



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Diseño y despliegue de una red WiMAX para entornos  
rurales en núcleos de población dispersos en el interior de  
la Comunidad Valenciana.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e  
Imagen

AUTOR/A: Sansaloni Ito, Simeón

Tutor/a: Part Escriva, María Consuelo

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

## Resumen

La conectividad a internet se ha convertido en una necesidad básica en la sociedad actual. Sin embargo, muchas zonas rurales siguen enfrentando limitaciones para acceder a servicios de telecomunicaciones de calidad, lo que les impide aprovechar todas las oportunidades que ofrece la era digital. Para solucionar este problema, se han implementado diversas tecnologías de conectividad inalámbrica, entre las que destaca WiMAX.

WiMAX es una tecnología de comunicación inalámbrica de banda ancha que permite la transmisión de datos a larga distancia mediante ondas de radio. Esta tecnología puede ser una solución viable para llevar servicios de telecomunicaciones a zonas rurales, ya que permite cubrir grandes áreas geográficas con un único punto de acceso y ofrece una velocidad de transmisión de datos superior a la de otros sistemas de telecomunicaciones.

Con este trabajo contribuiremos a identificar nuevas soluciones para el acceso a servicios de telecomunicaciones en zonas rurales, lo que puede tener un impacto significativo en el desarrollo económico y social de estas regiones. Además, el uso de WiMAX como tecnología de comunicación inalámbrica puede ser de gran utilidad para superar las limitaciones geográficas y mejorar la calidad de vida de las poblaciones rurales.

Palabras clave: Internet rural, WiMAX, Radio mobile

## **Abstract**

Internet connectivity has become a basic necessity in today's society. However, many rural areas still face limitations in accessing quality telecommunications services, which hinders their ability to fully benefit from the digital era. To address this problem, various wireless connectivity technologies have been implemented, with WiMAX being a prominent one.

WiMAX is a broadband wireless communication technology that enables long-distance data transmission using radio waves. This technology can be a viable solution for providing telecommunications services to rural areas, as it can cover large geographical areas with a single access point and offers higher data transmission speeds compared to other telecommunication systems.

This work aims to contribute to identifying new solutions for accessing telecommunications services in rural areas, which can have a significant impact on the economic and social development of these regions. Additionally, the use of WiMAX as a wireless communication technology can be highly beneficial in overcoming geographical limitations and improving the quality of life in rural populations.

Keywords: Rural Internet, WiMAX, Radio mobile.

## Índice

1.	Introducción y objetivos .....	5
1.1.	Problemas encontrados .....	5
2.	WiMAX .....	5
2.1.	Definición .....	5
2.2.	Funcionamiento de la tecnología WiMAX .....	6
2.3.	Estándar IEEE 802.16.....	8
2.4.	Funcionamiento tecnología WiMAX.....	9
2.4.1.	Fundamentos. Componentes .....	9
2.4.2.	Características técnicas de WiMAX .....	11
2.5.	Comparación WiMAX con otras tecnologías similares .....	12
2.5.1.	WiMAX frente a 5G y FFTx .....	12
2.5.2.	WiMAX frente a WIFI .....	13
2.6.	Beneficios y limitaciones de WiMAX en lugar de otras tecnologías ....	13
3.	Diseño de la red WiMAX.....	15
3.1.	Introducción .....	15
3.2.	Softwares de simulación .....	15
3.3.	Radio Mobile .....	16
3.3.1.	Mapas topográficos.....	16
3.3.2.	Mapas de cobertura .....	18
3.3.3.	Radioenlaces .....	18
3.4.	Proceso del diseño de la red .....	19
3.4.1.	Elección de la zona a la que se quiere proporcionar cobertura ....	19
3.4.2.	Elección del servicio que se quiere ofrecer .....	20
3.4.3.	Elección de la frecuencia de transmisión .....	22
3.4.4.	Elección de los equipos .....	23
3.5.	Diseño de la red WiMAX con Radio mobile .....	27
3.5.1.	NLOS y LOS .....	27
3.5.2.	Ubicaciones de los equipos.....	27
3.5.3.	Topología de red WiMAX .....	29
3.6.	Despliegue de los puntos de acceso en el Hotel rural .....	36
4.	Análisis económico y viabilidad de la implementación de WiMAX.....	37
4.1.	Presupuesto.....	37
4.2.	Análisis de viabilidad .....	38
5.	Conclusión.....	39
6.	Bibliografía .....	40

## Tabla de ilustraciones

Figura 1: Estructura WiMAX .....	6
Figura 2: Radio enlace en Xirio Online .....	16
Figura 3: Mapa topográfico de La Barraca d'Aigües Vives.....	17
Figura 4: Antenas existentes por infoantenas .....	19
Figura 5: Antenas existentes por antenasGSM.....	20
Figura 6: Mapa ubicación del ayuntamiento .....	21
Figura 7: Tabla datos ubicación ayuntamiento .....	21
Figura 8: Mapa ubicación Hotel Rural.....	22
Figura 9: Tabla datos ubicación Hotel Rural.....	22
Figura 10: Estación Base AXS-BS-450-N .....	24
Figura 11: Tabla parámetros Estación Base.....	24
Figura 12: Repetidor RTP-58.....	25
Figura 13: Tabla parámetros Repetidor.....	25
Figura 14: Terminal de Usuario AXS-CPE450-15.....	26
Figura 15: Tabla parámetros Terminal de Usuario.....	26
Figura 16: Tabla ubicación estación Base.....	28
Figura 17: Tabla ubicación Terminales de Usuario.....	28
Figura 18: Escenario con dos Estaciones Base.....	30
Figura 19: Escenario con Estación Base y Repetidor .....	30
Figura 20: Mapa de cobertura Estación Base .....	31
Figura 21: Mapa de cobertura Repetidor .....	32
Figura 22: Tabla ubicación Repetidor.....	32
Figura 23: Datos radioenlace BS-RTP .....	33
Figura 24: Radioenlace BS-RTP.....	33
Figura 25: Resultados radioenlace BS-RTP .....	34
Figura 26: Ubicación radioenlace BS-RTP.....	34
Figura 27: Datos radioenlace RTP-CPE .....	34
Figura 28: Radioenlace RTP-CPE .....	35
Figura 29: Resultados radioenlace RTP-CPE.....	35
Figura 30: Ubicación radioenlace RTP-CPE.....	35
Figura 31: Esquema ubicación CPEs en Hotel Rural.....	36
Figura 32: Tabla presupuesto Estación Base.....	37
Figura 33: Tabla presupuesto Repetidor .....	38
Figura 34: Tabla presupuesto Terminales de usuario en Hotel.....	38
Figura 35: Tabla presupuesto total.....	38

## 1. Introducción y objetivos

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es analizar las características principales y el funcionamiento de las redes WiMAX. Además, se busca diseñar una red WiMAX real utilizando distintos programas para evaluar la cobertura de banda ancha que podría ofrecerse en diferentes municipios rurales.

El proyecto tiene 4 objetivos principales:

- Estudio de las tecnologías de telecomunicaciones utilizadas en zonas rurales, identificando sus principales ventajas, limitaciones y áreas de mejora.
- Estudio de los fundamentos y características de una red WiMAX.
- Planificación y diseño de un sistema WiMAX para una zona rural, considerando aspectos técnicos como la ubicación de las antenas, la frecuencia de transmisión y el ancho de banda.
  - o Simulaciones y uso de RadioMobile
  - o Estudio del mercado y de los equipos
  - o Evaluar los mapas, las coberturas y los radioenlaces
- Evaluar la viabilidad económica del despliegue de WiMAX en la zona rural seleccionada mediante un presupuesto.
- Conclusiones obtenidas después de realizar el diseño y la planificación.

### 1.1. Problemas encontrados

En relación con los desafíos identificados, se destaca que la mayoría de los programas de simulación disponibles en el mercado son de pago, lo que puede representar un obstáculo económico para la realización de proyectos de diseño de redes WiMAX, especialmente en entornos de recursos limitados.

Además, se observa que WiMAX, aunque es una tecnología valiosa para llevar Internet de banda ancha a áreas rurales, está experimentando una disminución en su adopción y uso en comparación con otras tecnologías emergentes, como 5G, satélite y FTTx.

## 2. WiMAX

### 2.1. Definición

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) es una tecnología de comunicación inalámbrica de banda ancha que permite la transmisión de datos a larga distancia utilizando ondas de radio. Fue desarrollada con el objetivo de brindar acceso a Internet de alta velocidad y servicios de comunicación en áreas rurales y zonas donde la infraestructura de cableado tradicional es limitada o costosa de implementar.

Una de las ventajas clave de WiMAX es su capacidad para cubrir grandes áreas geográficas con un único punto de acceso, lo que lo hace especialmente adecuado para zonas rurales o regiones con baja densidad de población. También es una tecnología flexible, ya que puede operar en diferentes frecuencias y modos, como enlaces punto a punto o acceso a múltiples usuarios.

WiMAX se basa en el estándar IEEE 802.16 y utiliza una amplia gama de frecuencias para la transmisión de datos, lo que permite una cobertura extensa y una mayor capacidad de usuarios en comparación con otras tecnologías inalámbricas. Puede ofrecer velocidades de conexión significativas, alcanzando hasta varios cientos de Mbps en condiciones ideales.

WiMAX ha sido utilizado para brindar servicios de banda ancha en áreas rurales y como una alternativa a las conexiones por cable en zonas urbanas. Aunque ha sido desplazado en gran medida por tecnologías como LTE y 5G en términos de popularidad y adopción generalizada, WiMAX sigue siendo una opción viable en ciertos escenarios y continúa siendo utilizado en algunos países y regiones específicas.

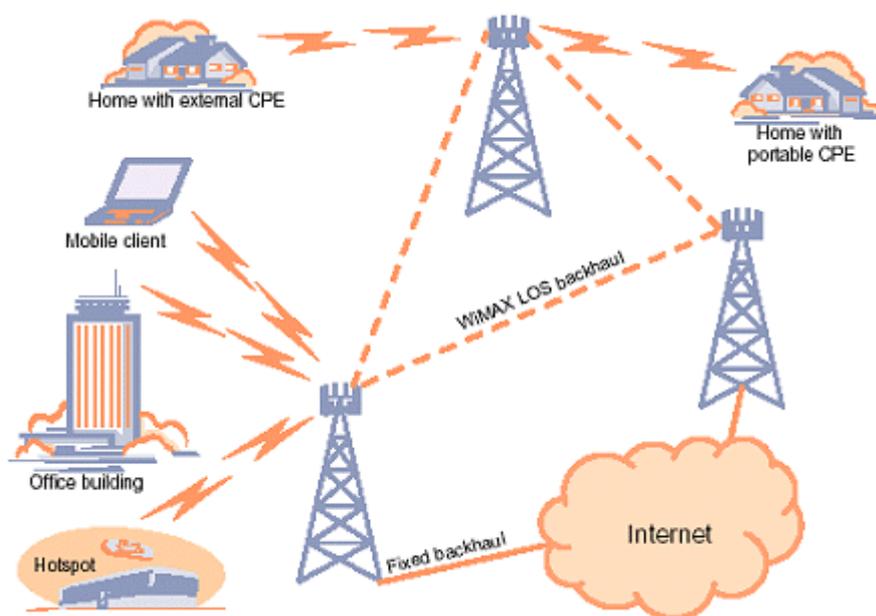


Figura 1: Estructura WiMAX

## 2.2. Funcionamiento de la tecnología WiMAX

WiMAX es una norma de transmisión inalámbrica de datos que utiliza las frecuencias de 2,3 a 5 GHz y puede tener una cobertura hasta de 50 km. El estándar que define esta tecnología es el IEEE 802.16.

Para alcanzar los requerimientos de los diferentes tipos de acceso se definieron dos versiones de WiMAX: la primera, basada en el estándar IEEE 802.16-2004 y optimizada para acceso fijo y nómada; y la segunda, que está diseñada para soportar portabilidad y movilidad, está basada en el estándar IEEE 802.16e.

WiMAX se engloba dentro de las conocidas como tecnologías de última milla. Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costos por usuario muy elevados (zonas rurales).

Pre-WiMAX se refiere a las tecnologías y estándares de comunicación inalámbrica que surgieron antes de la adopción oficial del estándar IEEE 802.16, que define WiMAX. Estas tecnologías eran consideradas como predecesoras de WiMAX y sentaron las bases para su desarrollo y despliegue. Aunque no existía una especificación estándar universalmente aceptada para las redes pre-WiMAX, generalmente se hacía referencia a sistemas y equipos que se basaban en tecnologías similares y tenían características comunes. Estos sistemas estaban diseñados para proporcionar conectividad inalámbrica de banda ancha en áreas geográficas más amplias en comparación con las tecnologías inalámbricas tradicionales, como el Wi-Fi.

Pre-WiMAX ofrecía capacidades mejoradas de cobertura y alcance en comparación con las tecnologías inalámbricas anteriores, permitiendo la entrega de servicios de voz, video y datos a través de una conexión inalámbrica de mayor velocidad y capacidad. Estas redes se basaban en tecnologías como WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) y utilizaban protocolos y técnicas de modulación específicas. Aunque la denominación "Pre-WiMAX" ya no se utiliza ampliamente en la actualidad debido a la adopción generalizada de la tecnología WiMAX o sus evoluciones, estas primeras implementaciones y estándares contribuyeron a sentar las bases para el desarrollo y la estandarización de las redes WiMAX.

Por otra parte, en el desarrollo e impulso del WiMAX, destaca el WiMAX Forum, una organización sin fines de lucro que fue creada con el objetivo de promover y certificar la interoperabilidad y el desarrollo de tecnologías basadas en el estándar IEEE 802.16, también conocido como WiMAX.

Fue fundado en el año 2001 por un grupo de empresas líderes en el sector de las comunicaciones inalámbricas. El WiMAX Forum desempeña un papel crucial en el impulso y la promoción de la adopción de WiMAX en todo el mundo. Su principal enfoque es garantizar la interoperabilidad y la certificación de los productos y servicios basados en WiMAX, lo que proporciona confianza y garantía a los proveedores y usuarios finales.

El funcionamiento básico de WiMAX se puede describir en los siguientes pasos:

1. Establecimiento de la red: Se instala una estación base WiMAX en un lugar estratégico que proporcionará la cobertura inalámbrica. Esta estación base está conectada a una red troncal de telecomunicaciones que tiene acceso a Internet u otros servicios de red.

2. Transmisión de señal: La estación base envía señales de radio en una frecuencia determinada hacia los dispositivos receptores en el área de cobertura. Estas señales contienen los datos que se transmitirán a través de la red.

3. Recepción de la señal: Los dispositivos receptores, como routers o tarjetas de red WiMAX en computadoras, reciben las señales enviadas por la estación base. Estos dispositivos deben estar dentro del rango de cobertura de la estación base para establecer la conexión.

4. Procesamiento de la señal: Los dispositivos receptores procesan las señales recibidas para extraer los datos transmitidos. Estos datos pueden ser en forma de páginas web, correos electrónicos, archivos multimedia u otros tipos de información.

5. Acceso a la red: Una vez que los datos se han recibido y procesado correctamente, los dispositivos receptores pueden acceder a la red y enviar solicitudes

de información o transmitir datos hacia la estación base. Esto permite el intercambio bidireccional de datos entre los dispositivos y la red.

6. Comunicación en la red: Los datos se transmiten a través de la red WiMAX utilizando técnicas de modulación y multiplexación para optimizar la capacidad y la eficiencia del espectro. Los protocolos de comunicación permiten la transferencia confiable de datos entre los dispositivos y la red.

7. Acceso a servicios y aplicaciones: Una vez que los dispositivos se conectan a la red WiMAX, pueden acceder a servicios y aplicaciones en línea, como navegación web, transmisión de video, llamadas de voz sobre IP, entre otros.

### 2.3. Estándar IEEE 802.16

El estándar IEEE 802.16, comúnmente conocido como WiMAX, es un conjunto de normas diseñadas para establecer redes de acceso de banda ancha inalámbrica de largo alcance. Este estándar es especialmente relevante en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas debido a sus características distintivas.

Una de las principales ventajas de WiMAX es su capacidad para ofrecer conectividad de alta velocidad en áreas extensas. A diferencia de otras tecnologías inalámbricas, WiMAX se destaca por su alcance, lo que lo hace idóneo tanto para entornos urbanos como rurales. Esta versatilidad se debe en parte a la flexibilidad de espectro de WiMAX, ya que puede operar en una variedad de frecuencias, tanto con licencia como sin licencia, lo que facilita su implementación en diversas regiones y condiciones geográficas.

WiMAX también se distingue por su capacidad para proporcionar calidad de servicio (QoS). Esto significa que puede garantizar un ancho de banda consistente y confiable, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren una conexión sólida y sin interrupciones. Además, WiMAX puede admitir movilidad, lo que permite su uso en conexiones de vehículos en movimiento, como automóviles y trenes.

Otra característica importante de WiMAX es su eficiencia espectral. Utiliza técnicas de modulación avanzadas y acceso múltiple para aprovechar de manera efectiva el espectro de frecuencia disponible, lo que mejora la capacidad de transmisión y recepción de datos.

En cuanto a la seguridad, WiMAX incorpora mecanismos de cifrado y autenticación para proteger las comunicaciones, lo que lo convierte en una opción sólida desde el punto de vista de la seguridad.

En resumen, el estándar IEEE 802.16 (WiMAX) es una tecnología inalámbrica versátil y potente que ofrece conectividad de alta velocidad en áreas extensas, es flexible en cuanto al espectro de frecuencia, proporciona calidad de servicio, es eficiente en términos de espectro y ofrece medidas de seguridad para las comunicaciones. Estas características lo hacen adecuado para una amplia gama de aplicaciones de comunicación inalámbrica.

## 2.4. Funcionamiento tecnología WiMAX

### 2.4.1. Fundamentos. Componentes

El sistema WiMAX se puede dividir en dos componentes principales:

- Estación Base WiMAX: Es un componente fundamental en las redes WiMAX. Es similar, en concepto, a una torre de telefonía móvil y desempeña un papel crucial en la transmisión de señales y en la conexión de los usuarios finales a la red.

La Estación Base WiMAX es operada por un proveedor de servicios de comunicaciones y suele estar ubicada en un lugar estratégico para maximizar la cobertura. Esta estación cuenta con antenas que emiten las señales WiMAX, permitiendo la comunicación inalámbrica con los dispositivos receptores. Las antenas en la Estación Base WiMAX pueden tener diferentes características y diseños, como antenas omnidireccionales que emiten señales en todas las direcciones, antenas direccionales que cubren sectores específicos del área de cobertura, o antenas de panel utilizadas para conexiones punto a punto. Una sola Estación Base WiMAX puede brindar servicio a un área geográfica considerable, cubriendo múltiples células.

La Estación Base WiMAX es responsable de gestionar y coordinar la comunicación con los dispositivos receptores WiMAX, como los CPE (Customer Premises Equipment) instalados en los hogares o empresas de los usuarios finales. Estos dispositivos se conectan a la Estación Base WiMAX para acceder a la red y disfrutar de los servicios de Internet de alta velocidad proporcionados por el proveedor de servicios.

- Receptor WiMAX: El receptor WiMAX es el dispositivo utilizado por los usuarios finales para recibir la señal de la red WiMAX y conectarse a los servicios de Internet proporcionados por el proveedor de servicios. El receptor WiMAX puede adoptar diferentes formas y configuraciones, dependiendo de las necesidades y preferencias del usuario. Puede ser una caja o dispositivo independiente, una tarjeta PCMCIA para insertar en un equipo portátil, o incluso estar integrado directamente en un dispositivo como un teléfono inteligente o una tableta.

En el caso de los usuarios residenciales, el receptor WiMAX generalmente se denomina CPE (Customer Premises Equipment) o Equipo Local de Cliente. Este dispositivo se instala en la ubicación del usuario y es responsable de recibir la señal WiMAX proveniente de la Estación Base y convertirla en una conexión de Internet que se puede utilizar en los dispositivos del hogar, como computadoras, teléfonos inteligentes, televisores inteligentes, etc. El CPE puede tener una antena externa para recibir la señal de manera óptima.

En el caso de usuarios corporativos o empresariales, el receptor WiMAX puede tener una configuración similar, pero con capacidades y características adicionales para satisfacer las necesidades específicas de la organización. Por ejemplo, puede incluir funciones avanzadas de seguridad, capacidad de administración remota o interfaces de red adicionales para conectar múltiples dispositivos en la red empresarial.

Una vez que el receptor WiMAX establece la conexión con la Estación Base y recibe la señal, los datos se transmiten a través de la conexión WiMAX hasta el dispositivo del usuario final, permitiendo el acceso a Internet y otros servicios basados en IP.

Un aspecto destacado de WiMAX es su capacidad para utilizar dispositivos como repetidores de señal, lo que permite extender el alcance de la red y brindar cobertura en áreas donde la señal de la Estación Base WiMAX puede ser débil o inaccesible directamente.

La conexión entre estos repetidores de señal puede establecerse utilizando diferentes tecnologías, como conexiones inalámbricas de microondas o conexiones que requieren visión directa. Esta red intermedia, que conecta los diferentes dispositivos repetidores y enlaces de transmisión, se conoce como "backhaul".

El backhaul es esencial para el funcionamiento de los repetidores de señal, ya que garantiza que la señal llegue desde los dispositivos receptores hasta la Estación Base WiMAX, donde se realiza la conexión a Internet. Dependiendo de la configuración de la red y las condiciones del entorno, se pueden utilizar diferentes tipos de enlaces de backhaul, como conexiones de fibra óptica, enlaces inalámbricos de microondas o incluso enlaces satelitales.

La utilización de dispositivos repetidores y la infraestructura de backhaul permite ampliar la cobertura de la red WiMAX, superar obstáculos físicos y proporcionar acceso a Internet en áreas remotas o con una señal débil. Esto es especialmente útil en zonas rurales o en lugares donde la infraestructura de comunicaciones tradicional puede no ser viable o costosa de implementar.

Otro aspecto básico de WiMAX es que proporciona dos tipos de conexiones inalámbricas:

- Sin necesidad de visión directa (NLOS): Un aspecto destacado de WiMAX es su capacidad para transmitir señales sin necesidad de visión directa (NLOS), lo que significa que la señal puede alcanzar dispositivos receptores incluso cuando hay obstáculos físicos en el camino. A diferencia de algunas tecnologías inalámbricas que requieren una línea de visión clara entre el transmisor y el receptor, WiMAX puede utilizar técnicas avanzadas de modulación y antenas para superar obstáculos como edificios, árboles u otros objetos que bloquean la línea de visión directa. Esto permite que la señal WiMAX se propague y se refleje en los objetos, lo que se conoce como propagación no lineal. Las ondas de radio pueden rebotar y difractar alrededor de los obstáculos, llegando al dispositivo receptor incluso si no hay una línea de visión directa con la Estación Base WiMAX.

La capacidad de funcionar en condiciones NLOS es especialmente beneficiosa en entornos urbanos densos, donde hay muchos edificios y obstáculos que podrían bloquear la línea de visión. También es útil en áreas geográficas accidentadas o con vegetación densa, donde la visión directa es difícil de lograr. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la calidad de la señal y el rendimiento pueden verse afectados en condiciones NLOS en comparación con situaciones de línea de visión directa. La atenuación de la señal y los efectos de la reflexión pueden causar una degradación en la calidad de la conexión y reducir la velocidad de transferencia de datos.

- Con necesidad de visión directa (LOS): WiMAX, en su versión más común, no requiere visión directa (LOS) para transmitir señales. Es una tecnología inalámbrica de banda ancha que utiliza antenas y técnicas de modulación avanzadas para superar obstáculos y propagar la señal a través de reflexiones y difracciones en el entorno.

## 2.4.2. Características técnicas de WiMAX

Se enumeran a continuación:

1. Sin necesidad de visión directa (LOS y NLOS): WiMAX no requiere una línea de visión directa entre la antena y el equipo del suscriptor. Puede funcionar en condiciones de línea de visión directa (LOS) y también en condiciones sin línea de visión (NLOS).

2. Modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing): WiMAX utiliza la modulación OFDM, que permite transmitir múltiples señales simultáneamente a través del cable o el aire en diferentes frecuencias. Esta técnica utiliza un espaciado ortogonal de frecuencias para prevenir interferencias y mejorar la eficiencia espectral.

3. Antenas inteligentes: WiMAX es compatible con antenas inteligentes, lo que permite mejorar la eficiencia del espectro en redes inalámbricas y aprovechar la diversidad de antenas para optimizar la calidad de la conexión.

4. Topología punto multipunto y de malla (mesh): WiMAX admite dos topologías de red: punto multipunto, que permite la distribución de servicios a múltiples suscriptores, y malla, que facilita la comunicación entre suscriptores y mejora la resiliencia de la red.

5. Calidad de Servicio (QoS): WiMAX ofrece mecanismos de calidad de servicio que garantizan un buen rendimiento incluso en condiciones NLOS. Esto asegura una calidad de servicio adecuada sin que la señal se distorsione significativamente debido a edificios, condiciones climáticas o tráfico vehicular.

6. Multiplexación FDM (Frequency Division Multiplexing) y TDM (Time Division Multiplexing): WiMAX soporta la multiplexación en la frecuencia (FDM) para lograr interoperabilidad con sistemas de telefonía móvil, así como la multiplexación en el tiempo (TDM) para la interoperabilidad con sistemas inalámbricos.

7. Seguridad: WiMAX incluye medidas de privacidad y criptografía inherentes en el protocolo para garantizar la seguridad de las comunicaciones. El estándar 802.16 agrega autenticación de dispositivos con certificados x.509 utilizando el modo de cifrado CBC (Cipher Block Chaining) del algoritmo DES.

8. Bandas de frecuencia: WiMAX opera en bandas bajo licencia, como 2.3 GHz y 3.5 GHz, para transmisiones de largo alcance en exteriores. También puede operar en bandas libres (sin licencia), como 3.5 GHz a 5 GHz, según la disponibilidad de espectro libre en cada país.

9. Potencia de transmisión: WiMAX controla la potencia de transmisión para cumplir con los requisitos reglamentarios y optimizar el rendimiento de la red.

10. Acceso al medio: WiMAX utiliza TDMA (Time Division Multiple Access) dinámico para acceder al medio, lo que permite una gestión eficiente de los recursos de la red y un uso equitativo del ancho de banda compartido.

11. Corrección de errores: WiMAX emplea técnicas de corrección de errores, como ARQ (Automatic Repeat reQuest), para la retransmisión inalámbrica y mejorar la confiabilidad de la transmisión de datos.

12. Tamaño del paquete: WiMAX permite un ajuste dinámico del tamaño del paquete, lo que optimiza la eficiencia de la transmisión según las características de la red y las necesidades del tráfico de datos.

13. Tasa de transmisión: WiMAX puede alcanzar velocidades de transmisión de hasta 75 Mbps, lo que permite una transferencia rápida de voz, video y datos.

14. Espectro de frecuencia: WiMAX opera en diferentes bandas de frecuencia según el estándar utilizado. Por ejemplo, el estándar IEEE 802.16a opera entre 2 y 11 GHz (LOS) para comunicación entre antenas, mientras que el estándar IEEE 802.16e opera entre 2 y 6 GHz (NLOS) para distribución a suscriptores móviles.

15. Cobertura: WiMAX tiene un alcance teórico de hasta 50 km sin línea de vista y de 8 a 10 km en áreas de alta densidad demográfica, lo que permite proporcionar cobertura de banda ancha en áreas rurales y urbanas.

16. Aplicaciones: WiMAX se utiliza para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo voz, video y datos. Esto permite brindar servicios de comunicación y entretenimiento en diferentes contextos y escenarios.

Estas características técnicas hacen de WiMAX una tecnología versátil y robusta para brindar conectividad inalámbrica de banda ancha en diversas situaciones y entornos.

## 2.5. Comparación WiMAX con otras tecnologías similares

### 2.5.1. WiMAX frente a 5G y FTTx

WiMAX, 5G y FTTx (Fiber to the X) son tecnologías de acceso a Internet que ofrecen servicios de banda ancha.

Comparamos estas dos tecnologías:

1. Cobertura: WiMAX y 5G son tecnologías inalámbricas que pueden proporcionar cobertura en áreas más extensas que FTTx, aunque la cobertura proporcionada por WiMAX es ampliamente superior a 5G. Mientras que FTTx utiliza conexiones de fibra óptica que están limitadas por la disponibilidad de cables de fibra, WiMAX y 5G pueden llegar a áreas rurales y remotas donde la infraestructura de cableado es limitada o inexistente.

2. Flexibilidad de despliegue: WiMAX y 5G son tecnologías inalámbricas que ofrecen flexibilidad en el despliegue de redes. No requieren cables físicos para la conexión, lo que facilita su implementación en áreas donde la infraestructura de cableado es costosa o difícil de instalar. En contraste, FTTx depende de cables físicos de fibra óptica existentes, lo que puede limitar su disponibilidad en áreas remotas o de difícil acceso.

3. Calidad de servicio: WiMAX y 5G ofrecen una buena calidad de servicio en comparación con FTTx, especialmente en áreas alejadas de la central telefónica donde la señal de FTTx puede degradarse. Además, WiMAX puede proporcionar una conexión más estable y consistente que FTTx, que puede experimentar interferencias y degradación de la señal debido a la calidad del cableado o la congestión en la red.

4. Costo: En términos de costos, FTTx suele ser más económico en áreas urbanas y densamente pobladas, donde ya hay una infraestructura de cableado de fibra óptica existente. Sin embargo, en áreas rurales y remotas, donde se requiere una

inversión significativa en infraestructura de cableado, WiMAX pueden resultar más rentables a largo plazo.

**En resumen, WiMAX ofrecen ventajas en términos de cobertura, velocidad, flexibilidad de despliegue y calidad de servicio en comparación con FTTx y 5G, especialmente en áreas rurales y remotas. Sin embargo, la elección entre estas tecnologías dependerá de factores como la ubicación geográfica, la disponibilidad de infraestructura existente y los requisitos específicos de los usuarios.**

### 2.5.2. WiMAX frente a WiFi

WiMAX y WiFi son dos tecnologías de comunicación inalámbrica que comparten algunas similitudes, pero también presentan diferencias significativas.

Comparación entre WiMAX y WiFi:

1. Cobertura: WiMAX tiene una cobertura mucho más amplia que WiFi. Mientras que el alcance de una red WiFi típica se limita a unos pocos cientos de metros, WiMAX puede abarcar varios kilómetros, lo que lo hace adecuado para proporcionar conectividad en áreas extensas, como zonas rurales o áreas metropolitanas.
2. Infraestructura: WiMAX requiere una infraestructura más compleja y costosa en comparación con WiFi. Para implementar una red WiMAX, se necesitan estaciones base y antenas dedicadas, lo que implica una inversión significativa en infraestructura. Por otro lado, WiFi se basa en puntos de acceso inalámbricos más simples y económicos que se conectan a una red cableada existente.
3. Uso y aplicaciones: WiFi es comúnmente utilizado para redes locales inalámbricas (WLAN) en entornos como hogares, oficinas, cafeterías y espacios públicos, proporcionando conectividad a dispositivos cercanos. WiMAX, por otro lado, se utiliza para proporcionar acceso a Internet de banda ancha en áreas más grandes, como comunidades rurales, ciudades y regiones donde la infraestructura de cableado es limitada.

**En resumen, WiMAX es adecuado para proporcionar conectividad de banda ancha en áreas extensas, mientras que WiFi es ideal para redes locales inalámbricas en entornos más pequeños. La elección entre WiMAX y WiFi dependerá de las necesidades específicas de cobertura, capacidad y velocidad de cada situación.**

## 2.6. Beneficios y limitaciones de WiMAX en lugar de otras tecnologías

WiMAX, como tecnología de conectividad, presenta una serie de ventajas significativas, especialmente en entornos rurales y aislados. Estas ventajas hacen que WiMAX sea una opción atractiva en situaciones donde la fibra óptica o el cable se

enfrentan a dificultades insuperables debido al terreno o a limitaciones económicas relacionadas con la baja densidad demográfica.

Destacamos las principales ventajas de WiMAX:

1. **Bajo coste de infraestructura:** La inversión principal en una red WiMAX se concentra en los equipos receptores, lo que reduce el riesgo financiero para los operadores durante el despliegue de la tecnología.
2. **Sin necesidad de línea de visión directa (NLOS):** Una de las características distintivas de WiMAX es su capacidad para proporcionar conectividad sin requerir línea de visión directa entre los dispositivos, lo que lo hace flexible y efectivo en situaciones donde la visión directa no es posible.
3. **Cobertura en zonas inaccesibles:** WiMAX tiene la capacidad de llegar a áreas inaccesibles para tecnologías tradicionales, como la fibra óptica o el cable, lo que lo convierte en una solución viable para regiones rurales aisladas.
4. **Amplio alcance:** WiMAX ofrece un rango de cobertura notablemente mayor en comparación con tecnologías inalámbricas convencionales, como el WiFi. Puede extenderse hasta 50 kilómetros, lo que es fundamental para abarcar vastas áreas geográficas.
5. **Complementario con otras tecnologías:** WiMAX puede actuar de manera complementaria en lugar de ser una tecnología sustitutiva, lo que permite su integración en infraestructuras de comunicación preexistentes.
6. **Calidad y seguridad:** WiMAX garantiza una alta calidad de servicio y también incluye medidas sólidas de seguridad y privacidad, lo que lo convierte en una opción confiable para satisfacer las necesidades de conectividad en diversas aplicaciones.

A pesar de sus numerosas ventajas, WiMAX también presenta ciertos desafíos y limitaciones que es importante tener en cuenta al considerar su implementación en comparación con otras tecnologías.

Anotamos los principales perjuicios de WiMAX:

7. **Limitaciones de la línea de visión directa (LOS):** Aunque WiMAX puede funcionar en entornos sin línea de visión directa (NLOS), su rendimiento óptimo se alcanza en condiciones de LOS. En situaciones donde la visión directa es limitada, la calidad de la señal y la cobertura pueden verse comprometidas.
8. **Interferencias de frecuencia:** Debido a que WiMAX utiliza bandas de frecuencia no licenciadas, está sujeto a posibles interferencias de otros dispositivos que operan en la misma banda, lo que puede afectar la calidad de la señal.
9. **Limitaciones de rendimiento:** Aunque WiMAX ofrece velocidades de datos respetables, algunas tecnologías más recientes, como la 5G, pueden proporcionar un rendimiento aún mayor en términos de ancho de banda y latencia, lo que puede ser un factor importante en aplicaciones de alta demanda.
10. **Disponibilidad de espectro:** La disponibilidad de espectro de frecuencia puede ser un factor limitante en algunas regiones, lo que podría afectar la capacidad de implementar WiMAX de manera efectiva.
11. **Competencia tecnológica:** La rápida evolución de las tecnologías de comunicación, como la 5G, plantea la pregunta de si WiMAX seguirá siendo una opción relevante en el futuro en comparación con tecnologías más avanzadas.

Estas limitaciones subrayan la importancia de evaluar cuidadosamente las necesidades específicas y las limitaciones geográficas al considerar WiMAX como una solución de conectividad, en comparación con otras alternativas disponibles.

## 3. Diseño de la red WiMAX

### 3.1. Introducción

Una vez que se han detallado previamente en la sección anterior las características primordiales de la tecnología WiMAX, se procederá a elaborar un diseño concreto de una red WiMAX. Este diseño tiene como objetivo proporcionar conectividad de banda ancha a la población de La Barraca d'Aigües Vives y a un hotel rural ("La galiana") ubicado en los alrededores de La Barraca d'Aigües Vives.

Los lugares seleccionados existen en la realidad, pero el propósito de brindarles acceso a un servicio de Internet de esta índole no surge de una demanda real, sino que se trata de una idea concebida exclusivamente para llevar a cabo este TFG. No obstante, se ha planteado varios escenarios verosímiles y cotidianos, por lo que el diseño, soluciones y servicios contemplados podrían ser relevantes en un futuro para estas localidades.

### 3.2. Softwares de simulación

Para el diseño de la red tendremos que escoger el programa de simulación más adecuado y con el que mejor nos desenvolvamos. Para este caso, existen varios programas entre los que descartamos directamente los que requieren de una compra de la licencia y nos centramos en los programas gratuitos.

La opción inicial considerada para llevar a cabo la elaboración del diseño de la red consistió en emplear una aplicación de libre acceso denominada Xirio Online.

Este simulador se encuentra disponible para su uso en el sitio web: <https://www.xirio-online.com/web/home/welcome.aspx>

Este software resulta altamente intuitivo en su uso y presenta la ventaja de no necesitar ser instalado. Proporciona la capacidad de simular áreas de cobertura, enlaces de radio y redes de transporte. Además, ofrece diversas variantes de antenas junto con métodos de cálculo específicos para cada situación particular.

Pero no hemos elegido este programa debido a que las opciones gratuitas son más limitadas y a la hora de simular nos entregaba una imagen con muy poca resolución y que no acababa de reflejar los resultados que buscábamos.



Figura 2: Radio enlace en Xirio Online

El otro programa que teníamos como opción para simular era Radio Mobile, con el cual ya hemos trabajado. Este programa nos proporciona resultados precisos con un coste total 0 para poder usarlo al completo.

Radio Mobile es un software para analizar la propagación de señales radioeléctricas. La mayor ventaja radica en que solo es necesario conocer las especificaciones técnicas clave de dichos equipos y luego ingresarlas en el programa. Desde mi perspectiva, este software es considerablemente más práctico y sencillo de usar en comparación con otras herramientas similares como Xirio.

### 3.3. Radio Mobile

En esta sección, se presentarán de manera concisa las herramientas clave de Radio Mobile que posteriormente se emplearon en la planificación de nuestra red WiMAX. Las herramientas empleadas en nuestro diseño son mapas topográficos, mapas de cobertura, y radioenlaces.

#### 3.3.1. Mapas topográficos

Hemos optado por utilizar el mapa topográfico disponible en Google Earth, por la simple razón de que Radio Mobile se basa en estos mapas para usar su herramienta de mapas topográficos, focalizándonos en la localidad de La Barraca d'Aigües Vives. Mediante esta elección, hemos logrado una visualización integral de las ubicaciones de relevancia para nuestro proyecto. Esta herramienta se ha revelado esencial en un primer acercamiento, ya que nos permite explorar detalladamente las elevaciones del terreno y determinar las áreas idóneas para la colocación de componentes cruciales como la estación base y los receptores.

Un atributo fundamental de esta elección es la capacidad del mapa para representar las altitudes a través de colores, brindando una representación visual instantánea de las variaciones en el terreno. La paleta cromática asociada a las altitudes, acompañada de la leyenda ubicada en la parte derecha de la interfaz, facilita la interpretación de los valores presentados. Esta información es de suma importancia, ya

que permite tomar decisiones fundamentales en la disposición estratégica de las antenas, teniendo en cuenta los niveles de elevación y las características geográficas del terreno circundante.

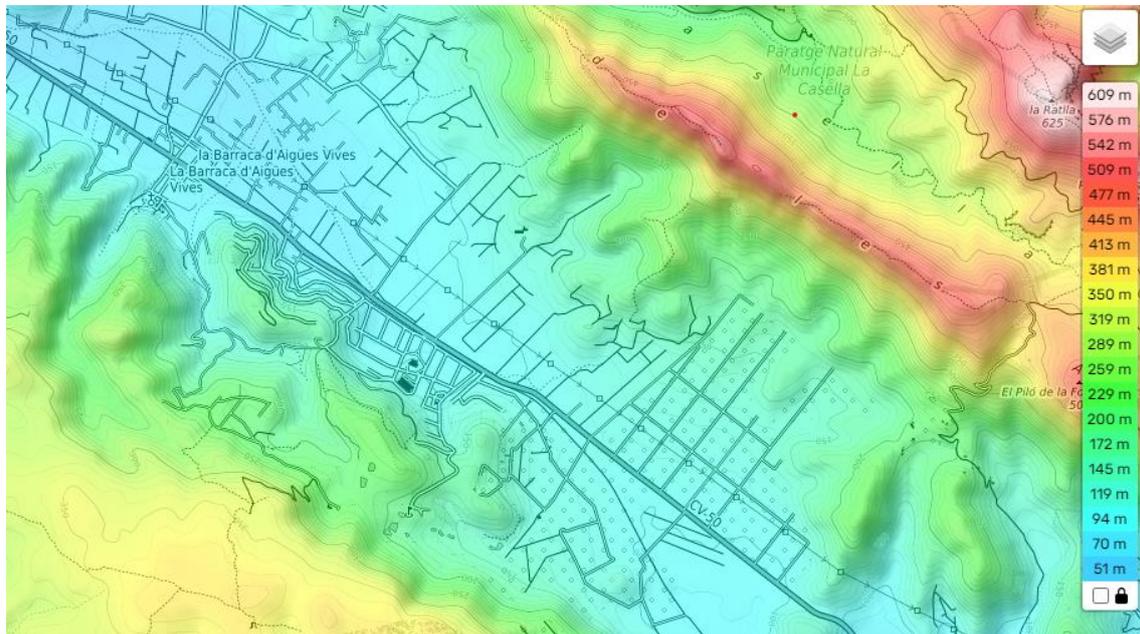


Figura 3: Mapa topográfico de La Barraca d'Aigües Vives

El pueblo de La Barraca d'Aigües Vives se encuentra a una altitud aproximada de 80 metros sobre el nivel del mar. Por otro lado, el hotel rural donde planeamos ubicar los receptores está a una altitud de alrededor de 200 metros. Esta diferencia en las altitudes establece una disparidad significativa en el terreno.

Adicionalmente, es importante destacar que la localidad se encuentra en medio de dos zonas montañosas, una al norte y otra al sur. Esta disposición geográfica tiene implicaciones directas en los posibles radioenlaces que debemos establecer para nuestra red WiMAX. Dada la elevación del hotel y la presencia de estas zonas montañosas, es probable que enfrentemos desafíos en la propagación de señales inalámbricas.

Ante este panorama, se torna evidente que podríamos encontrar dificultades en lograr una conectividad óptima entre las estaciones base y los receptores debido a los obstáculos naturales. Para abordar este posible problema, estamos considerando seriamente la implementación de soluciones como repetidores o backhaul. Estos dispositivos pueden desempeñar un papel esencial en la mejora de la calidad de los radioenlaces, superando las barreras geográficas y permitiendo una cobertura más efectiva en áreas desafiantes como la que se presenta en La Barraca d'Aigües Vives.

### 3.3.2. Mapas de cobertura

Otra opción de suma importancia para nuestro diseño es la capacidad de cálculo de coberturas. A través de esta funcionalidad, podemos evaluar la amplitud de la cobertura que puede proporcionar una estación base específica desde cualquier ubicación en el mundo. Los resultados de esta evaluación se plasman visualmente en el mapa que previamente hemos creado, lo que nos brinda una comprensión precisa de las zonas que reciben una señal adecuada y aquellas que no.

Al incorporar los cálculos, es esencial tener en cuenta los siguientes factores clave: la potencia máxima de transmisión, la ganancia de las antenas receptoras y transmisoras, y la sensibilidad de los equipos. Estos parámetros nos brindan información crucial para determinar los niveles de señal que se consideran aceptables y necesarios para lograr una cobertura apropiada. Una vez que se integran estos elementos, podemos obtener una representación precisa de la cobertura proporcionada por cada equipo en particular.

### 3.3.3. Radioenlaces

El último componente esencial que utilizaremos en el diseño de nuestra red WiMAX es la obtención del perfil de radioenlaces. Esta herramienta es de gran relevancia ya que nos proporcionará información crucial acerca de la existencia de una línea de visión directa entre la estación base y la estación receptora, al mismo tiempo que mostrará detalladamente el perfil topográfico de este enlace.

En el contexto de las redes WiMAX, la transmisión de señales se efectúa desde una estación base hacia las estaciones receptoras. Dado que la existencia de una línea de visión sin obstrucciones es fundamental para asegurar una transmisión confiable y de alta calidad, esta herramienta nos permite verificar visualmente si hay obstáculos en el camino que puedan interferir con la señal.

El perfil de radioenlaces proporciona información esencial para la toma de decisiones informadas en cuanto a la ubicación estratégica de las estaciones base y receptoras, permitiéndonos identificar de manera precisa las zonas donde podría haber problemas de cobertura debido a obstrucciones geográficas. Esto nos posibilita diseñar una red WiMAX que ofrezca un rendimiento óptimo y una conectividad confiable al evitar obstáculos en la propagación de señales.

Esta herramienta complementa las otras dos mencionadas y nos brindará información valiosa para comprender por qué la señal no alcanza diversos puntos, tales como áreas elevadas o estaciones ubicadas en lugares de baja altitud.

Una vez que hemos resumido las tres herramientas principales utilizadas en el diseño de nuestra red WiMAX, procederemos a describir el proceso que seguimos para llevar a cabo nuestro diseño empleando el programa Radio Mobile.

### 3.4. Proceso del diseño de la red

#### 3.4.1. Elección de la zona a la que se quiere proporcionar cobertura

En la etapa inicial, se procedió a la selección de la zona geográfica que sería el objetivo de nuestra cobertura de Internet de banda ancha en zona rural. Para llevar a cabo esta selección, se examinaron diversos municipios en la Comunidad Valenciana que se encuentran en áreas rurales o zonas montañosas, donde el acceso a Internet de banda ancha mediante conexiones físicas (como fibra) podría ser complicado de implementar.

Con el propósito de agilizar el proceso de diseño, se investigaron las ubicaciones que ya cuentan con infraestructuras de telecomunicaciones de banda ancha. Estas estaciones preexistentes se consideraron valiosas para nuestro proyecto, ya que podrían ser utilizadas como puntos de ubicación para nuestros equipos, evitando así la necesidad de construir nuevas infraestructuras (como torres o casetas para equipos).

Es importante destacar que, en un escenario real, sería prioritario gestionar el permiso necesario de los operadores que son propietarios de estas infraestructuras preexistentes. Antes de llevar a cabo cualquier instalación en estos emplazamientos, sería necesario establecer comunicación con los operadores correspondientes y obtener la autorización adecuada.

Para identificar las ubicaciones de antenas preexistentes, recurrimos a la plataforma "infoantenas", proporcionada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Esta herramienta nos brinda un panorama detallado de todas las antenas de telefonía móvil instaladas en el país.

Al explorar nuestra ubicación en el pueblo de La Barraca d'Aigües Vives, encontramos varias antenas de telefonía móvil:

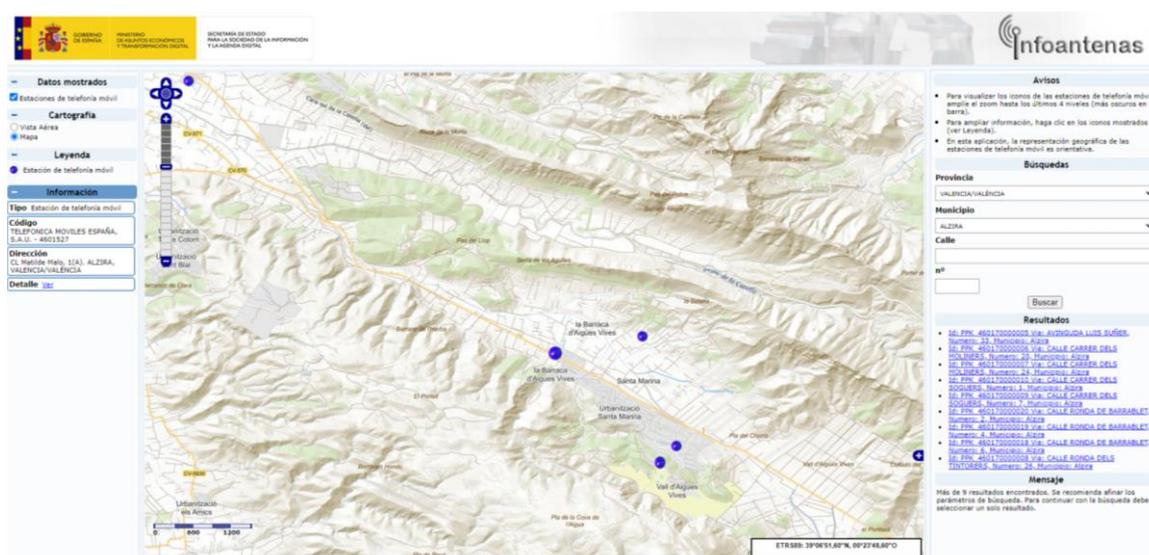


Figura 4: Antenas existentes por infoantenas

Se puede complementar nuestra búsqueda consultando la página "antenasGSM.com". A través de esta plataforma, pudimos igualmente identificar algunas antenas que resultarían adecuadas para servir como soporte para nuestra estación base

en la ubicación en cuestión. Esta fuente alternativa nos proporciona, en ocasiones, información valiosa que puede complementar la primera búsqueda en la plataforma Infoantenas.

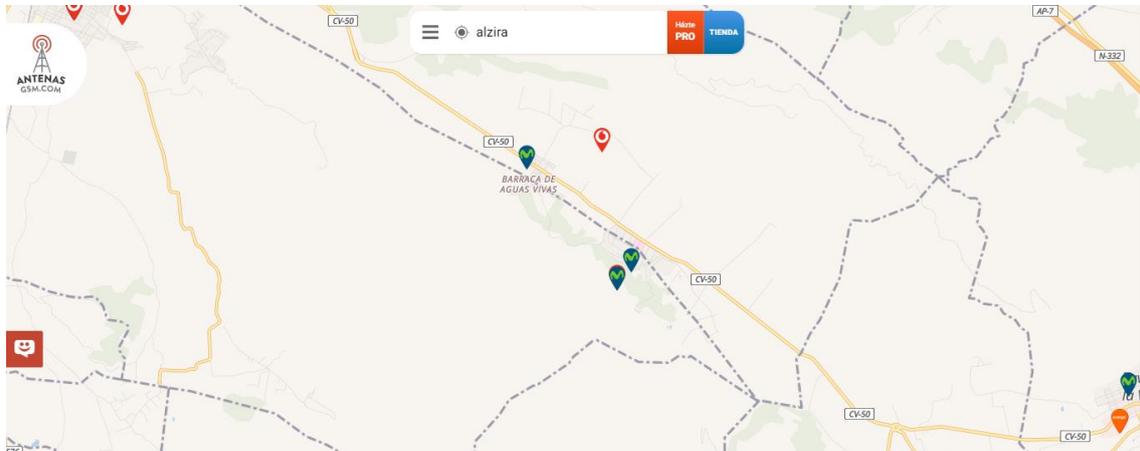


Figura 5: Antenas existentes por antenasGSM

### 3.4.2. Elección del servicio que se quiere ofrecer

Luego de evaluar minuciosamente las características de la ubicación seleccionada, hemos optado por diseñar una red en este TFG para brindar servicios de banda ancha a la población de La Barraca d'Aigües Vives y a un hotel rural situado a poca distancia de La Barraca d'Aigües Vives.

El acceso de banda ancha en la población se ofrecerá para cubrir las necesidades de las viviendas que se encuentran dispersas alrededor de nuestra estación base.

El hotel (complejo turístico con campo de golf, "La Galiana") cuenta con un aproximado de 50 habitaciones.

Nuestra estrategia involucra ofrecer cobertura de Internet de banda ancha al núcleo del pueblo y al hotel mediante la tecnología WiMAX. Además, para complementar este servicio en el mencionado hotel, se implementará una red WiFi en su interior para cubrir todas las habitaciones, aunque esta red no es objeto del presente TFG, pero se establecen las bases necesarias.

Este enfoque tiene múltiples ventajas. Inicialmente, al proveer cobertura WiMAX, logramos establecer una conexión de alta velocidad y confiable en toda la zona. Luego, al extender una red WiFi en el interior del hotel, aseguramos que cada habitación tenga acceso a la conectividad inalámbrica. Esta solución resulta especialmente beneficiosa al evitar la necesidad de instalar numerosas estaciones receptoras individuales (CPE), lo cual representa un ahorro significativo en costos, un factor crucial para la viabilidad de la implementación de una red real.

Es importante resaltar que tanto WiFi como WiMAX son sistemas que no se reemplazan mutuamente, sino que se complementan. Al implementar ambas

Diseño y despliegue de una red WiMAX para entornos rurales en núcleos de población dispersos en el interior de la Comunidad Valenciana

tecnologías, garantizamos una experiencia de conectividad sólida y completa tanto para los usuarios del resort como para las aplicaciones específicas que requieran una mayor capacidad de ancho de banda.

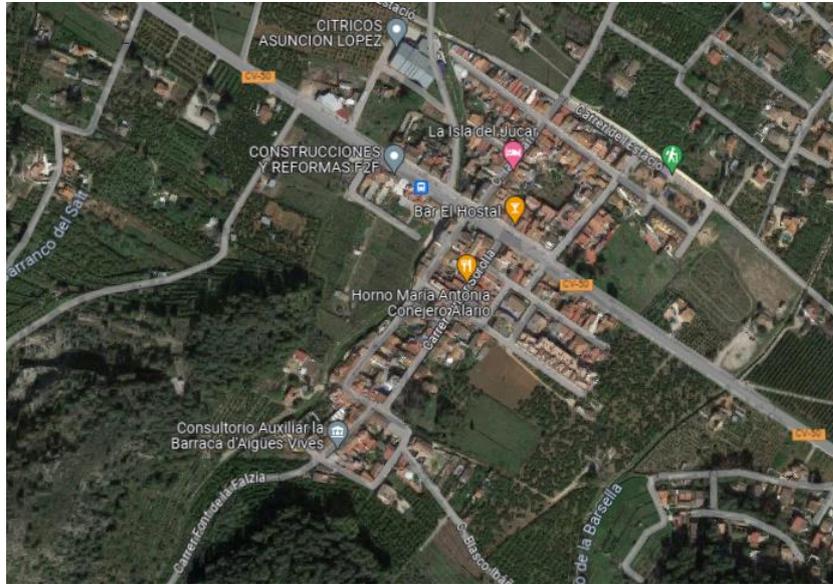


Figura 6: Mapa ubicación del ayuntamiento

<b>Tipo de dispositivo</b>	Estación Base
<b>Localidad</b>	La Barraca d'Aigües Vives
<b>Coordenadas</b>	39° 6' 0.49" N 0° 22' 16.6" W
<b>Infraestructura de colocación</b>	Ayuntamiento

Figura 7: Tabla datos ubicación ayuntamiento



Figura 8: Mapa ubicación Hotel Rural

<b>Tipo de dispositivo</b>	Terminales de usuario (receptores CPE)
<b>Localidad</b>	La Barraca d'Aigües Vives
<b>Coordenadas</b>	39° 5' 1" N 0° 21' 21" W
<b>Infraestructura de colocación</b>	Hotel

Figura 9: Tabla datos ubicación Hotel Rural

### 3.4.3. Elección de la frecuencia de transmisión

El proceso de simulación y minucioso diseño de una red WiMAX es un paso crucial en la implementación exitosa de la conectividad de banda ancha. Uno de los primeros pasos en este proceso es la selección de la frecuencia con la que trabajaremos. La elección de la frecuencia es fundamental ya que influirá en la calidad, el alcance y la eficiencia de la red que estamos diseñando.

Las frecuencias asignadas en las zonas donde se despliega la red serán:

- Bandas con licencia: 2.5GHz-3.5GHz
- Bandas sin licencia: 3.5GHz-5.8GHz

En esta etapa, hay que considerar varios factores que impactarán en la decisión de la frecuencia. Algunos de estos factores clave incluyen las regulaciones locales y las asignaciones de frecuencia establecidas por la autoridad reguladora de telecomunicaciones.

Además, es esencial valorar las necesidades específicas del proyecto, como la cobertura requerida, la densidad de usuarios, las interferencias potenciales y las limitaciones técnicas de la tecnología WiMAX en relación con la frecuencia elegida. Una frecuencia más baja podría brindar un alcance mayor, pero podría estar más saturada en términos de espectro, mientras que una frecuencia más alta podría ofrecer mayor capacidad, pero a expensas de una cobertura más limitada.

#### 3.4.3.1. *Bandas con licencia*

Las bandas de frecuencia con licencia, asignadas y reguladas por las autoridades competentes, ofrecen una mayor garantía de gestión del espectro radioeléctrico. Estas bandas suelen caer dentro de rangos como 2 GHz a 3.5 GHz. Aunque el proceso de obtención de licencias puede ser costoso y complejo, proporciona un entorno controlado para operar, minimizando las interferencias y garantizando una calidad de servicio predecible. Para nuestro escenario, donde se pretende proporcionar conectividad de alta calidad a un hotel rural, la elección de una banda con licencia podría ofrecer mayor confiabilidad y rendimiento en un entorno que valora la experiencia del usuario.

#### 3.4.3.2. *Bandas sin licencia*

Por otro lado, las bandas de frecuencia sin licencia, como las que operan en 3.5 GHz y 5.8 GHz (utilizadas también en tecnologías como WiFi y Bluetooth), ofrecen una mayor accesibilidad para implementaciones de menor escala. No se requieren licencias específicas, lo que reduce los costos iniciales y la burocracia. Sin embargo, esto también puede resultar en una mayor posibilidad de interferencias debido a la falta de regulación directa.

Si la prioridad es ofrecer una conectividad sólida y confiable para los huéspedes, es posible que la opción de una banda con licencia ofrece una mayor garantía de rendimiento. Sin embargo, como buscamos una implementación más ágil y económica, una banda sin licencia es la alternativa que escogeremos, aunque con ciertas limitaciones en términos de calidad y confiabilidad.

#### 3.4.4. *Elección de los equipos*

La elección de un proveedor adecuado para los equipos es un paso crítico en el proceso de diseño e implementación de una red WiMAX. Después de considerar varios fabricantes líderes en la industria, incluyendo Motorola, Airspan, Samsung, Redline Communications, entre otros, hemos decidido seleccionar Albentia Systems como nuestro proveedor.

Albentia Systems es una compañía nacional con un sólido historial en el desarrollo y suministro de soluciones de comunicación inalámbrica. La empresa se ha destacado por su enfoque en la innovación y la calidad de sus productos, lo que la convierte en una opción confiable para satisfacer nuestras necesidades en este proyecto de implementar una red WiMAX.

Lo que realmente diferencia a Albentia Systems es su compromiso con el mercado nacional, lo cual facilita la comunicación directa y la colaboración eficiente. Su capacidad para proporcionar catálogos detallados y la disposición para mantener un contacto con nosotros son aspectos valiosos que agilizarán el proceso de selección y adquisición de equipos. Poniéndonos en contacto con ellos logramos conseguir los catálogos más actualizados y sus precios.

Albentia Systems ha demostrado ser un proveedor capaz de ofrecer soluciones personalizadas y adaptables a nuestras necesidades específicas, lo que es esencial en el diseño de una red WiMAX para brindar cobertura de banda ancha en un entorno rural en España, como abordamos con este TFG.

### 3.4.4.1. Estación Base AXS-BS-450-N

Hemos elegido la estación base AXS-BS-450-N por sus características que muestro a continuación:



Figura 10: Estación Base AXS-BS-450-N

PARÁMETROS RADIO	
Banda de trabajo	4900-5875MHz
Salto de canal	1MHz
Capacidad neta agregada	140 Mbps
Ancho de canal	10 / 7 / 5 / 3.5 / 1.75 MHz
Portadoras radio independientes	4
Eficiencia espectral neta	3,5bps/Hz
Sensibilidad BPSK	-92 dBm @ 10MHz -99 dBm @ 1.75MHz
Sensibilidad 64QAM	-74 dBm @ 10MHz -82 dBm @ 1.75MHz
Máx. potencia de Tx	23 dBm por canal / 29 dBm total
Antena	4 conectores N para antena externa
Modulación	OFDM de 256 portadoras
Mod. subportadora	Adaptativa BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM (7 niveles diferentes con combinación FEC)
FEC	Si, Reed-Solomon concatenado con código convolucional
DFS	Si
Analizador de espectros	Si, inteligente
Downlink/Uplink	Desde 12% hasta 95%
Acceso al medio	TDMA sincrónico con implementación hardware
Técnica duplexación	TDD (Time Domain Duplexing)
Sincronismo TDD	GPS integrado

Figura 11: Tabla parámetros Estación Base

### 3.4.4.2. Repetidor RTP-58

Hemos elegido el repetidor RTP-58 por sus características que muestro a continuación:



Figura 12: Repetidor RTP-58

#### Radio

<b>Banda de frecuencia</b>	5725-5875 MHz (ETSI)		
<b>Modulación</b>	OFDM IEEE 802.16-2012 - 256 subportadoras, prefijo cíclico 1/4, 1/8, 1/16 ó 1/32		
<b>Ancho de banda de canal soportado</b>	1.75, 3.5, 7 y 10 MHz		
<b>Modulación adaptativa</b>	BPSK, QPSK, 16QAM and 64QAM		
<b>Tasas de código FEC</b>	1/2, 2/3 y 3/4 Reed-Solomon concatenado y Viterbi		
<b>Máxima potencia de salida</b>	+26 dBm		
<b>Máxima ganancia del repetidor</b>	120 dB		
<b>Control de potencia de transmisión</b>	> 40 dB		
<b>Modo de duplexado</b>	TDD (Time Division Duplexing)		
<b>Degradación EVM</b>	< -30 dBc		
<b>Selección dinámica de frecuencia</b>	Sí		
<b>Antena</b>	2 Conectores N para antenas externas		
<b>Parámetros RF</b>	<b>Modulación</b>	<b>Sensibilidad (1.75 MHz)</b>	<b>Sensibilidad (10 MHz)</b>
	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 13: Tabla parámetros Repetidor

### 3.4.4.3. Terminal de Usuario AXS-CPE450-15

Hemos elegido el terminal AXS- CPE450-15 por sus características que muestro a continuación:



Figura 14: Terminal de Usuario AXS-CPE450-15

PARÁMETROS RADIO	
Banda de trabajo	4900-5875MHz
Salto de canal	1MHz
Capacidad neta agregada	140Mbps DL / 70Mbps UL
Ancho de canal	10 / 7 / 5 / 3.5 / 1.75 MHz
Eficiencia espectral neta	3.5bps/Hz
Sensibilidad BPSK	-91dBm @ 10MHz -98dBm @ 1.75MHz
Sensibilidad 64QAM	-75dBm @ 10MHz -81dBm @ 1.75MHz
Máx. potencia de Tx	23dBm
Antena	15dBi integrada 30° (H) / 25° (V)
Modulación	Carrier Aggregation de OFDM de 256 portadoras
Mod. subportadora	Adaptativa BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM (7 niveles diferentes con combinación FEC)
FEC	Sí, Reed-Solomon concatenado con código convolucional
DFS	Sí
Downlink/Uplink	Desde 12% hasta 95%
Acceso al medio	TDMA síncrono con implementación hardware
Técnica duplexación	TDD (Time Domain Duplexing)

Figura 15: Tabla parámetros Terminal de Usuario

## 3.5. Diseño de la red WiMAX con Radio mobile

### 3.5.1. NLOS y LOS

WiMAX ha sido presentado como una tecnología capaz de operar en condiciones NLOS (sin línea de visión directa), lo que, en teoría, la convierte en un sistema altamente efectivo. Sin embargo, al adentrarnos en la fase de diseño práctico y atendiendo a las regulaciones del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, se nos presenta una limitación crucial: no es posible transmitir con potencias que excedan los 20 dBm (0,1 W).

Esta restricción tiene un impacto significativo en nuestras expectativas. Aunque los equipos disponibles en el mercado podrían ofrecer cobertura al aumentar la potencia de transmisión, no podemos asegurar con certeza que esta acción garantizará una cobertura óptima dentro de los límites de potencia permitidos. Por lo tanto, nos vemos en la necesidad de enfocarnos en la implementación de estaciones LOS (línea de visión directa), las cuales, a pesar de las limitaciones, son más idóneas para lograr la calidad de cobertura requerida.

Este enfoque nos permite abordar de manera efectiva los desafíos que surgen debido a las regulaciones sobre la potencia de transmisión, asegurando una conectividad confiable y efectiva para nuestro proyecto. La selección de estaciones LOS, con línea de visión directa, se convierte en un componente esencial para alcanzar los objetivos de cobertura en la implementación de nuestra red WiMAX.

### 3.5.2. Ubicaciones de los equipos

#### 3.5.2.1. *Ubicación Estación Base (BS)*

Seleccionar la ubicación adecuada para la estación base es un paso importante en el proceso de diseño de nuestra red WiMAX. Diversos factores, que van desde el relieve topográfico hasta la infraestructura disponible, juegan un papel fundamental en esta elección estratégica. En nuestro caso, queremos brindar conectividad de banda ancha a las viviendas y al hotel rural, por lo que el lugar de instalación debe ser meticulosamente evaluado para asegurar, en ambos casos, una cobertura eficiente y confiable.

Respecto al hotel, la proximidad a la población más cercana, La Barraca d'Aigües Vives, es un factor determinante. Esto no solo maximiza la cobertura hacia el hotel, sino que también puede optimizar la disponibilidad de señal para los usuarios en esa área que nos permitirá ofrecer servicio al núcleo del pueblo. Aunque consideramos la posibilidad de utilizar la infraestructura de una antena de telefonía móvil cercana (anteriormente se ha determinado la existencia de varias antenas de Movistar y otros operadores, según se ha comentado), hemos decidido ubicar la estación base en el ayuntamiento, donde suponemos que nos llega una fibra donde empezará la red WiMax para poder ofrecer el servicio de acceso de banda ancha rural.

El ayuntamiento se presenta como una ubicación estratégica. Además de su posición central en relación con el hotel y la población, nos brinda la posibilidad de instalar un mástil para la estación base. Esta elección no solo cumple con la normativa, sino que también asegura una línea de visión directa y, potencialmente, minimiza obstáculos que podrían afectar la calidad de la señal.

<b>Tipo de dispositivo</b>	Estación Base
<b>Localidad</b>	La Barraca d'Aigües Vives
<b>Coordenadas</b>	39° 6' 0.49" N 0° 22' 16.6" W
<b>Ubicación</b>	C/ Barranc de la Falsia, 14
<b>Infraestructura de colocación</b>	Ayuntamiento
<b>Precio</b>	1429,00 €

Figura 16: Tabla ubicación estación Base

La elección de una antena omnidireccional para la estación base es una decisión estratégica que simplifica significativamente el diseño de la red, especialmente cuando se busca brindar cobertura a un área relativamente pequeña y específica, como un núcleo rural y un hotel en sus cercanías. Esta elección elimina la necesidad de realizar cálculos detallados para cada uno de los sectores y reduce la complejidad del despliegue.

Dado que nuestro objetivo principal es brindar conectividad de banda ancha al hotel rural y sus alrededores, con una antena omnidireccional ubicada estratégicamente en el ayuntamiento, podemos lograr una cobertura uniforme y confiable en todas las direcciones. Esto simplifica la planificación y el diseño de la red WiMAX, lo que resulta en un despliegue más eficiente y efectivo.

### 3.5.2.2. Ubicación Terminales de Usuario (CPE)

<b>Tipo de dispositivo</b>	Terminales de Usuario
<b>Localidad</b>	La Barraca d'Aigües Vives
<b>Coordenadas</b>	39° 5' 1" N 0° 21' 21" W
<b>Ubicación</b>	C/ Barranc de la Falsia, 14
<b>Infraestructura de colocación</b>	Hotel
<b>Precio</b>	98,08 €

Figura 17: Tabla ubicación Terminales de Usuario

### 3.5.3. Topología de red WiMAX

Existen distintos escenarios y topologías para una red WiMAX, y la elección depende de los objetivos y requisitos específicos que busquemos.

#### 1. Escenario con Línea de Visión Directa (LOS):

- En este escenario, la estación base y los CPEs (terminales de usuario) tienen una línea de visión directa y clara entre ellos.

- La señal puede transmitirse de manera eficiente sin obstáculos significativos, lo que permite una mejor calidad de la conexión y un mayor alcance.

- Los CPEs pueden ser ubicados en lugares más elevados, como techos, para mejorar aún más la línea de visión.

- Este escenario es ideal cuando se puede garantizar una visión directa sin obstáculos, como en áreas abiertas o planas.

#### 2. Escenario sin Línea de Visión Directa (NLOS):

- En este escenario, existen obstáculos significativos entre la estación base y los CPEs, como edificios, árboles u otras estructuras.

- La señal puede reflejarse o difractarse alrededor de los obstáculos, pero la calidad de la conexión puede verse afectada.

- Se pueden requerir repetidores o antenas adicionales para superar los obstáculos y mejorar la calidad de la señal en áreas NLOS.

- Este escenario es común en entornos urbanos o montañosos donde los obstáculos son frecuentes.

A continuación, calcularemos la cobertura y valoraremos que escenario escoger y la posibilidad de incluir un repetidor para superar los obstáculos montañosos que se nos podrían presentar.

#### 3.5.3.1. Cálculo de cobertura

Cuando te enfrentas a un problema de cobertura en tu red WiMAX, existen dos enfoques principales que puedes considerar para resolverlo.

##### Enfoque 1: Se instalan dos Estaciones Base con conexión punto a punto

En este escenario, se colocarían dos estaciones base en ubicaciones estratégicas, una en el ayuntamiento, y otra en un lugar que tenga una línea de visión directa con la primera estación base y que permita cubrir el hotel. Estas dos estaciones

base se conectan mediante una conexión punto a punto, como enlaces inalámbricos de alta capacidad. La estación base más lejana al hotel proporciona cobertura local, mientras que la segunda estación base actúa como un puente para llevar la señal al hotel sin obstáculos.

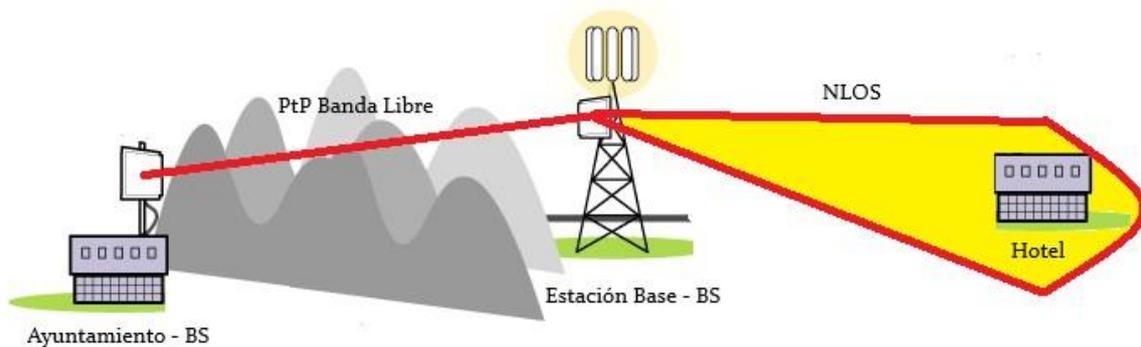


Figura 18: Escenario con dos Estaciones Base

### Enfoque 2: Instalación de un Repetidor

En lugar de usar dos estaciones base, se puede instalar un repetidor en una ubicación intermedia estratégica, como una colina o una estructura alta. El repetidor recibe la señal de la estación base principal y la amplifica antes de retransmitirla al hotel rural. Esta configuración elimina la necesidad de una conexión punto a punto y proporciona una solución más sencilla.

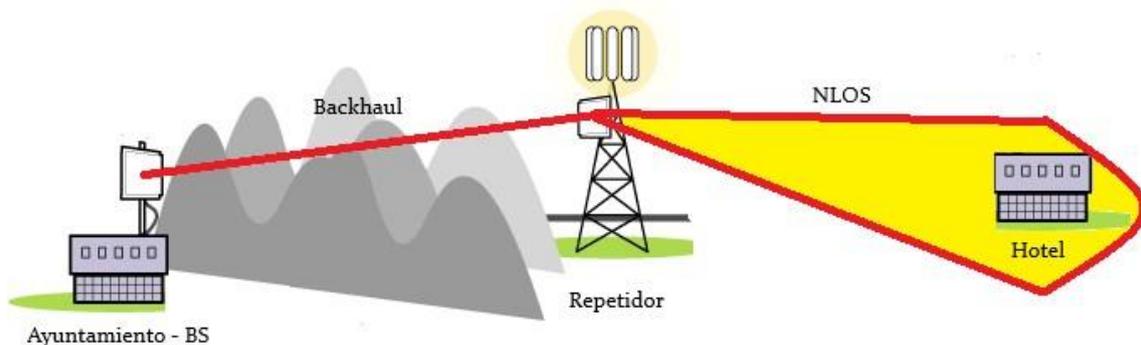


Figura 19: Escenario con Estación Base y Repetidor

A continuación, simularemos la cobertura que ofrece la estación base con Radio Mobile para observar como se comporta, y si nos cubre el pueblo y si llega a cubrir el hotel.

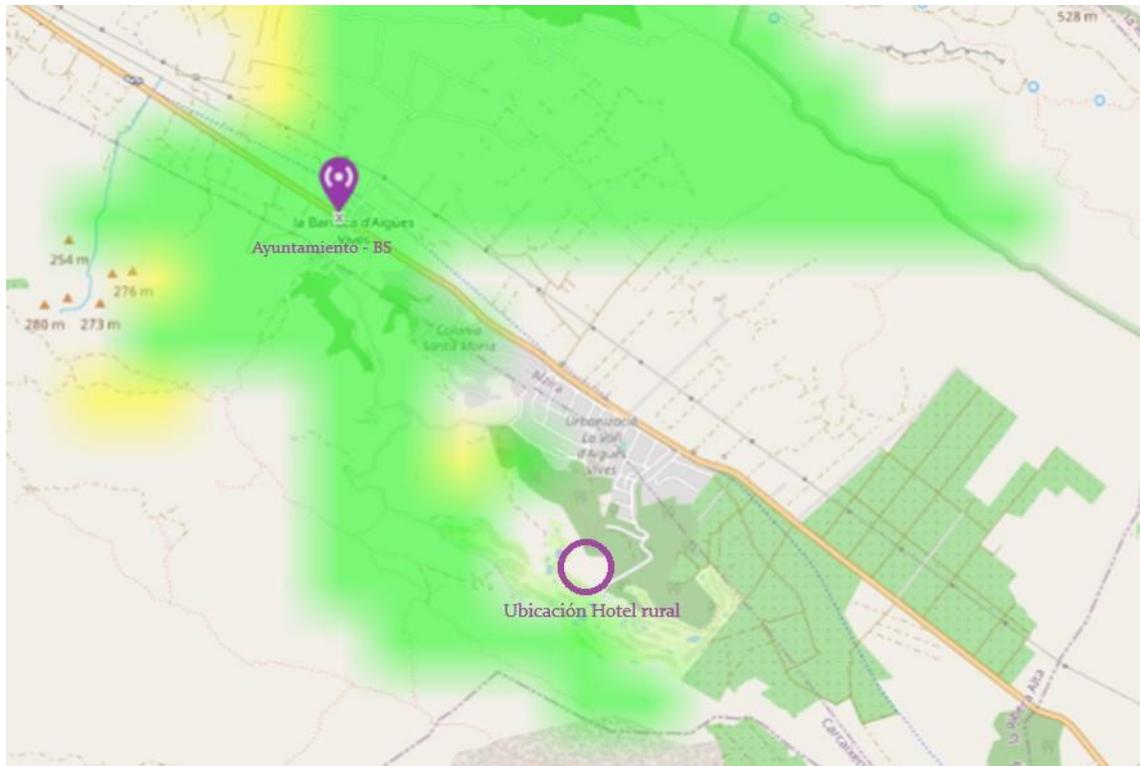


Figura 20: Mapa de cobertura Estación Base

Al analizar la cobertura obtenida con la estación base ubicada en el ayuntamiento, notamos que ofrece un amplio alcance, indicado por las áreas resaltadas en tonos verdes que reflejan una señal fuerte, abarca prácticamente toda la población de La Barraca d'Aigües, por lo que nos bastaría con la estación base. Sin embargo, hemos identificado una limitación en la cobertura en la zona de nuestro hotel debido a la presencia de obstáculos. Por lo tanto, hemos decidido abordar este desafío instalando un repetidor en un punto intermedio estratégico. Posteriormente, realizaremos un nuevo análisis de cobertura para evaluar los resultados obtenidos.

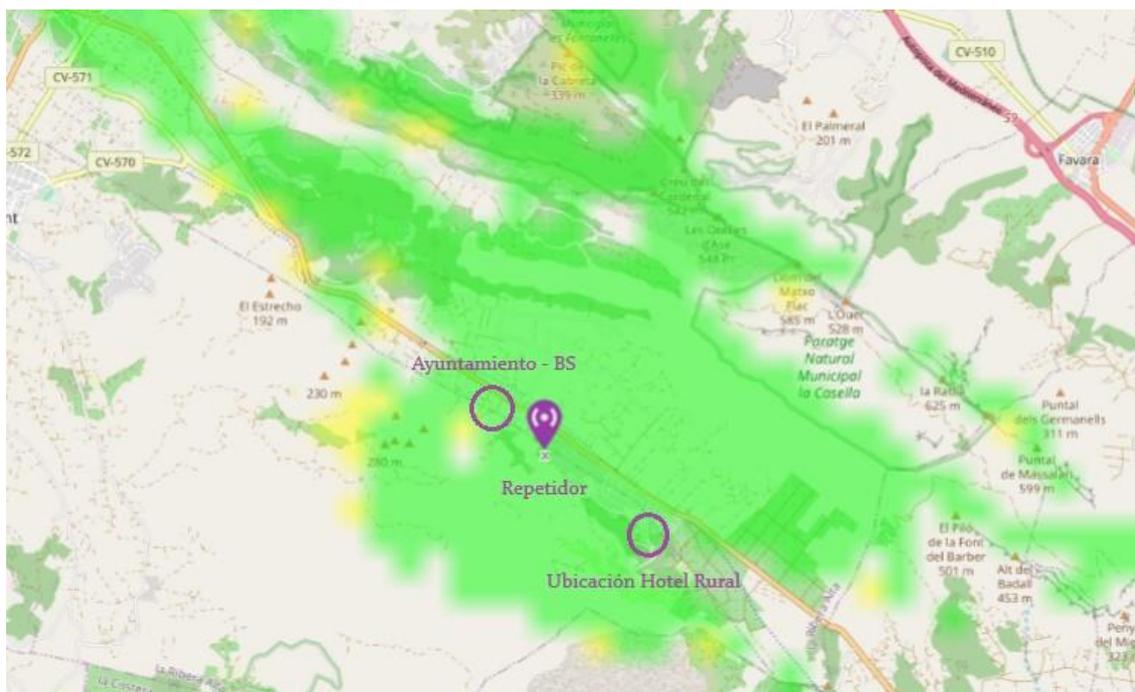


Figura 21: Mapa de cobertura Repetidor

Al realizar el segundo cálculo de cobertura desde el repetidor que hemos posicionado estratégicamente en una colina entre ambos puntos, hemos notado una mejora significativa en el rango de cobertura. Ahora, la señal abarca de manera adecuada el hotel rural, lo que hace que este escenario sea la elección más apropiada. Además, esta solución no implica una complicación significativa, ya que solo requiere la instalación de un nuevo mástil con el repetidor en la zona seleccionada.

<b>Tipo de dispositivo</b>	Repetidor
<b>Localidad</b>	La Barraca d'Aigües Vives
<b>Coordenadas</b>	39° 5' 42" N 0° 22' 2.97" W
<b>Ubicación</b>	Colina a 155 metros de altura
<b>Infraestructura de colocación</b>	Torre 20 metros
<b>Precio</b>	499,00 €

Figura 22: Tabla ubicación Repetidor

A continuación, veremos los aspectos que debemos considerar para tomar una decisión entre uno u otro enfoque.

- **Costos:** La instalación de dos estaciones base y una conexión punto a punto puede ser más costosa que la instalación de un solo repetidor.
- **Simplicidad:** La instalación de un repetidor es generalmente más simple y rápida en comparación con la configuración de dos estaciones base y una conexión punto a punto.
- **Redundancia:** Tener dos estaciones base proporciona una mayor redundancia y resistencia a fallos, ya que, si una estación falla, la otra puede seguir proporcionando cobertura.

- Eficiencia Espectral: La conexión punto a punto entre dos estaciones base puede utilizar un ancho de banda adicional, lo que podría ser beneficioso en términos de capacidad y rendimiento.

En vista de que la instalación de un repetidor resulta más sencilla y económica, hemos optado por esta opción para resolver nuestros desafíos de cobertura.

### 3.5.3.2. Cálculo de los radioenlaces

Vamos a llevar a cabo las pruebas de radioenlace para verificar la existencia de línea de visión directa y para asegurarnos de que la potencia es adecuada para brindar el servicio. Realizaremos los radioenlaces en dos etapas: primero, entre la estación base y el repetidor, y luego entre el repetidor y el hotel rural.

#### Radioenlace Estación Base – Repetidor

De	Ayuntamiento Barraca Aigues Vives	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	20	65.62 ft
A	repetidor	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	20	65.62 ft
Descripción	Estudio del radio enlace 1**	
Frecuencia (MHz)	5875	
Potencia Tx(Watts)	0.1997	23.00 dBm
Pérdida de la línea Tx (dB)	0.5	
Ganancia de la antena Tx (dBi)	15.6	
Ganancia de la antena Rx (dBi)	22.2	
Pérdida de la línea Rx (dB)	0.5	
Sensibilidad Rx ( $\mu$ V)	56.21	-72.00 dBm
Fiabilidad requerida (%)	70	

Figura 23: Datos radioenlace BS-RTP

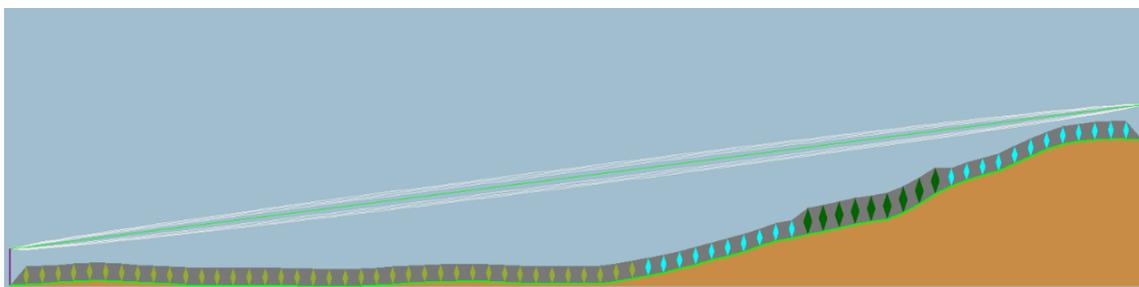


Figura 24: Radioenlace BS-RTP

Diseño y despliegue de una red WiMAX para entornos rurales en núcleos de población dispersos en el interior de la Comunidad Valenciana

Ayuntamiento Barraca Aigües Vives (1)		(2) repetidor	
Latitud	39.100138 °	Latitud	39.094577 °
Longitud	-0.371209 °	Longitud	-0.367225 °
Elevación del terreno	79.5 m	Elevación del terreno	160.8 m
Altura de la antena	20.0 m	Altura de la antena	20.0 m
Azimuth	150.93 TN   150.31 MG °	Azimuth	330.93 TN   330.31 MG °
Inclinación	6.53 °	Inclinación	-6.56 °
<b>Sistema de radio</b>		<b>Propagación</b>	
Potencia TX	23.00 dBm	Pérdida en espacio libre	104.83 dB
Pérdida en cable TX	0.50 dB	Pérdida por obstrucción	-0.51 dB
Ganancia de antena TX	15.60 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	22.20 dBi	Pérdida por urbanización	0.00 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	6.71 dB
Sensibilidad RX	-72.00 dBm	Pérdida total	111.03 dB
<b>Performance</b>			
Distance			0.708 km
Precisión			10.0 m
Frecuencia			5875.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente			6.462 W
Ganancia del sistema			131.81 dB
Fiabilidad requerida			70.000 %
Señ recibida			-51.23 dBm
Señ recibida			614.55 µV
Márgen de escucha			20.77 dB

Figura 25: Resultados radioenlace BS-RTP

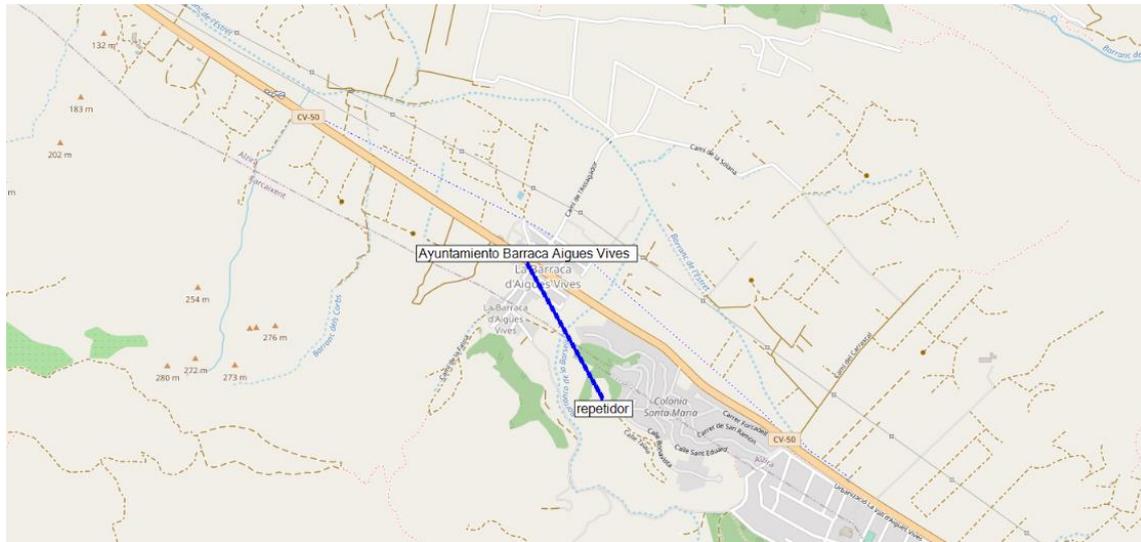


Figura 26: Ubicación radioenlace BS-RTP

Radioenlace Repetidor – Hotel Rural (Resort “La Galiana”)

De	repetidor	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	20	65.62 ft
A	resort la galiana	
Altura de la antena (m sobre el suelo)	30	98.43 ft
Descripción	Estudio del radio enlace 2**	
Frecuencia (MHz)	5875	
Potencia Tx(Watts)	0.3981	26.00 dBm
Pérdida de la línea Tx (dB)	0.5	
Ganancia de la antena Tx (dBi)	22.2	
Ganancia de la antena Rx (dBi)	15	
Pérdida de la línea Rx (dB)	0.5	
Sensibilidad Rx (µV)	39.8	-75.00 dBm
Fiabilidad requerida (%)	70	

Figura 27: Datos radioenlace RTP-CPE

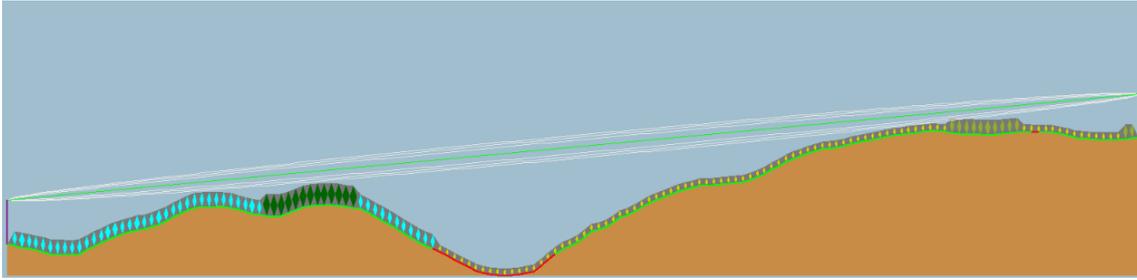


Figura 28: Radioenlace RTP-CPE

repetidor (1)		(2) resort la galiàna	
Latitud	39.094577°	Latitud	39.083557°
Longitud	-0.367225°	Longitud	-0.355880°
Elevación del terreno	160.8 m	Elevación del terreno	232.7 m
Altura de la antena	20.0 m	Altura de la antena	30.0 m
Azimuth	141.37 TN   140.75 MG°	Azimuth	321.38 TN   320.75 MG°
Inclinación	2.98°	Inclinación	-3.00°
Sistema de radio		Propagation	
Potencia TX	26.00 dBm	Pérdida en espacio libre	111.70 dB
Pérdida en cable TX	0.50 dB	Pérdida por obstrucción	-5.88 dB
Ganancia de antena TX	22.20 dBi	Pérdida por bosque	0.00 dB
Ganancia de antena RX	15.00 dBi	Pérdida por urbanización	1.42 dB
Pérdida en cable RX	0.50 dB	Pérdida estadística	6.69 dB
Sensibilidad RX	-75.00 dBm	Pérdida total	113.93 dB
Performance			
Distance			1.569 km
Precisión			10.0 m
Frecuencia			5875.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente			38.883 W
Ganancia del sistema			137.20 dB
Fiabilidad requerida			70.000 %
Señ recibida			-51.73 dBm
Señ recibida			580.06 µV
Márgen de escucha			23.27 dB

Figura 29: Resultados radioenlace RTP-CPE

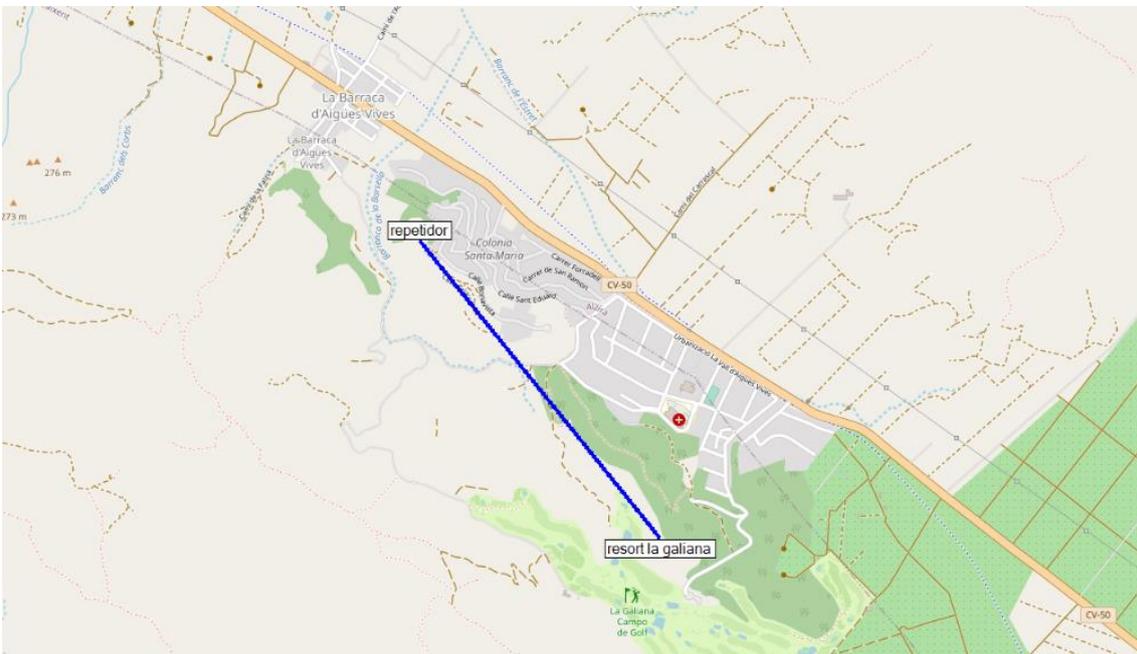


Figura 30: Ubicación radioenlace RTP-CPE

Observamos que en ambos casos existe línea de visión directa y que la potencia recibida es adecuada para el enlace. Además, el hecho de que no se muestren obstáculos y que el enlace aparezca en verde y no rojo es una señal de que tenemos un resultado exitoso.

Respecto al radioenlace entre el repetidor y el hotel rural, es comprensible que la zona boscosa pueda causar cierta obstrucción, pero es positivo que el resultado siga siendo exitoso. En este punto, considerar una mayor altura para el repetidor podría aumentar los costos, pero es poco probable que mejore significativamente el rendimiento, especialmente cuando la potencia recibida resulta ser bastante superior a la sensibilidad del receptor, como nos indica la imagen del resultado del radioenlace.

### 3.6. Despliegue de los puntos de acceso en el Hotel rural

El siguiente paso implica la creación de un esquema de posicionamiento de los puntos de acceso WiFi en las instalaciones del hotel, junto con la asignación de sus respectivos canales. Esta organización es esencial para garantizar que podamos ofrecer acceso a internet a todos los clientes del hotel de manera eficiente y efectiva.

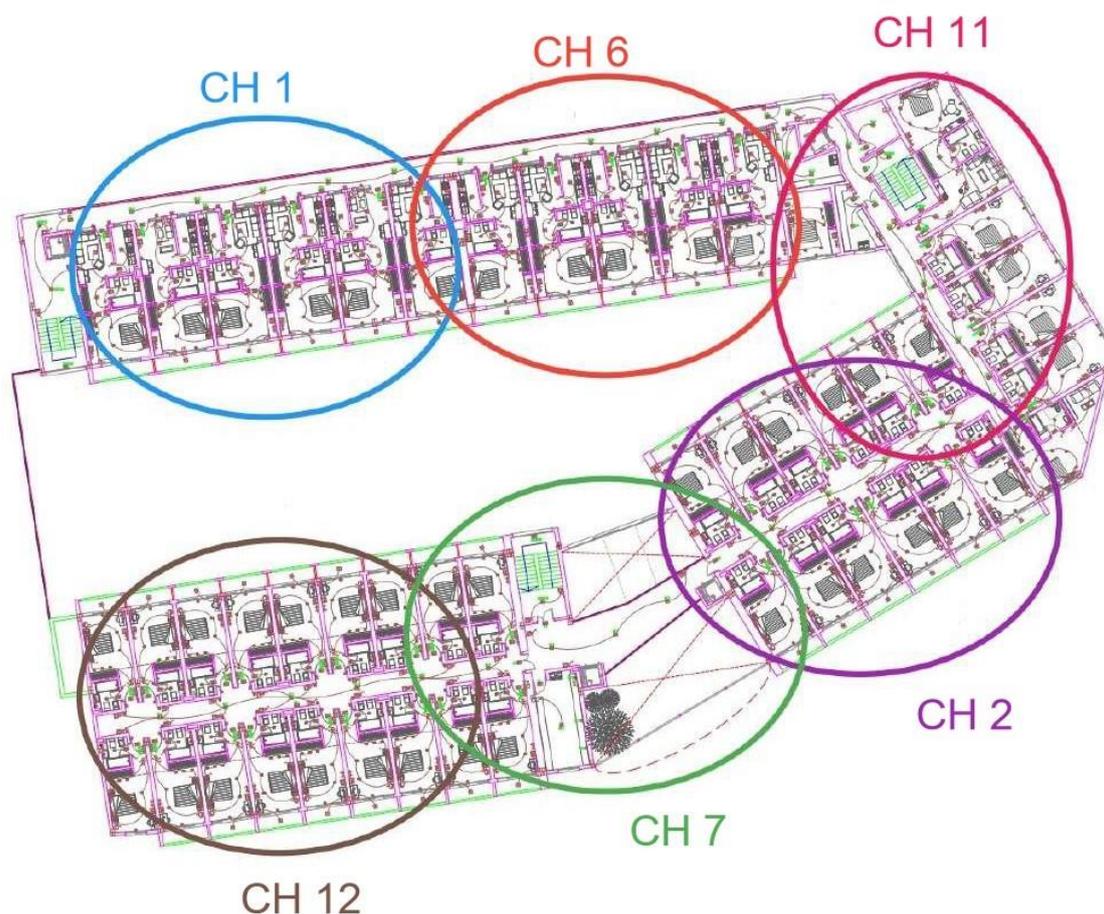


Figura 31: Esquema ubicación CPEs en Hotel Rural

Asignamos 6 AP (Access Point) con sus respectivos canales para garantizar la eficiencia del servicio y evitar la saturación con los clientes. Considerar una media de 2 personas por habitación y un uso que no supere el 60% proporciona un margen de seguridad significativo, lo que es una buena práctica en la gestión de la capacidad de la red.

En el hotel tenemos 47 habitaciones con una media de 2 clientes por habitación, nuestra red ofrece una capacidad neta de 140 Mbps, por lo que si los 94 clientes de le asignan 1 Mbps y utilizan la capacidad total del canal, se tendría un throughput total de 94 Mbps, el cual puede ser soportado por la red. Pero en realidad no podemos suponer que todos los usuarios estarán conectados simultáneamente, solo un porcentaje de los clientes lo hará, por lo tanto se cometería un fallo si se dimensionase la red con el 100% de usuarios conectados. Por lo que consideramos como máximo que el 60% de clientes estarán conectados a la vez, lo que nos da un resultado de 56 personas conectadas. Este resultado provocaría que los usuarios pudieran acceder a una mayor velocidad, a 2.5 Mbps, esa velocidad es más que suficiente para satisfacer las necesidades de los clientes de un hotel.

Esto asegura una experiencia de usuario sin problemas y eficaz, incluso si varios clientes están utilizando el servicio simultáneamente.

## 4. Análisis económico y viabilidad de la implementación de WiMAX

Hemos realizado la evaluación de la viabilidad económica del proyecto, con el propósito de proporcionar servicios de Internet de banda ancha tanto a la comunidad local como a un hotel rural.

### 4.1. Presupuesto

Para elaborar el presupuesto, tendremos en cuenta los componentes y productos que serán instalados, excluyendo los costos de mano de obra.

#### Estación Base

Concepto	Cantidad	Precio
Estación Base AXS-BS-450-N	1	1.429,00 €
Mástil 10m y elementos de sujeción	1	168,28 €
Protector de descargas eléctricas ACC-SSPOE	1	30,00 €
Cableado Ethernet	-	700,00 €
Conectores SFP ACC-SFP-FIB-01	1	19,95 €
Alimentador PoE ACC-POE57AC60-EU	1	155,50 €
<b>SUBTOTAL</b>		<b>2.502,73 €</b>

Figura 32: Tabla presupuesto Estación Base

### Repetidor

Concepto	Cantidad	Precio
Repetidor RTP-58	1	499,00 €
Torre 20 m y elementos de sujeción	1	5.233,01 €
Protector de descargas eléctricas ACC-SSPOE	1	30,00 €
Alimentador PoE MDR-20-12	1	26,37 €
<b>SUBTOTAL</b>		<b>5.788,38 €</b>

Figura 33: Tabla presupuesto Repetidor

### Terminales de Usuario

Concepto	Cantidad	Precio
Terminal de usuario AXS-CPE450-15	1	69,68 €
Alimentador PoE ACC-POE150ACP-EU	1	11,50 €
<b>SUBTOTAL</b>		<b>81,18 €</b>

Figura 34: Tabla presupuesto Terminales de usuario en Hotel

### Coste total

Concepto	Cantidad	Precio
Presupuesto Estación Base	1	2.502,73 €
Presupuesto Repetidor	1	5.788,38 €
Presupuesto Terminal de usuario	1	81,18 €
<b>SUBTOTAL</b>		<b>8.372,29 €</b>

Figura 35: Tabla presupuesto total

## 4.2. Análisis de viabilidad

Se ha estimado el coste de la instalación proyectada. A partir de aquí, antes de una implementación real sería necesario:

**Costos de Mantenimiento y Operación:** Sería necesario estimar detalladamente los costos recurrentes asociados con el mantenimiento de la red, que incluirían actualizaciones de software, reemplazo de componentes, gastos operativos como electricidad, espacio físico y personal necesario para el soporte técnico.

**Análisis de Costo-Beneficio:** Se requeriría llevar a cabo un análisis riguroso de costo-beneficio que comparara los costos totales de inversión y operación con los ingresos potenciales a lo largo de un horizonte temporal apropiado. Esto proporcionaría una evaluación precisa de la rentabilidad del proyecto.

**Subsidios y Ayudas:** Sería importante investigar la disponibilidad de programas gubernamentales, subvenciones o incentivos que pudieran reducir los costos de inversión y mejorar la viabilidad económica del proyecto.

**Competencia:** Se debería evaluar la presencia y estrategia de competidores en la zona, analizando cómo el despliegue de WiMAX se posicionaría en relación con otras tecnologías disponibles.

**Factores Ambientales y Regulatorios:** Sería fundamental asegurarse de que se cumplan todos los aspectos regulativos y medioambientales necesarios para el despliegue de la infraestructura de telecomunicaciones en la zona rural.

Basado en esta evaluación completa, se concluiría que el despliegue de WiMAX es económicamente viable.

## 5. Conclusión

Como hemos demostrado a lo largo de este despliegue de una red WiMax, queda claro que esta tecnología es altamente recomendable y efectiva para proporcionar servicios de banda ancha en áreas rurales y montañosas. Su bajo costo y su sencilla instalación la convierten en una solución óptima para llevar conectividad de alta velocidad a comunidades que de otra manera podrían carecer de acceso a Internet de calidad.

En mi opinión, España se enfrenta al desafío de más de 6500 pueblos rurales que experimentan dificultades en el acceso a Internet. Sin embargo, WiMAX emerge como una solución efectiva y rentable para superar este obstáculo. Creo firmemente que esta tecnología tiene un gran potencial para expandirse en nuestro país y resolver de manera eficiente esta problemática.

Adicionalmente, el éxodo de residentes de las zonas rurales hacia las ciudades ha llevado a que muchas empresas no vean con interés la inversión en tecnologías más costosas en estas áreas. La implementación de WiMAX, en mi perspectiva, no solo mejoraría significativamente la calidad de la conectividad, sino que también podría ser un aliciente para atraer a más personas y frenar la despoblación de nuestras áreas rurales.

En resumen, considero que WiMAX no solo responde a una necesidad existente de conectividad en las zonas rurales de España, sino que también representa una oportunidad para revitalizar y fortalecer estas comunidades, promoviendo la permanencia de sus habitantes y estimulando un mayor desarrollo económico y social.

## 6. Bibliografía

### Libros

- CASEY I. CANFIELD, ONA EGBUE, JACOB HALE & SUZANNA LONG: Opportunities and challenges for rural broadband infrastructure investment [https://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1809&context=engman\\_syseng\\_facwork](https://scholarsmine.mst.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1809&context=engman_syseng_facwork)
- SA Ahson & M Ilyas WIMAX: APPLICATIONS [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ERgx6zIzAmQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=wimax+rural&ots=I2dmPP\\_1fF&sig=WZS70RdZDkeQ-65d\\_mpPYFdwZ6U#v=onepage&q=wimax%20rural&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ERgx6zIzAmQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=wimax+rural&ots=I2dmPP_1fF&sig=WZS70RdZDkeQ-65d_mpPYFdwZ6U#v=onepage&q=wimax%20rural&f=false)
- 

### Páginas Web

- ALBENTIA SYSTEM: <https://www.albentia.com/arba-access/>
- ANTENAS GSM: <https://antenasgsm.com>
- IEEE 802.11TM WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS: <https://www.ieee802.org/11/>
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO (INFOANTENAS): <https://geoportal.minetur.gob.es/VCTEL/vcne.do>
- RADIO MOBILE: <https://www.ve2dbe.com/rmonline/login.asp>
- TELEQUISMO: <https://www.telequismo.com/2012/03/wimax-en-banda-libre-existe.html/>
- XIRIO ONLINE: <https://www.xirio-online.com/web/home/welcome.aspx>