^2))
```

```
%Calculo atenuacion niebla en dB/Km
at = Kl*M;
```

```
%Calculo de la distancia equivalente
R=min(R, 100);
do=35*exp(-0.015*R);
d_equivalente = d /(1+d/do);
```

```
%Calculo atenuacion niebla en dB
at_niebla=at*d_equivalente
```

%PERDIDAS POR DIFRACCION (en objeto puntiagudo)

```
clc
close all
clear all
```

```
disp('WiMAX')
f=5400; % En MHz
d=10; % En Km
d1=0.03; % En Km
d2=9.97; % En Km
h=0.925;
despejamiento = (2.58*10^-3)*h*sqrt(f*d/(d1*d2))
```

```
Ld=6.9+20*log10(sqrt((despejamiento -0.1)^2+1)+ despejamiento -0.1)
```

```
disp('WiFi')
f=2400; % En MHz
d=0.05; % En Km
d1=0.03; % En Km
d2=0.02; % En Km
h=0.4;
despejamiento = (2.58*10^-3)*h*sqrt(f*d/(d1*d2))

Ld=6.9+20*log10(sqrt((despejamiento -0.1)^2+1)+ despejamiento -0.1)
```

%PERDIDAS POR DIFRACCION (en objeto redondo)

```
clc
close all
clear all

disp('WiMAX')
d1=26; % En metros
d2=9966; % En metros
f=5.4*10^9; % En Hz

lambda= 3*10^8 / f;
Ds=8; % en metros
alpha1=atan(1/d1);
alpha2=atan(24/d2);
alpha=alpha1 - alpha2

r= 2*Ds*d1*d2/(alpha*(d1^2+d2^2))
Lextra= 11.7*alpha*sqrt(pi*r/lambda)
```

```
disp('WiFi')
d1=26; % En metros
d2=16; % En metros
f=2.4*10^9; % En Hz
```

```
lambda= 3*10^8 / f;
Ds=8; % En metros
alpha1=atan(1/d1);
alpha2=atan(0/d2);
alpha=alpha1 - alpha2

r= 2*Ds*d1*d2/(alpha*(d1^2+d2^2))
Lextra= 11.7*alpha*sqrt(pi*r/lambda)
```

```
%CALCULO DE LA CARGA DEL VIENTO PARA DIFERENTES OBJETOS
```

```
clc
```

```
clear all
```

```
close all
```

```
%Antena WiMAX
```

```
% a=0.305; % en metros
```

```
% b=0.305; % en metros
```

```
%Antena WiFi
```

```
% a=0.01; % en metros
```

```
% b=0.45; % en metros
```

```
%Barra de soporte
```

```
a=5;
```

```
b=0.08;
```

```
v=[0:200]*1000/3600; % en m/s
```

```
for i=1:length(v)
```

```
    E(i)= 0.65*a*b*v(i)^2;
```

```
end
```

```
grid
```

```
hold on
```

```
plot(v,E)
```

```
xlabel('Velocidad viento en m/s')
```

```
ylabel('Esfuerzo en Newton')
```

```
title('Carga del viento')
```

```
hold off
```

A3 Presupuesto

1. Ejecución Material

Compra de ordenador personal (Software incluido).....	2.000 €
Alquiler de impresora láser durante 6 meses.....	50 €
Material de oficina.....	150 €
Total de ejecución material.....	2.200 €

2. Gastos generales

16 % sobre Ejecución Material.....	352 €
------------------------------------	-------

3. Beneficio Industrial

6 % sobre Ejecución material.....	132 €
-----------------------------------	-------

4. Honorarios Proyecto

640 horas a 15 € / hora.....	9.600 €
------------------------------	---------

5. Material fungible

Gastos de impresión.....	60 €
Encuadernación.....	30 €

6. Subtotal del presupuesto

Subtotal del presupuesto.....	12.060 €
-------------------------------	----------

7. I.V.A. aplicable

16 % Subtotal del presupuesto.....	1929,6 €
------------------------------------	----------

8. Total presupuesto

Total Presupuesto.....	13989,6 €
------------------------	-----------

Madrid, Marzo de 2008

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Rodrigo López Barnés
Ingeniero Superior de Telecomunicación

A4 Pliego de condiciones

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de un SISTEMA DESARROLLADO EN ESTE PFC. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.
2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.
3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.
4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.
5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.
6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.
7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.
8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la

misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.
4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.
5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.
7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.

----- Fin Proyecto -----