

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ing. Sist. de Telecom., Sonido e Imagen



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Estudio y diseño de una red WiMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:
Ainhoa Calvillo Teribia

Tutor/a:
Maria Consuelo Part Escrivá

GANDIA, 2013

Estudio y diseño de una red WiMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural.

RESUMEN

Actualmente en la mayoría de los hogares españoles, se tiene acceso a internet de banda ancha, lo que ha generado una "dependencia" de éste servicio. Además la existencia de dispositivos móviles en el mercado, hace necesario utilizar redes inalámbricas para facilitar el servicio.

La red inalámbrica de mayor cobertura es la conocida como WiMax (World Wide Interoperability for Microsoft Access). Está basada en el protocolo, el 802.16, y lo que le diferencia de las redes WiFi es que estas redes son a escala metropolitana. WiMax está pensado para dar cobertura a radios de cincuenta kilómetros con velocidades de 70Mb/s. lo que es suficiente para proporcionar un acceso a internet a toda una ciudad o a varias zonas de la misma.

A lo largo de este proyecto se explicarán las características básicas de esta tecnología. Además se llevará a cabo un diseño de una implantación de red WiMAX en un entorno rural. Se intentará proponer arquitecturas e implementaciones lo más próximas a unas condiciones reales utilizando para ello dispositivos del mercado.

Finalmente se obtendrán una serie de conclusiones sobre las principales características de la tecnología WiMAX y del diseño realizado para el entorno rural.

PALABRAS CLAVE

WiMAX, Cobertura, Banda Ancha, Red inalámbrica, WMAN

OVERVIEW

Currently most households in the world has access to broadband internet. It has created a "dependency" of this service. Moreover, the existence of mobile devices on the market, makes it necessary to use wireless networks to provide internet.

The largest wireless network coverage is known as WiMAX (World Wide Interoperability for Microsoft Access). It is based on the protocol, 802.16, and differs from WiFi networks is that these networks are metropolitan scale. WiMAX is designed to cover fifty miles radios with speeds of 70Mb / s. which is sufficient to provide Internet access to an entire city or several areas of the same.

Throughout this project we will explain the basic features of WiMAX technology. We will also held a design of a WiMAX network deployment in a rural area. We will try to propose architectures and implementations which meet real conditions, using devices from WiMAX market

Finally we get a set of conclusions on the main characteristics of WiMAX technology and design done for the rural environment.

KEYWORDS

WiMAX, Coverage, Broadband, Wireless Network, WMAN

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	5
2.	WIMAX.....	5
2.1.	Definición	5
2.1.1.	Estándar 802.16.	6
2.2.	Funcionamiento tecnología WiMAX.....	8
2.2.1.	Funcionamiento Básico	8
2.2.2.	Características técnicas	9
2.3.	Pre-WiMAX.....	10
2.4.	WiMAX Forum.....	10
2.5.	Comparación WiMAX con otras tecnologías similares.....	11
2.5.1.	WiMAX frente a CATV y ADSL.....	11
2.5.2.	WiMAX frente a WiFi	11
3.	DISEÑO DE UNA RED WIMAX	12
3.1.	Introducción	12
3.2.	Programa diseño de cobertura.....	12
3.2.1.	RADIO MOBILE	13
3.3.	Proceso seguido para realizar el diseño de la red WiMAX.	17
3.3.1.	1º- Elección zona geográfica donde se quiere dar cobertura.	17
3.3.2.	2º Elección puntos donde queremos dar cobertura y servicios proporcionados.....	18
3.3.3.	Elección frecuencia de transmisión	22
3.3.4.	LOS o NLOS.....	23
3.3.5.	Elección equipos.	23
3.3.6.	Diseño de la red WiMAX con Radio Mobile.....	27
3.3.1.	Resumen.....	42
4.	CONCLUSIONES	44
4.1.	Conclusiones teóricas	44
4.1.1.	Ventajas de utilizar WiMAX frente a otras tecnologías similares.	44
4.1.2.	Inconvenientes uso WiMAX frente a otras tecnologías similares.	45
4.2.	Conclusiones prácticas.....	45
4.2.1.	Aspectos a tener en cuenta en el diseño de una red WiMAX.....	45
4.2.2.	Limitaciones existentes.	45
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	47

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es estudiar las características principales y el funcionamiento de las redes WiMAX, además de realizar un diseño real de una red WiMAX utilizando el programa Radio Mobile para analizar la cobertura de banda ancha que se podría proporcionar en varios municipios ubicados en la Comunidad Valenciana.

El proyecto quedará estructurado en 3 puntos diferenciados:

- En el primer punto se describirán las principales características y el funcionamiento de las redes WiMAX.
- En el segundo punto se describirá el proceso seguido para la realización del diseño de nuestra red WiMAX utilizando el programa Radio Mobile.
- Finalmente en el último punto se describirán las conclusiones obtenidas al realizar el diseño y comparar la tecnología WiMAX con tecnologías similares como la tecnología WiFi o ADSL.

2. WIMAX

2.1. Definición

Popularmente se conoce como **WiMAX**, pero sus siglas provienen de la definición **World Wide Interoperability for Microsoft Access**.

WiMAX es el nuevo estándar tecnológico **IEEE 802.16** de comunicaciones inalámbricas de acceso de banda ancha, que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de superiores a 2,3GHz. Dicho estándar aparece con el motivo de solventar los inconvenientes que presenta el estándar 802.11 (WiFi) a la hora de proporcionar acceso inalámbrico de banda ancha en entornos metropolitanos (conocidas como redes MAN).

Una de sus principales ventajas es dar servicio de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra óptica, debido a la baja densidad de población existente, presenta un elevado coste por usuario. Esto puede darse en zonas rurales donde la densidad de población es baja y espaciada por lo que realizar un despliegue de cable en esa zona puede ser muy costoso y poco rentable para el operador.

Este estándar no es necesariamente una sustitución de la conocida tecnología WiFi, sino que puede llegar a complementarla. Es decir, si queremos implantar la tecnología WiMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural como es el caso que desarrollaremos en la parte final de este proyecto, podemos desarrollar un enlace con tecnología WiMAX hasta el edificio al que se quiere dar cobertura y posteriormente dentro de éste edificio, diseñar una red WiFi para dar acceso de internet de banda ancha a todas las instalaciones de la mismo.

WiMAX → red MAN → coberturas de hasta 50Km
WiFi → red LAN → coberturas de hasta 500m

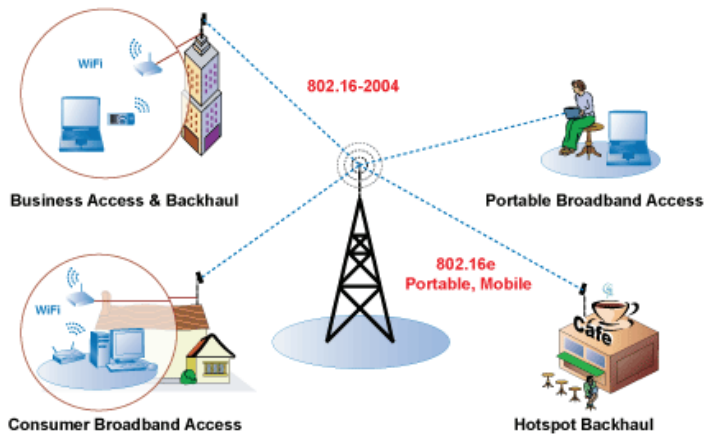


Figura 1: Esquema cobertura WiMAX.

2.1.1. Estándar 802.16.

Estándares IEEE

Para facilitar la comprensión de qué son los estándares IEEE y para qué sirven, podemos definir varias características básicas:

- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas.
- Los estándares IEEE son documentos publicados que establecen procedimientos y especificaciones diseñadas para maximizar la fiabilidad de los materiales, productos, métodos y/o servicios que se utilizan habitualmente.
- Hace más fácil la comparación y la comprensión de los productos competidores.
- Son normas mundialmente publicadas.
- A través de éstas normas se aseguran los requisitos de interconexión e interoperabilidad.

A continuación se describen las principales características de éste estándar y las modificaciones o ampliaciones más importantes.

Estándar IEEE 802.16

Se trata de una especificación para las redes de acceso metropolitanas inalámbricas de banda ancha fijas (no móvil). Este estándar en esencia recoge el estándar **WiMAX**.

El estándar 802.16 ocupa el espectro de frecuencias desde 2GHz hasta 11GHz para la comunicación de la última milla (de la estación base a los usuarios

finales) y ocupando frecuencias entre 11GHz y 60 Ghz para las comunicaciones con línea vista entre las estaciones bases.

Estándar IEEE 802.16d (802-16-2004)

Se establece un enlace radio entre la estación base y un equipo de usuario situado en el domicilio del usuario. Sirve para dispositivos fijos y portátiles.

Utiliza un rango de frecuencias entre 2 GHz y 6 GHz, y permite una velocidad de transmisión hasta 15 Mbps.

Este protocolo trata de mejorar la movilidad de WIMAX.

Estándar IEEE 802.16e

Esta revisión se realizó en Diciembre de 2005 y se le puede denominar WIMAX Móvil. Permite que los usuarios de tecnología móvil (portátiles, teléfonos inteligentes, PDA's...), utilicen redes de área metropolitana inalámbricas.

Principales estándares IEEE 802.16

CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR 802.16			
ESTÁNDAR	802.16, 802.16b, 802.16c	802.16d (802-16-2004)	802.16e
APROBADO	2001, 2002, 2003	Julio 2004	7 Diciembre 2005
FRECUENCIA	10GHz-66 GHZ	2GHz-11GHz	2GHz-6GHz
CONDICIONES DE VISIBILIDAD EMISOR-RECEPTOR	LOS (line of sigth) (Visión directa)	Near LOS (cercano a la visión directa)	NOS (no line of sigth) (Sin visión directa)
ANCHO BANDA CANAL	20MHz-28MHz	1,75MHZ-20MHz	1,25MHz-20MHz
CAUDAL TRANSMISIÓN DE DATOS	Hasta 134Mbps	Hasta 75Mbps	Hasta 75Mbps
TIPO TRANSMISIÓN	SCA(Single Carrier)	ODFDM 256	OFDMA 2048
MOVILIDAD	Fijo	Fijo y Portable	Fijo y Móvil
COBERTURA	5Km	30Km	10Km
TIPO DE MERCADO AL QUE VA DIRIGIDO	Urbano. Acceso a internet en edificios.	Urbano, suburbano, rural.	Acceso a dispositivos móviles: PDA's, smartphone,portátile

Figura 2: Tabla características estándar 802.16

Además de los estándares descritos en los apartados anteriores, con el paso de los años se han sacado modificaciones nuevas o revisiones del IEEE 802.16, como es el caso del IEEE 802.16m conocido como 4G. No creo conveniente indagar más en este asunto puesto que no es el cometido de este trabajo ya que con lo descrito anteriormente se tiene una visión bastante completa del tema.

2.2. Funcionamiento tecnología WiMAX

2.2.1. Funcionamiento Básico

Podemos dividir el sistema WiMAX en dos partes principales:

- **Estación Base WiMAX:** Ésta es similar en concepto a una torre de telefonía móvil. Es el elemento que se identifica normalmente con un operador de comunicaciones, y donde existen una o varias antenas con las que se retransmite la señal.

El tipo de antenas ubicadas en este extremo pueden ser omnidireccionales, de muchas direcciones, sectoriales, que cubren sectores específicos del territorio de cobertura, o antenas de panel, para conexiones punto a punto.

Una única torre WiMAX puede dar servicio a un área de gran tamaño.

- **Receptor WiMAX:** al otro lado de la conexión se encuentra el usuario final, que puede ser residencial o corporativo. En este punto está instalado el CPE (Customer Premises Equipment o Equipo Local de Cliente), que constituye el último eslabón de este tipo de redes y en donde acaba el flujo de transferencia de datos entre operador y el cliente final.

El receptor y la antena pueden ser una caja pequeña o una tarjeta PCMCIA, o puede estar incluso integrado dentro del PC.

Cada estación base (BS) ofrece una cobertura inalámbrica sobre un área llamada célula. Aunque el radio máximo de cada célula es teóricamente unos 50 kilómetros (dependiendo de la frecuencia de la banda elegida), normalmente los despliegues típicos usarán unas células de radio que oscilará entre 3 y 10 kilómetros.

Otro aspecto destacable de WiMAX es que existen dispositivos que pueden actuar como repetidores de señal, pasando las señales de un dispositivo a otro hasta que se alcance la estación WiMAX base desde la que los diferentes dispositivos interesados consigan el acceso a Internet. A esta red intermedia formada por conexiones que pueden ser desde microondas hasta conexión que requieran visión directa, etc. Se le conoce como **backhaul**.

Otra cosa básica de su funcionamiento es que WiMAX proporciona dos tipos de conexiones inalámbricas:

- **Sin necesidad de visión directa (NLOS):** conexiones donde una pequeña antena en el PC conecta a la torre. En este modo WiMAX usa el rango más bajo de frecuencia, que está entre 2 y 11 GHz (similar a WiFi). Las transmisiones de más baja longitud de onda no son fácilmente interrumpidas por obstáculos físicos. Pueden fácilmente propagarse alrededor de ellos.

- **Con necesidad de visión directa (LOS).** La conexión con línea de visión es más estable y robusta, capaz de enviar mayor cantidad de datos con una

tasa de error baja. Este tipo de servicios usa las frecuencias más altas, lo que origina que haya menos interferencia y el ancho de banda sea mayor.

2.2.2. Características técnicas

La siguiente tabla resume las principales características de WiMAX:

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Sin necesidad de visión directa (LOS y NoLOS)	No necesita visión directa entre la antena y el equipo del suscriptor
Modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	Permite la transmisión simultánea de múltiples señales a través de cable o aire en diversas frecuencias; usa espaciado ortogonal de las frecuencias para prevenir interferencias.
Antenas inteligentes	Soporta mecanismos de mejora de eficacia espectral en redes inalámbricas y diversidad de antenas
Topología punto multipunto y de malla (mesh)	Soporta dos topologías de red, servicio de distribución multipunto y la malla para comunicación entre suscriptores.
Calidad de Servicio (QoS)	Califica la operación NLOS (Non Line of Sight) sin que la señal se distorsione severamente por la existencia de edificios, por las condiciones climáticas ni el movimiento vehicular. Se asegura una buena calidad del servicio.
FDM (Frequency Division Multiplexing) y TDM (Time Division Multiplexing)	Soporta multiplexación en la frecuencia (FDM) para propiciar la interoperabilidad con los sistemas de telefonía móvil y la multiplexación en el tiempo (TDM) para la interoperabilidad con los sistemas inalámbricos.
Seguridad	Incluye medidas de privacidad y criptografía inherentes en el protocolo. El estándar 802.16 agrega autenticación de instrumentos con certificados x.509 usando DES en modo CBC (CipherBlockChaining).
Bandas bajo licencia	Opera en banda licenciada en 2.4 GHz y 3.5 GHz para transmisiones externas en largas distancias
Bandas libres (sin licencia)	Opera en banda libre en 5.4, 8 y 10.5 GHz (con variaciones según espectro libre de cada país)
Canalización	De 5 y 10 MHz
Potencia de Transmisión	Controla la potencia de transmisión
Acceso al Medio	Mediante TDMA dinámico
Corrección de errores	ARQ (retransmisión inalámbrica)
Tamaño del paquete	Ajuste dinámico del tamaño del paquete
Tasa de transmisión	Hasta 75 Mbps

Espectro de frecuencia	IEEE 802.16a entre 2-11 GHz (LOS) para comunicación entre antenas IEEE 802.16b entre 5-6 GHz con QoS IEEE 802.16c entre 10-66 GHz IEEE 802.16e entre 2-6 GHz (NLOS) para distribución a suscriptores, móvil.
Cobertura	50 Km sin Línea de Vista 8 – 10 Km en áreas de alta densidad demográfica
Aplicaciones	Voz, video y datos

Figura 3: Tabla características principales WIMAX

2.3. Pre-WiMAX

Como ya se ha hablado con anterioridad la primera versión del estándar 802.16 aparece en 2001 y no es hasta 2004 cuando se publica la versión completa.

Antes de estas fechas, durante los años 90, ya existía una necesidad de utilizar banda ancha por parte de grandes compañías y empresas, por lo que se instalaron equipos que no cumplen con el estándar 802.16. Dichos productos fueron fabricados por empresas especializadas en banda ancha inalámbrica. Estos productos fueron calificados como Pre-WiMAX.

No es hasta 2006 cuando empiezan a aparecer los primeros productos MiMAX, por lo que muchos de los productos Pre-WiMAX sí que han podido ser certificado pero otro no, o están esperando a serlo.

2.4. WiMAX Forum

Wimax Forum se creó en Junio de 2001 y es el único organismo habilitado para certificar el cumplimiento del estándar y la interoperabilidad entre equipamiento de distintos fabricantes. Todo aquel equipamiento que no cuente con esta certificación, no puede garantizar su interoperabilidad con otros productos. En el caso de WiMAX el problema de certificación era mayor que en otros casos, como por ejemplo WiFi.

El objetivo de esta institución es acelerar las implementaciones mundiales y expandir el mercado de soluciones de acceso inalámbrico de banda ancha interoperables y basadas en estándares. El foro está trabajando con las empresas asociadas a fin de desarrollar perfiles estandarizados y productos WiMAX interoperables en torno a bandas concretas del espectro de frecuencia de radio, fundamentalmente 2.3GHz, 2.5GHz, 3.5GHz y 5.8GHz.

Con más de 580 redes WiMAX activos en 149 países, el WiMAX Forum y sus miembros están comprometidos con la implementación global de la banda ancha móvil 4G.

El WiMAX Forum ® tiene cientos de miembros, que comprende la mayoría de los operadores, proveedores de componentes y proveedores de equipos en el ecosistema de las comunicaciones. Ofrece a sus miembros una amplia gama de beneficios y servicios lo que permite a los proveedores de servicios WiMAX hacer crecer sus redes y a los proveedores poder vender más equipos y servicios.

Para más información se puede acceder a su página web <http://www.wimaxforum.org>.

2.5. Comparación WiMAX con otras tecnologías similares.

2.5.1. WiMAX frente a CATV y ADSL

Comparando las redes WiMAX (tecnología inalámbrica) con otras tecnologías utilizadas en la actualidad como son CATV y ADSL (tecnologías que necesitan cable), se pueden sacar varias conclusiones.

Ventajas WiMAX

- Despliegue más rápido.
- Bajo coste de las infraestructuras.
- La inversión se realiza en el equipo receptor (usuario final) lo que acarrea un menor riesgo para los operadores en despliegue.
- Mejor cobertura para zonas rurales o suburbanas donde hay media o baja densidad de población y donde CATV y ADSL no están disponibles siempre debido a la imposibilidad de llevar cable hasta el lugar.

Inconvenientes WiMAX

- No se puede asegurar el servicio a todos los usuarios. La cobertura está entre un 80% y un 90%.
- Difícil garantizar disponibilidad 100% ya que al ser una red inalámbrica depende de varios factores como: dispersión, humedad, bloqueos...

Conclusión

WiMAX es una muy buena opción en lugares donde el acceso de CATV o ADSL no sea posible como es el caso de zonas rurales o suburbanas, y en zonas donde haya buena cobertura (visión directa o distancia corta) en el caso de zonas urbanas.

2.5.2. WiMAX frente a WiFi

Finalmente comparamos dos tecnologías muy similares como son WiFi y WiMAX. Dichas tecnologías son similares puesto que ambas son tecnologías inalámbricas. A gran diferencia entre ellas es que una está pensada para redes de área local (LAN) y la otra para áreas metropolitanas (MAN) por lo que el rango de cobertura es mayor.

Ventajas WiMAX

- WiMAX ofrece mayores alcances y rendimientos que WiFi.
- El protocolo MAC de WiMAX es más eficiente y ordenado que el de WiFi.
- En WiMAX la QoS (calidad del servicio) y la seguridad del mismo están previstas desde el principio y hay una capacidad mínima garantizada para cada estación.

Inconvenientes WiMAX

- WiMAX requiere mayor coste en equipos que WiFi.

Conclusión

La comparación de estas dos tecnologías radica sobre todo en el coste elevado de una y el corto alcance de la otra, por lo que se puede combinar el uso de WiMAX con el de WiFi para hacer más eficientes las redes inalámbricas.

Se puede utilizar WiMAX para redes LSP y WiFi para redes domésticas, ya que actualmente WiFi es más barato que WiMAX.

3. DISEÑO DE UNA RED WIMAX

3.1. Introducción

Una vez explicadas en el apartado anterior las características principales de la tecnología WiMAX, en este apartado se procederá a realizar un diseño real de una red WiMAX con el fin de dar cobertura de Internet de banda ancha a varios emplazamientos rurales de la Comunidad Valenciana.

Los emplazamientos elegidos existen geográficamente, pero el servicio que se quiere dar no es un servicio real ni requerido por ninguno de ellos, sino que es completamente ideado para realizar este trabajo fin de grado, siempre pensando en situaciones reales y cotidianas por lo que podría tratarse de servicios que un futuro pudieran solicitarse en dichas localidades.

3.2. Programa diseño de cobertura.

En primer lugar deberemos elegir el mejor programa con el que se puedan hacer los cálculos pertinentes para el diseño de nuestra red WiMAX.

La primera opción que se barajó para realizar el diseño de la red, fue utilizar un programa libre de Motorola llamado LinkPlanner.

Dicho programa es totalmente gratuito y se puede descargar desde la página web :

<http://support.cambiumnetworks.com/ptp/software/index.php?tag=linkplanner>

Con dicho programa se pueden calcular los perfiles geográficos de los enlaces, comprobar si hay visión directa entre la estación base y los receptores y calcular la cobertura del sistema, entre muchas otras opciones disponibles.

No obstante, en el momento en el que me puse a trabajar con él, me encontré con varios inconvenientes que me hicieron decidirme a buscar otro programa diferente. El gran problema es que no es posible elegir las características técnicas de los equipos que se van a utilizar en el diseño, ya que exclusivamente se pueden utilizar los equipos que ya están en la base de datos del programa, limitándose de esta manera a poder coger cualquier equipo del mercado y por consiguiente limitando también las condiciones económicas de la implantación de la red.

Al consultar varios foros sobre este tema y hablar con varios fabricantes al respecto, encontré un programa que cumplía todas mis expectativas. Dicho programa se llama **Radio Mobile** y se puede descargar de forma gratuita desde su página web:

<http://www.ve2dbe.com/english1.html>.

Además desde esta misma página se puede consultar el Manual de Uso en diferentes idiomas lo que es muy interesante para su manejo.

En resumen, **Radio Mobile** es un software de análisis de propagación radioeléctrica creado por Roger Coudé con el que se puede utilizar cualquier equipo existente en el mercado. La principal ventaja es que solo se tienen que saber las características técnicas principales de dicho equipo e introducirlas en el programa.

Es en mi opinión mucho más práctico y fácil de utilizar que otros programas similares.

3.2.1. RADIO MOBILE

En este apartado se resumirán las principales herramientas de funcionamiento de Radio Mobile, las cuales posteriormente se han utilizado para el diseño de nuestra red WiMAX.

Las principales herramientas que utilizaremos para nuestro diseño son:

- Mapas
- Coberturas
- Radioenlaces

Mapas

En primer lugar para comenzar a trabajar con este software es necesario disponer de la cartografía adecuada. Los datos de elevaciones del terreno se descargarán desde Internet del proyecto de la NASA Shuttle Terrain Radar Mapping Misión (SRTM) que provee datos de altitud.

A partir de estos datos Radio Mobile produce mapas de elevaciones que pueden ser superpuestos a imágenes con mapas topográficos, fotografías aéreas o imágenes de satélite que se descargarán de fuentes de Internet como MapPoint, VirtualEarth, MapQuest y GoogleMap.

Esto puede ser muy útil para nuestros cálculos ya que visualmente puedes ubicar el emplazamiento y saber la altitud que tiene, si está rodeado de montañas o lugares más elevados o si en cambio está situado en un lugar llano sin muchas elevaciones.

Todo esto ayuda para para la decisión final de donde poner nuestras estaciones base y nuestros receptores.

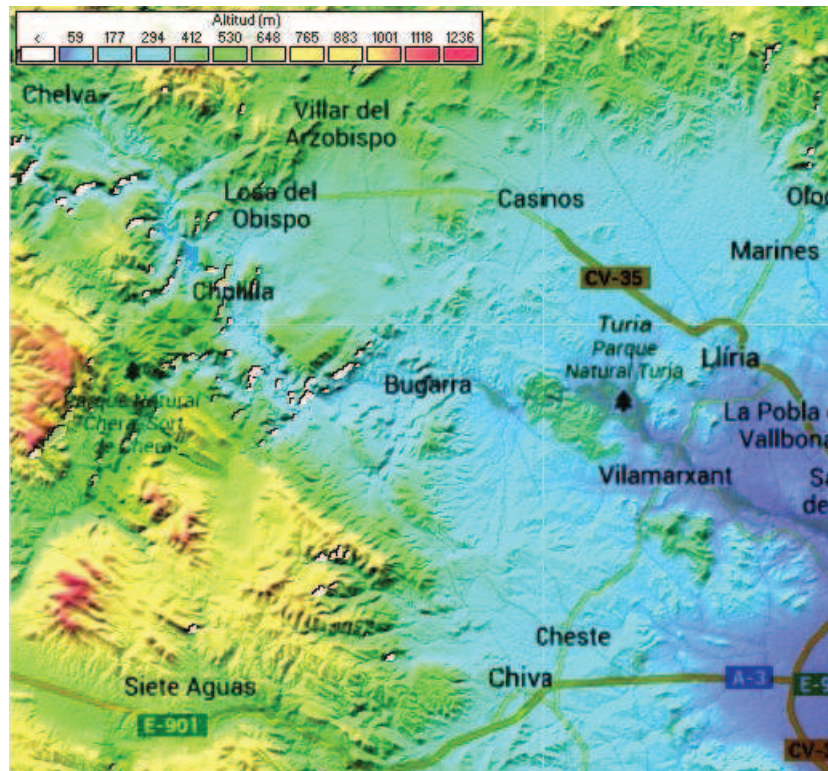


Figura 4: Mapa altitud superpuesto con mapa de carreteras de Google Maps, obtenido con Radio Mobile

Para la correcta representación de nuestros emplazamientos introduciremos las coordenadas geográficas ED50 obtenidas en Google Earth y es el mismo programa el que los ubicará en el mapa representado. Para nuestro diseño deberemos definir correctamente el emplazamiento de nuestra estación base y ponerla en el centro de nuestro mapa. Pondremos un rango máximo de 50Km para poder centrarnos en nuestros emplazamientos y poder visualizarlos todos a la vez.

El color de representación para cada altura está en la parte superior izquierda del mapa.

En el mapa de ejemplo se ha centrado en la localidad de Bugarra. Una vez obtenido el mapa se pueden sacar varias conclusiones como que hay una zona más o menos uniforme de un color azul que tiene una altura entre 177m y 234m, que es donde están las localidades de Bugarra, Villamarxant, Llíria etc.... Dichas localidades están rodeadas por la zona norte y oeste por zona montañosa que va desde 412m hasta los picos más altos situados a más de 1000 m de altura. De esto podremos deducir que habrá problemas al querer dar cobertura a lugares que estén al otro lado de las montañas, o en las mismas, por lo que se puede prever la necesidad de repetidores o backhaul.

Coberturas

Otra herramienta clave para nuestro diseño es la de cálculo de coberturas. Con esta herramienta se calculará la cobertura proporcionada por cualquier estación base ubicada en cualquier punto del mundo. Dicha cobertura se verá reflejada sobre el mapa generado previamente y nos dará una idea de a qué lugares llega suficiente señal y a cuáles no.

Es decir, con esta herramienta se podrá visualizar de forma inmediata los niveles de señal que llegan a cada uno de los puntos de nuestro mapa.

Para facilitar la visualización y la comprensión de los resultados obtenidos se deberá previamente introducir la ubicación de la estación base y la ubicación de cada una de las estaciones receptoras o CPE's que vayan a incluirse en el diseño de la red WiMAX.

Finalmente para calcular la cobertura deberemos introducir los datos técnicos de los equipos utilizados en nuestra estación base.

Es muy importante conocer datos como:

- Potencia de transmisión máxima,
- Ganancia de la antena receptora y transmisora.
- Sensibilidad de los equipos (para saber que niveles de señal son dados como correctos o suficientes para una correcta cobertura).

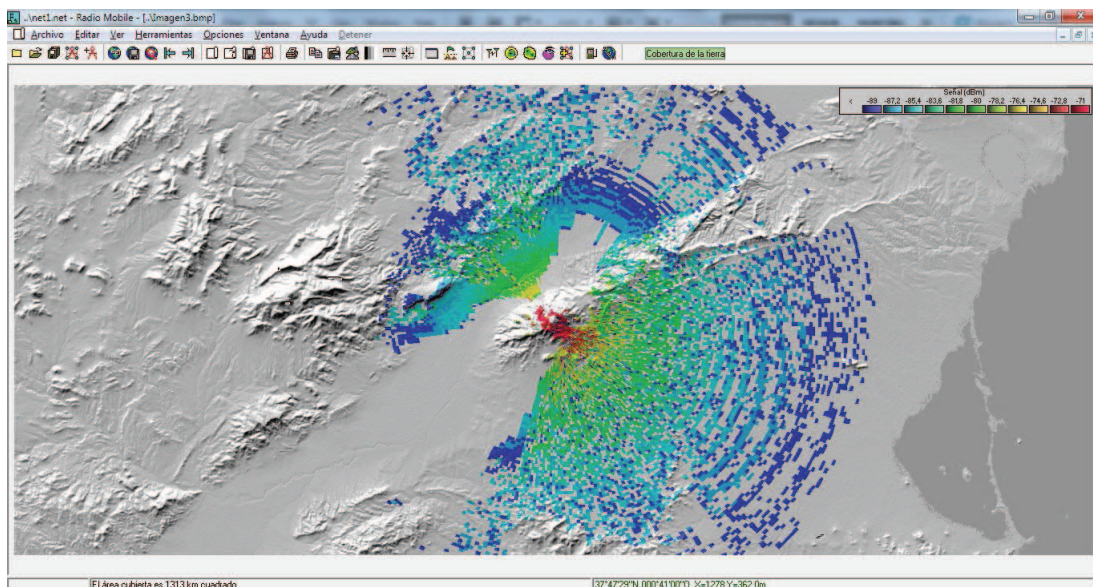


Figura 5: Ejemplo cobertura obtenida con Rodio Mobile (foro Telequismo)

En el ejemplo, observamos la cobertura obtenida de una estación receptora ubicada en el centro del mapa sobre un lugar elevado (según el mapa geográfico). Los niveles de señal se representan con los colores que se observan en la parte superior derecha y como podemos ver el nivel de señal disminuye conforme se aleja de la estación receptora como es de esperar.

El programa Radio Mobile sugiere en el momento del cálculo que se pase el mapa a escala de grises para una más fácil visualización de la cobertura.

Radioenlaces

Esta es la última herramienta principal que utilizaremos para el diseño de nuestra red WiMAX, la obtención del perfil de radioenlaces.

Dicha herramienta nos dará información sobre si hay línea de visión directa entre estación base y estación receptora y reflejará el perfil geográfico de dicho enlace.

En las redes WiMAX lo que se realiza es una emisión de señal desde una estación base hacia las estaciones receptoras. No obstante debido a las limitaciones legales existentes es necesario comprobar si realmente hay visión directa entre las estaciones para asegurar que no va a haber problemas de cobertura y de esta forma complementar los datos obtenidos con la herramienta de Coberturas.

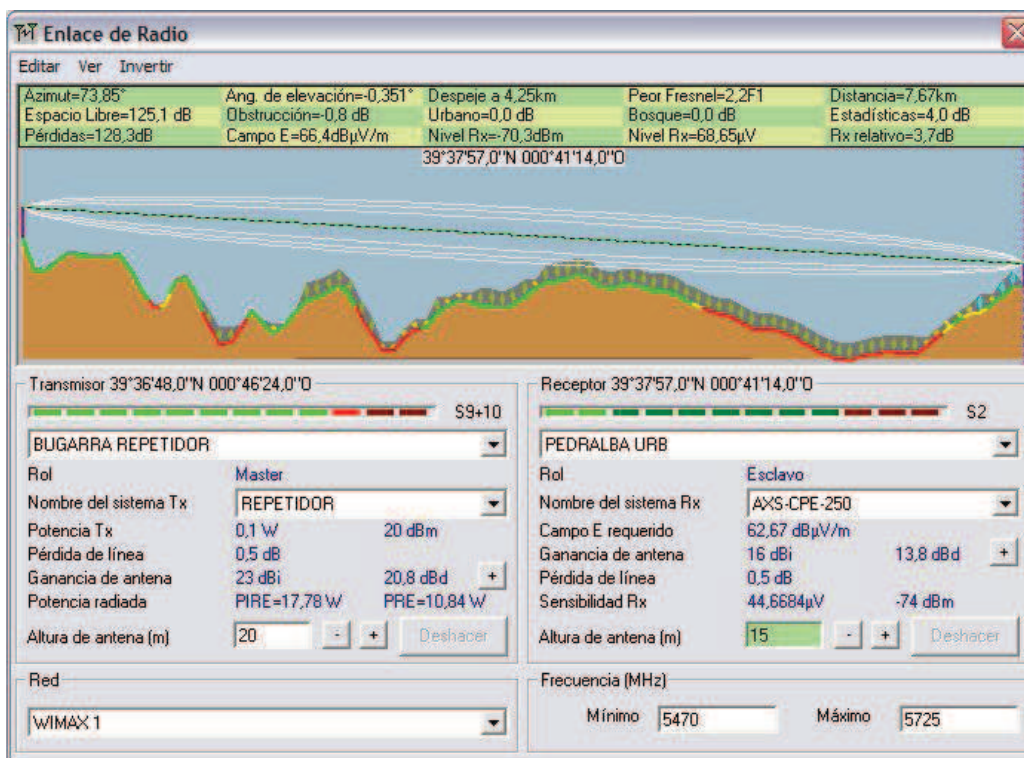


Figura 6: Ejemplo perfil radioenlace obtenido con Radio Mobile.

Para calcular esto necesitamos introducir los datos técnicos de nuestros equipos, los cuales ya han sido introducidos en la para el cálculo de coberturas.

Como podemos ver en el ejemplo, se obtiene un perfil geográfico donde se representa las zonas donde el nivel de señal es correcto (representación en verde) y las zonas donde no llega señal, conocidas como “zonas de sombra” (representación en rojo).

Esta herramienta es complementaria a las otras dos y nos servirá para saber porqué no llega señal a los diferentes puntos (zonas más elevadas, estaciones ubicadas en puntos muy bajos, etc...)

El resto de herramientas y el funcionamiento de Radio Mobile lo podemos consultar en la página web comentada anteriormente, ya que no es el cometido de este trabajo fin de grado y por lo tanto no se va a profundizar en ello.

Una vez resumidas las tres principales herramientas utilizadas para el diseño de nuestra red WiMAX se procederá a describir el procedimiento seguido para realizar nuestro diseño utilizando el programa Radio Mobile.

3.3. Proceso seguido para realizar el diseño de la red WiMAX.

3.3.1. 1º- Elección zona geográfica donde se quiere dar cobertura.

En primer lugar se ha elegido la zona geográfica a la que se quiere dar cobertura de Internet de banda ancha.

Para ello se han buscado varios municipios de la Comunidad Valenciana que se encuentren en entornos rurales o zonas montañosas a las que pueda ser difícil dar cobertura de Internet de banda ancha de forma física (por cable).

Además para facilitar el diseño, se han buscado estaciones de telefonía móvil ya existentes en dichas poblaciones, las cuales nos pueden ser útiles para nuestro diseño, pudiendo utilizarlos para ubicar nuestros equipos sin necesidad de realizar un nuevo emplazamiento (torre, caseta para equipos, etc...).

No obstante, hay que tener en cuenta que si se tratara de un diseño real habría que ponerse en contacto con los operadores propietarios de dichos emplazamientos y solicitar permiso para poder instalarse allí.

Si este permiso no se consiguiera deberíamos buscar otra ubicación o instalar nosotros mismos un mástil y una sala para nuestros equipos.

La ubicación de dichos emplazamientos de telefonía móvil existentes se ha obtenido de la página del Ministerio de Industria, Energía y Turismo:

<http://geoportal.mityc.es/VCTEL/vcne.do>.

En dicha página podremos encontrar todas las estaciones de telefonía móvil existentes en España y de ahí sacar su ubicación y sus coordenadas ED50 y UTM30.

3.3.2. 2º Elección puntos donde queremos dar cobertura y servicios proporcionados.

Observando el mapa geográfico de la Comunidad Valenciana se han elegido varios municipios ubicados en zonas rurales o de montaña, que pueden ser difícil la implantación de Internet vía física (por cable).

Los servicios que se van a cubrir son hipotéticos puesto que algunos de los edificios no existen y exclusivamente está pensado para la realización de este trabajo fin de grado. Lo que se pretende con esto es dar un amplio ejemplo de las posibles utilizadas de implantar una red WiMAX en este tipo de entornos y sus utilidades, así como comprobar que se pueden cumplimentar con otras tecnologías para perfeccionar y dar un servicio de Internet de banda ancha completo.

Los diferentes servicios que queremos cubrir son:

- **Sistema de Videovigilancia (gestión cámaras de seguridad) de una urbanización del municipio de Pedralba.**
- **Servicio de Internet de Banda Ancha en un Hotel Rural de 10 habitaciones situado en el término municipal de Gestalgar.**
- **Servicio de Internet de Banda Ancha a todo el municipio de Bugarra.**

Sistema de videovigilancia.

Se pretende cubrir el servicio de videovigilancia o gestión cámaras de seguridad, en una urbanización a las afueras del municipio de Pedralba.

En primer lugar se dará servicio de internet de banda ancha con la tecnología WiMAX hasta el centro receptor ubicado en un punto de la urbanización propiedad de la misma.

Posteriormente todas las cámaras de seguridad existentes en cada una de las calles de dicha urbanización, deberán conectarse a este centro receptor desde donde se gestionarán todas las imágenes, además de poderse transmitir hasta la centralita de cualquier empresa de seguridad.

No obstante para nuestro diseño lo único que se va a calcular es la cobertura hasta el punto receptor en la Urbanización. El diseño del sistema de videovigilancia queda fuera del cometido de este trabajo.

Lo que se va a calcular para la realización de este diseño es el nivel de señal (cobertura) que llega a la estación receptora.

Las Urbanización elegida es:

- Urbanización Les Mallaes

Tipo de Estación	CPE (Receptor)
Municipio	Pedralba
Puntos de Cobertura	Urbanización Les Mallaes
Coordenadas ED50.	39° 37' 57" N 0° 41' 14" W

Figura 7: Datos Urbanización Pedralba



Figura 8: Ubicación Urbanización Les Mallaes. Imagen sacada de Google Maps

Internet de Banda Ancha en Hotel Rural

En este segundo caso, se quiere dar cobertura de Internet de banda ancha a un hipotético Hotel Rural ubicado en el término municipal de Gestalgar.

El Hotel dispondrá de 10 habitaciones y tendrá 3 plantas más la planta baja. Y estará ubicado en un lugar aislado entre las montañas cercanas al municipio de Gestalgar.

Estudio y diseño de una red WiMAX para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural.

Se dará cobertura de internet de banda ancha al hotel con la tecnología WiMAX y después, como complemento de éste, en el interior del Hotel se implantará una red WiFi para dar cobertura a todas las habitaciones del hotel.

De esta forma se evitará la instalación de diferentes estaciones receptores (CPE), con el coste que eso conlleva lo que es muy importante a la hora de implantar una red real y es el factor más determinante para su ejecución o no.

El diseño de la red WiFi en el interior del hotel queda fuera del cometido de este trabajo y solo se comenta para aclarar que WiFi y WiMAX no son sistemas que se sustituyan el uno al otro, sino que se complementan.

Tipo de Estación	CPE (Receptor)
Municipio	Gestalgar
Puntos de Cobertura	Hotel Rural
Coordenadas ED50.	39° 33' 26" N 0° 48' 57" W

Figura 9 : Datos Hotel Rural Gestalgar

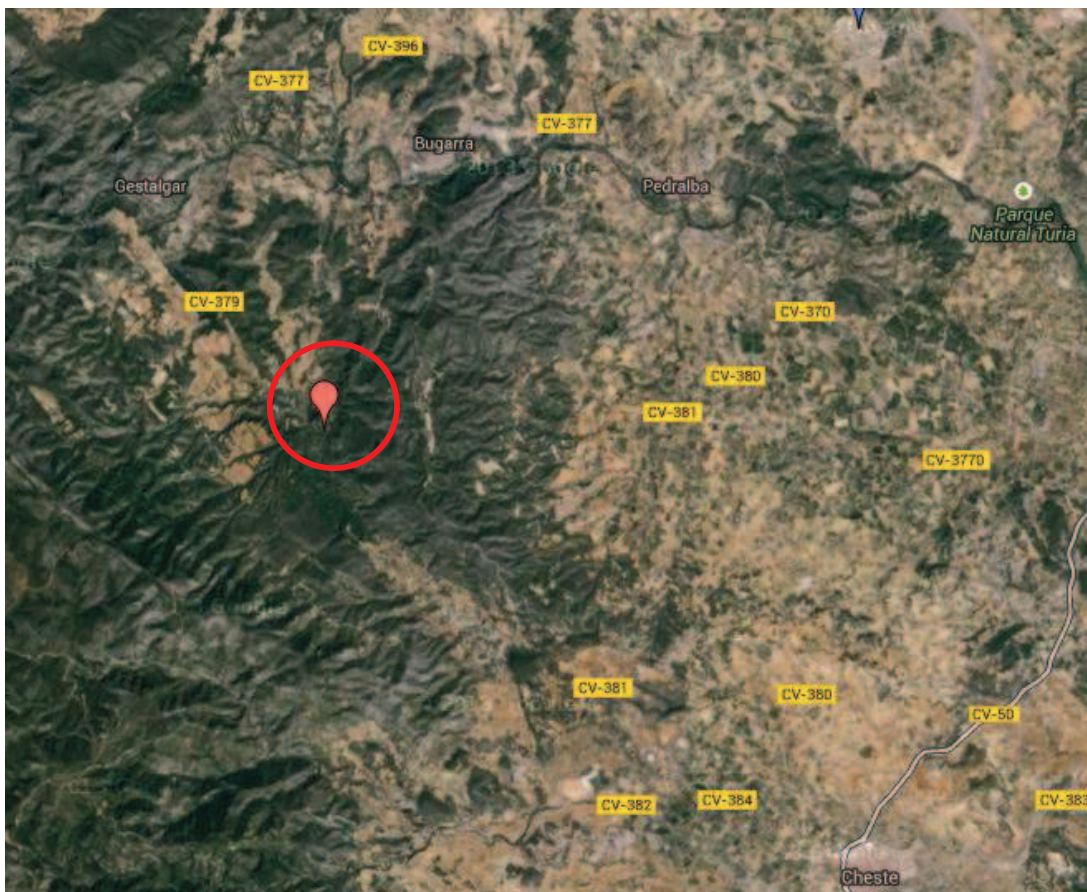


Figura 10: Ubicación Hotel Rural. Imagen sacada de Google Maps.

Internet de Banda Ancha en el Municipio de Bugarra.

Finalmente se dará cobertura de internet de banda ancha a todas las viviendas del municipio de Bugarra.

El municipio de Bugarra tiene una población de 831 habitantes según el censo municipal. Para hacer una estimación del número de viviendas existentes se supondrán 4 habitantes por vivienda:

Nº habitantes = **831**

Nº habitantes por vivienda = **4**

Nº viviendas = 208 viviendas = **208** estaciones receptoras necesarias.

Tipo de Estación	CPE (Receptor)
Municipio	Bugarra
Puntos de Cobertura	Viviendas
Coordenadas ED50.	Todo el pueblo

Figura 11: Datos Municipio Bugarra



Figura 12: Población Bugarra. Imagen sacada de Google Maps.

Este ejemplo nos sirve para ver la implantación de la tecnología WiMAX en localidades rurales pequeñas y aisladas, a las que no se puede llegar por cable, pero si vía inalámbrica.

Es la parte del diseño más cara puesto que en cada una de las viviendas será necesario instalar una estación receptora (CPE) con el coste que eso conlleva, pero en algunas situaciones es la única solución.

3.3.3. Elección frecuencia de transmisión

Lo primero que hay que hacer al afrontar este tipo de diseños, es elegir la frecuencia a la que vamos a transmitir. En nuestro caso hay dos opciones:

- Transmitir en banda con licencia (2,5GHz-3,5GHz).
- Transmitir en banda libre (a partir de 3,5GHz)

Para la tecnología WiMAX es posible transmitir en cualquiera de ellas, pero cada una tiene sus pros y sus contras que evaluaremos a continuación.

Bandas con licencia

Para transmitir en este tipo de bandas, es preciso que el operador adquiera espectro radioeléctrico. Esto puede hacer que el proceso varíe dependiendo del país en el que se solicite, además de tener un coste elevado.

La gran ventaja que tiene utilizar bandas con licencia, es que el uso exclusivo de una banda permite conseguir una gran calidad y unas mejores características en casos de NLOS (enlaces sin visión directa).

Bandas sin licencia

Por otro lado transmitir en bandas libres o sin licencia, tiene varias ventajas e inconvenientes.

La principal ventaja es el menor coste, puesto que al tratarse de bandas libres no hay que pagar por ellas. Además estas frecuencias tienen mayor escalabilidad e interoperabilidad.

El principal inconveniente, es que las soluciones en bandas libres están limitadas en términos de potencia de salida o transmisión siendo éste el único condicionante.

Otras limitaciones es el mayor número de señales interferentes ya que no se tiene uso exclusivo de esa frecuencia.

Una vez barajamos todos los pros y contras de la transmisión en ambas bandas decidimos transmitir en banda libre a una frecuencia de 5,4GHz.

3.3.4. LOS o NLOS

En el punto 1 de este Trabajo Fin de Grado, se ha explicado que WiMAX es una tecnología que tiene la característica de poder trabajar con NLOS (sin visión directa) lo que hace que sea un sistema muy eficaz teóricamente.

A la hora del diseño práctico y según las exigencias del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio no es posible transmitir con potencias superiores a 20dBm (0,1W) por lo que no se puede asegurar que a pesar de poder dar cobertura con los equipos existentes en el mercado actual aumentando esa potencia de transmisión, se pueda dar buena cobertura con este nivel de transmisión permitido, lo que nos obliga a trabajar siempre con estaciones LOS, que sí tengan línea de visión directa.

Por lo tanto comprobaremos que todas las estaciones tienen entre sí visión directa, es decir que trabajaremos siempre con situaciones LOS.

3.3.5. Elección equipos.

Para continuar con nuestro diseño, deberemos elegir los equipos que queremos utilizar para nuestra red WiMAX.

Para ello se han buscado diferentes fabricantes que en este momento se encuentran en el mercado como son Motorola, Alvarion o Albentia.

Mirando las diferentes páginas web de dichos fabricantes y comparando los catálogos de sus productos hemos decidido trabajar con equipos de la marca Albentia debido a su claridad a la hora de explicar sus características técnicas y de la atención que me han prestado al llamarles por teléfono para consultar cualquier tipo de duda sobre sus equipos.

Albentia es una empresa española que distribuye material WiMAX a todo el mundo. Se puede obtener los catálogos de sus productos fácilmente en su página web:

www.albentia.com

En el Anexo de este trabajo se puede consultar las características de los equipos utilizados obtenidas de los catálogos de dicha web.

A pesar de mi insistencia para conseguir catálogos de precios de dichos equipos y así poder realizar un presupuesto de nuestro diseño, no he obtenido respuesta positiva en ninguna de las empresas a las que he llamado, por lo que me es imposible sacar un precio real de la implantación de nuestra red.

A continuación se realiza un resumen de los principales equipos utilizados y sus principales características.

Estación Base AXS-BS-556



Figura 13: Fotografía equipo AXS-BS-556 obtenida de catálogo ARBA Access de Alentia

La estación base elegida es la AXS-BS-556, siendo sus características técnicas principales:

Especificaciones radio	Estaciones Base				
	AXS-BS-556	AXS-BS-558	AXS-BS-150	AXS-BS-133	AXS-BS-135
Banda de trabajo [MHz]	5470-5725	5725-5875	5150-5875	3300-3500	3400-3600
Capacidad neta agregada	35 Mbps			24,2 Mbps	
Ancho de canal	10 MHz			7 MHz	
Eficiencia espectral neta	3.5 bps/Hz			2.42 bps/Hz	
Sensibilidad máx. modulación	-74 dBm		-75 dBm	-74 dBm	-74 dBm
Máx. potencia de transmisión	26 dBm	26 dBm	26 dBm	20 dBm	
Antena integrada	Conector N		Conector N o Sectorial 60/90/120°	Conector N	

Figura 14: Características principales sacadas del catálogo ARBA Access de Alentia

Terminales de Usuario ARBA AXS-CPE-150



Figura 15: Fotografía equipo AXS-BS-556 obtenida de catálogo ARBA Access de Albentia

El terminal elegido es la ARBA AXS-CPE-250, siendo sus características técnicas principales:

Especificaciones radio	CPEs			
	AXS-CPE-130/530	AXS-CPE-150/550	AXS-CPE-250	AXS-CPE-230
Banda de trabajo [MHz]	3300-3600	5150-5875		3300-3675
Capacidad neta agregada	35 Mbps			24,2 Mbps
Ancho de canal	10 MHz			7 MHz
Eficiencia espectral neta	3,5 bps/Hz			2,42 bps/Hz
Sensibilidad máx. modulación	-75 dBm		-74 dBm	-75 dBm
Máx. potencia de transmisión	26 dBm		20 dBm	
Antena integrada	Conector N 16/20/24 dBi	150: 19 dBi; 550: N/20/ 23 dBi	130: 16 dBi; 530: N/20 dBi	Conector N, 17/20 dBi

Figura 16: Características ARBA AXS-CPE-250 obtenidas de catálogo ARBA Access de Albentia

Repetidor RPT-50



Figura 17: Fotografía equipo RPT-50 obtenida de catálogo ARBA Access de Alentia

El repetidor elegido es el RPT-50, siendo sus características técnicas principales:

Radio parameters			
Frequency Band	5470-5725 MHz (ETSI) or 5725-5875 MHz (FCC). See ordering options.		
Modulation	OFDM IEEE 802.16-2004 - 256 subcarriers, cyclic prefix 1/4, 1/8, 1/16 or 1/32		
Supported channel bandwidth	1.75, 3.5, 7 and 10 MHz		
Adaptive modulation	BPSK, QPSK, 16QAM and 64QAM		
FEC code rate	1/2, 2/3 and 3/4 concatenated Reed-Solomon and Viterbi		
Maximum output power	+24 dBm		
Maximum repeater gain	120 dB		
Transmit power control	> 40 dB		
Duplexing method	TDD (Time Division Duplexing)		
EVM degradation	< -30 dBc		
Dynamic Frequency Selection	Yes		
Antenna	23 dBi integrated antenna, N-type connector for external antenna		
RF parameters	Modulation	Sensitivity (1.75 MHz)	Sensitivity (10 MHz)
	BPSK-1/2	-97.5 dBm	-90 dBm
	QPSK-1/2	-94.5 dBm	-87 dBm
	QPSK-3/4	-92 dBm	-84.5 dBm
	16QAM-1/2	-89 dBm	-81.5 dBm
	16QAM-3/4	-85.5 dBm	-78 dBm
	64QAM-2/3	-81.5 dBm	-74 dBm
	64QAM-3/4	-79.5 dBm	-72 dBm

Figura 18: Características RPT-50 obtenidas de catálogo de Alentia

3.3.6. Diseño de la red WiMAX con Radio Mobile.

Una vez realizados todos los puntos anteriores, el siguiente paso es proceder al diseño de la red con el programa Radio Mobile.

De los apartados anteriores sacamos varias conclusiones a tener en cuenta para nuestro diseño final:

Frecuencia transmisión: **5,4GHz. (banda sin licencia).**
Necesidad de línea de visión directa: **SI (LOS)**
Máxima potencia transmisión (PIRE): **20dBm**

Con estos datos y con los datos obtenidos del catálogo de los equipos seleccionados en el apartado anterior, podemos realizar el diseño de nuestra red WiMAX utilizando el programa Radio Mobile para comprobar la cobertura y si hay o no hay visión directa entre la estación base (BS) y los terminales de usuario (CPE).

Ubicación BS (Estación Base)

En primer lugar ubicaremos la estación base en el lugar que creamos más conveniente para nuestro diseño. Tendremos en cuenta el mapa geográfico y todas sus características (montañas, zonas abruptas, etc...)

Observando el mapa geográfico de los municipios elegidos en los apartados anteriores podemos deducir que Bugarra sería el municipio más céntrico y desde el cual será más fácil poder dar cobertura a todos los emplazamientos.

Ubicaremos la Estación Base en el Ayuntamiento, donde podremos obtener directamente Internet de Banda Ancha mediante cable Ethernet.

Tipo de Estación	Estación Base (BS)
Municipio	Bugarra
Ubicación	C/Ancha,13
Propiedad Emplazamiento existente	AYUNTAMIENTO
Coordenadas ED50.	39° 36' 29" N 0° 46' 33" W

Figura 19: Datos ubicación Estación Base Bugarra.

Introduciremos los diferentes datos necesarios de la estación base (BS) en el programa:

Frecuencia transmisión: **5,4GHz. (Banda sin licencia).**
Máxima potencia transmisión (PIRE): **20dBm.**
Ganancia antena transmisión: **23dBi**

Para realizar los cálculos de este diseño, supondremos que la estación base utiliza una antena omnidireccional. De esta forma nos evitamos tener que hacer

cálculos para cada uno de los sectores necesarios ya que las antenas disponibles son de 60°, 90° y 120° de haz y con una única antena es imposible abarcar todos los emplazamientos que se quieren cubrir.

A continuación introduciremos los datos de los terminales de usuario (CPE) a los que queremos dar cobertura:

Sensibilidad CPE: **-74dBm**.

Ganancia antena recepción: **16dBi**

Como se ha comentado en el apartado 3.3.2 tendremos 3 terminales de usuario diferentes, uno para cada emplazamiento al que se quiere dar cobertura.

Ubicación CPE's (Terminales de Usuario)

Receptor para sistema de videovigilancia de urbanización de Pedralba

Tipo de Estación	CPE (Receptor)
Municipio	Pedralba
Puntos de Cobertura	Urbanización Les Mallaes
Coordenadas ED50.	39° 37' 57" N 0° 41' 14" W

Figura 20: Datos ubicación CPE Urbanización Les Mallaes (Sistema Videovigilancia).

Receptor para suministro de internet de banda ancha en Hotel rural en el término municipal de Gestalgar.

Tipo de Estación	CPE (Receptor)
Municipio	Gestalgar
Puntos de Cobertura	Hotel Rural
Coordenadas ED50.	39° 33' 26" N 0° 48' 57" W

Figura 21: Datos ubicación CPE Hotel Rural Municipio Gestalgar.

Receptores para suministro de internet de banda ancha en el municipio de Bugarra.

Tipo de Estación	CPE (Receptor)
Municipio	Bugarra
Puntos de Cobertura	Viviendas
Coordenadas ED50.	Todo el pueblo

Figura 22: Datos ubicación CPE's Municipio Bugarra.

El municipio de Bugarra tiene 831 habitantes censados en el Ayuntamiento y como se ha comentado en el apartado 3.3.2 de este trabajo, se utilizarán 208 terminales de usuario (uno para cada vivienda del municipio).

Para introducir los datos en el programa elegiremos un único punto de referencia en el pueblo e introduciremos esas coordenadas para facilitar el diseño y no tener que introducir 200 puntos receptores.

Suponiendo que llega la suficiente señal al punto introducido, también llegará suficiente señal a todas los demás receptores.

Una vez introducidos todos los datos en el programa los representamos con las diferentes herramientas explicadas en los apartados anteriores.

Nota: este último servicio, es solo un ejemplo puesto que no hemos encontrado ninguna localidad más pequeña en la zona. Idealmente esta aplicación está diseñada para localidades rurales más pequeñas y de más difícil acceso. No obstante se ha incluido para dar a conocer este servicio y para comprobar que con una única estación base se puede abarcar muchísimos usuarios sin limitación ninguna.

Representación Mapa Emplazamientos

La primera representación que realizaremos será la del mapa geográfico, En ella podemos ver la ubicación exacta de nuestras estaciones y sus correspondientes altitudes. Además podemos superponer nuestro mapa con un mapa de carreteras obtenido de Google Maps con lo que se facilita la visualización de los mismos.

El resultado de la representación de nuestra zona geográfica con Radio Mobile es la siguiente:

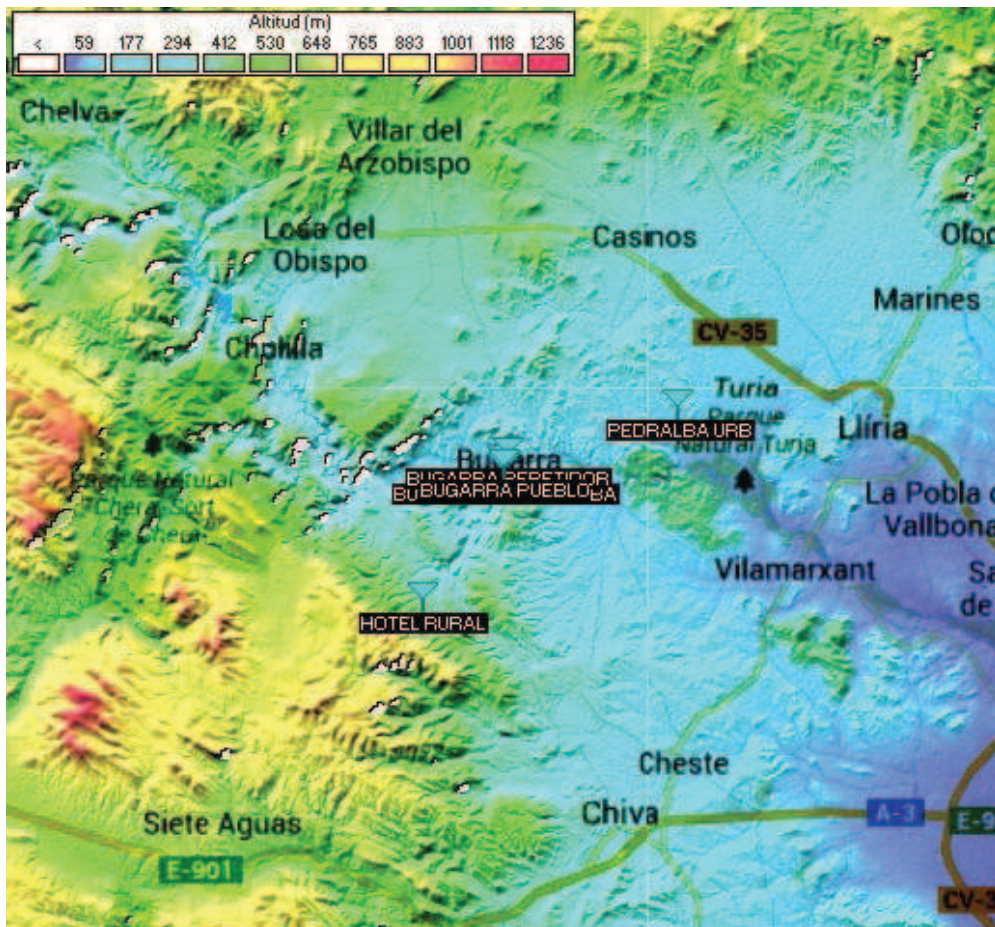


Figura 23: Mapa geográfico con alturas obtenido con Radio Mobile

Como vemos en el mapa tenemos la estación base en el municipio de Bugarra (centrado en el mapa) y los receptores o CPE's se encuentran en diferentes ubicaciones alrededor del mismo.

Calculo Cobertura Estación Base

Una vez representados todos los puntos en el mapa, procederemos a realizar el cálculo de la cobertura de nuestra estación base.

La herramienta utilizada para calcular la cobertura de la estación base introducida, da la opción de representar el mapa en tonos grises con el fin de diferenciar claramente la cobertura obtenida.

El resultado de la representación es el siguiente:

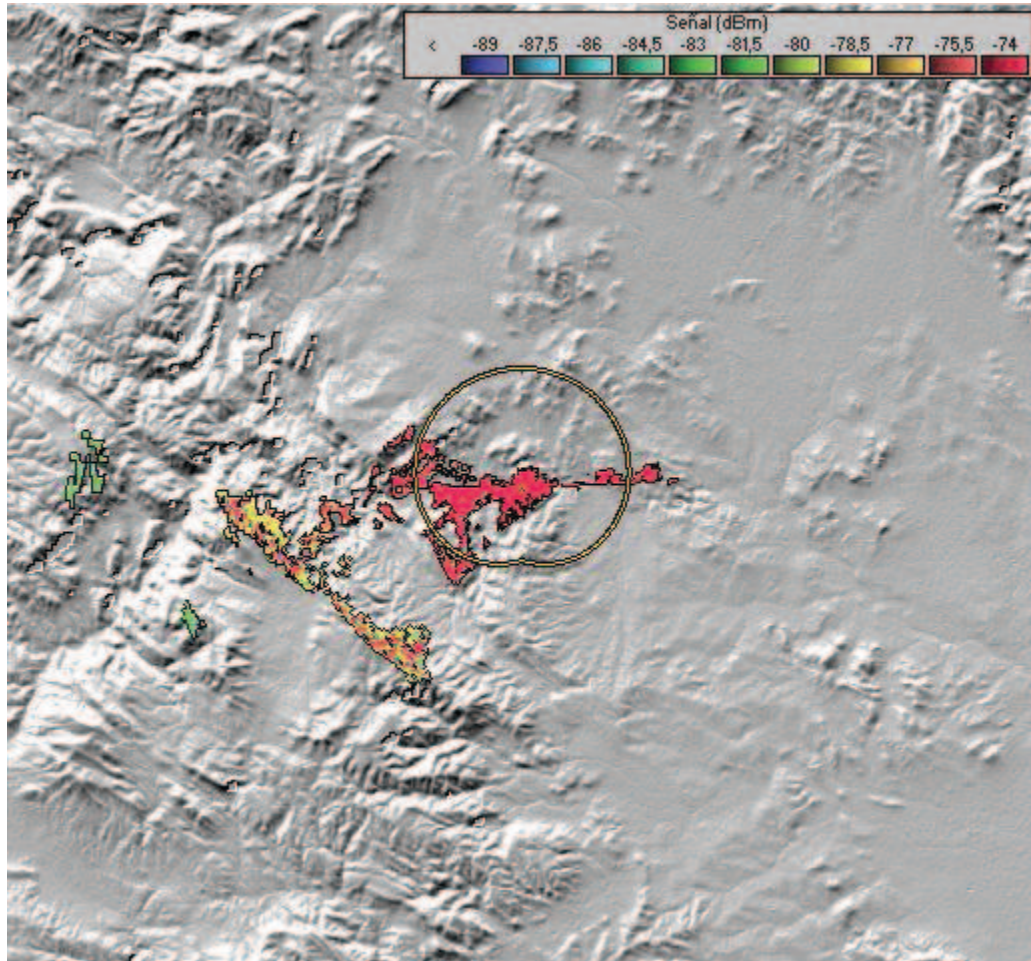


Figura 24: Cobertura estación base obtenida con Radio Mobile

Como podemos observar es una cobertura bastante reducida puesto que el municipio de Bugarra se encuentra en una zona de poca altitud rodeado de montañas.

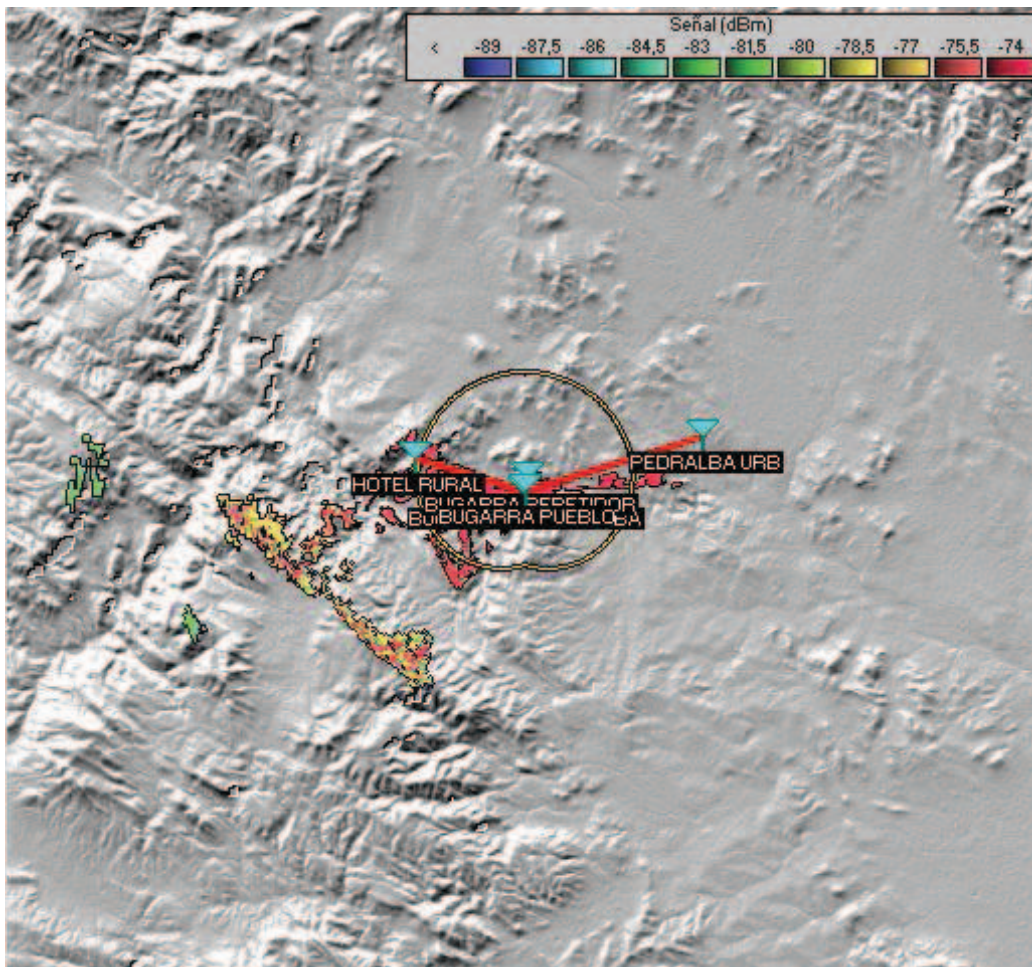


Figura 25: Cobertura estación base obtenida con Radio Mobile con la ubicación de los emplazamientos

Como bien podemos observar en la leyenda superior del mapa de coberturas obtenido, con esta solución no se puede dar cobertura a todos los puntos deseados ya que no llega el suficiente nivel de señal a todos ellos.

Para saber el nivel de señal necesario para que el terminal de usuario (CPE) pueda captar la señal, tendremos que tener en cuenta la sensibilidad del mismo. En nuestro caso la sensibilidad del equipo AXS-CPE-250 es de **-74dBm**.

Una vez tenemos en cuenta ese nivel de sensibilidad, deducimos que no se puede dar cobertura a todos los puntos deseados y por lo tanto será necesario buscar una solución que nos permita cubrir una zona más amplia con un nivel de señal superior a -74dBm.

Para buscar una solución óptima, consultamos el catálogo de Alentia donde se suponen varios casos reales que se pueden encontrar a la hora de hacer un diseño de una red WiMAX, con las diferentes soluciones posibles.

Escenario habitual red WiMAX.

Al enfrentarnos a un diseño real de una red WiMAX, se suele dar una situación de forma muy habitual.

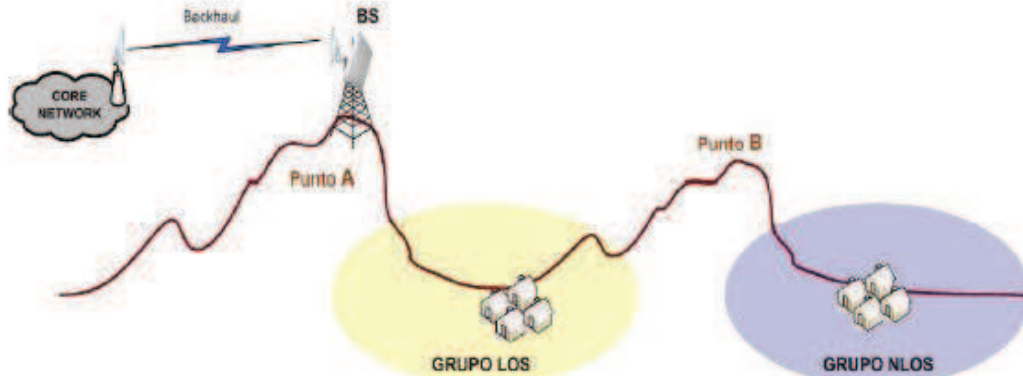


Figura 26: Escenario habitual sacado de catálogo de Albetia

Como se puede observar en la figura superior, tenemos dos grupos diferenciados, un grupo LOS (con línea de visión directa) y otro grupo NLOS (sin línea de visión directa). Como se ha comentado en el apartado anterior es necesario trabajar en situaciones con líneas de visión directa (LOS), lo que nos obliga a buscar una solución para poder dar cobertura al grupo que se encuentra en la zona denominada de "sombra".

Este es exactamente el caso que nos ocupa ya que entre nuestra estación base y algunos de nuestros terminales de usuario (CPE) no hay línea de visión directa y por lo tanto no llega el nivel de señal suficiente.

Tendremos dos soluciones posibles diferentes:

Solución 1: Utilización de 2 estaciones base

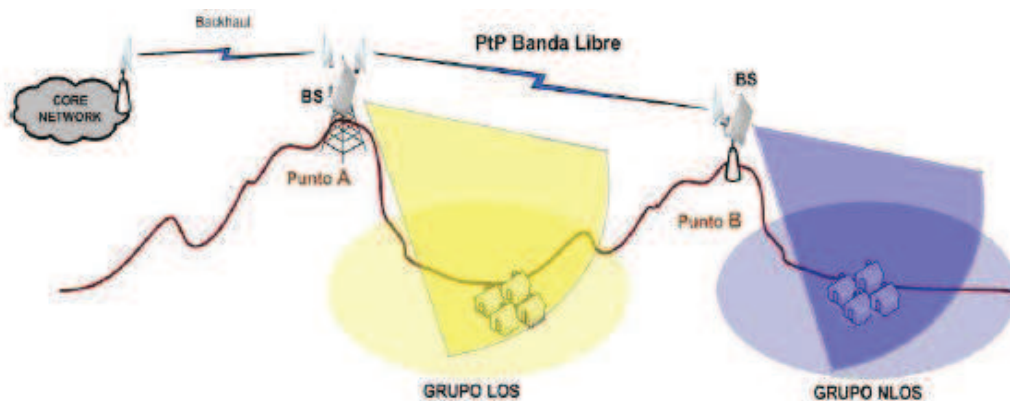


Figura 27: Solución con 2 estaciones base. Sacado de catálogo Albetia

Con esta solución lo que se hace es utilizar 2 estaciones base diferentes, una dará cobertura al grupo LOS y la otra servirá para dar cobertura al grupo que quedaba en la zona de “sombra” (grupo NLOS).

Para implementar esta solución es necesario hacer un enlace punto a punto entre las dos estaciones base.

Esta solución es más costosa y en mi opinión más dificultosa a la hora de diseñar e instalar, ya que necesitamos 2 estaciones base y además 2 parábolas para hacer el enlace punto a punto entre estas 2 estaciones base y por lo tanto considero que no es una solución viable para nuestro proyecto.

Solución 2: Utilización de una estación base y un repetidor.

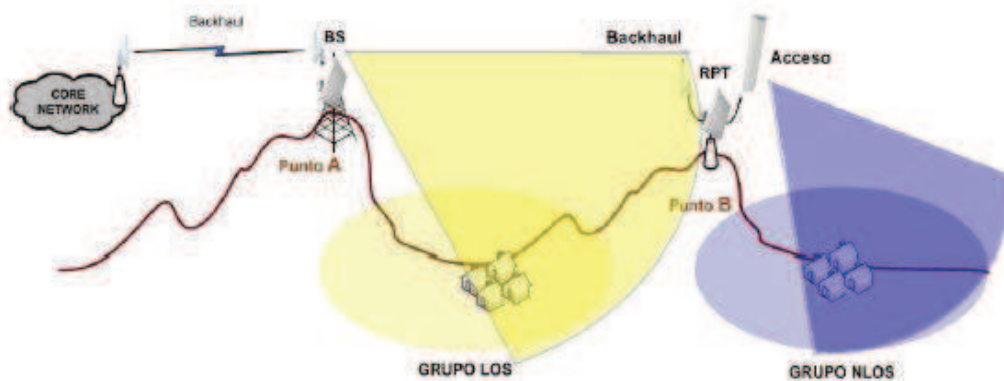


Figura 28: Solución con 1 estaciones base y 1 repetidor. Sacado de catálogo Albetia

Con esta solución lo que se hace es utilizar una estación base y un repetidor. La estación base dará cobertura directamente al primer grupo, el grupo LOS y además dará cobertura a un repetidor ubicado en la zona donde tenemos el obstáculo que no permitía dar cobertura al otro lado del mismo. Dicho repetidor se encargará de dar cobertura al grupo que quedaba en la zona de “sombra” (grupo NLOS).

En este caso no es necesario hacer enlace punto a punto entre estaciones y la única limitación es que exclusivamente se pueden poner 3 repetidores seguidos para asegurar una buena cobertura y en nuestro caso solo necesitaríamos 1 o dos a lo sumo.

El repetidor permite ampliar zonas de cobertura, mientras mantiene optimizados otros aspectos fundamentales como son los costes de instalación, latencia, gestión en banda y separación entre red y transporte.

Esta es en mi opinión la solución más económica y viable y por lo tanto es la elegida para nuestra red WiMAX.

Solución adoptada: Utilización de una estación base y un repetidor.

A la vista de que es imposible dar cobertura a todos los puntos elegidos para nuestro diseño, optaremos por la utilización de un repetidor ubicado en un lugar óptimo para poder dar cobertura al resto de emplazamiento. Dicho lugar óptimo deberá estar ubicado en una zona elevada para que no se encuentre con obstáculos más altos que él.

En el primer punto de este apartado 3, se ha mencionado una página web del Ministerio donde se pueden encontrar todos los emplazamientos de telefonía móvil de cualquier operador existente en España, los cuales podremos utilizar para instalar nuestro repetidor.

Buscando en dicha página web, encontramos un emplazamiento que se ajusta a nuestras necesidades, ya que se encuentra en un lugar cercano al municipio de Bugarra y está en una zona elevada, lo que facilita que haya línea de visión directa entre dicho repetidor y los terminales de usuario (CPE) a los que se quiere dar cobertura.

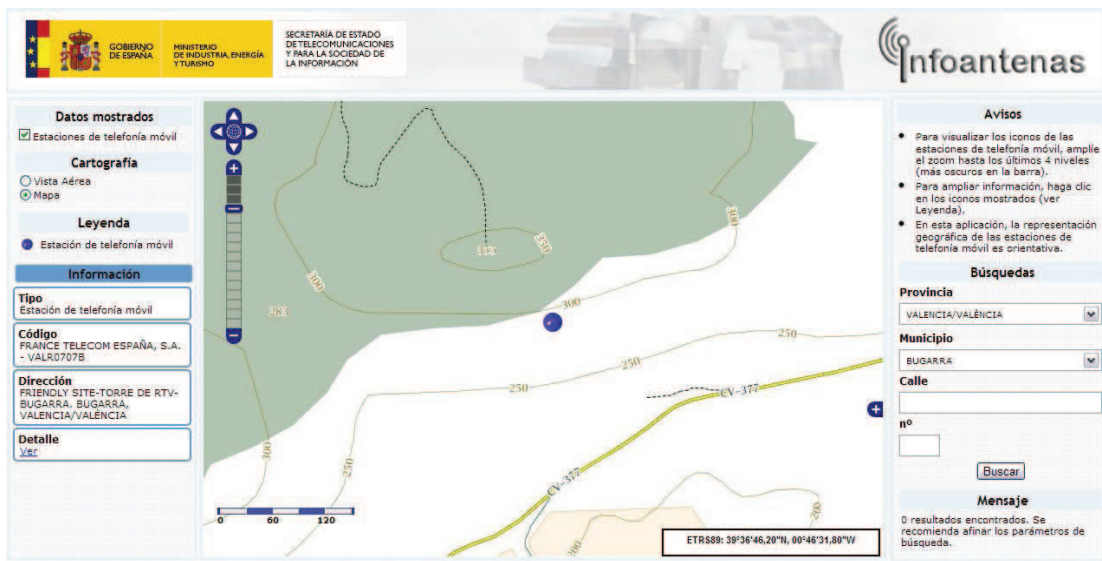


Figura 29: Vista página web del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

De esta página web del Ministerio de Industria, Energía y Turismo podemos obtener los datos principales de dicha estación, como la altura de la torre o las coordenadas ED50 o UTM en la que está ubicada.

Finalmente tendremos que añadir al programa Radio Mobile los datos técnicos del repetidor para poder realizar los cálculos posteriormente.

Los datos geográficos introducidos en el programa Radio Mobile serán estos:

Tipo de Estación	Repetidor
Municipio	Bugarra
Ubicación	Friendly Syte Torre RTV
Propiedad Emplazamiento existente	FRANCE TELECOM S.A
Coordenadas ED50.	39° 36' 29" N 0° 46' 23.9" W

Figura 30: Datos ubicación repetidor.

Introducimos los datos de nuevo en el programa Radio Mobile, considerando en este caso el repetidor como si se tratara de una estación base. Es decir, introducimos su potencia de transmisión la cual estará limitada a 20dBm, su sensibilidad y su ganancia de antena como hemos hecho con la estación base.

Los datos del repetidor utilizado se pueden consultar en el Anexo de este proyecto, o en la página web de Albentia.

De la misma manera que con la estación base, consideramos que el repetidor tiene una antena omnidireccional, para evitar tener que repetir cálculos para cada una de las direcciones o sectores que necesitemos.

Una vez tenemos todos los datos, volvemos a calcular la cobertura:

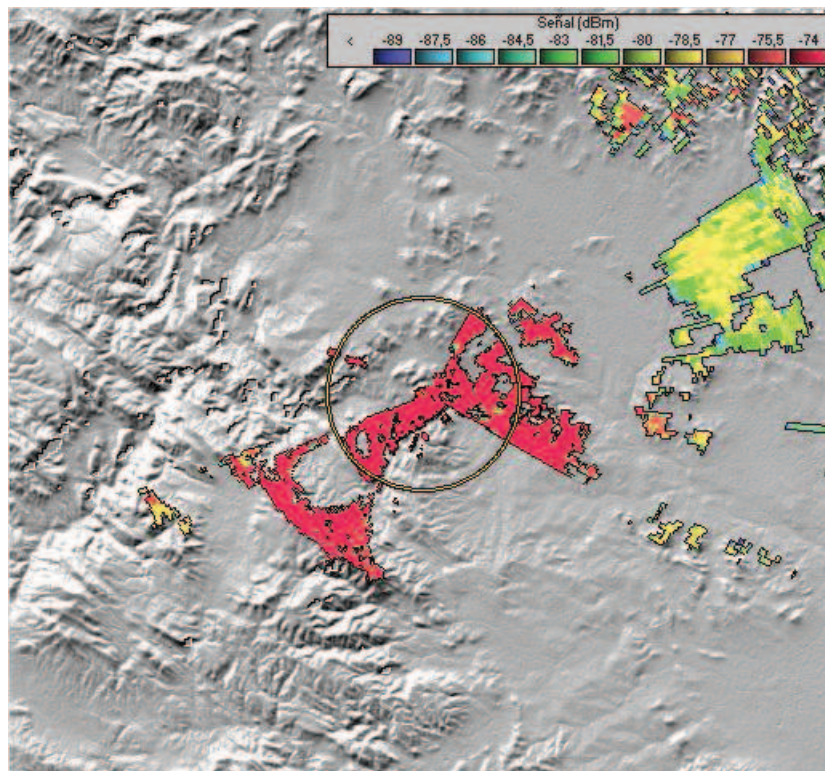


Figura 31: Cobertura estación base con repetidor obtenida con Radio Mobile.

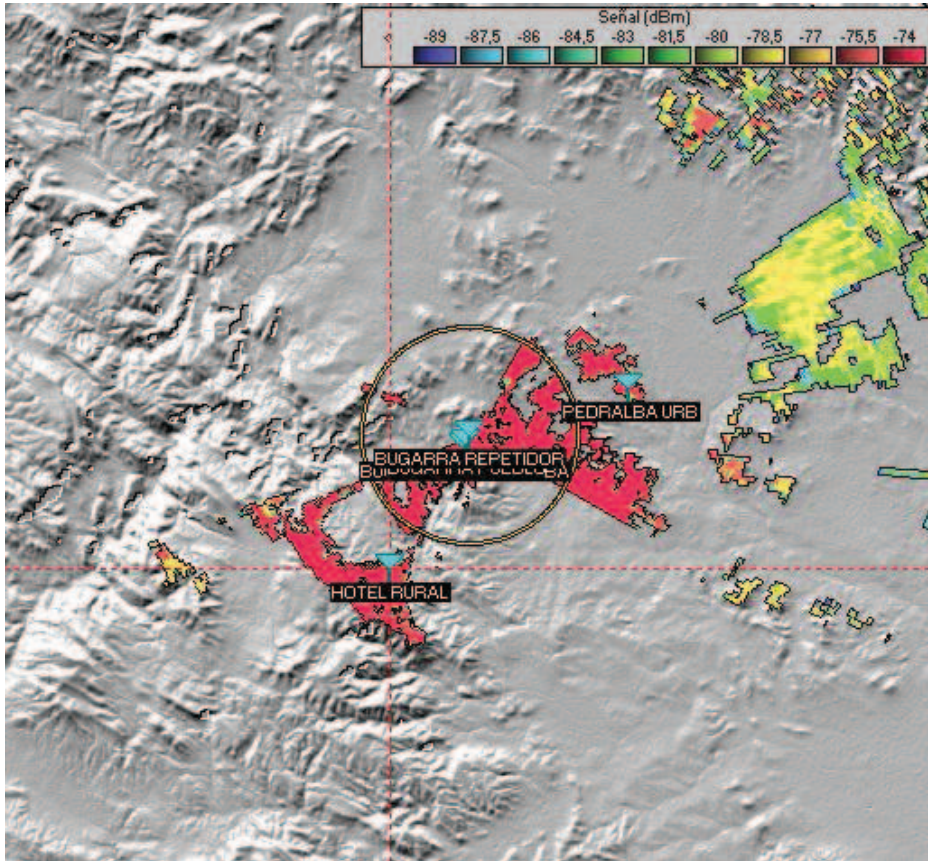


Figura 32: Cobertura estación base con repetidor obtenida con Radio Mobile con CPE's representados.

Como podemos ver en mapa superior, ahora sí que llega la señal con suficiente nivel a todos los puntos a los que se desea dar suministro.

Ahora nos queda comprobar que todos los terminales de usuario (CPE) tienen visión directa, ya sea con la estación base o con el repetidor.

Para ello utilizaremos la herramienta de perfil de enlace que tiene Radio Mobile.

Comprobación de línea de visión directa (LOS).

En primer lugar comprobaremos que utilizando exclusivamente una estación base, no llega el suficiente nivel de señal a todos los puntos deseados, porque no existe línea de visión directa entre ellos.

Comprobaremos todos los perfiles existentes:

- Estación Base – Municipio de Bugarra.
- Estación Base – Hotel Rural
- Estación Base – Urbanización Le Mallaes (Videovigilancia).

Estación Base – Municipio de Bugarra.

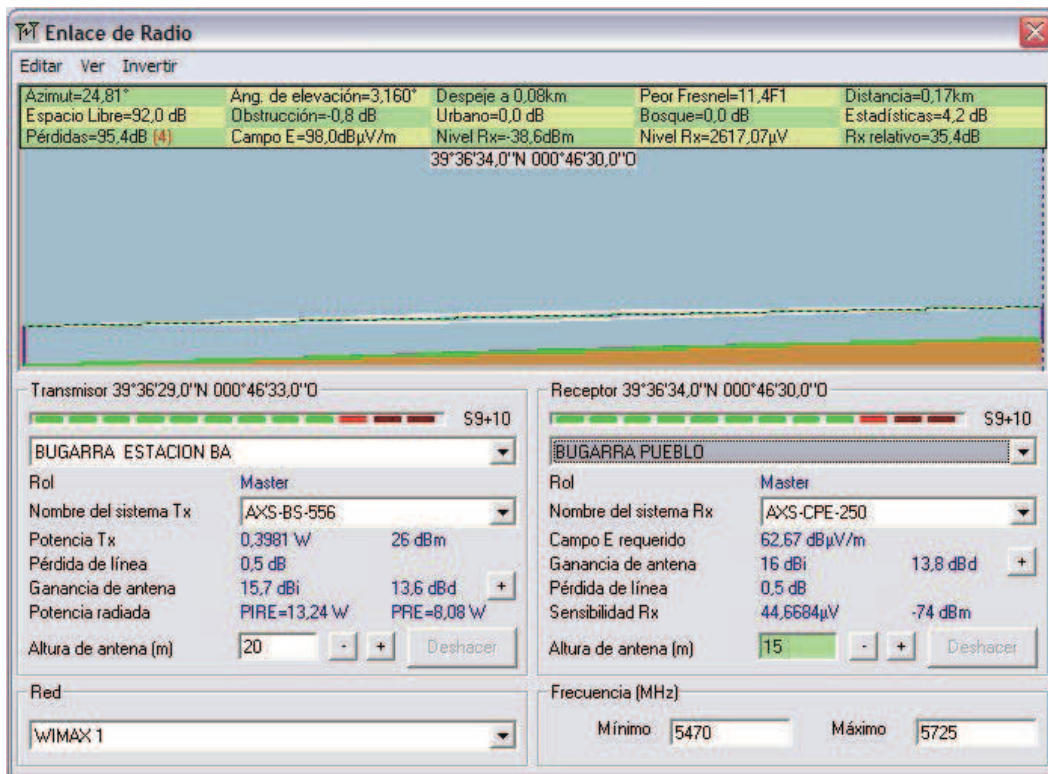


Figura 33: Resultado perfil enlace de radio BS-Bugarra.

Estación Base – Hotel Rural

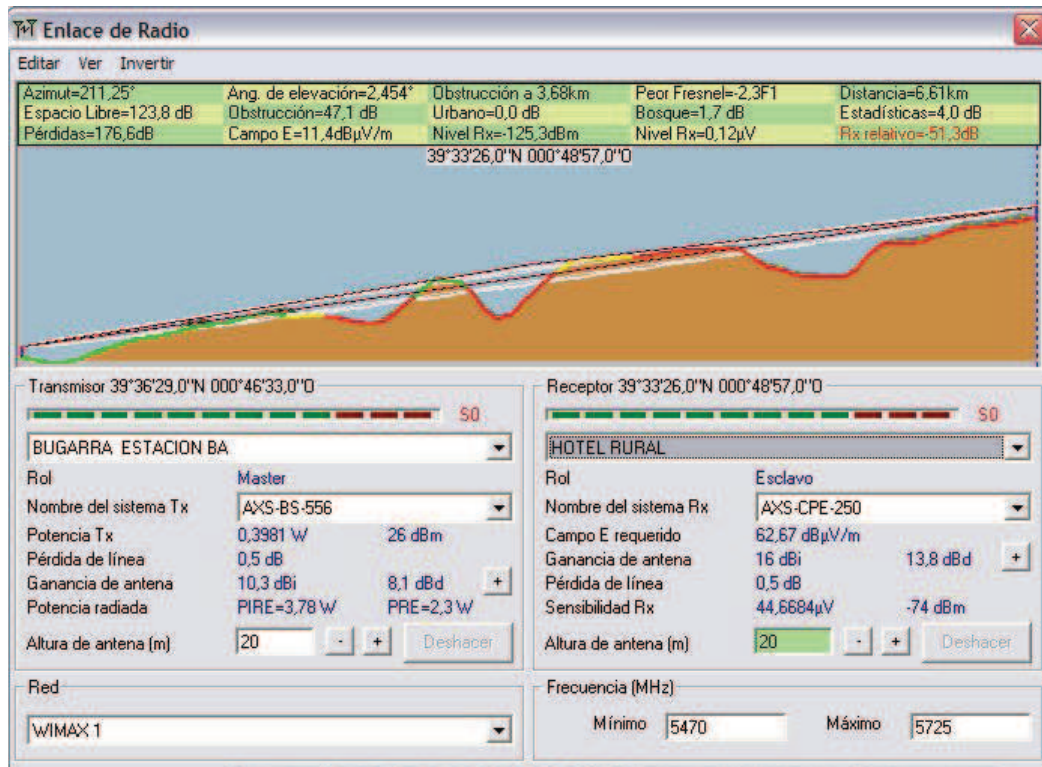


Figura 34: Resultado perfil enlace de radio BS- Hotel Rural.

Estación Base – Urbanización Les Mallaes (Pedralba)

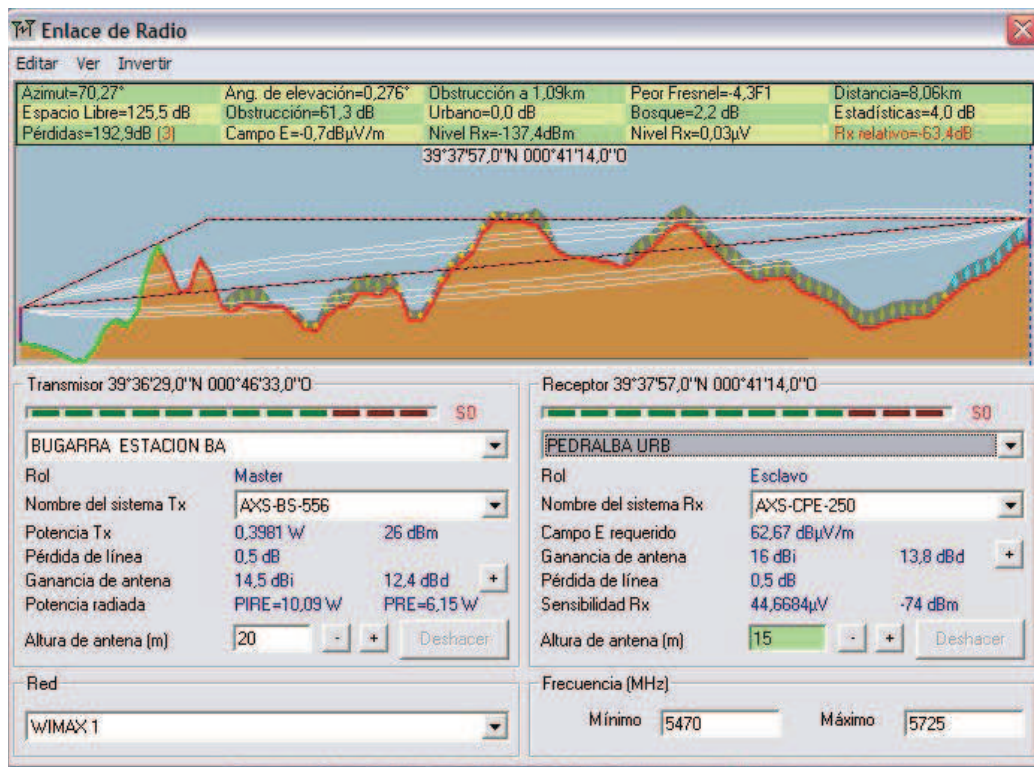


Figura 35: Resultado perfil enlace de radio BS-Urbanización Les Mallaes.

Observando los resultados obtenidos se ve claramente como el problema que hay en los enlaces entre la estación base y los terminales de usuario del Hotel Rural y la Urbanización de Pedralba es que no hay visión directa debido a las elevadas zonas de desnivel existentes en esta zona.

Las zonas que en las gráficas aparecen como zonas en verde, son las zonas a las que llega el nivel de señal correctamente y las zonas rojas a las que no.

El único enlace de radio que cumpliría con el nivel de señal necesario y con la línea de visión directa es el de la estación base con el municipio de Bugarra, lo que significa que la estación base dará cobertura al municipio de Bugarra y al repetidor, por lo que tendremos que comprobar también si hay línea de visión directa o no entre la estación base y el repetidor.

Comprobaremos que el repetidor recibe la señal perfectamente.

Estación Base – Repetidor

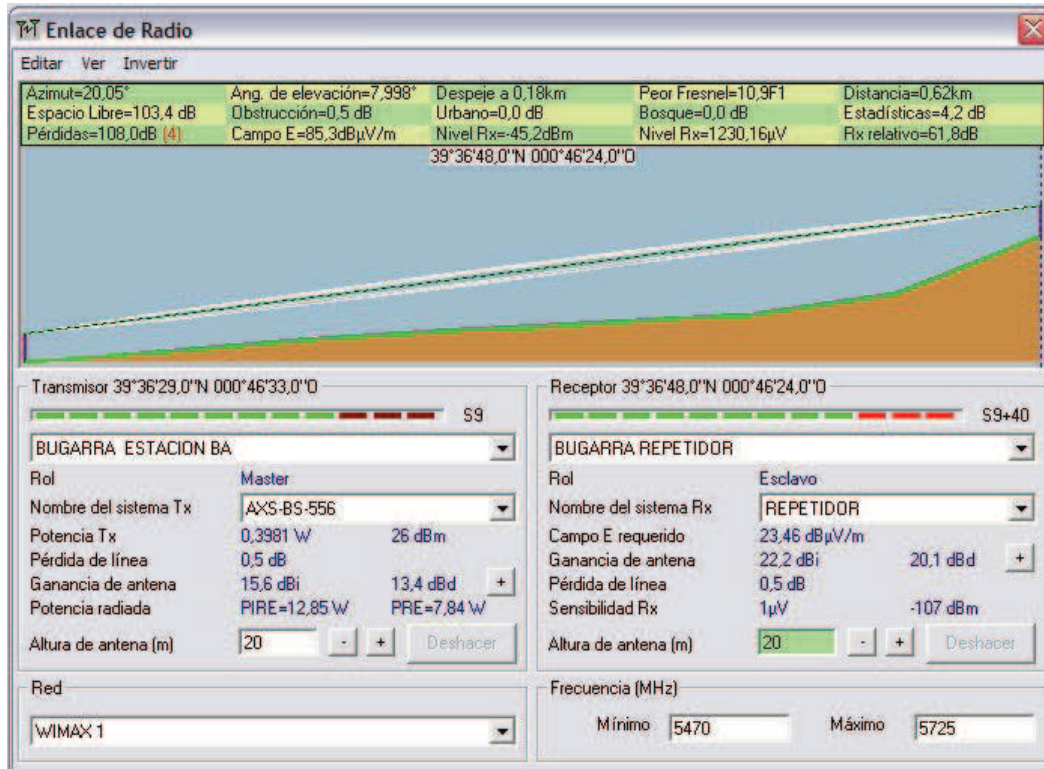


Figura 36: Resultado perfil enlace de radio BS-RPT (repetidor).

Ahora comprobaremos si hay línea de visión directa o no entre el repetidor y los diferentes puntos a los que la estación base no puede dar cobertura.

Los perfiles comprobados son:

- Repetidor – Hotel Rural
- Repetidor – Urbanización Les Mallaes(Videovigilancia).

Repetidor – Hotel Rural

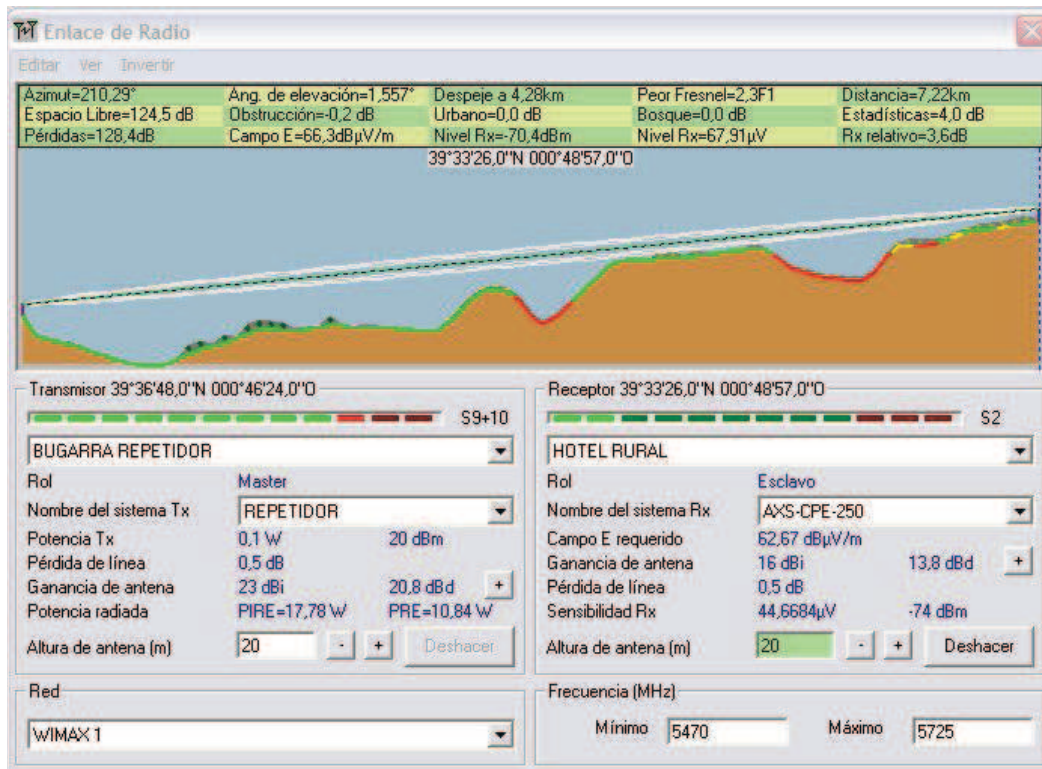


Figura 37: Resultado perfil enlace de radio RPT-Hotel Rural.

Repetidor – Urbanización Les Mallaes (Pedralba)

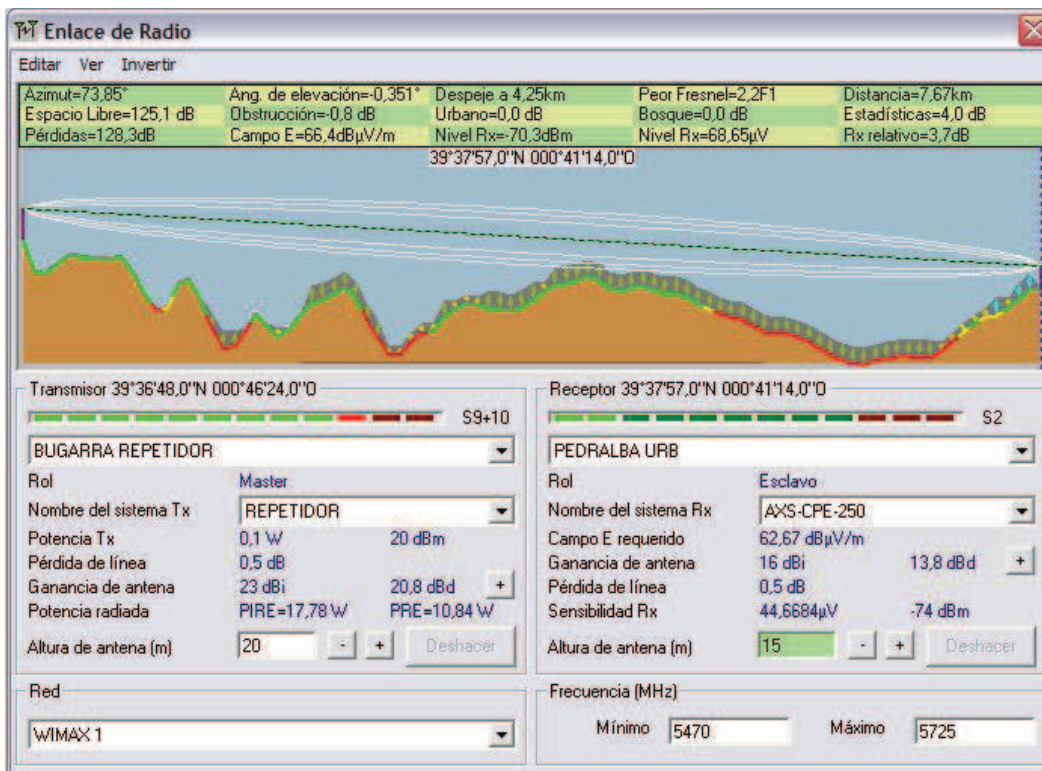


Figura 38: Resultado perfil enlace de radio RPT-Urbanización Les Mallaes.

Con todos estos datos ya tendríamos nuestro diseño final de la red de tecnología WiMAX.

3.3.1. Resumen.

A continuación se realiza un resumen de todos los puntos importantes de nuestra red.

PUNTOS DONDE SE QUIERE DAR COBERTURA		
Punto 1	Municipio	Pedralba
	Puntos de Cobertura	Urbanización Les Mallaes
	Coordenadas ED50.	39° 37' 57" N 0° 41' 14" W
Punto 2	Municipio	Gestalgar
	Puntos de Cobertura	Hotel Rural
	Coordenadas ED50.	39° 33' 26" N 0° 48' 57" W
Punto 3	Municipio	Bugarra
	Puntos de Cobertura	Viviendas
	Coordenadas ED50.	Todo el pueblo

Figura 39: Tabla resumen ubicación puntos donde se quiere dar cobertura con la red WiMAX.

EQUIPOS UTILIZADOS		
AXS-BS-556	Banda de trabajo	5470MHz-5725MHz
	Calidad neta agregada	35Mbps
	Ancho Canal	10 MHz
	Sensibilidad máxima modulación	- 74dBm
	Máxima potencia Tx	26 dBm
	Ganancia Antena	16 dBi (antena 90°)
	Máximo nº CPE's	Ilimitado
	Interfaz	Ethernet 10/100
	Estándar	IEEE 802.16 e
AXS-CPE-250	Banda de trabajo	5470MHz-5725MHz
	Calidad neta agregada	35Mbps
	Ancho Canal	10 MHz
	Sensibilidad máxima modulación	- 74dBm
	Máxima potencia Tx	20 dBm
	Ganancia Antena	16 dBi (antena 90°)

	Máximo nº CPE's	Ilimitado
	Interfaz	Ethernet 10/100
	Estándar	IEEE 802.16 e
RPT-50	Banda de trabajo	5470MHz-5725MHz (ETSI)
	Máxima velocidad datos	37.7Mbps
	Ancho anal permitido	1,75MHz, 3.5MHz, 7MHz y 10 MHz
	Máxima potencia Tx	24 dBm
	Ganancia Antena	23 dBi (antena 90°)
	Máxima ganancia repetidor	+ 120dB

Figura 40: Tabla resumen características principales equipos utilizados en nuestra red.

UBICACIÓN ESTACIÓN BASE Y REPETIDOR		
AXS-BS-556	Municipio	Bugarra
	Tipo estación	Estación Base
	Ubicación	C/Ancha, 13 (Ayuntamiento)
	Altura	20m (nuevo mástil)
	Nº Antenas	1 antenas 90°
	Coordenadas ED50.	39° 36' 29" N 0° 46' 33" W
RPT-50	Municipio	Bugarra
	Tipo estación	Repetidor
	Altura	20m (torre existente)
	Nº Antenas	2 antenas 90°
	Coordenadas ED50.	39° 36' 29" N 0° 46' 23.9" W

Figura 41: Tabla resumen ubicación principales equipos utilizados en nuestra red.

En estas tres tablas están resumidas las principales características de nuestra red WiMAX.

4. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo he obtenido diferentes conclusiones importantes.

He dividido dichas conclusiones en dos partes diferenciadas:

- Conclusiones obtenidas teóricamente, de la comparación de las prestaciones de esta tecnología frente a otras similares. Y las ventajas e inconvenientes de utilizarla frente a ellas.
- Conclusiones obtenidas prácticamente al realizar el diseño de la red WiMAX propuesta en el trabajo. Aspectos a tener en cuenta a la hora de realizar un diseño de estas características.

4.1. Conclusiones teóricas

4.1.1. Ventajas de utilizar WiMAX frente a otras tecnologías similares.

- Puede llegar a lugares donde la fibra óptica o el cable no pueden llegar debido a las dificultades del terreno o la inviabilidad económica que supone por la poca densidad demográfica existente en lugares rurales aislados.
- Tiene mayor rango de cobertura que otras tecnologías inalámbricas como por ejemplo WiFi. (Puede llegar hasta 50Km).
- Permite la transmisión sin línea de visión directa NLOS.
- Puede utilizar tanto bandas licenciadas como bandas sin licencia, abarcando frecuencias desde 2GHz hasta 60GHZ.
- Despliegue más rápido que tecnologías que necesiten cable.
- Bajo coste de las infraestructuras.
- La inversión se realiza en el equipo receptor (usuario final) lo que acarrea un menor riesgo para los operadores en despliegue.
- Puede ser complementario a otras tecnologías, no es necesariamente una tecnología sustitutiva.
- Se asegura buena calidad del servicio y además incluye medidas de seguridad y privacidad

4.1.2. Inconvenientes uso WiMAX frente a otras tecnologías similares.

- No se puede asegurar el servicio a todos los usuarios. La cobertura está entre un 80% y un 90%.
- Difícil garantizar disponibilidad 100% ya que al ser una red inalámbrica depende de varios factores como: dispersión, humedad, bloqueos...
- Los equipos utilizados son más caros que los utilizados para otras tecnologías, por lo que puede suponer mayor inversión para el usuario.

4.2. Conclusiones prácticas

4.2.1. Aspectos a tener en cuenta en el diseño de una red WiMAX.

- Ubicación exacta del lugar o lugares al que se quiere dar cobertura.
- Importante tener acceso a mapas con información geográfica que nos será de gran ayuda a la hora de ubicar las estaciones base (BS) y los repetidores (RPT).
- Tener un programa adecuado para la simulación y el diseño de la nueva red WiMAX.
- Consultar varios catálogos de diferentes fabricantes de equipos WiMAX y valorar el que más convenga utilizar.

4.2.2. Limitaciones existentes.

Al estudiar teóricamente esta tecnología se presupone que se puede realizar un diseño de una red sin necesidad de visión directa (NLOS) entre estación base y usuario, puesto que las condiciones técnicas de los equipos suponen que son capaces de poder dar cobertura en estas condiciones.

No obstante, a la hora de la verdad, los fabricantes no pueden asegurar esto, debido a las limitaciones impuestas por los organismos reguladores respecto a la potencia de salida de los equipos y por lo tanto se está obligado a trabajar en situaciones de visión directa (LOS)

Esto podría ser una gran limitación pero se solventa fácilmente con el uso de repetidores. Dependerá de los equipos utilizados, pero normalmente se pueden utilizar hasta 3 repetidores obteniendo una buena calidad de señal, por lo que ubicándolos estratégicamente puedes abarcar muchísimos kilómetros con tan solo unos cuantos equipos.

En mi opinión, esta tecnología podría ser la solución a muchos problemas de falta de cobertura de Internet de banda ancha, existentes en zonas rurales o aisladas, que al no tener una elevada densidad de población no cuentan con este servicio dado que a los operadores de banda ancha no les resulta económicamente interesante.

Hay que remarcar que España es un país donde estas zonas no son escasas, sino todo lo contrario y creo que es necesario solventar este problema e igualar las oportunidades en todos los rincones del país.

Esta tecnología puede ser la solución buscada y aunque no esté implantada en este momento con mucha fuerza, espero que poco a poco se dé a conocer y pueda complementarse con las demás tecnologías existentes y proveer con la mayor calidad posible a todos los usuarios que vivan en el lugar que vivan.

5. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

FRANCISCO RAMOS PASCUAL. Radiocomunicaciones. Barcelona: Marcombo.

JOSÉ A. CARBALLAR . Como construir una red inalámbrica WiFi (2ª Edición). Madrid: Ra-Ma.

YAN ZHANG. WiMAX network planning and optimization. U.S.A: Taylor & Francis Group.

JEFFREY G.ANDREWS, ARUNABHA GHOSH, RIOS MUHAMED. Fundamentals of WIMAX. Prentice Hall.

PÁGINAS WEB

WIMAX FORUM. (2013). *About the WiMAX Forum* < www.wimaxforum.org > (Febrero 2013).

IPV6 INFORMATICA <www.portalwimax.es> (Febrero 2013)

CAMBIUM NETWORKS LTD (2013)

<<http://support.cambiumnetworks.com/ptp/software/index.php?tag=linkplanner>> (Marzo 2013)

COMMUNICATIONS PLUS (26 Junio 2013) < <http://www.ve2dbe.com/english1.html>.> (Mayo 2013)

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO.

<<http://geoportal.mityc.es/VCTEL/vcne.do>.> (Mayo 2013)

TONI MARTÍNEZ (Abril 2012) <<http://www.telequismo.com/2012/04/simulacion-estacion-base-wimax-con.html>> (Mayo 2013)