



ALBU.NET, caminando hacia el presente. Plan de convergencia de tecnologías para las localidades de Albudeite y Campos del Río.

José Antonio Solís Ruiz

Grado en Tecnologías de Telecomunicación, mención en Ingeniería Telemática.

Integración de Redes Telemáticas

Consultor: José López Vicario

Profesor Responsable: Pere Tusot Peiró

Fecha de entrega: 07/01/2018

Agradecimientos

A mi familia, que siempre ha sido un apoyo incondicional.

Mis compañeros de estudios, maestros y profesores, compañeros de trabajo (presentes y pasados), amigos, músicos y los que nunca han creído que esto pudiera pasar, todos han contribuido a que este proyecto llegue a su fin.

D. Arturo Prieto, que siempre ha sido un modelo a seguir y me ha enseñado que se superan todos los obstáculos si se pone el suficiente empeño.

Mis dos hijas, fuentes de sabiduría y de dolor de cabeza, pero una satisfacción continua. Vosotras me entendéis... Y tú, por que sin ti ésto no hubiera sido posible ni tendría sentido alguno.

© José Antonio Solís Ruiz

Reservats tots els drets. Està prohibit la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol mitjà o procediment, compresos la impressió, la reprografia, el microfilm, el tractament informàtic o qualsevol altre sistema, així com la distribució d'exemplars mitjançant lloguer i préstec, sense l'autorització escrita de l'autor o dels límits que autoritzi la Llei de Propietat Intel·lectual.

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	<i>ALBU.NET, caminando hacia el presente. Plan de convergencia de tecnologías para las localidades de Albudeite y Campos del Río.</i>
Nom de l'autor:	<i>José Antonio Solís Ruiz</i>
Nom del consultor/a:	<i>José López Vicario</i>
Nom del PRA:	<i>Pere Tusot Peiró</i>
Data de lliurament (mm/aaaa):	<i>01/2018</i>
Titulació o programa:	<i>Grado en Tecnologías de Telecomunicación, mención en Ingeniería Telemática.</i>
Àrea del Treball Final:	<i>Integración de redes telemáticas</i>
Idioma del treball:	<i>Castellano</i>
Paraules clau	<i>WIMAX, Triple-Play, consultoría</i>
Resum del Treball	
<p>La finalitat del present Treball és servir de Pla de Consultoria a un Ajuntament per començar a prestar serveis d'operador i poder oferir als seus conciutadans d'una oferta Triple Play en els seus domicilis, que pot estar disponible gràcies a una combinació de tecnologies sobre la qual destaca WIMAX per a la distribució, ja que les petites poblacions no disposen d'una bona oferta d'aquests serveis.</p> <p>Aquest treball d'assessorament pretén preparar a una administració local per dur a terme aquests processos, el que cobra una importància radical per institucions que no compten amb personal qualificat en aquestes àrees, fent complir el principi d'igualtat i transparència que ha de regir tot el procés administratiu.</p> <p>Passant per la informació necessària per a la creació empresarial, es realitza un estudi expositiu de les característiques, condicionants i requisits de la xarxa, presentant un equipament tipus per a la instal·lació de la mateixa. A més es realitza un estudi de cobertura per determinar la viabilitat de la xarxa acompanyat d'un mètode que permeti comprovar els resultats que aporti l'empresa instal·ladora, a més d'un pla econòmic i temporal de contrast.</p>	

Es dissenya, doncs, una xarxa econòmica, escalable, que dota d'aquests serveis i compleix amb els requisits previs en cadascuna de les seves àrees, a més d'una eina útil i necessària per dur a terme aquest desplegament per part de les administracions.

Abstract

The purpose of this work is to serve as a consultancy plan for Local Governments to begin to provide operator services and to be able to offer to their fellow citizens a Triple Play service in their homes; which may be available through a combination of technologies, on which stands out WIMAX for distribution, since small populations do not have a good supply of these.

This advice work aims to prepare a Local Administration to carry out these processes of radical importance for institutions that do not have qualified personnel in these areas, enforcing the principle of equality and transparency, which should govern the administrative work.

In addition to the information required for the creation of the company, an expository study of the characteristics has shown, the conditions and requirements of the network, presenting example equipment for its implementation. It also exhibits a study of coverage to determine the viability of the network together with a method allowing to check the results that present the installation company, as well as an economic and temporal contrast plan.

Arises, therefore a network cheap, scalable, that provides these services and complies with the prerequisites in each of its areas, in addition to a useful tool and necessary to carry out this deployment by the administrations.

Índice

1. Introducción.....	1
1.1 Contexto y justificación del Trabajo.....	1
1.2 Objetivos del Trabajo.....	3
1.3 Enfoque y metodología.....	3
1.4 Planificación del Trabajo.....	4
1.5 Sumario de los productos obtenidos.....	4
1.6 Descripción del resto de capítulos de la memoria.....	7
2. Alcance.....	8
3. Definición del proyecto.....	8
3.1 Situación Actual.....	9
3.1.1 Tecnologías basadas en ADSL.....	9
3.1.2 Conectividad 4G.....	9
3.1.3 WIMAX como red de transporte.....	10
3.2 Solución adoptada.....	10
3.3 Utilidad.....	11
3.4 Usabilidad.....	12
4. ALBU.NET Caminando hacia el presente.....	12
4.1 Condicionantes.....	12
4.2 Documentación.....	13
4.3 Plazos.....	14
5. Plan de consultoría.....	14
5.1 Estructura.....	15
5.1.1 Descripción de la tecnología WIMAX.....	15
5.1.2 El servicio IPTV.....	18
5.1.3 VoIP, voz sobre IP.....	18
5.1.4 Diseño funcional de la red.....	19
5.1.5 Diseño físico de la red.....	21
5.1.6 Servicios ofertados.....	22
5.2 Memoria técnica.....	23
5.2.1 Introducción.....	23
5.2.2 Requisitos técnicos de nivel funcional.....	24
5.2.3 Requisitos técnicos de nivel físico.....	30
5.2.4 Requisitos de equipamiento.....	37
5.2.5 Requisitos de seguridad.....	41
5.2.6 Requisitos de mantenimiento.....	44
5.3 Estudio de cobertura.....	44
5.3.1 Requisitos previos.....	45
5.3.2 Procedimiento.....	46
5.3.3 Radioenlaces.....	46
5.3.4 Estación Base de Albudeite.....	48
5.3.5 Estación Base de Campos del Rio.....	52
5.3.6 Resultados obtenidos.....	54
5.4 Comprobación de resultados.....	55
5.4.1 Nivel Funcional.....	55

5.4.2 Nivel físico.....	58
5.4.3 Comprobaciones de seguridad.....	60
5.5 Planificación.....	60
5.5.1 Hitos.....	61
5.5.2 Evolución temporal.....	61
5.5.3 Conclusiones.....	63
5.6 Valoración económica.....	63
5.6.1 Inversión.....	64
5.6.2 Ingresos y gastos.....	64
5.6.3 Resultados.....	66
6. Trabajos Futuros.....	67
7. Conclusiones.....	68
8. Glosario.....	70
9. Bibliografía.....	71
10. Anexos.....	73
ANEXO I – Requisitos mínimos.....	73
ANEXO II - Plan de contingencias.....	75
ANEXO III – Plan de Mantenimiento.....	76

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Situación de Albudeite y Campos del Rio.....	1
Ilustración 2: Diagrama de Gantt.....	5
Ilustración 3: Planificación desglosada.....	6
Ilustración 4: Pérdidas ADSL.....	9
Ilustración 5: Despliegue WIMAX.....	11
Ilustración 6: Distribución WIMAX.....	11
Ilustración 7: Logotipo.....	12
Ilustración 8: Esquema típico de red WIMAX.....	16
Ilustración 9: Esquema de red LAN de suscriptor.....	17
Ilustración 10: OFDMA en WIMAX.....	17
Ilustración 11: IPTV.....	18
Ilustración 12: VOIP.....	19
Ilustración 13: Diagrama funcional.....	19
Ilustración 14: Diseño modular.....	20
Ilustración 15: Esquema físico.....	21
Ilustración 16: TCP/IP.....	25
Ilustración 17: Comunicación TCP/IP.....	26
Ilustración 18: Máscara de red.....	27
Ilustración 19: Enrutamiento IP.....	29
Ilustración 20: Representación Zona de Fresnel.....	31
Ilustración 21: Torre arriostrada.....	32
Ilustración 22: Radioenlaces.....	32
Ilustración 23: Enlace radio primer vano.....	33
Ilustración 24: Segundo vano de radioenlace.....	34
Ilustración 25: Mapa de vientos (IDAE).....	34
Ilustración 26: Torre autosoportada.....	35
Ilustración 27: Modelo instalación torre.....	35
Ilustración 28: Caseta monobloque.....	35
Ilustración 29: Diagrama eléctrico.....	36
Ilustración 30: Esquema de Estación Base.....	36
Ilustración 31: Router NOKIA 7750 SR.....	37
Ilustración 32: Firewall.....	37
Ilustración 33: Rack 19".....	38
Ilustración 34: SAI.....	38
Ilustración 35: radioenlace.....	39
Ilustración 36: Router HPE.....	39
Ilustración 37: Estación base.....	40
Ilustración 38: Antena WIMAX.....	41
Ilustración 39: Sectorización EB.....	41
Ilustración 40: Descripción IPsec (Modo Túnel).....	42
Ilustración 41: Seguridad de la información.....	43
Ilustración 42: Elementos de seguridad física.....	43
Ilustración 43: Radio Mobile.....	44
Ilustración 44: Red de radio.....	46
Ilustración 45: Configuración radioenlaces Radio Mobile.....	46
Ilustración 46: Primer vano de radioenlace.....	47

Ilustración 47: Segundo vano de radioenlace.....	47
Ilustración 48: Tabla de sensibilidades Airfiber.....	48
Ilustración 49: Detalle ubicacion Estación Base.....	48
Ilustración 50: Patrón Anena WIMAX.....	49
Ilustración 51: Ejemplo enlace radio Estación Base - Receptor.....	49
Ilustración 52: Simulaciones EB Albudeite.....	50
Ilustración 53: Propagación para la EB de Albudeite a 15 metros de altura.....	51
Ilustración 54: Detalle ubicación Estación Base para Campos del Rio.....	51
Ilustración 55: Corte geográfico de enlace en Campos del Rio a 10 metros.....	52
Ilustración 56: Corte geográfico del enlace en Campos del Rio a 15 metros.....	52
Ilustración 57: Diagramas de radiación en Campos del Rio.	53
Ilustración 58: Gráficas de propagación de Campos del Rio a 10 metros.....	54
Ilustración 59: Analizador de espectros (Aaronia).....	58
Ilustración 60: Fibra óptica (ADSLZONE).....	59
Ilustración 61: Tipos de conectores coaxiales	59
Ilustración 62: Tareas y diagrama.....	62
Ilustración 63: Ingresos y gastos.....	66
Ilustración 64: Evolución inversión.....	67

Índice de tablas

Tabla 1: Censo de población.....	1
Tabla 2: Comparativa conectividad.....	10
Tabla 3: Conjunto de requisitos.....	24
Tabla 4: Dirección IP.....	26
Tabla 5: Características Router.....	37
Tabla 6: Capacidades Firewall.....	38
Tabla 7: Consumos cabecera.....	38
Tabla 8: Características radioenlace.....	39
Tabla 9: Router repetidores.....	39
Tabla 10: Capacidades Estación Base.....	40
Tabla 11: Requisitos previos de cobertura.....	45
Tabla 12: Capacidades de los radioenlaces.....	48
Tabla 13: Datos Estación Base.....	49
Tabla 14: Datos equipo suscriptor.....	49
Tabla 15: Conversión dBm a dBuV.....	58
Tabla 16: Cableado Cat. 6 GBE.....	59
Tabla 17: Comprobaciones de seguridad.....	60
Tabla 18: Hitos.....	61
Tabla 19: Inversión.....	64
Tabla 20: Ingresos iniciales.....	65
Tabla 21: Ingresos por cliente.....	65
Tabla 22: Evolución económica.....	65
Tabla 23: Balance de ingresos y gastos.....	66

1. Introducción

1.1 Contexto y justificación del Trabajo



Ilustración 1: Situación de Albudeite y Campos del Río

La población de Albudeite es un municipio de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia situado en el centro geográfico de la misma, a 26 Km. de su capital y a 181 metros de altitud. Cuenta con 17,6 Km² de extensión y una población de unos 1400 habitantes, que viven en su mayoría en el casco urbano de la localidad.

Orográficamente, el núcleo urbano se encuentra en una hoya con respecto al terreno circundante y su mayor vía de comunicación terrestre es la carretera RM-1, que enlaza con la autovía A-7 en unos 15 Km y da continuidad al resto de la red viaria.

	2011
TOTAL	1.346
< 9 años	151
10-44 años	682
45-64 años	259
65-99 años	254

Tabla 1: Censo de población

Aproximadamente la mitad de la población[01] se encuentra en la llamada **edad tecnológica**, comprendida entre los 10 y los 44 años de edad, que se encuentran plenamente inmersas en la sociedad de la información y el conocimiento y comprenden, además, el presente y el futuro inmediato del desarrollo demográfico de la misma.

Esta edad tecnológica tiene unas necesidades muy importantes de acceso a la red para el acercamiento a la cultura, uso de redes sociales, trámites en línea, etc... de los que no disponen en la actualidad debido a que los servicios que pueden utilizar en su población no son suficientes.

Por encima de esta edad tecnológica encontramos otro sector de población con interés, directo o indirecto, en las posibilidades que permite la banda ancha real, ya que sus necesidades, siendo diferentes, son asimismo importantes y se pueden satisfacer con la implementación de un proyecto de estas características.

Esta necesidad tan evidente es la que pretende solucionar un despliegue como el que se diseña en este documento, siendo los propios estamentos públicos los que presten este servicio garantizando de esta forma la equidad y transparencia, así como el libre acceso.

Los servicios telemáticos disponibles se pueden denominar de corte clásico, basados en par de cobre, con tecnologías ADSL y teléfono fijo, servidos desde la central telefónica más cercana en Mula, a unos 12 Km de distancia que provoca demasiada atenuación en las líneas y unos anchos de banda pobres comparados con los servicios disponibles en la actualidad para los ciudadanos de otras grandes localidades cercanas (Mula, Molina de Segura o Murcia Capital, en un radio de aproximadamente 25 Km).

En similares circunstancias se encuentra la población de Campos del Río, un poco más cercana a Murcia, conformando dos poblaciones alejadas del mundanal ruido, tanto física como telemáticamente hablando.

Mediante un **estudio técnico de consultoría** se pretende informar al Ayuntamiento de Albudeite de la posibilidad de dotar a su municipio de las infraestructuras necesarias para alcanzar la inevitable madurez tecnológica de sus convecinos, proporcionando servicios de última generación y permitiendo un desarrollo personal y posiblemente económico de mayor envergadura que genere valor para su localidad.

Con dicha infraestructura también se puede dar servicio directo en las mismas condiciones a la cercana población de Campos del Río, mejorando el ratio de retorno de la inversión, consiguiendo los mismos objetivos en esta localidad y logrando una mayor tasa de beneficios a medio plazo que permita una reinversión y mantenimiento adecuados.

Este TFG pretende ser este estudio de consultoría, con una adecuada memoria técnica que permita a las entidades la conveniente oferta pública para su posterior implementación. De esta forma se realizará el estudio de situación y coberturas, detallando los condicionantes técnicos de los equipamientos a utilizar, así como la correcta planificación y valoración económica de los trabajos, de forma que sirva de Pliego de Condiciones en un hipotético concurso para la ejecución.

El aislamiento del consultor sobre el resultado final garantiza:

- Independencia.
- Objetividad.
- Igualdad y transparencia.

Motivos por los que siempre es aconsejable realizar este informe antes de la implementación directa

También se pretende realizar el estudio legal de los condicionantes y plazos para la constitución de las posibles empresas públicas que intervengan en el proceso y el adecuado asesoramiento en base al ordenamiento jurídico, basado en la vigente Ley General de Telecomunicaciones.

1.2 Objetivos del Trabajo

Los objetivos concretos del trabajo serían los siguientes:

- **Dotar a una pequeña población de servicios de banda ancha** que permita el acceso de sus vecinos a los servicios de los que se dispone en los grandes núcleos de población.
- **Sentar las bases que permitan una inmersión tecnológica** adecuada y escalable para permitir alcanzar un mejor desarrollo cultural y personal, acorde a la época actual.
- **Proporcionar a los estamentos públicos de las herramientas** que permitan alcanzar los objetivos anteriores.
- **Preparar los pliegos** necesarios para la constitución de un operador público.
- **Realizar un plan de consultoría** que sirva de pliego de condiciones para una posterior subasta pública de ejecución de trabajos.

1.3 Enfoque y metodología

Con objeto de solucionar los problemas planteados y alcanzar los objetivos propuestos se puede optar por dos estrategias básicas: presentar un proyecto comercial para implementar y gestionar, o proporcionar a las administraciones las herramientas necesarias para que contraten a empresas que realicen los concursos públicos y las empresas concurren en igualdad de condiciones.

Las diversas legislaciones económicas y fiscales hacen tender a las administraciones a crear procedimientos homogéneos, lo que obliga a realizar un concurso público en el que, atendiendo a procedimientos de contratación del sector público[02] deben proporcionar procedimientos con ciertas garantías de igualdad y transparencia que garanticen que las adjudicaciones se realizan de una manera adecuada.

El hecho de realizar una memoria técnica[03] equipara las posibilidades de todas las empresas que pueden optar a la realización del proyecto, por lo que cada vez con más asiduidad los contratantes encargan un plan de consultoría que proporciona estos requerimientos por una entidad ajena a la contratación que servirá de base al concurso público posterior.

Esta estrategia se considera la más útil para las Administraciones que no cuentan con personal propio debidamente formado en cuestiones técnicas y es la tendencia actual en este tipo de proyectos. Ésto dota de las herramientas para que la licitación pública cumpla con todos los requerimientos legales.

Por ello se enfoca este TFG hacia esa cuestión: la consultoría y elaboración de la documentación que sirva de base a la puesta en marcha de los distintos procedimientos de contratación de servicios y bienes, considerando el resultado, el Plan de Consultoría, como el mejor elemento del que podrán disponer para dilucidar la conveniencia de los distintos concurrentes y la evaluación de los diferentes presupuestos recibidos.

Los diagramas de este documento se han realizado con la herramienta gratuita online Draw.io¹ que permite la realización de disposiciones de todo tipo gracias a la gran colección de formas a disposición de los usuarios y su exportación en formato de imagen.

1.4 Planificación del Trabajo

La planificación del presente Trabajo abarca desde los días 27 de septiembre con el comienzo de la PAC1 hasta el día 14 de enero, último de entrega de la presentación.

Se define la primera PAC entre los días 27 de septiembre y el 5 de octubre, abarcando la segunda 41 días, entre el 5 de octubre y el 15 de noviembre que dispondrá de al menos el 60% del trabajo técnico terminado.

Asimismo, la tercera PAC se extiende entre los días 15 de noviembre y 20 de diciembre, donde se debe presentar el 100 % del trabajo técnico terminado.

La revisión y entrega de la Memoria final abarcará un total de 27 días, entre el 11 de diciembre y el 7 de enero, preparando la presentación entre los días 7 y 14 de enero.

Fruto de las indicaciones realizadas en las diversas revisiones realizadas por parte del consultor de la asignatura, se ha ido modificando progresivamente la planificación inicial hasta quedar como se muestra en los gráficos que se adjuntan.

La temporalidad mostrada en la división de tareas ha permitido el desarrollo de los contenidos, con las adaptaciones sucesivas que han sido necesarias, acondicionando el trabajo a realizar al esfuerzo potencial del alumno, consiguiendo el cumplimiento de los hitos principales a la par que los objetivos del proyecto.

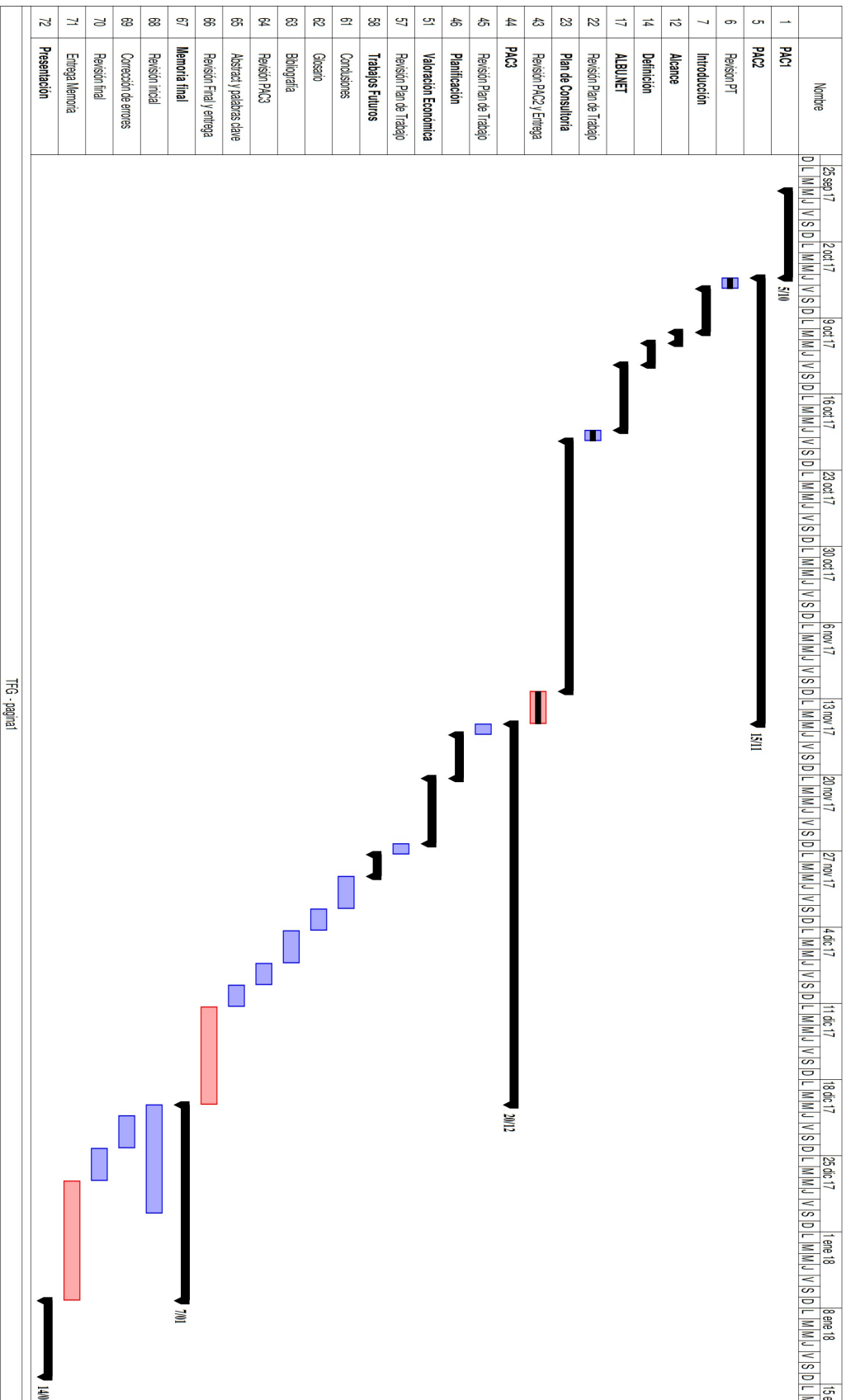
El plan desglosado de fechas y el diagrama de Gantt, realizados con la herramienta ProjectLibre² se muestran en las Ilustraciones 2 y 3.

1.5 Sumario de los productos obtenidos

Del desarrollo de este Trabajo se obtiene el Plan de Consultoría con la Memoria Técnica que permite al Ayuntamiento tanto su consitutución en operador como las bases para desarrollar el procedimiento de licitación pública necesario para poner en marcha el sistema.

1 <https://www.draw.io/>

2 <http://www.projectlibre.com/>



TF6 - paginal

Ilustración 2: Diagrama de Gantt

	Nombre	Inicio	Duracion	Terminado
1	PAC1	27/09/17 8:00	8 days	5/10/17 8:00
5	PAC2	5/10/17 8:00	41 days	15/11/17 8:00
6	Revision PT	5/10/17 8:00	1 day	6/10/17 8:00
7	Introducción	6/10/17 8:00	4 days	10/10/17 8:00
8	Contexto y justificación	6/10/17 8:00	1 day	7/10/17 8:00
9	Objetivos	7/10/17 8:00	1 day	8/10/17 8:00
10	Planificación	8/10/17 8:00	1 day	9/10/17 8:00
11	Sumario, enfoque y resto	9/10/17 8:00	1 day	10/10/17 8:00
12	Alcance	10/10/17 8:00	1 day	11/10/17 8:00
13	Alcance	10/10/17 8:00	1 day	11/10/17 8:00
14	Definición	11/10/17 8:00	2 days	13/10/17 8:00
15	Definición y Situación actual	11/10/17 8:00	1 day	12/10/17 8:00
16	Utilidad y Usabilidad	12/10/17 8:00	1 day	13/10/17 8:00
17	ALBU.NET	13/10/17 8:00	6 days	19/10/17 8:00
18	Descripción	13/10/17 8:00	1 day	14/10/17 8:00
19	Condicionantes	14/10/17 8:00	2 days	16/10/17 8:00
20	Documentación	16/10/17 8:00	2 days	18/10/17 8:00
21	Plazos	18/10/17 8:00	1 day	19/10/17 8:00
22	Revisión Plan de Trabajo	19/10/17 8:00	1 day	20/10/17 8:00
23	Plan de Consultoría	20/10/17 8:00	23 days	12/11/17 8:00
24	Estructura	20/10/17 8:00	5 days	25/10/17 8:00
25	Descripción WIMAX	20/10/17 8:00	1 day	21/10/17 8:00
26	Diseño funcional	21/10/17 8:00	1 day	22/10/17 8:00
27	Diseño físico	22/10/17 8:00	2 days	24/10/17 8:00
28	Servicios que se prestan	24/10/17 8:00	1 day	25/10/17 8:00
29	Memoria Técnica	25/10/17 8:00	7 days	1/11/17 8:00
30	Requisitos técnicos de red	25/10/17 8:00	2 days	27/10/17 8:00
31	Requisitos físicos	27/10/17 8:00	2 days	29/10/17 8:00
32	Requisitos de equipamiento	29/10/17 8:00	2 days	31/10/17 8:00
33	Requisitos de seguridad ...	31/10/17 8:00	1 day	1/11/17 8:00
34	Estudios de cobertura	1/11/17 8:00	9 days	10/11/17 8:00
35	Elección herramienta	1/11/17 8:00	2 days	3/11/17 8:00
36	Disposición equipamientos	3/11/17 8:00	1 day	4/11/17 8:00
37	Elaboración documen...	4/11/17 8:00	6 days	10/11/17 8:00
38	Descripción general	4/11/17 8:00	1 day	5/11/17 8:00
39	Descripción herramientas	5/11/17 8:00	1 day	6/11/17 8:00
40	Pruebas realizadas	6/11/17 8:00	1 day	7/11/17 8:00
41	Resultados obtenidos	7/11/17 8:00	3 days	10/11/17 8:00
42	Comprobación de resultados	10/11/17 8:00	2 days	12/11/17 8:00
43	Revisión PAC2 y Entrega	12/11/17 8:00	3 days	15/11/17 8:00
44	PAC3	15/11/17 8:00	35 days	20/12/17 8:00
45	Revisión Plan de Trabajo	15/11/17 8:00	1 day	16/11/17 8:00
46	Planificación	16/11/17 8:00	4 days	20/11/17 8:00
47	División de Tareas	16/11/17 8:00	1 day	17/11/17 8:00
48	Definición de hitos	17/11/17 8:00	1 day	18/11/17 8:00
49	Estructura Temporal	18/11/17 8:00	1 day	19/11/17 8:00
50	Elaboración documentación	19/11/17 8:00	1 day	20/11/17 8:00
51	Valoración Económica	20/11/17 8:00	6 days	26/11/17 8:00
52	Valoración equipamiento	20/11/17 8:00	1 day	21/11/17 8:00
53	Valoración obra	21/11/17 8:00	1 day	22/11/17 8:00
54	Valoración mano de obra	22/11/17 8:00	1 day	23/11/17 8:00
55	Cálculo de la tasa de retorno	23/11/17 8:00	1 day	24/11/17 8:00
56	Elaboración documentación	24/11/17 8:00	2 days	26/11/17 8:00
57	Revisión Plan de Trabajo	26/11/17 8:00	1 day	27/11/17 8:00
58	Trabajos Futuros	27/11/17 8:00	2 days	29/11/17 8:00
59	Definición	27/11/17 8:00	1 day	28/11/17 8:00
60	Elaboración	28/11/17 8:00	1 day	29/11/17 8:00
61	Conclusiones	29/11/17 8:00	3 days	2/12/17 8:00
62	Glosario	2/12/17 8:00	2 days	4/12/17 8:00
63	Bibliografía	4/12/17 8:00	3 days	7/12/17 8:00
64	Revisión PAC3	7/12/17 8:00	2 days	9/12/17 8:00
65	Abstract y palabras clave	9/12/17 8:00	2 days	11/12/17 8:00
66	Revisión Final y entrega	11/12/17 8:00	9 days	20/12/17 8:00
67	Memoria final	20/12/17 8:00	18 days	7/01/18 8:00
68	Revisión inicial	20/12/17 8:00	10 days	30/12/17 8:00
69	Corrección de errores	21/12/17 8:00	3 days	24/12/17 8:00
70	Revisión final	24/12/17 8:00	3 days	27/12/17 8:00
71	Entrega Memoria	27/12/17 8:00	11 days	7/01/18 8:00
72	Presentación	7/01/18 8:00	7 days	14/01/18 8:00
73	Preparación	7/01/18 8:00	2 days	9/01/18 8:00
74	Ejecución	9/01/18 8:00	4 days	13/01/18 8:00
75	Revisión y entrega	13/01/18 8:00	1 day	14/01/18 8:00

TFG

Ilustración 3: Planificación desglosada

1.6 Descripción del resto de capítulos de la memoria

El resto de capítulos del TFG es el siguiente:

- **Capítulo 2. Alcance**

Este capítulo expone hasta donde se quiere llegar con la realización del trabajo[04]. Que es lo que sí y lo que no se quiere obtener del proyecto.

- **Capítulo 3. Definición del proyecto**

Este tercer capítulo informa de la situación actual del municipio y de la utilidad y funcionalidades del sistema propuesto. Más allá de una simple contextualización, se trata de un análisis de los antecedentes existentes que provocan la evaluación del resto de los elementos.

- **Capítulo 4. ALBU.NET Caminando hacia el presente**

El cuarto capítulo está diseñado para determinar los condicionantes y necesidades previas del Ayuntamiento para constituirse en Operador Público y poder prestar el servicio a sus convecinos de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente. Se analiza de una forma exhaustiva el camino a seguir, preparando las documentaciones e informando de los plazos y autoridades a las que dirigirse.

- **Capítulo 5. Plan de consultoría**

El quinto capítulo forma la parte central y más extensa del proyecto, ya que informa de los componentes y condiciones de la memoria técnica, los resultados de las pruebas de cobertura, los datos precisos de comprobación de resultados así como la planificación y valoración económica del trabajo a realizar.

- **Capítulo 6. Trabajos Futuros**

El sexto capítulo expone las siguientes fases posibles a realizar a partir de la infraestructura y los servicios planteados, con objeto de dar continuidad a la inversión realizada, proponiendo nuevos retos que redunden en la capacidad de la Administración de prestar un verdadero servicio a la ciudadanía.

- **Capítulo 7. Conclusiones**

Este capítulo sintetiza las conclusiones obtenidas de la realización del proyecto, presentando los productos obtenidos y la medida de alcance de los objetivos planteados. Asimismo se valoran las líneas de trabajo que no se hayan podido alcanzar en su totalidad en la ejecución del proyecto y la conveniencia de la planificación inicial del mismo.

- **Capítulo 8. Glosario**

Se realiza en éste una descripción de los términos y acrónimos con mayor importancia de los empleados en el documento y que no sean autodescriptivos en si mismos.

- **Capítulo 9. Bibliografía**

El penúltimo capítulo del trabajo está destinado a relacionar los contenidos bibliográficos citados a lo largo de todo el documento, que permitan una adecuada contextualización de los mismos.

- **Capítulo 10. Anexos**

Finalmente se incluye un capítulo de anexos, con la función de adjuntar documentación que tenga un contenido completo en si mismo, como manuales de equipos o documentación específica.

2. Alcance

En poblaciones pequeñas, como la que es objeto de estudio, se observa como a lo largo del tiempo sus ciudadanos permanecen retrasados en el acceso al mundo de las nuevas tecnologías, con enlaces pobres, tecnologías anticuadas y servicios insuficientes para lograr una total integración en la sociedad.

La consecución de los objetivos presentados en el apartado 1.2, que procuran solucionar este problema, se acometen desde el punto de vista de la consultoría: **una base sentada de diseño de una infraestructura, sus procedimientos legales previos y su previsible desarrollo temporal y económico.**

Se dota al cliente de elementos de juicio suficientes que le permitan desarrollar, casi por si mismo, todo el proceso de constitución de la entidad y licitación pública de los trabajos. Pretende ser un documento de asesoramiento objetivo y eficaz sin otros condicionantes que el propio trabajo de ingeniería.

Este cliente, una administración pública, precisa de asesoramiento específico en un campo que desconoce ya que sólo dispone de la sensación de un problema existente que no es capaz de abordar para lo que precisa de un estudio informativo sobre las posibilidades a su alcance y la manera de implementar una solución adecuada con los medios existentes en el mercado.

No se trata, en definitiva, de un proyecto de ejecución, sino de un documento de contextualización y asesoramiento sobre las necesidades observadas y los caminos tendentes a paliarlas.

El producto final es el presente documento, no su implementación directa. Debe incluir todos los contenidos necesarios para que se produzca una cadena de toma de decisiones sobre su viabilidad y ejecución, desde un punto de vista técnico y alejado de injerencias tales como la oportunidad económica o los condicionantes ajenos a su propia elaboración.

3. Definición del proyecto

El presente documento pretende solucionar los problemas y alcanzar los objetivos marcados en los apartados anteriores. Con este fin, se estudia la situación actual del municipio y se presenta la solución más adecuada con las tecnologías disponibles, desarrollando una red barata y solvente.

De esta forma, primero es preciso observar los elementos reales de conectividad de Internet, Telefonía y Televisión disponibles en las localidades objeto, de forma que se cuente con información de partida para indicar las mejoras reales que se pueden realizar en el municipio.

A continuación se expondrá la solución que se desarrollará en todo el documento y por último se discurre sobre la utilidad y usabilidad real de los elementos que la conforman.

3.1 Situación Actual

En la actualidad se dispone de tres tipos básicos de conexiones en estas localidades:

- **Las basadas en ADSL** (basada en el par de cobre tradicional).
- **Redes de conectividad 4G** (telefonía móvil).
- **Redes WIMAX** (Redes inalámbricas).

Después de estudiar las empresas que ofrecen conectividad en esta zona, no existe ninguna opción de conexión por fibra óptica ni medios mixtos (fibra-cable).

3.1.1 Tecnologías basadas en ADSL.

La única empresa que proporciona acceso con ADSL es Movistar[05] con una central distribuidora que recibe la señal desde la vecina localidad de Mula, distante unos 15 kilómetros, donde si existe una central telefónica con nodos amplificadores intermedios.

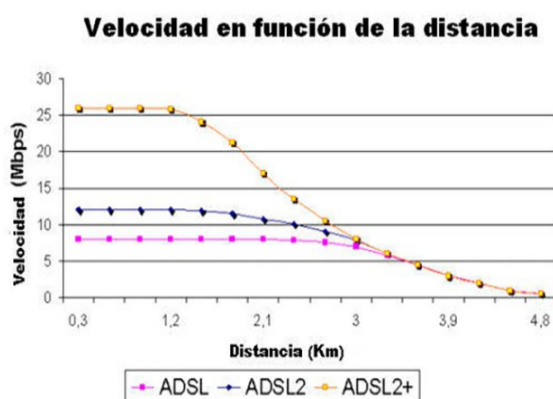


Ilustración 4: Pérdidas ADSL

Las pérdidas de señal son muy elevadas, proporcionando en la realidad unas conexiones de muy baja calidad. Además, debido al hecho de su baja entidad de población, no está prevista la instalación de fibra óptica en el municipio, con lo que no se debe esperar ninguna mejora en la clase de las conexiones ofertadas.

3.1.2 Conectividad 4G

La oferta basada en telefonía móvil, con conectividad tipo 4G, está representada por las empresas Vodafone[06] y Orange[07].

La opción de usar cobertura de telefonía móvil proporciona la libertad de acceso sin cables, pero un *payload* de 50Gb brutos en ambas opciones se puede considerar correcto para un uso normal de navegación y consulta, pero los servicios de ocio actuales (*streaming* de video, juegos multijugador, etc...) requieren una mayor capacidad de carga.

3.1.3 WIMAX como red de transporte

El uso de una red inalámbrica para el transporte de la señal se realiza con multitud de tecnologías y escenarios. Desde la radiodifusión sonora, pasando por la televisión y la telefonía móvil, hasta otras como WIMAX o WIFI se basan en el transporte sin cables de información de un sitio a otro.

En los últimos tiempos existen varias empresas que han realizado despliegues de tecnología WIMAX para permitir la conectividad a Internet en sitios donde las opciones de corte tradicional no se encuentran disponibles.

Para el caso de las localidades objeto se han encontrado dos empresas, de amplitud provincial, que proporcionan este servicio: Portal WIMAX[08] y Wimax Online[09].

Se observa, si bien que las velocidades son menos inestables que en el resto de posibilidades, son bastante menores en el caso de internet. La oferta de telefonía móvil es apta para un uso no intensivo, con tarifas aceptables para usuarios comunes. Los costes de instalación son bastante elevados debido al equipamiento a instalar en los domicilios de los clientes.

Se presenta a continuación una tabla comparativa de todas las posibilidades estudiadas:

	COBRE	4G		WIMAX	
	MOVISTAR	VODAFONE	ORANGE	Portal Wimax	Wimax OnLine
Tipo	ADSL	4G	4G	WIMAX	WIMAX
Velocidad	HASTA 20Mb	Hasta 30 Mb	VARIABLE	6 Mb	10 Mb
Límite nav		50 Gb	50 Gb		
Fijo	SI	SI	NO	SI	SI
Ilimitado	SI	SI		SI	NO
Movil	SI	SI	NO	SI (PAGO APARTE)	SI
Lineas	2	1		1	1
Llamadas	ILIM – 200 MIN	0 CENT/MIN		ilim	600
Internet	4Gb – 200 Mb	2 Gb		2 Gb	1 Gb
SVA	ROAMING UE NUBICO	Chatear sin consumo fotos-videos sin consumo Roaming y tv online			
Precio	45€ X 3 meses Después 60€	43,80 € x 6 meses Después 47€	39,95 €	36,18 € Internet 16,32 € Movil 60 € de instalacion Antena 6€/mes	50 € 60 € de instalacion 120 € con router

Tabla 2: Comparativa conectividad

3.2 Solución adoptada.

Desde la vecina localidad de Molina de Segura, usando radioenlaces en dos saltos se pueden disponer para Albudeite y Campos del Rio sendas estaciones base WIMAX que permitan, sin cables, la existencia de una red de acceso a Internet y el resto de servicios existentes.

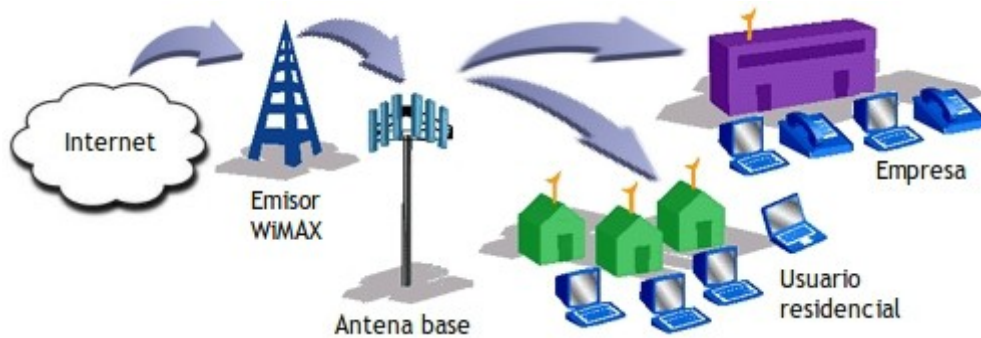


Ilustración 5: Despliegue WIMAX

Fuente: www.guiaspracticas.com

Colocado sobre el mapa la distribución queda de esta forma:



Ilustración 6: Distribución WIMAX

Las **ventajas** de este tipo de instalaciones son variadas:

- No hay que realizar obra de instalación de cableado.
- Facilidad en la escalabilidad, tanto horizontal como vertical.
- Se puede transportar la señal a puntos donde no existe posibilidad de llevarla con cableado.
- Es económicamente viable.
- Permite la interoperabilidad con una amplia variedad de servicios adicionales.

Las características del estándar WIMAX serán presentadas más adelante, pero este conjunto de ventajas frente a sus posibles competidores, esencialmente cable, hacen de este despliegue el más adecuado para las características de la zona de estudio.

3.3 Utilidad

Este proyecto es útil sobre la base de dos conceptos:

- La posibilidad de la Administración Local de **proporcionar** a sus convecinos y empresas residentes **servicios suficientes** para favorecer un desarrollo tecnológico adecuado con unos costes asumibles.

- **Las herramientas que se ponen a disposición de estas administraciones** para lograr sus objetivos, ya que dispondrán de una documentación analítica y objetiva para evaluar los proyectos reales de implantación de estas soluciones.

3.4 Usabilidad

El uso del presente documento, como ya se ha expresado, es **servir de documentación técnica que proporcione la base suficiente sobre la que desarrollar las soluciones propuestas.**

Los procedimientos de licitación deben garantizar la igualdad de oportunidades, con lo que el punto de partida para todos los concursantes debe ser el mismo, lo que es posible si existe un estudio previo que establezca las condiciones de ejecución del servicio.

Asimismo prepara a la futura Sociedad Pública para la presentación de la documentación necesaria ante el Registro de Operadores lo que facilita en gran medida todo el proceso de puesta en marcha de los servicios.

4. ALBU.NET Caminando hacia el presente



Ilustración 7:
Logotipo

El artículo 9 de la Ley 9/2014, de 9 de mayo, General de Telecomunicaciones (BOE núm. 114, de 10 de mayo de 2014), en adelante LGT, en su apartado 3, indica que ***“una administración sólo puede instalar y explotar redes públicas de comunicaciones o prestar servicios de comunicaciones electrónicas en régimen de prestación a terceros a través de entidades o sociedades que tengan en su objeto social la instalación y explotación de los mismos”***.

Una vez constituida la Sociedad, es preciso que se produzca el **alta en el Registro de Operadores**, según lo previsto en el artículo 6 de la LGT. Esta comunicación se debe realizar en la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.

4.1 Condicionantes

Como ya se ha expresado, la primera actuación a realizar es la constitución de una sociedad de capital público para la explotación de estos servicios. Para ello[10] es preciso seguir el procedimiento expresado en el artículo 97 del Real Decreto Legislativo 781/1986 por el que se aprueba el texto refundido de las disposiciones legales vigentes en material de Régimen Local (BOE nº 96, de 22 de abril de 1986), en adelante TRRL, donde se detalla que el mismo debe incluir:

- Memoria Jurídica y Económica
- Estatutos de la Sociedad
- Plan inicial de actuación

Después de realizados dichos trámites y con la autorización de creación formalizada, es precisa la constitución de la Sociedad siguiendo los procedimientos normales de creación de sociedades, para lo que será necesario:

- Otorgar escritura pública ante notario
- Inscripción en el Registro Mercantil
- Acuerdo de constitución por parte de los órganos propios contenidos en los estatutos

Esta Sociedad, ya legalmente inscrita y con personalidad jurídica, puede continuar con los trámites necesarios para constituirse en Operador, tal como previene la LGT.

Para una posterior ampliación del sistema a la localidad de Campos del Río también será preceptivo el adecuado acuerdo entre la Sociedad y el Ayuntamiento de Campos del Río con el objeto de la puesta en marcha de la provisión del servicio.

4.2 Documentación

La Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia[11], en adelante CNMC, es el organismo en el que radica el Registro de Operadores, donde hay que inscribir la comunicación de explotación o prestación de servicios, según contempla el artículo 7 de la LGT.

Dicho organismo edita una guía[12] especificando el proceso y la documentación a remitir, que resumido de forma sucinta es el siguiente:

- La comunicación se realiza por medios electrónicos.
- Es preciso disponer de certificado digital de representante de entidad jurídica, para lo que hay que realizar la solicitud en la sede de CERES[13].
- Para la acreditación de identidad se adjuntará la siguiente documentación, de forma electrónica o por cualquiera de los medios establecidos en la Ley de Procedimiento Administrativo Común:
 - Documento que acredite la razón social, domicilio, la identificación fiscal y los datos registrales.
 - Domicilio a efectos de notificaciones.
 - Identificación de la persona responsable de las notificaciones.
 - Acreditación del representante.

- Documentación técnica:
 - Descripción de la red a explotar.
 - Descripción de la ingeniería y diseño de red.
 - Tecnología que se emplea.
 - Medidas de seguridad y confidencialidad que se implantarán.
 - Indicación de la red a explotar.
 - Descripción del servicio que se suministra
 - Descripción funcional.
 - Oferta de servicios y descripción comercial.
 - Indicación del servicio a prestar.

4.3 Plazos

El trámite que más tiempo ocupa es el de constitución de la Sociedad. Tal como explica García Valderrey[10] los plazos para los distintos trámites de información pública se pueden alargar por unos tres meses. A éstos hay que añadir el tiempo necesario para su constitución formal, que dependerá de otro tipo de entes.

La comunicación al Registro de Operadores requiere la reunión de la documentación a remitir, relacionada en el apartado anterior. Una vez realizada la comunicación, existe un plazo, regulado en el artículo 7.2 de la LGT, de 15 días en los que la CNMC puede emitir una resolución si considera que no se reúnen los requisitos necesarios. El efecto de esta resolución será de no admitir la comunicación con lo que sería necesario reparar las objeciones comunicadas y realizar una nueva presentación.

En caso de no existir resolución alguna en ese plazo, la empresa creada puede operar con propiedad, momento en el que ya será viable la ejecución del plan técnico.

5. Plan de consultoría

El capítulo central de este trabajo muestra el contenido pormenorizado de la solución propuesta, introducida en los capítulos anteriores. Se trata, en definitiva, de la parte técnica encargada por el cliente, con objeto de cubrir las necesidades y objetivos mostrados al principio del documento.

Contiene los condicionantes técnicos, físicos, temporales y económicos del proyecto, así como el estudio de cobertura y las definiciones de los métodos de comprobación de los resultados posteriores.

5.1 Estructura

Se presenta en este apartado el despliegue de la red desde dos puntos de vista: el funcional y el físico.

El punto de vista funcional mostrará la red desde dentro, cómo se comunican entre si los diferentes componentes sin tener en cuenta dónde ni cómo están implementados.

Esto último se expone con el despliegue físico, desde el punto de vista de la instalación, tal como se ve el sistema desde fuera del mismo.

Se inicia con una breve descripción de la tecnología WIMAX, con objeto de justificar su elección, así como de las otras dos tecnologías implicadas, el servicio IPTV y la VoIP, para terminar con una exposición sobre los servicios que se pueden ofertar.

Esto comprende la estructura troncal del sistema, cómo funciona y por qué es el más adecuado para cumplir con los objetivos del cliente.

5.1.1 Descripción de la tecnología WIMAX

WIMAX es el acrónimo de *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (interoperabilidad mundial para acceso por microondas), que se trata de un estándar definido por el WIMAX Forum[14] como una red de transporte de datos basada[15] en el estándar 802.16[16] del IEEE[17] (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* - Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica) con lo que se define como una **red de datos de área metropolitana basada en el uso de microondas**, con frecuencias comprendidas entre 2,5 a 5,8 GHz.

Como tal, se diseña para configurar una red de acceso que hace llegar la banda ancha a lugares donde no es posible por otros medios, pudiendo configurarse en modos punto a punto o punto a multipunto.

WIMAX se basa en la certificación de los productos y protocolos que operan adecuadamente conforme a este estándar IEEE según los controles a los que son sometidos por parte del WIMAX Forum. Esta certificación garantiza la interoperabilidad mundial de los diferentes equipamientos. Actualmente la versión del estándar 802.16m permite tasas de transferencia de hasta un ancho de banda de 1 Gbps para usuarios fijos y de 100 Mbps para usuarios móviles.

Una red de área metropolitana, conocido por su acrónimo en inglés MAN (*Metropolitan Area Network*) se basa en la interconexión de diversos nodos a los que acceden redes de área local (LAN, *Local Area Network*) para conseguir acceso a la red Internet.

Como tal, cualquier red de área metropolitana debe tener dos partes:

- **El segmento de transporte (*backhaul*):** configurada como una red punto a punto, debe transportar la señal desde un punto de origen a un punto destino, con tantos puntos intermedios como sean necesarios. Este segmento requiere **visión LOS** (*line of sight*), o sea, visión directa entre los interlocutores.

Este segmento de la red se encarga de recoger el acceso desde el punto origen y transportarla hasta el punto destino mediante un radioenlace.

- **El segmento de distribución:** configurada como una red punto a multipunto, recoge la señal desde el último nodo de transporte y la distribuye a los usuarios finales (diferentes redes LAN) mediante una idea celular: una estación base proporciona servicio a varios receptores dentro de su área de cobertura.

Así, desde esta estación base, los diferentes puntos finales (llamados suscriptores) disponen de enlace radio con el origen del acceso a la Internet como si estuvieran conectados por cable. Aquí sólo se requiere una **visión no directa (NLOS - non line of sight)** entre los diferentes intervinientes.

La arquitectura típica de cualquier red WIMAX se puede representar según el esquema de la figura 8, donde se observan los diferentes nodos de acceso y transporte hasta la distribución a los suscriptores.

Los clientes cuentan en la parte de la red con un **equipo suscriptor**, que enlaza con la estación base mediante la tecnología WIMAX y en la parte interior con equipamiento de red local, de forma típica con un modem para decodificar la señal, un router para el adecuado encaminamiento de los equipos interiores, un switch para distribución de la señal y los diferentes equipos de red. El número y tipo de ellos depende de las características de los suscriptores, ya que no es igual el equipamiento de una gran empresa, que el de una pequeña o usuarios domésticos. En la figura 9 se desarrolla un esquema típico de este tipo de redes.

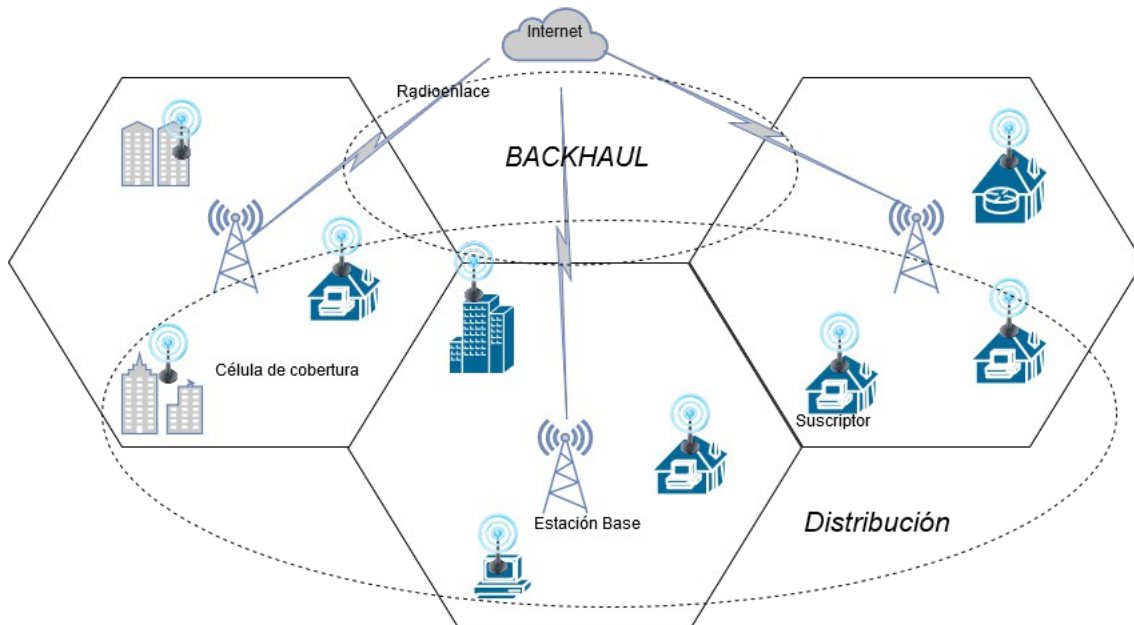


Ilustración 8: Esquema típico de red WIMAX

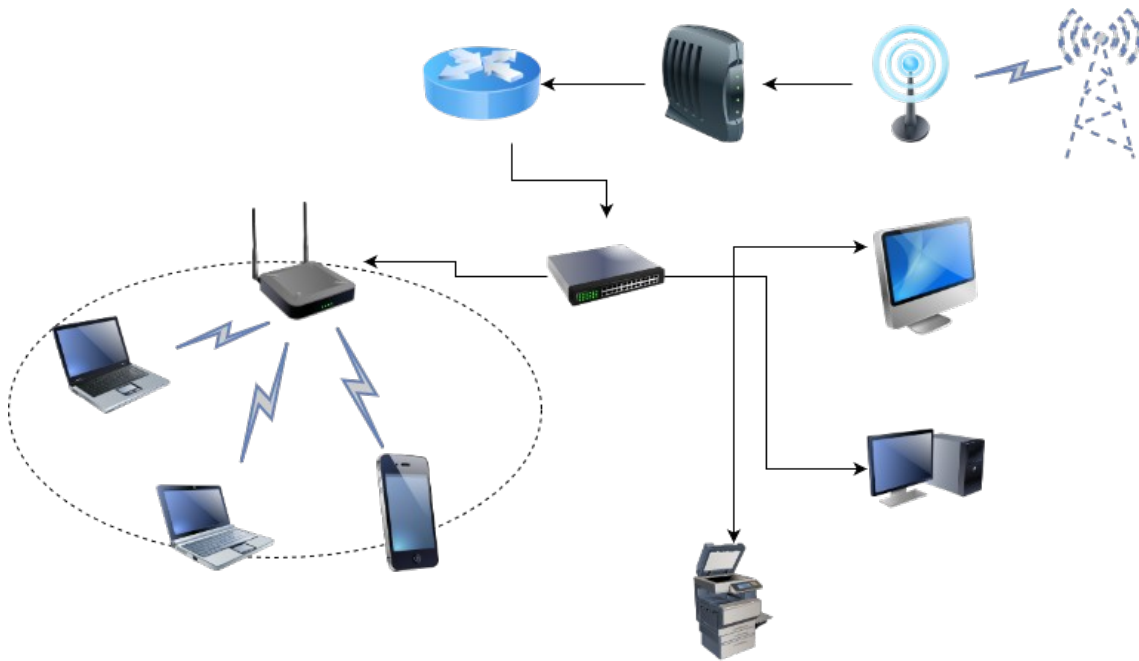


Ilustración 9: Esquema de red LAN de suscriptor

Las características de acceso al medio de WIMAX[44] se basan en la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency – Division Multiplexing*), que divide la banda ancha en una cantidad determinada de señales de banda reducida (subportadoras) que son ortogonales entre si, de forma que **no producen interferencias unas a otras** con un considerable ahorro de ancho de banda. Así se permite que aumenten las características de comunicación con ausencia parcial de visión directa (propagación NLOS) y se mejoran los problemas inherentes al multicamino.

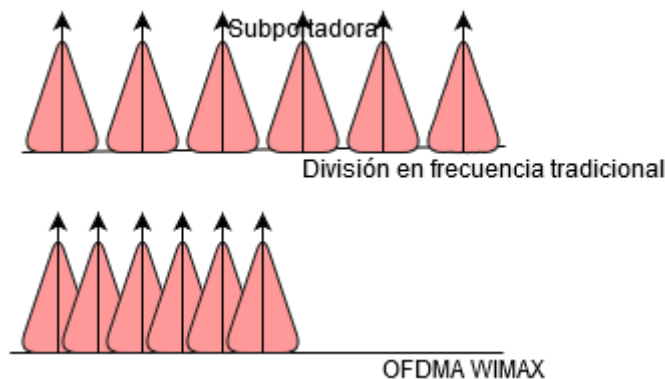


Ilustración 10: OFDMA en WIMAX

El acceso múltiple por división de frecuencia (OFDMA), usado en la versión 802.16e admite la **agrupación de subportadoras en canales**, aumentando la tasa de datos recibida por los suscriptores.

Para la codificación de la información soporta adaptabilidad, pudiendo usar unas técnicas u otras dependiendo de la calidad de la transmisión (esencialmente BPSK, QPSK y QAM en sus diferentes versiones). El uso combinado de las dos facilidades es lo que se denomina **modulación adaptativa**.

Entre las **ventajas de la tecnología WIMAX** frente a otro tipo de candidatos para este despliegue se pueden encontrar:

- **Rapidez de despliegue y bajo coste.**
- **Comunicación en situación NLOS**, no precisando visión directa en la parte de distribución.
- La **modulación OFDMA y el alto nivel de codificación** permiten más densidad de información por Hz.
- La **agrupación de subportadoras** para configurar canales con mayor ancho de banda.
- Es adecuado para sitios donde **otras tecnologías no pueden llegar.**

Estas ventajas suponen la elección de esta tecnología frente a otras, como el despliegue de fibra óptica, que presentan mayores costes, complejidad de la instalación y peores características de despliegue.

5.1.2 El servicio IPTV



Ilustración 11: IPTV

El servicio IPTV (Televisión por IP) responde a la **emisión de contenidos de televisión a través de redes IP propias del operador de telecomunicaciones**. Se usan las redes IP para el transporte de la señal desde la cabecera de adquisición hasta los equipos decodificadores.

Es una situación diferente de la Internet TV, donde se aprovecha la red de distribución de Internet para transmitir algún contenido de video que se puede obtener mediante un PC, mientras que el IPTV presta canales como si fueran de televisión tradicional y precisan de un descodificador, pero que son transportados mediante redes IP, por lo que se adapta perfectamente al despliegue que se quiere realizar.

5.1.3 VoIP, voz sobre IP

VoIP (*Voice over IP* – Voz sobre IP)[47] incluye una serie de protocolos y tecnologías que **aprovechan las redes de datos para transmitir información de voz**, con lo que se pueden mantener conversaciones telefónicas como si fueran por el método tradicional pero a través de las redes de datos desplegadas.

Esto ha permitido un ahorro importante para los consumidores de telefonía, sean empresariales o residenciales, ya que las llamadas dentro de las propias redes pueden resultar del todo gratuitas aunque se encuentren en sedes separadas, utilizando las infraestructuras existentes.

Mediante dispositivos adaptadores de señal se puede **conectar una red VoIP a la red telefónica conmutada**, permitiendo la salida desde la red interna hacia el resto de usuarios y la recepción de llamadas desde cualquier punto telefónico.

Esta adaptación de protocolos y tecnologías a las redes de datos permite utilizar sistemas de telefonía fija sin disponer de enlaces cableados hasta centrales telefónicas, aprovechando las tecnologías inalámbricas basadas en redes de datos como WIMAX.



Ilustración 12: VOIP

Fuente: DORALnews

5.1.4 Diseño funcional de la red

Desde el punto de vista funcional la red presenta tres tramos principales:

- Tramo de agregación
- Zona desmilitarizada
- Tramo de provisión

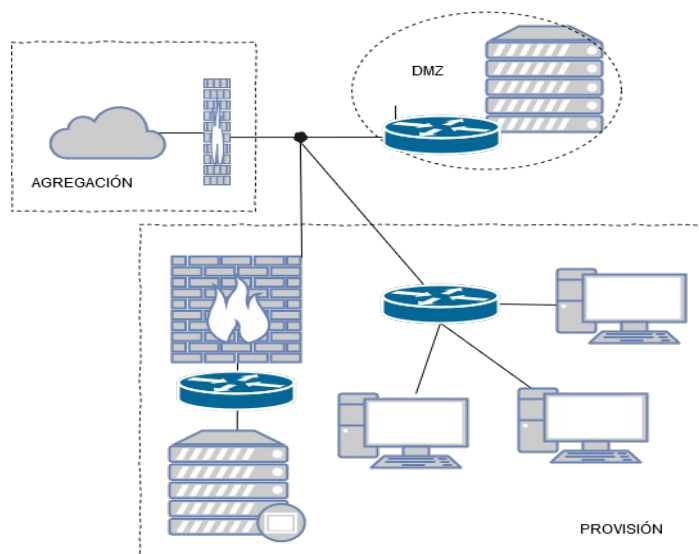


Ilustración 13: Diagrama funcional

AGREGACIÓN

La zona de agregación contiene todo lo necesario para la **entrada y salida de la red al exterior**, disponiendo de interfaces para conexión con Internet, servicios telefónicos, televisión, satélite, etc... constituyendo una zona vulnerable a posibles ataques.

DMZ

Se genera un mecanismo de seguridad llamado zona desmilitarizada (*demilitarized zone – DMZ*) que pretende **prevenir el tráfico indeseado**, redirigiendo a los usuarios sólo el tráfico que les corresponde y el resto a los servicios (servidores web, correo, y otros mecanismos de seguridad).

Características:

- Protege a los usuarios de posibles ataques.
- No permite el acceso desde el exterior a zonas no autorizadas.
- Protege el anonimato de los usuarios.
- Se pueden implementar mecanismos de control de accesos y de detección de intrusiones.

Los servicios que se prestan a cualquiera de las dos partes, como servidores web, DNS, FTP, deben ser ubicados en esta zona para prevenir ataques a otros segmentos de la red.

PROVISIÓN

La zona de provisión **se considera una zona segura** y contiene los sistemas de gestión y los usuarios finales del mismo.

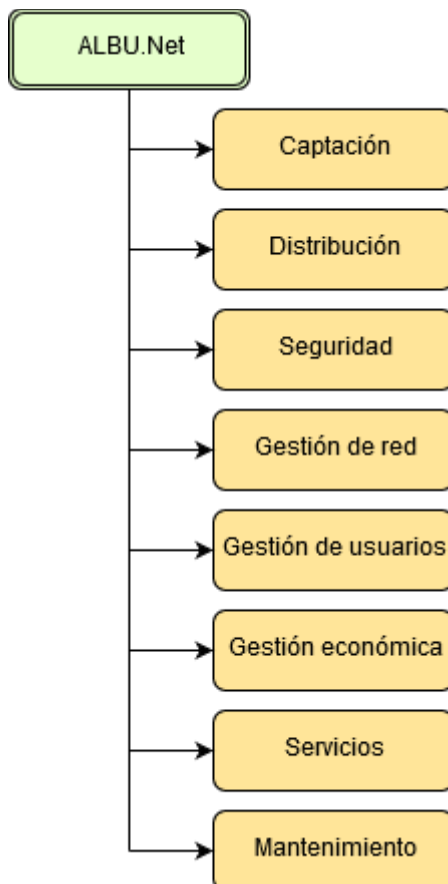


Ilustración 14: Diseño modular

Desde una aproximación modular se permite el diseño de cada elemento de forma independiente y facilita su implementación posterior con la distribución siguiente:

- **CAPTACIÓN:** Módulo de entrada/salida desde la red al exterior.
- **DISTRIBUCIÓN:** Su funcionalidad se basa en el transporte de la señal captada al resto de módulos, y de la información que se genera en ellos dirigida al exterior.
- **SEGURIDAD:** Para la adecuada gestión de la seguridad tanto en el control de accesos indebidos desde el exterior como en la correcta monitorización del uso desde el interior. Implementa la política de seguridad.
- **GESTIÓN DE RED:** Permite el control de los sistemas, así como su configuración.
- **GESTIÓN DE USUARIOS:** Organiza de forma centralizada los diferentes

usuarios de acceso al sistema, sus roles dentro de éste y los permisos asociados a los mismos.

- **GESTIÓN ECONÓMICA:** Asegura la contabilidad y el presupuesto de la empresa.
- **SERVICIOS:** Su objeto comprende la captación y fidelización de los clientes, la gestión de quejas y sugerencias y el servicio postventa.
- **MANTENIMIENTO:** Garantiza el flujo de mantenimiento tanto de componentes como de capacidades. Asegura los periodos de garantía de los equipamientos, existencia de recambios y un adecuado servicio técnico a los usuarios.

5.1.5 Diseño físico de la red

Se aborda en este apartado la implementación física del diseño que se esboza en el anterior, tal como se ve en la ilustración 15.

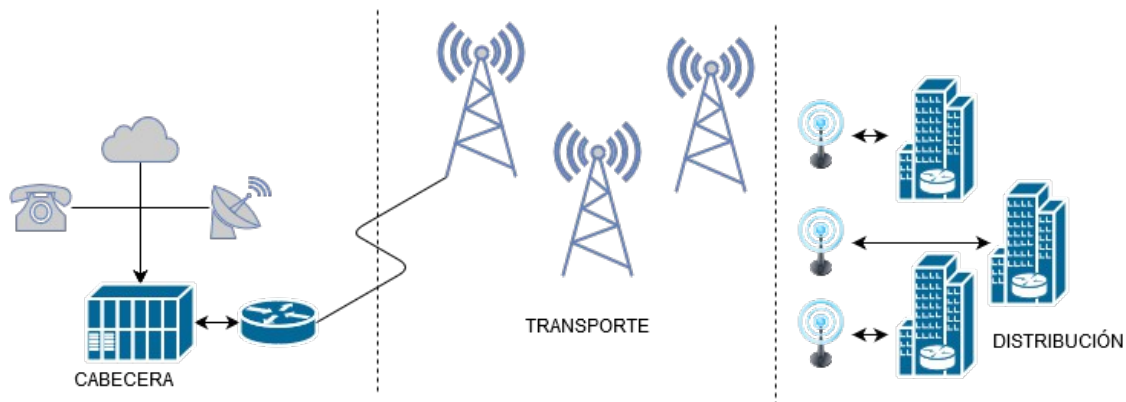


Ilustración 15: Esquema físico

Como todas las redes de este tipo, presenta tres tramos bien diferenciados:

- Red de cabecera
- Red de transporte
- Red de distribución

RED DE CABECERA

La red de cabecera contiene los equipos necesarios para la captación de las señales que se pretenden transportar y distribuir, de diferentes orígenes, junto con los equipos necesarios para transformar y adaptar las señales recibidas y entregarlas a la red de transporte, así como las que llegan desde esta última y deben salir al exterior.

Cuenta con:

- **Router de servicio (edge router):** interconecta los servicios de los proveedores con la red de transporte.
- **Firewall:** encamina el tráfico según las políticas de seguridad.

RED DE TRANSPORTE

La red de transporte se ha diseñado sobre radioenlaces en banda libre de 5GHz estableciendo conexiones punto a punto entre cada una de las conexiones existentes (vanos).

- **Primer vano:** Entre Molina de Segura y el repetidor intermedio, que puede ser usado como estación base para Campos del Rio.
- **Segundo vano:** Entre el repetidor intermedio y la estación base de Albudeite.

Las condiciones climatológicas de las ubicaciones de los radioenlaces permiten una excelente respuesta de esta banda de frecuencias, por lo que se conforma como una elección adecuada para el entorno.

Asimismo las distancias de los vanos no son determinantes para contabilizar excesivas pérdidas permitiendo un uso muy adecuado a las características de la red de despliegue.

RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución se comprende de:

- **La estación base:** dedicada a repartir la señal WIMAX hacia los suscriptores, con una distribución punto a multipunto,
- **Los equipos suscriptores** en las zonas residenciales conectados el router residencial que es el punto terminal de la red.

5.1.6 Servicios ofertados

Se prestan dos tipos de servicios una vez está funcionando el sistema: los servicios contratables y los servicios propios. Los servicios contratables son los que usa directamente el usuario, y los servicios propios son los que realiza el sistema para su autoconsumo.

- **Contratables**
 - **Acceso a Internet.** Se realiza instalando el equipo suscriptor en la vivienda y el router residencial. A dicho router se pueden conectar equipos cableados o equipos WIFI como teléfonos móviles, *tablets*, etc...
 - **Telefonía Fija.** Es prestado mediante la conexión de un teléfono IP en el router residencial, siendo redirigido por el router de cabecera a la red telefónica contratada.
 - **Televisión.** Se cumple a través del enlace entre el equipo set-top-box y el router residencial que realiza la decodificación de la señal.
- **Propios**
 - **Publicidad.** Son prestados desde la DMZ siendo como mínimo el servicio web, correo electrónico y DNS (*Domain Name Server* – Servidor de nombre de dominio).
 - **Gestión.** Mantienen la información de los clientes, de facturación, de control de instalaciones y de seguridad física de las mismas.

- **Seguridad.** Tanto los *firewalls* distribuidos por la red, como los equipos de detección de intrusos que se instalen, *honeypots*, etc... deben ser controlados por este servicio. Es preciso que contenga el equipamiento imprescindible para el control exhaustivo de la red y pasar los reportes necesarios al personal de control de seguridad.

5.2 Memoria técnica

Una vez introducidos los diseños tanto funcional como físico, es preciso realizar un detalle específico de implementación, configurando los requerimientos precisos de cada tramo y los condicionantes técnicos de desarrollo y políticas de seguridad y acceso, conformando cada parte con su configuración, primero a nivel lógico y después a nivel físico.

También se establecen los métodos de comprobación de los resultados, indicando las mediciones y datos que se deben aportar por los concursantes para la comprobación de dichos requisitos, con objeto de implementar un protocolo que defina la idoneidad técnica de cada una de las propuestas.

El mantenimiento de la disponibilidad del sistema es un elemento crítico. Será preciso, entonces, realizar un plan general de mantenimiento y un plan de contingencia que informe del estado del sistema y de las acciones necesarias para reaccionar en caso de fallos del mismo.

5.2.1 Introducción

La red que se desarrolla en el presente trabajo, debe cumplir una serie de requisitos, que deben ser satisfechos por el adjudicatario final del proyecto, vista desde todos los frentes que concurren:

- **El nivel funcional:** comprende todo lo relacionado con direccionamientos y tasas de bits.
- **El nivel físico:** distingue las necesidades del despliegue real en las ubicaciones.
- **Equipamiento:** cada uno de los equipos que se instalen tiene unos condicionantes propios para cumplir correctamente su misión.
- **Seguridad:** tanto de la información como de las instalaciones, requiere unas especificaciones concretas.
- **Mantenimiento:** será necesario garantizar un mantenimiento de instalaciones y circuitos para asegurar la operatividad del sistema.

Estos requisitos, de forma resumida, aparecen en la tabla 3 y se desarrollan en el resto de apartados de una forma más explícita.

NIVEL	ACCIÓN	ELEMENTO
NIVEL FUNCIONAL	Diseñar	Red All IP
	Desarrollar	Redes virtuales
	Garantizar	Independencia de los servicios
		Correcto encaminamiento
		Ancho de banda
		Sobreprovisión 1:10
NIVEL FÍSICO	Garantizar	Potencias de recepción superiores a los umbrales
		Libertad de la primera zona de Fresnel en los radioenlaces
		Router con capacidad de acceso a los servicios
		Cumplimiento normativa de instalaciones radioeléctricas
		SAI para protección eléctrica
		Cumplimiento normativas de instalación de torres
		Torre autosoportada para las instalaciones aisladas
		Torre arriostrada para la cabecera
		Caseta de superficie mínima 2x2 metros
		Provisión de electricidad
	Equipamiento de frío	
	Estaciones base WIMAX certificadas	
	Copias de seguridad de los servidores del CPD	
Diseñar	Altura de las torres que permita escalabilidad	
	Torres con adecuada resistencia al viento	
Desarrollar	Estudios de conductividad del suelo	
EQUIPAMIENTO	Garantizar	Implementación protocolo IPSec
		Capacidad de tráfico
		Tasa de bits necesaria con la EB instalada
		Canales de 10 MHz
		Antena sectorial de 90º en las EB
SEGURIDAD	Garantizar	Integridad de los datos
		Alarmas con gestión remota y conexión 3G
		Sistemas CCTV con gestión remota
	Desarrollar	Implementación de una DMZ
		Implementar sistemas de detección de intrusos
		Implementar portal cautivo
		Política de usuarios administrativos
		Plan de contingencias
MANTENIMIENTO	Desarrollar	Plan de mantenimiento funcional
		Plan de mantenimiento de instalaciones

Tabla 3: Conjunto de requisitos

5.2.2 Requisitos técnicos de nivel funcional

La red que se despliega, representada en la figura 13, entre el router de cabecera hasta los equipos de los clientes es completamente IP (llamada red *AllIP*), por lo que deberá quedar completamente especificado en el proyecto de desarrollo el tráfico entre cada uno de los segmentos, así como las políticas de acceso a cada uno de ellos.

Es preciso crear redes privadas virtuales para cada uno de los tres servicios principales y el resto de elementos, con objeto de:

- **Un correcto etiquetado del tráfico** en las cabeceras de los datagramas.
- **Garantizar la independencia** de cada uno de ellos.

Fundamentos de TCP/IP

TCP/IP (*Transport Control Protocol / Internet Protocol* – Protocolo de control de transporte / Protocolo de Internet) es un conjunto de protocolos que **define el direccionamiento, segmentación y correcto etiquetado de la información** para asegurar:

- integridad
- el flujo de la información
- el encaminamiento de los datos.

Fue desarrollado durante la década de los 70 del siglo XX primero por el Departamento de Defensa de Estados Unidos de América y luego complementado por un conjunto de Universidades de ese País con objeto de conseguir la correcta comunicación entre computadoras. Progresivamente se ha ido convirtiendo en el **estándar de comunicación entre ordenadores**, siendo el protocolo base de la red conocida como Internet.

Está basado en el modelo OSI[21] constando esencialmente de **cuatro capas**, que describen cada una de las funcionalidades que proporciona el sistema.

- **La capa de aplicación:** Es la parte que percibe el usuario, ya que dota de las funcionalidades que éste puede utilizar.
- **La capa de transporte:** Se encarga de proporcionar el punto de entrada y salida de la información desde el origen de la misma hasta su destino conocidas como puertos
- **La capa de Internet:** Aporta capacidades de comunicación punto a punto y es la responsable del viaje de la información por toda la red. El encaminamiento se decide en base a las conocidas direcciones IP, que proporcionan las identidades de los puntos terminales de las comunicaciones.
- **La capa física:** Adapta el flujo de información al canal físico de transmisión.

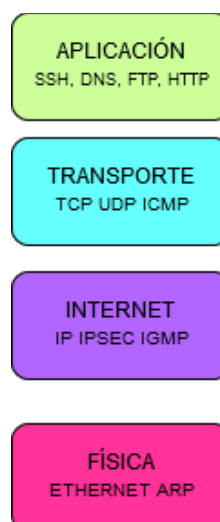


Ilustración 16: TCP/IP

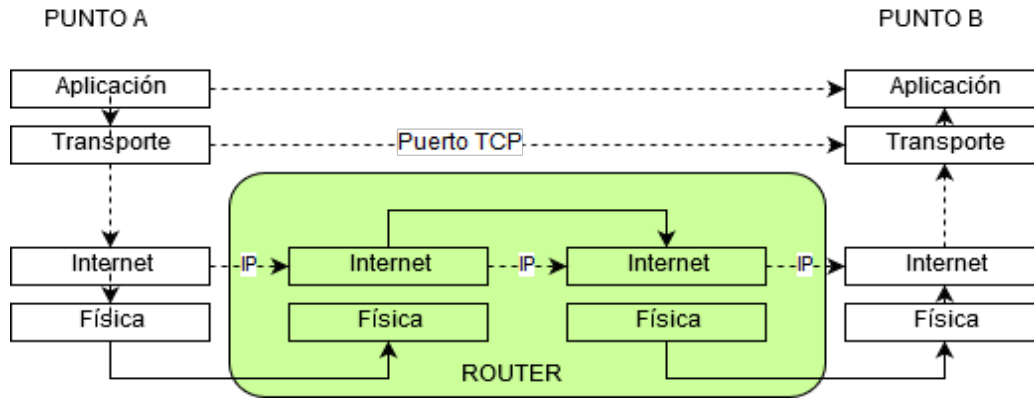


Ilustración 17: Comunicación TCP/IP

La información se transmite mediante saltos entre los diversos puntos de enrutamiento pero la comunicación se produce por capas. Cada capa se comunica con la capa homónima del otro punto, tal como se expone en la figura 17.

La capa de transporte utiliza un indicador de puerto, comprendido entre 0 y 65536 (direccionamiento de 16 bits) que direcciona el punto donde se recibirá la información por parte del receptor dentro de cada uno de los hosts. Así, el host A puede comunicarse con el host B indicando el puerto destino en éste.

Las decisiones de encaminamiento las realiza la capa de Internet a través de las direcciones IP. Estas direcciones son agrupaciones de 4 números de 8 bits (normalmente expresados en numeración decimal) que identifican cada uno de los equipos a los se dirige la información:

AAA	BBB	CCC	DDD
0-255 (8bits)			
192	168	0	1

Tabla 4: Dirección IP

- Primera IP: 0.0.0.0
- Última IP: 255.255.255.255
- Existen un total de 4,294,967,296 direcciones posibles en la versión IPv4[22].
- Algunos rangos y direcciones están reservadas para usos de control del sistema.

Anexa a la dirección IP está la máscara de subred (*subnet mask*), que permite la segmentación en subredes dependiendo de su configuración. Indica cuántos bits de las direcciones IP comparten las redes, de forma que se puede calcular la dirección de la red y las de los hosts, como se puede observar en la figura 18.

Según el tamaño de las redes, típicamente se pueden clasificar en:

- **Redes WAN** (*Wide Area Network* – Redes de área extensa): son las redes más amplias, donde sus componentes no comparten espacio físico.

- **Redes MAN** (*Metropolitan Area Network* – Redes de área metropolitana): es el siguiente escalón. Es una red que da cobertura a una determinada área y que permite la integración de diferentes servicios y la unión de diferentes redes de ámbito menor
- **Redes LAN** (*Local Area Network* – Redes de área local): configuran las redes tradicionales más pequeñas y se constituyen por equipos que comparten el mismo dispositivo encaminador (router).

Redes virtuales (Vlan)

Las redes locales virtuales (*Virtual LAN* - Vlan)[23] proporcionan el siguiente paso en la segmentación de las redes, permitiendo que convivan varias redes diferentes dentro de los mismos segmentos físicos. Estas redes se configuran por software, dentro del etiquetado de las cabeceras, de forma que **se pueden tomar decisiones de encaminamiento basadas en la pertenencia a determinadas Vlan's**.

Network Bits	Subnet Mask	Bits Borrowed	Subnets	Hosts/Subnet
8	255.0.0.0	0	1	16777214
9	255.128.0.0	1	2	8388606
10	255.192.0.0	2	4	4194302
11	255.224.0.0	3	8	2097150
12	255.240.0.0	4	16	1048574
13	255.248.0.0	5	32	524286
14	255.252.0.0	6	64	262142
15	255.254.0.0	7	128	131070
16	255.255.0.0	8	256	65534
17	255.255.128.0	9	512	32766
18	255.255.192.0	10	1024	16382
19	255.255.224.0	11	2048	8190
20	255.255.240.0	12	4096	4094
21	255.255.248.0	13	8192	2046
22	255.255.252.0	14	16384	1022
23	255.255.254.0	15	32768	510
24	255.255.255.0	16	65536	254
25	255.255.255.128	17	131072	126
26	255.255.255.192	18	262144	62
27	255.255.255.224	19	524288	30
28	255.255.255.240	20	1048576	14
29	255.255.255.248	21	2097152	6
30	255.255.255.252	22	4194304	2

Ilustración 18: Máscara de red

Los equipos pertenecientes a una Vlan no pueden acceder a la parte interior de otra, con lo que se proporciona otro nivel de seguridad más en la comunicación entre ordenadores, pudiendo segmentar más la red y aislar unos equipos de otros.

Existen varios tipos de redes de este tipo, según se trate de agrupaciones por puerto, IP, protocolo, etc...

Planeamiento IP

El esquema introducido en la figura 13 muestra los segmentos de la red a nivel funcional. Cada uno de estos segmentos dispone de su subred particular, siendo discriminado por routers y firewalls el camino de cada uno de los paquetes que circulan por la red:

- **Cabecera:** consta del router de cabecera y el firewall, con lo que se puede segmentar con una máscara del tipo 29 que permite hasta 8 hosts (tabla 18).
- **Provisión:** donde se encuadran los servicios de gestión y los suscriptores, donde se realiza una distribución en redes virtuales dependiendo del servicio a realizar.

En consecuencia, los equipos de telefonía, televisión e internet dispondrán de sus propias redes virtuales que permitirán el adecuado encaminamiento desde los equipos finales hasta el router de cabecera.

- **Gestión:** formado por los servidores y bases de datos que contienen la información propia de la empresa, garantizando la confidencialidad e integridad de los datos en ellos contenidos.
- **DMZ:** donde acceden pudiendo encontrarse con los equipos de servicios ofertados al público y los sistemas de detección de intrusos, que así conforman otro de los niveles de seguridad establecidos en la red.

El esquema de la figura 19 resume todas las políticas de enrutamiento de los diferentes segmentos de la red.

Ancho de banda

Un elemento importante en el diseño de cualquier red IP es el cálculo de los anchos de banda necesarios para la adecuada circulación de la información por la red.

El ancho de banda es la cantidad de información total que viaja por cada uno de los enlaces, incluyendo información de subida e información de bajada, medida en bits por segundo (bps), con lo que se define como la **capacidad de bits que la red puede procesar en cada segundo**. En la medida de dichas cantidades se usan típicamente los múltiplos kbps (kilo), Mbps (mega) y Gbps (giga), que son el resultado de multiplicar por 1024 las unidades inmediatamente inferiores.

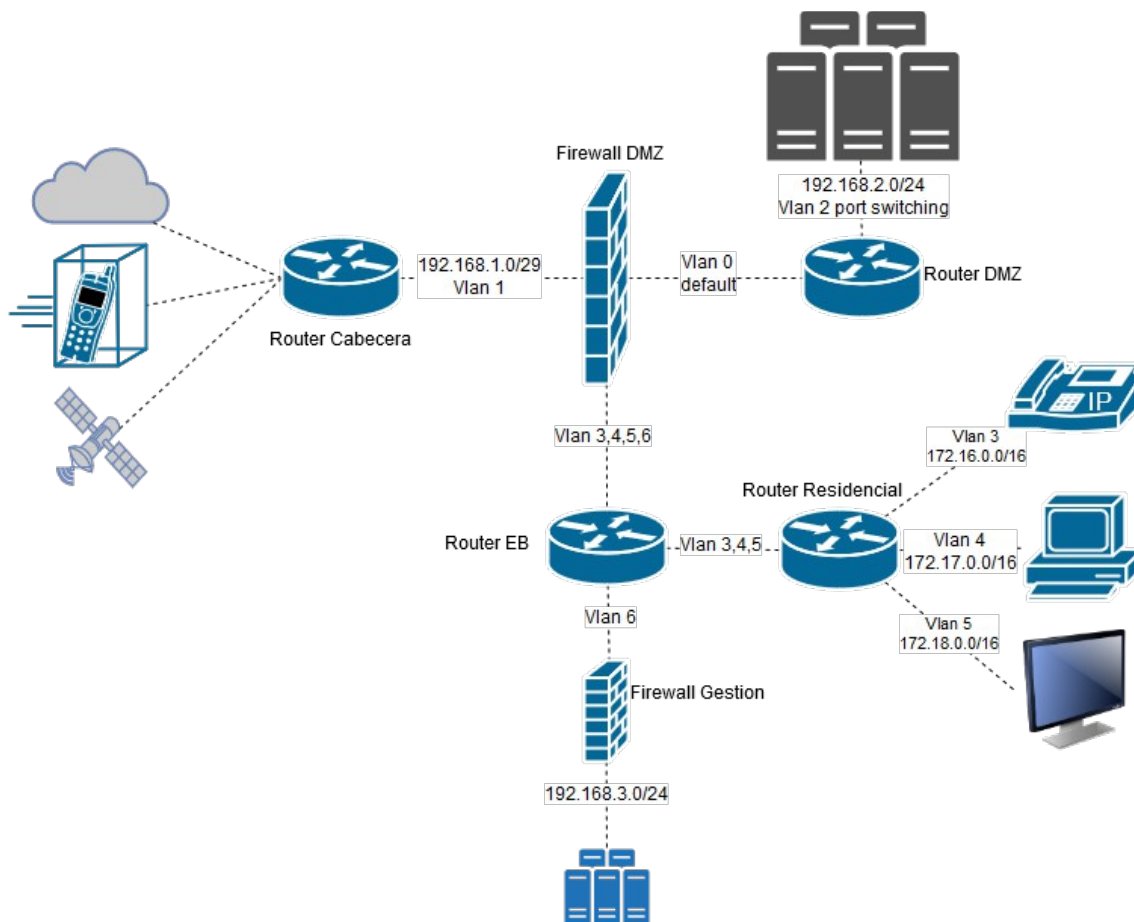


Ilustración 19: Enrutamiento IP

Se realizan estimaciones de cálculo con base en las siguientes **premisas**:

- **Televisión:** en codificación MPEG-4[26] se precisan 8 Mbps por cada canal de alta definición (HD – *High Definition*) y 2 Mbps por cada canal de definición estándar (SD – *Standard Definition*).
- **Internet:** Se utilizarán 20 Mbps para Internet en el acceso residencial, 100 Mbps para soportar los equipos contenidos en la DMZ y 20 Mbps para la planta de equipos de gestión.
- **VoIP:** precisa una tasa de 200 Kbps por cada comunicación establecida, incluyendo los caudales en ambos sentidos.
- Cada **vivienda** se estima que disponga de acceso a Internet, un equipo de televisión que visiona un canal HD y un teléfono fijo.
- Los usuarios empresariales se equiparan con accesos residenciales.
- Se estima que serán necesarios 5 teléfonos fijos para la gestión de las plantas de gestión y DMZ.

Bajo estas condiciones, cada acceso residencial (particular o empresarial) precisa de un ancho de banda mínimo de 28,2 Mbps a los que hay que añadir los 121 Mbps de las plantas de gestión y DMZ.

De los datos que aporta el Instituto Nacional de Estadística (INE)[24] y el censo de empresas que ofrece Universia[25] se estima que:

- Albudeite cuenta con unas 390 viviendas familiares y unas 62 empresas, de las que unas 40 pueden estar ubicadas en el casco urbano.
- Campos del Río supone un total de 610 viviendas y 140 empresas, estimadas unas 100 en el casco urbano de la población.

Ésto nos permite obtener la aproximación sobre el ancho de banda necesario:

$$\begin{aligned} 390 \text{ viviendas} + 40 \text{ empresas} &= 430 \text{ nodos residenciales} \\ 430 \text{ nodos residenciales} \times 28,2 \text{ Mbps} &= 12126 \text{ Mbps} \\ 12126 \text{ Mbps residenciales} + 121 \text{ Mbps} &= 12247 \text{ Mbps} \approx 12,5 \text{ Gbps} \end{aligned} \quad (1)$$

Realizando un sobreaprovisionamiento de 1:10, serán precisos 1,25 Gbps de tráfico en la zona de transporte para la agregación de todo el tráfico en Albudeite y unos 2 Gbps para Campos del Río.

En consecuencia, se estima que para una primera fase de despliegue, **será necesario disponer del 40% de este servicio máximo** con lo se debe asegurar un tráfico agregado de 500 Mbps para la localidad de Albudeite, y 800 Mbps para Campos del Río, en su caso.

5.2.3 Requisitos técnicos de nivel físico

Aquí aparecen conceptos diferentes a los expresados en el apartado anterior: frecuencias, ubicaciones, conexasión entre los diferentes equipamientos... introduciendo todos los condicionantes técnicos con unas cuestiones previas sobre los radioenlaces.

Las representaciones de los cortes geográficos y mapa de ubicaciones se han extraído con la aplicación Radio Mobile, de la que se hablará con más detalle en apartados posteriores.

Radioenlaces

El concepto del radioenlace hace referencia a una **comunicación entre dos puntos mediante el uso de ondas electromagnéticas** que corresponden al espectro de las **microondas**, situadas en frecuencias entre los 300 MHz y los 300 GHz.

Mediante el uso de antenas parabólicas se puede concentrar la energía de propagación en una sola dirección estableciendo una comunicación punto a punto para distancias largas sin la necesidad de realizar tendidos de cable.

Como cualquier transmisión de radio, es preciso tener en cuenta los **condicionantes físicos de la zona de propagación**:

- Climatología
- Distancia
- Reflexión
- Obstáculos
- Línea de visión

Este tipo de comunicación requiere **línea de visión directa, completa o parcial**, para realizar la transmisión en condiciones de éxito. Asimismo la existencia de obstáculos provocará una disminución de la calidad de la comunicación debido a que se introducen mayores pérdidas por fenómenos de dispersión.

Concretamente, se considera que **una comunicación es viable si se encuentra libre el 60% de la conocida como primera zona de Fresnel**[29], que es el espacio con forma de elipsoide de revolución con un desfase de 180° entre la onda emitida y la onda recibida.

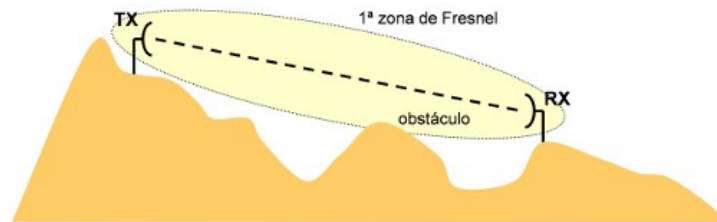


Ilustración 20: Representación Zona de Fresnel.

Fuente: www.radioenlaces.es

En cuanto a las **pérdidas**, hay que tener en cuenta que:

- Los efectos de la **climatología y la reflexión ionosférica** dependen de las frecuencias utilizadas, ya que existen unas más inmunes a estas variables que otras.
- También depende de la frecuencia la **atenuación por distancia**, conocida como pérdidas en espacio libre, que aumenta con la frecuencia.

El concepto antagónico de la pérdida es la **ganancia**: amplificación sobre la señal recibida o emitidas provocada por la propia antena. Éstas presentan mayor o menor ganancia en base a sus condiciones de construcción y la frecuencia para la que están diseñadas.

Todo el conjunto de pérdidas calculadas basadas en las distintas variables, junto con la potencia emitida y las ganancias de las antenas, expresadas en decibelios (dB) conforman el cálculo denominado **balance de pérdidas y ganancias**:

$$P_R = P_E + G_E + G_R - \text{Pérdidas} \quad (2)$$

donde:

- P_R es la potencia recibida
- P_E es la potencia emitida
- G_E es la ganancia de la antena emisora
- G_R es la ganancia de la antena receptora
- Las pérdidas es la suma de las que introduce cada uno de los parámetros vistos.

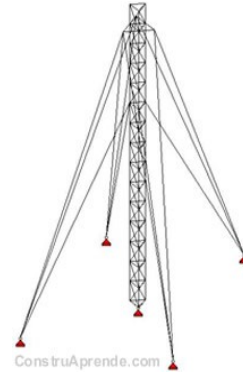
Esta potencia recibida no puede ser menor que el **umbral del receptor**, definido como la potencia mínima de trabajo.

Tramo de cabecera

La cabecera física debe permitir el acceso a los servicios que se ofertan, posible desde la ubicación de la misma, accesibles desde el router de aprovisionamiento a las redes IP de los proveedores.

La antena del radioenlace debe:

- Cumplir la **normativa** local sobre instalaciones radioeléctricas[28].
- Disponer de **suficiente altura** para poder aumentar las capacidades del sistema.
- Estar montada sobre una **torre arriostrada** en el tejado del edificio, que es la adecuada en estas instalaciones, garantizando 35 m de altura (Fig. 23).



Como **punto crítico** del sistema se debe garantizar:

- La redundancia de la alimentación eléctrica
- Equipamiento de alimentación de emergencia, con la disposición de un SAI que permita un tiempo de unos 20 minutos de alimentación de todo el equipamiento para poder apagar el sistema en condiciones de seguridad eléctrica
- Un adecuado sistema de frío según las características de trabajo de los equipos instalados.

Ilustración 21: Torre arriostrada.

Fuente:

www.construaprende.com

Tramo de transporte

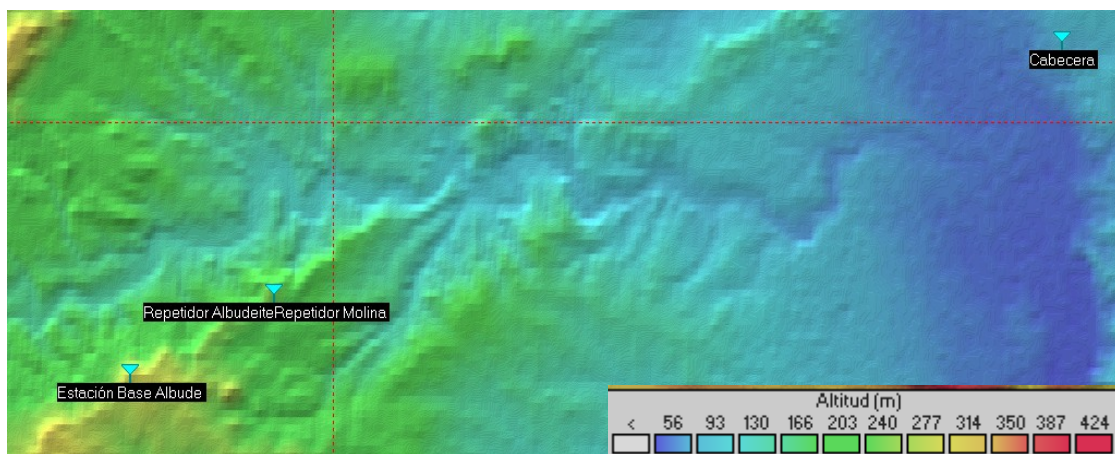


Ilustración 22: Radioenlaces

El tramo de transporte comprende desde la cabecera hasta los puntos iniciales de provisión, en la localidad de Albudeite en primera fase y en el repetidor intermedio si se amplía el servicio a la localidad de Campos del Río.

La implementación física de este tramo se realiza con dos vanos de radioenlace:

- El **primer vano** comprende desde la localidad de Molina de Segura, donde está ubicada la cabecera, hasta un repetidor intermedio localizado en las coordenadas geográficas 38° 01' 46.6" N – 1° 20' 33" W con una altitud de 255 metros sobre el nivel del mar y una distancia de 11,6 km entre los dos puntos.

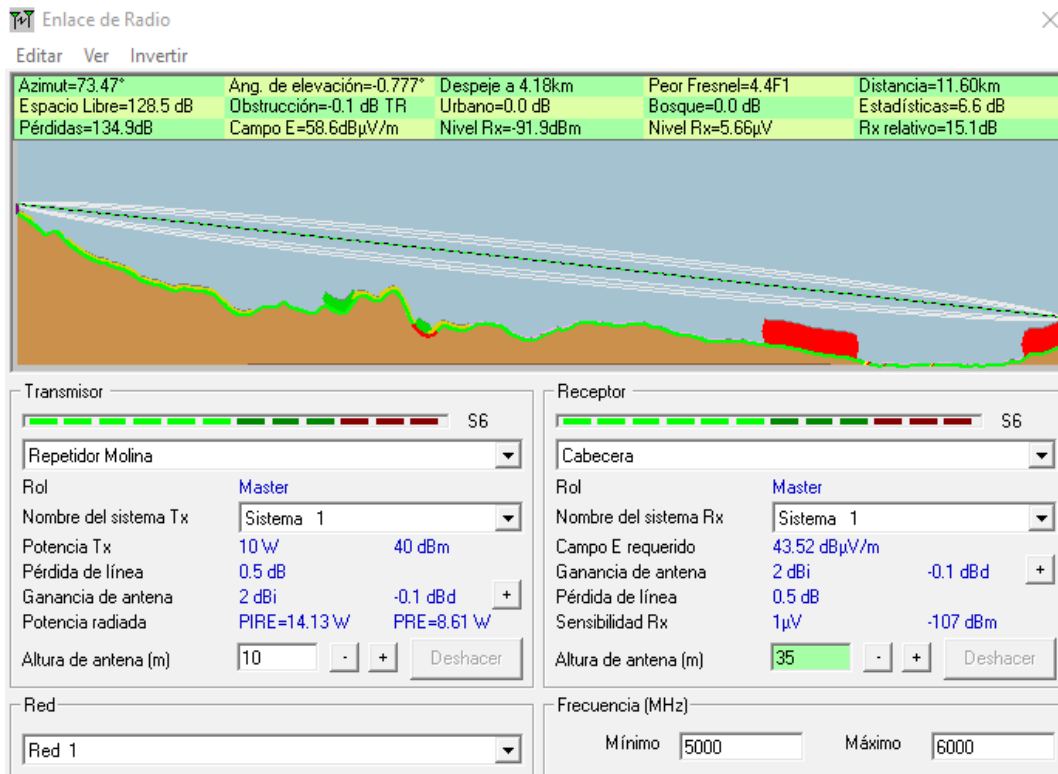


Ilustración 23: Enlace radio primer vano

Tal como se puede observar en la figura 23, **quedan libres las tres primeras zonas de Fresnel**, con lo que se asegura una comunicación que no depende de los obstáculos físicos, siendo la única variable determinante las condiciones climatológicas.

- El **segundo vano** de radioenlace transcurre entre este repetidor intermedio y la estación base localizada cerca de la localidad de Albudeite, con coordenadas geográficas 38° 01' 12.70" N – 1° 21' 56.40" W y una altitud de 308,10 metros sobre el nivel del mar. Este vano recorre una distancia de 2.28 km y presenta el perfil de la figura 24.

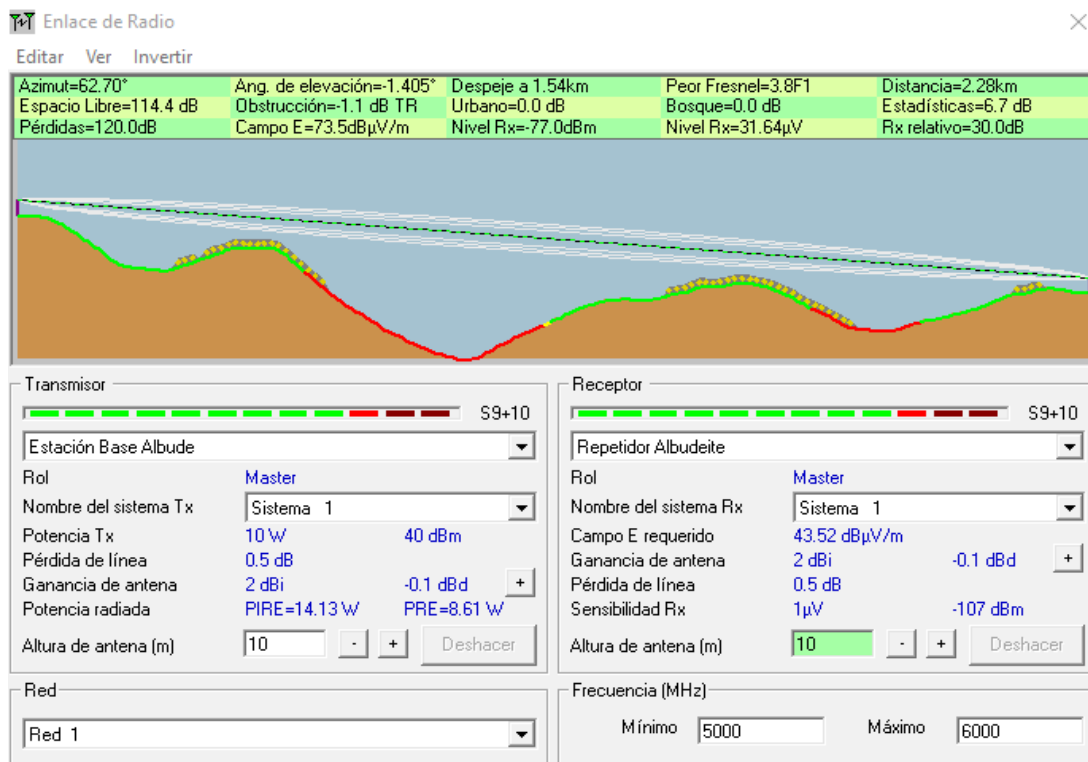


Ilustración 24: Segundo vano de radioenlace

En idénticas condiciones que el supuesto anterior, observamos total libertad de las tres primeras zonas de Fresnel, con lo que la comunicación es perfectamente viable.

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)[30] los vientos dominantes oscilan entre 4 y 6 m/s (14.4 y 21.6 km/h), parámetro necesario para el diseño de las torres.

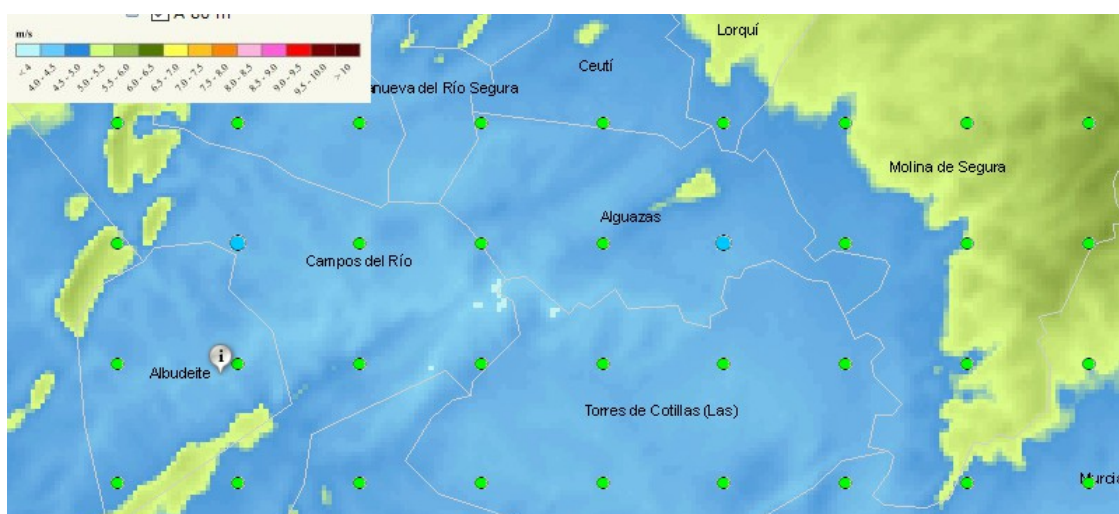


Ilustración 25: Mapa de vientos (IDAE)

Las torres de las dos instalaciones aisladas deben cumplir los siguientes requisitos:

- Como se observa en las figuras 23 y 24, la altura de los radioenlaces debe ser de 10 metros para la garantía de libertad de las zonas de Fresnel.
- Para permitir el crecimiento del sistema, será necesario colocar torres de 20 metros de altura, que permiten la instalación de mayor cantidad de equipamiento en caso necesario.
- El modelo más idóneo de torre es la **autosoportada de planta cuadrada sobre basamento de hormigón**, tal como se observa en la imagen 26, por su resistencia al viento y capacidad de escalado.
- Deben cumplir la normativa reguladora que le es propia[31]
- Se debe dar cumplimiento a las normativas derivadas de la legislación sobre riesgos laborales[32] en cuanto a su equipamiento.

Anexa a la torre, se debe colocar una **caseta de comunicaciones** adecuada al servicio a prestar. Con objeto de contener los equipamientos, se estima necesaria una superficie mínima de 2 x 2 metros, para lo que resultan idóneas las casetas prefabricadas monobloque, de forma parecida a la que se muestra en la figura 28.

Incluido el cerramiento exterior y las antenas, el aspecto del conjunto se ejemplifica en la imagen 27.

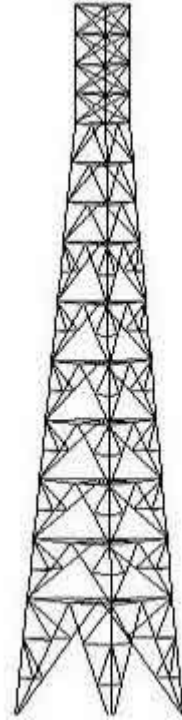


Ilustración 26: Torre autosoportada.

Fuente: www.construaprede.com



Ilustración 27: Modelo instalación torre.

Fuente: www.elcorreo.es



Ilustración 28: Caseta monobloque.

Fuente: www.aim-andalucia.com

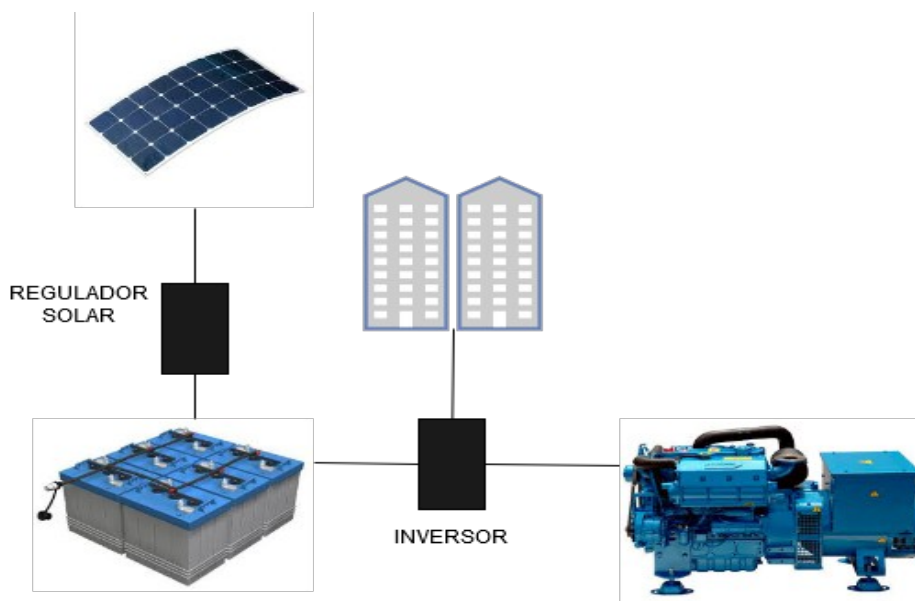


Ilustración 29: Diagrama eléctrico

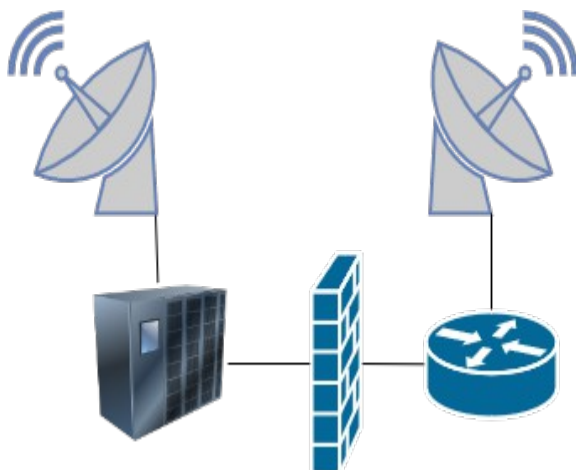
Para el suministro eléctrico, debido a la baja velocidad media del viento (figura 25), que descarta la utilización de aerogeneradores, y la cantidad de horas de sol de la zona[33], **lo conveniente es utilizar placas fotovoltaicas** montadas en la torre con un grupo electrógeno de reserva como se muestra en la ilustración 29, con protección para sobretensiones.

Tramo de distribución

Para la distribución de la señal a los clientes:

- **Estación base:** se deberá instalar una antena sectorial orientada al casco urbano.
- **Clientes:** se instala un equipo de suscripción WIMAX (conocido como CPE) que termina en el router residencial (imagen 9).

Estos CPE disponen de forma típica de una tasa de transferencia de hasta 35 Mbps, que supera de forma amplia los 28,8 Mbps especificados como necesarios.



El **router residencial**, es el equipo que, para el usuario, conecta su vivienda con Internet, el servicio telefónico y la televisión contratada (Ilustración 9).

Ilustración 30: Esquema de Estación Base

Planta de servidores

Para la planta de servidores, conocida como CPD (Centro de Proceso de Datos), se debe implementar como mínimo:

- **Servidor web.**
- **Portal cautivo.**
- **Servidor de ficheros** para almacenar la información de gestión.
- **Copias de seguridad** en elementos externos, garantizando la disponibilidad de la información.
- Garantía de **alimentación eléctrica** en aras de mantener el tiempo de disponibilidad del sistema, con elementos de reserva.
- **Equipamiento de frío y recirculación de aire** que permita mantener la sala a 25°C en todo momento y una correcta ventilación.

5.2.4 Requisitos de equipamiento

Siguiendo la línea física, se presentan ejemplos de los equipos instalados con objeto de establecer las condiciones genéricas que deben cumplir los mismos y dotar de suficiente capacidad de decisión a la hora de evaluar las distintas propuestas presentadas.



7750 SR-7

Ilustración 31: Router NOKIA 7750 SR.

Fuente: networks.nokia.com

Cabecera

Se precisa un **router modular** con:

- Posibilidades IPsec y MPLS[18].
- Alta capacidad de gestión de datos
- Diseñado para el funcionamiento en modo 24x7

El NOKIA 7750 SR[34], puede resultar un equipo idóneo, con las siguientes características:

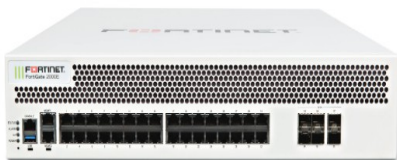


Ilustración 32: Firewall.

Fuente: www.fortinet.com

NOKIA 7750 SR	
Router tipo frontera	
Gestión	200 Gbps a 288 Tbps
Rango	5°C a 40°C
Humedad	5 y 85%
Alimentación	230 V redundante

Tabla 5: Características Router

El **firewall** a instalar en la cabecera debe permitir:

- Gran capacidad de tráfico de datos y análisis de cabeceras
- Posibilidad de configuración remota.

El Fortigate 2000E[35] de la empresa Fortinet cumple sobradamente dichas especificaciones (tabla 6).

Fortigate 2000E	
Gestión	90 Gbps
Rango	0°C a 40°C
Humedad	10 y 90%
Alimentación	230 V redundante

Tabla 6: Capacidades Firewall

Para el cálculo de los consumos eléctricos se cuenta con los siguientes parámetros:

CONSUMO ELÉCTRICO	
Router	4600 W
Firewall	430 W
Radioenlace	despreciable
Total	5030 W

Tabla 7: Consumos cabecera

Con un factor de adaptación de potencias del 60%:

$$5030 \text{ W} + 60 \% = 8048 \text{ VA} \quad (3)$$

Este valor caracteriza el **SAI** a utilizar, como el equipo SLC TWIN RT de la española Salicru[36] alcanza hasta 10 kVA que permitirá el correcto suministro eléctrico en caso de fallo de corriente eléctrica y el apagado en condiciones de seguridad del equipamiento en caso de fallo continuado.

Otros parámetros a considerar son:

- Todos los equipos estarán montados en rack estándar de 19".
- La temperatura de trabajo debe rondar los 25°C para preservar la vida de las baterías.
- En caso de que la humedad de la sala supere el 70% se deberá instalar un deshumidificador adecuado.



Ilustración 34: SAI.

Fuente: www.salicru.com



Ilustración 33: Rack 19"



Ilustración 36: Router HPE.

Fuente: www.hpe.com



Ilustración 35: radioenlace.

Fuente: www.ubnt.com

Transporte

Este tramo comienza en la cabecera, donde se encuentra uno de los puntos terminales del primer vano del radioenlace de transporte.

Dado que es preciso garantizar un transporte en un primer despliegue de 500 Mbps, los radioenlaces Ubiquiti AF5U[37] pueden resultar una elección adecuada.

Ubiquiti AF5U	
Tráfico	1,2 Gbps
Frecuencias	Banda de 5 Ghz
Alimentación	POE
Resistencia	Vientos de hasta 200 Km/h
Gestión	Remota

Tabla 8: Características radioenlace

En el **repetidor** que hace de frontera entre los dos vanos están ubicados:

- **Dos radioenlaces** como los mencionados (tabla 8).
- **Router** con las siguientes consideraciones:
 - Posibilidad de gestión remota.
 - Capacidad de proceso escalable.
 - Interfaces hacia los dos radioenlaces.
 - Posibilidad de encaminar datos hacia un posible equipamiento de estación base hacia Campos del Río.
 - Capacidades IPSec

El HPE FlexNetwork HSR6602 XG Router[38] proporciona:

HPE HSR 6602 XG	
Tráfico	80 Gbps
Consumo	300 W
Rango	0 a 45°C
Humedad	5 a 95%

Tabla 9: Router repetidores

En el punto de transporte compartido con la **estación base de Albudeite** es preciso instalar

- El último punto de radioenlace
- Un router HPE, que constituye la frontera entre la red de transporte y la red de distribución.

Distribución

Como equipamiento propio de la funcionalidad de estación base, es preciso implementar:

- **Políticas adecuadas en el router** para permitir el encaminamiento al resto de la red de distribución.
- **Un firewall** que permite la separación de la DMZ y la asociación de redes virtuales, según lo expresado en la figura 19. El firewall a implementar es el mismo que el planteado en la cabecera, con lo que no es preciso realizar más exposiciones.
- **Una estación base WIMAX** que opere:
 - En la **banda de frecuencias no licenciada de 5470 a 5875 MHz** (banda libre de 5 GHz)
 - Un **ancho de banda de canal de 10 MHz** para una adecuada reutilización del espectro. Cada canal de 10 MHz proporciona 35 Mbps, lo que con una tasa de sobreprovisión de 1:10 puede suponer un agregado de 350 Mbps de oferta.

La estación base Alvarion BreezeMAX Extreme 5000[39] tiene las posibilidades expresadas en la tabla 10 con lo que se puede cubrir el espectro necesario, según lo expresado en el apartado de requisitos del equipamiento, instalando dos estaciones base:

$$2 EB * 2 canales * 35 Mbps / canal = 150 Mbps$$

(4)

Sobreprovisionando 1:10 = 1500 Mbps agregados

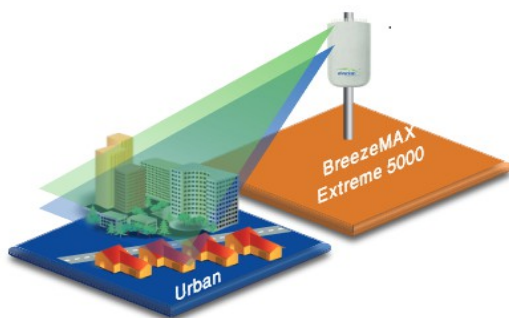


Ilustración 37: Estación base.

Fuente: www.wincom.ru

Alvarion Breeze MAX	
Antena	Integrada o externa
Técnica	MIMO 2X2
Canales	2 por sector
Agregado	75 Mbps
Rango	-40 a 55°C
Humedad	5 a 95%

Tabla 10: Capacidades Estación Base

Con este total de 4 canales se cubre sobradamente la capacidad inicial necesaria y futuras ampliaciones de suscriptores. La escalabilidad está

asegurada disponiendo de más estaciones o disminuyendo el ancho de banda del canal.

Cualquier **antena exterior MIMO 2x2 sectorial de 90°**, en el rango de frecuencias de operación, es válida, poniendo como ejemplo la WIS-ANS5818-90[40] que proporciona 18 dBi de ganancia.

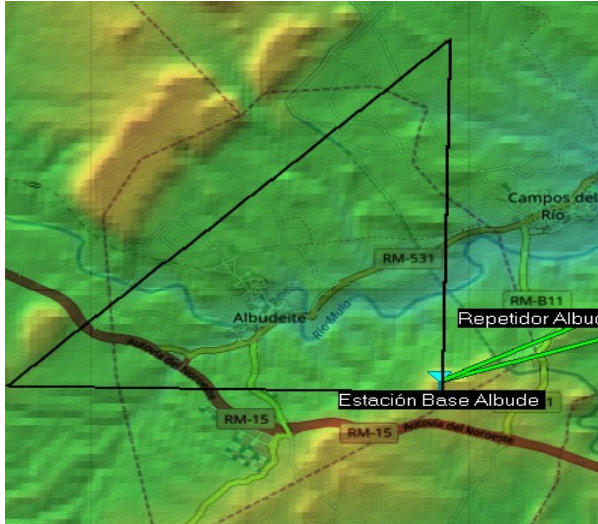


Ilustración 39: Sectorización EB



Ilustración 38: Antena WIMAX.

*Fuente:
www.wirmax.net*

Las **características del equipamiento residencial** son menos exigentes ya que se trata de un equipamiento de ámbito doméstico. Sólo requiere funcionalidades IPSec y compatibilidad con los protocolos de comunicaciones expuestos.

Se pueden citar los siguientes ejemplos comparativos:

- **Router** Smart Wi-Fi MU-MIMO AC2600 Max-Stream Linksys EA8500[45].
- **IPTV SET-TOP BOX** MAG351 / MAG352[46].
- **Adaptador ATA** Grandstream HT801 para teléfonos analógicos[48] en el caso de aprovechar los terminales preexistentes o el **teléfono IP** Yealink SIP-T19 E2[49] para suscriptores que precisan de un nuevo terminal.

5.2.5 Requisitos de seguridad

Una vez presentados los requisitos del equipamiento que puede ser instalado, se analizan los requisitos de seguridad. Es preciso explicar como funciona el protocolo IPSec y establecer las bases de aislamiento lógico de los diferentes segmentos de la red.

Asimismo también se analizan las premisas de la seguridad física de las instalaciones, con objeto de prevenir desastres naturales y actos vandálicos que puedan poner en riesgo la disponibilidad del sistema.

En el plan de contingencias debe figurar las reacciones que se producen en caso de vulneraciones de seguridad detectadas, así como la adecuada cadena de informaciones sobre los elementos en riesgo.

El protocolo IPSec

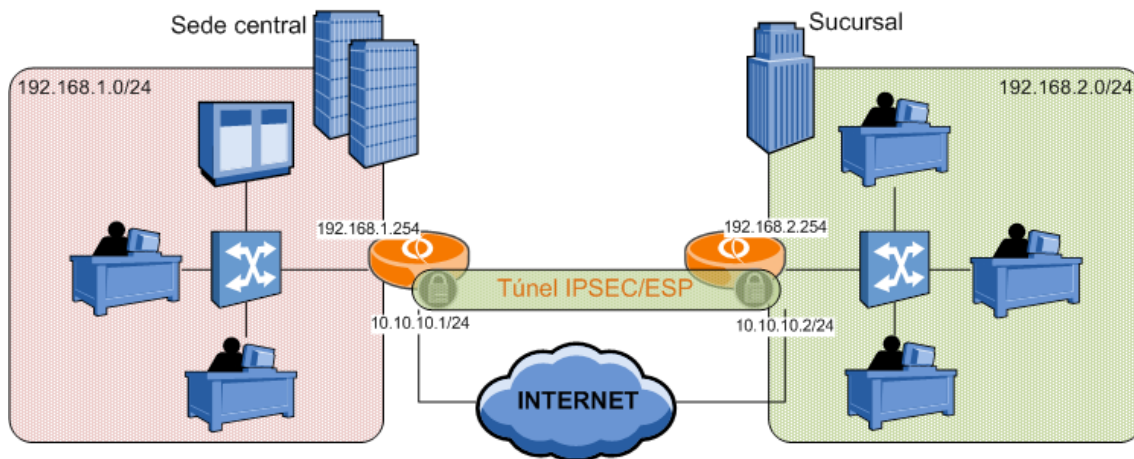


Ilustración 40: Descripción IPSec (Modo Túnel)

Fuente: <http://blog.e2h.net>

Tal como explica Sergio de Luz[19] en la Introducción a IPSec, se trata de un **protocolo de seguridad para redes basadas en TCP/IP** que proporciona:

- **Integridad** (cabecera de autenticación AH).
- **Confidencialidad** (cabecera de carga de seguridad ESP).
- **Autenticación** (cabecera de autenticación AH).
- Permite el **acceso remoto** a equipos situados fuera del ámbito de la LAN del usuario[20].

Funciona en modo transporte o túnel, y **garantiza**:

- Cifrado a los datos transportados.
- La comunicación sólo será realizada por quien puede hacerlo.
- Sólo será recibida por su auténtico receptor.
- Los datos son fidedignos y secretos entre ellos.

Requisitos de seguridad de nivel funcional

Toda la comunicación que circula dentro de la red es vulnerable. La que circula vía radio debido a que se puede interceptar y la información en si puede verse comprometida. Para paliar estas situaciones **se deben incorporar los siguientes mecanismos al sistema**:

- **Diseñar una política adecuada tanto de encriptación como de acceso** para proteger la red de los ataques a la integridad de la información y el compromiso de los datos de carácter personal.
- **La implementación de la DMZ debe ser una prioridad**, de forma que ningún datagrama que no pertenezca a un usuario autorizado puede circular fuera de la conexión entre el router de cabecera y la DMZ como se observa en la figura 19.



Ilustración 41: Seguridad de la información

- La **garantía de acceso** la proporcionan los mecanismos de autenticación de IPSec.
- En la **configuración de los firewalls** se debe prestar especial atención a los usuarios administrativos, configurando adecuadamente el servidor LDAP incorporado y el acceso via web.
- Un adecuado enrutamiento de las redes virtuales.

Requisitos de seguridad de nivel físico.

La seguridad de nivel físico alcanza al acceso material a las zonas críticas del sistema: la cabecera, el repetidor, la estación base y la zona de servidores, así como la seguridad de disponibilidad del sistema.

- Las ubicaciones aisladas que deben contener tanto **elementos de control de accesos** como **sensores** que informen del estado de los componentes.
- Deben disponer de mecanismos que permitan **identificar la persona** que accede al edificio y cuándo lo realizó.
- Se instalarán elementos que permitan **visualizar** en cada momento los accesos físicos.
- La instalación de **alarmas** de emisión sonora disuasiva y aviso remoto, con sistemas autoalimentados y conexión 3G se considera obligatoria.
- Las construcciones deben contar con **valla perimetral** con muro de 1,5 metros de alto con **Circuitos Cerrados de Televisión (CCTV)**.
- Las salas que contienen la **planta de servidores** deben disponer de:
 - Sensorización de temperatura.
 - Control de la corriente eléctrica.
 - Control de accesos.

SEGURIDAD FISICA



Foto: www.idtgr.com

Ilustración 42: Elementos de seguridad física

Todos los elementos tanto de seguridad física como funcional deben estar contenidos en un **plan de contingencias** que comprenda:

- Los **riesgos** del sistema y su nivel.
- Las **medidas de protección**.
- Los **medios de contacto** con los responsables.
- La **escalabilidad** de cada uno de los riesgos.

5.2.6 Requisitos de mantenimiento

Desde el punto de vista **funcional** se debe prestar atención a:

- Mantenimiento de políticas.
- Revisión de rutas.
- Análisis de intrusiones.
- Simulaciones.

Desde el punto de vista **físico** es preciso atender a:

- Mantenimiento de baterías.
- Comprobación de alarmas.
- Pruebas de grupos electrógenos.

Los **resultados de los mantenimientos** deben ser objeto de una adecuada documentación y presentación a los responsables que se designen, al menos una vez cada trimestre, para una adecuada información y gestión presupuestaria de los elementos necesarios.

Para ello es preciso diseñar un **plan general de mantenimiento** de todas las cuestiones planteadas, que permitirá el correcto seguimiento del estado del equipamiento y las medidas de seguridad.

5.3 Estudio de cobertura

Una vez presentada la red y el conjunto de requisitos que se deben tener en cuenta en este tipo de desarrollos, se realiza un estudio de cobertura con una red basada en los equipamientos de ejemplo expuestos, con objeto de que se pueda comprobar en las propuestas que se realicen que cumplen los objetivos que se pretenden alcanzar.

La herramienta que se usará para realizar este estudio de cobertura es la aplicación Radio Mobile³, de uso libre para el estudio de coberturas radio y simulación de redes que usa cartografía y datos de elevaciones de dominio público.

Trabaja en un amplio rango de frecuencias, de 20 MHz a 40 GHz, y utiliza el modelo de Longley-Rice[41] para la modelización de la propagación radio sobre terrenos irregulares, utilizando para ellos perfiles que se obtienen

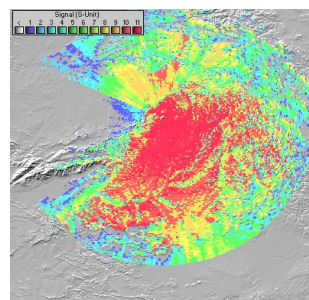


Ilustración 43: Radio Mobile

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

de sus datos geográficos y los parámetros introducidos sobre los equipos a instalar.

Se analiza tramo a tramo, con los datos ya conocidos, tanto los dos radioenlaces como la estación base en Albudeite para comprobar por un lado la comunicación de los radioenlaces y su viabilidad técnica y por otro, la zona de cobertura de la estación base.

Se introduce el estudio con un resumen de los requisitos que ha de cumplir la red, para continuar con una descripción del procedimiento que se utilizará para las simulaciones. Una vez presentados los datos obtenidos se comprueba si se cubren los parámetros iniciales.

5.3.1 Requisitos previos

Según los diseños de la red presentados en el apartado anterior y para el objeto de las simulaciones que se pretenden realizar, existen una serie de **requisitos previos** que se definen en la siguiente tabla:

Radioenlaces	Banda de frecuencias	5 Ghz
	Tráfico agregado para Albudeite	500 Mbps
EB Albudeite	Banda de frecuencias	5 Ghz
	Canalización	10 Mhz
	Sector	90º

Tabla 11: Requisitos previos de cobertura

Estos requisitos parametrizan el estudio a realizar en los apartados posteriores, siendo el más representativo el hecho de que **será necesario disponer de un caudal de 500 Mbps para surtir a la población de Albudeite.**

Según la norma UN-143 del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (Orden ETU/1033/2017, de 25 de octubre, por la que se aprueba el cuadro nacional de atribución de frecuencias, publicado en el BOE nº 259, de 27 de octubre de 2017), **el servicio fijo dentro del rango 5725-5875 MHz está limitado a una potencia PIRE de 36 dBm.**

El PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$PIRE = P_R + G_{TX} - L \quad (5)$$

Siendo:

- P_R la potencia radiada por el equipo transmisor
- G_{TX} la ganancia de la antena emisora
- L las pérdidas de línea

Este es otro parámetro importante para el diseño de la red, ya que **limita la potencia de emisión en base a la ganancia de la antena.**

5.3.2 Procedimiento

- Se comienza el estudio de cobertura calculando los parámetros de los dos radioenlaces: Cabecera-Repetidor y Repetidor-Estación Base. En ambos casos se configura la potencia de emisión ajustada a los parámetros del equipo a utilizar y los requisitos expresados anteriormente.
- De cada uno de ellos se obtiene el perfil geográfico y la potencia recibida, que se compara con la tabla de sensibilidades, calculando el tráfico agregado que puede llegar a circular por el mismo.
- Posteriormente se realiza el estudio de cobertura de la estación base de Albudeite:
 - Se configura el equipamiento de la estación base en la aplicación.
 - Se introducen los datos del equipo receptor.
 - Se extrae el gráfico de potencias sobre el terreno.
 - Se calcula si el receptor dispondrá de la potencia necesaria para funcionar correctamente.
- Se informa también de los parámetros que componen la configuración para la posible ampliación del sistema hacia Campos del Río.

5.3.3 Radioenlaces

Según las ubicaciones ya mencionadas de los distintos emplazamientos, la red de radio queda configurada de la siguiente forma:

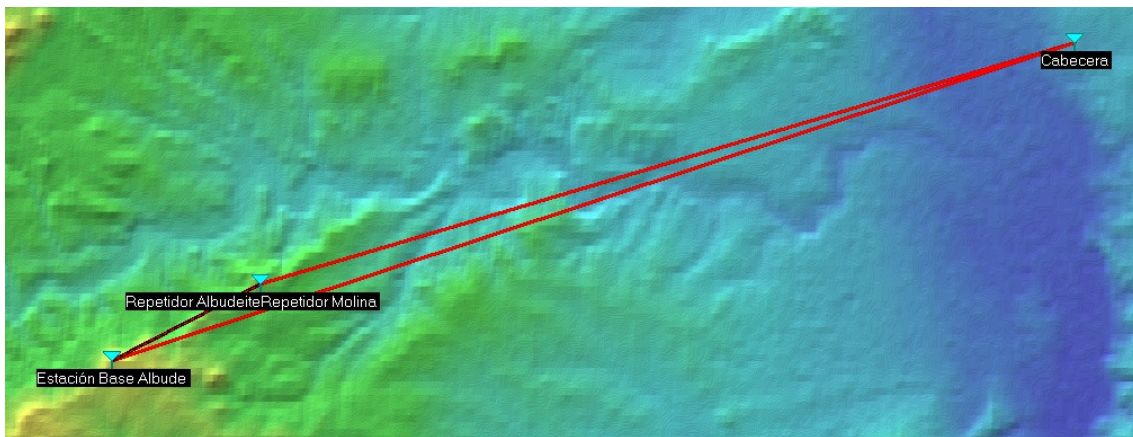


Ilustración 44: Red de radio

Se configura el radioenlace con los datos mostrados por el fabricante:

Ubiquiti AF5U	
Banda	5725 – 5850 MHz
Ganancia TX	23 dBi
Sensibilidad	-57 dBm

Ilustración 45: Configuración radioenlaces Radio Mobile

Ya que no se puede superar el límite impuesto de 36 dBm (equivalente a 3.9811 W) y configurada una pérdida de línea de 0.5 dB, la **potencia de transmisión no puede superar el valor de 13.5 dBm**.

Para el primer vano del radioenlace se obtiene el siguiente perfil geográfico:

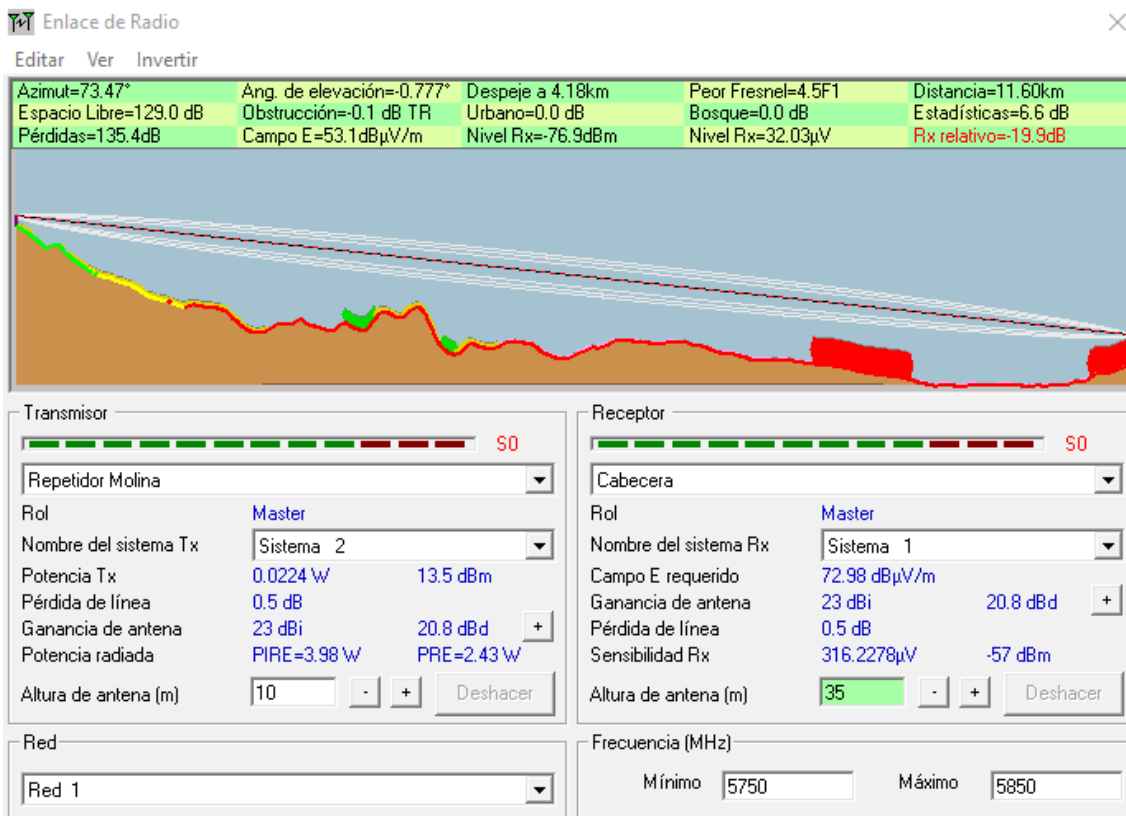


Ilustración 46: Primer vano de radioenlace

En esta situación se observa como en el lugar de recepción (línea punteada a la derecha en el perfil geográfico) se dispone de **-76.9 dBm de potencia de recepción** (Nivel RX en la ilustración).

Con los mismos datos de configuración se prepara el segundo radioenlace con los resultados siguientes una vez realizada la simulación:

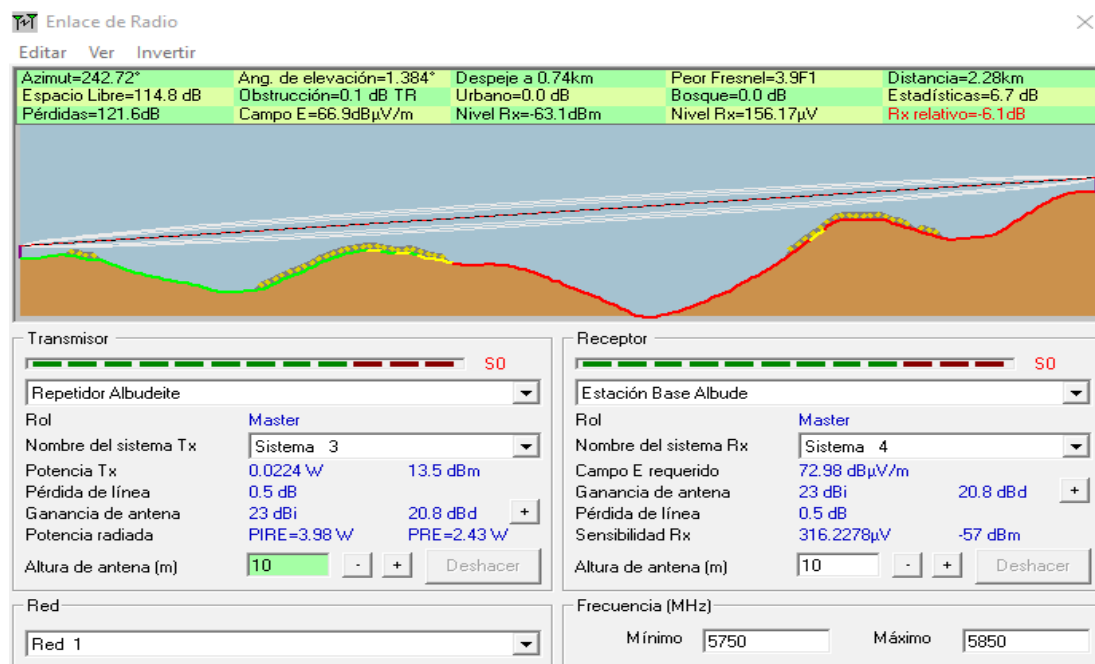


Ilustración 47: Segundo vano de radioenlace

En este caso, se observa un **nivel de recepción de -63.1 dBm en la estación base de Albudeite.**

En la hoja de datos del modelo de radioenlace elegido[37] se puede observar, en su página 7, la tabla de referencia de las sensibilidades de las diferentes técnicas de modulación:

airFiber AF-5/AF-5U Receive Sensitivity								
Rate	Modulation	Sensitivity (10 MHz)	Sensitivity (20 MHz)	Sensitivity (30 MHz)	Sensitivity (40 MHz)	Sensitivity (50 MHz)	FDD Capacity*	TDD Capacity*
10x	1024QAM	-63 dBm	-60 dBm	-59 dBm	-58 dBm	-57 dBm	1280 Mbps	640 Mbps
8x	256QAM	-70 dBm	-67 dBm	-66 dBm	-65 dBm	-64 dBm	1024 Mbps	512 Mbps
6x	64QAM	-77 dBm	-74 dBm	-73 dBm	-72 dBm	-71 dBm	768 Mbps	384 Mbps
4x	16QAM MIMO	-84 dBm	-81 dBm	-80 dBm	-79 dBm	-78 dBm	512 Mbps	256 Mbps
2x	QPSK MIMO	-90 dBm	-87 dBm	-86 dBm	-85 dBm	-84 dBm	256 Mbps	128 Mbps
1x	½ Rate QPSK xRT	-93 dBm	-90 dBm	-89 dBm	-88 dBm	-87 dBm	128 Mbps	64 Mbps
¼x	¼x QPSK xRT	-95 dBm	-93 dBm	-93 dBm	-92 dBm	-91 dBm	32 Mbps	16 Mbps

* FDD = (2) 50 MHz channels and TDD = (1) 50 MHz channel

Ilustración 48: Tabla de sensibilidades Airfiber

Según las potencias recibidas se dispondrá de los siguientes resultados:

	Modulación	Pot. RX	Capacidad
Primer Vano	16QAM MIMO	-76.9 dBm	550 Mbps
Segundo Vano	256 QAM	-63.1 dBm	1024 Mbps

Tabla 12: Capacidades de los radioenlaces

5.3.4 Estación Base de Albudeite

La población de Albudeite se encuentra, como se expuso anteriormente, en una hoya sobre un terreno circundante más elevado, motivo de elegir la ubicación propuesta, ya que se trata de un **terreno dominante** sobre el casco urbano de la localidad.



Ilustración 49: Detalle ubicación Estación Base.

Para modelar el funcionamiento de la estación base, se utiliza una antena sectorial de 90° y se ubica un receptor (CPE), en este caso aproximadamente a la altura del Ayuntamiento, para que la aplicación pueda predecir la propagación en base a las características del mismo (Fig. 50).

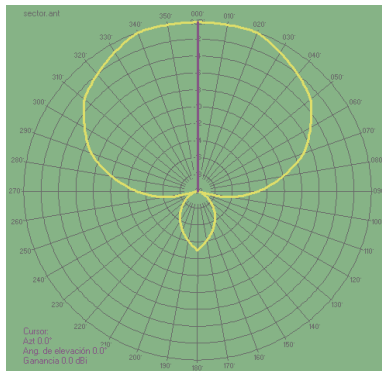


Ilustración 50: Patrón Antena WIMAX

La composición urbana de Albudeite consta de viviendas de dos plantas en su gran mayoría, por lo que se han dispuesto **tres alturas de ubicación del CPE en 5 metros, 12 metros y 15 metros**, manteniendo la altura de la estación base en 10 metros para modelizar el peor de los casos.

En el caso del receptor, se han utilizado los datos del CPE de la española Alcentia[42] que dispone de modelos con antenas de 15, 19 y 23 dBi de ganancia en la banda de 5 GHz utilizando los datos de los modelos de 15 y 23 dBi para las simulaciones.

Los datos de los dos equipamientos para la simulación son los siguientes:

Suscriptor	
Banda	5 GHz
Sensibilidad	-74 a -99 dBi
Ganancia	15 o 23 dBi

Tabla 14: Datos equipo suscriptor

Estación Base	
Banda	5470 a 5950 MHz
Pot. MAX TX	21 dBm
Ganancia TX	14.5 dBm

Tabla 13: Datos Estación Base

El perfil geográfico que se obtiene de la comunicación entre la estación base y el equipo suscriptor es el siguiente:

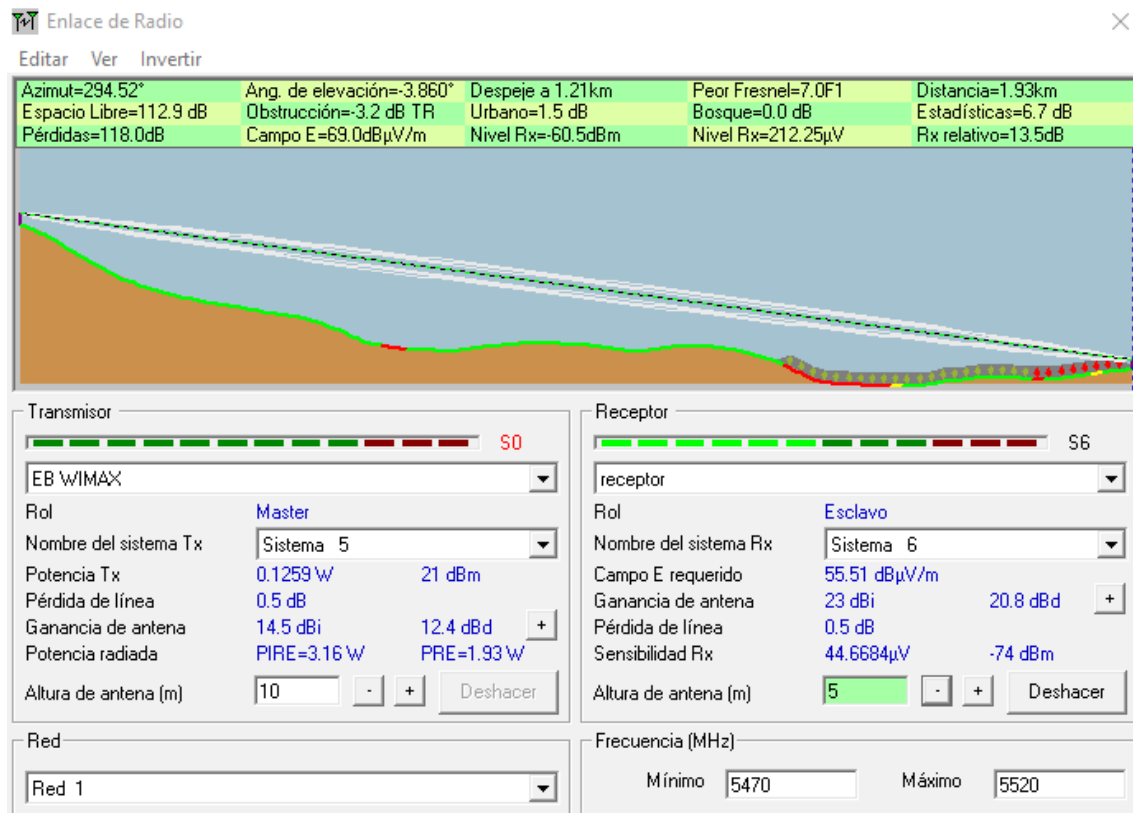


Ilustración 51: Ejemplo enlace radio Estación Base - Receptor

Con ello, se configuran **seis escenarios posibles**: con alturas del suscriptor de 5, 12 y 15 metros y ganancias de 15 y 23 dBi obteniendo el siguiente juego de gráficas con una altura de la estación base de 10 metros:

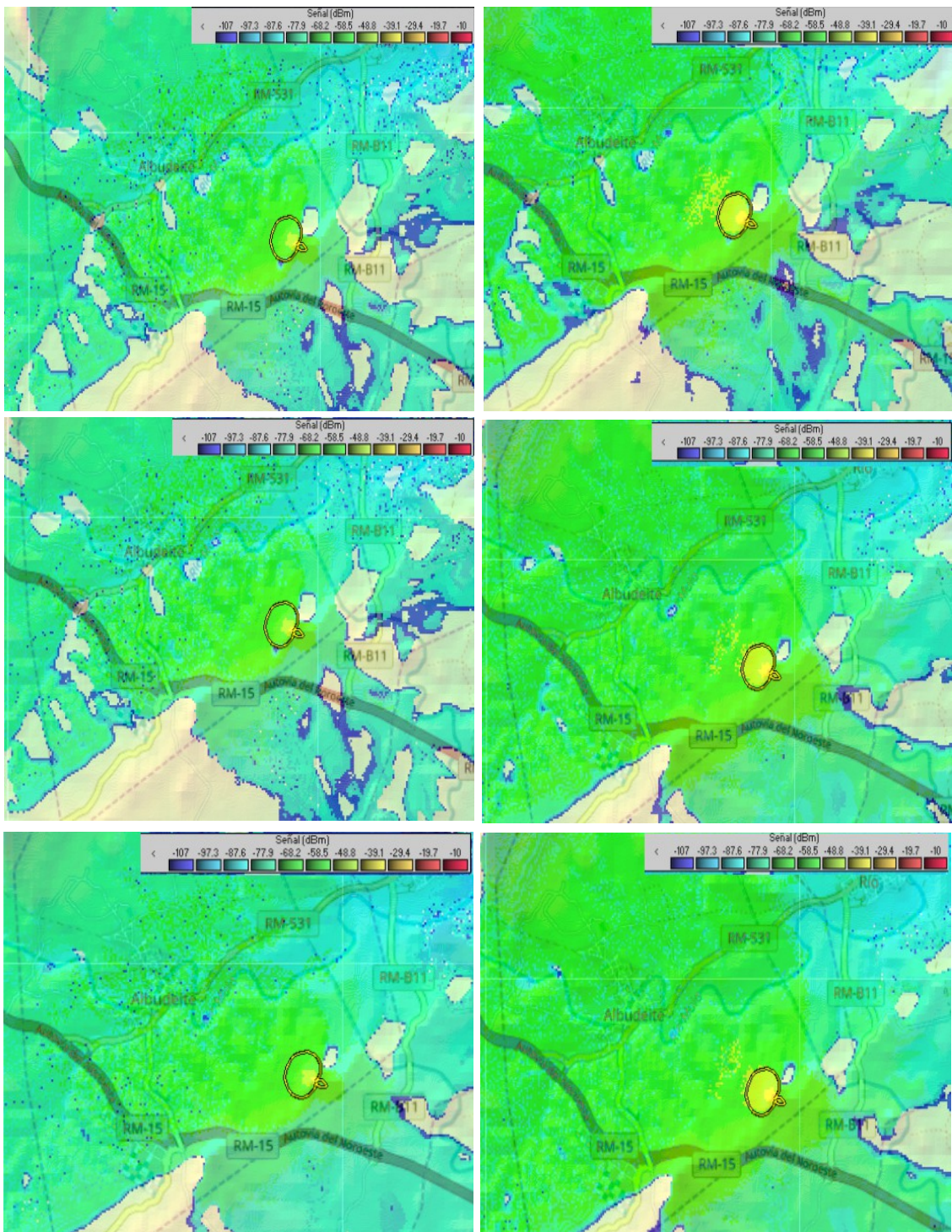


Ilustración 52: Simulaciones EB Albudeite.

Filas: 15 y 23 dBi. Columnas: 5, 12 y 15 metros de altura

Se pueden obtener mejoras en la recepción si se ubica la antena WIMAX a mayor altura, tal como se observa en la figura 53 (15 metros). Esto permite mayor flexibilidad en la colocación de la antena del emisor WIMAX disponiendo de facilidad para ubicar, en caso necesario, varios equipamientos y aumentar las posibilidades de la red. Se muestran las dos situaciones extremas: con suscriptor a 5 metros y 15 dBi y suscriptor a 15 metros y 23 dBi

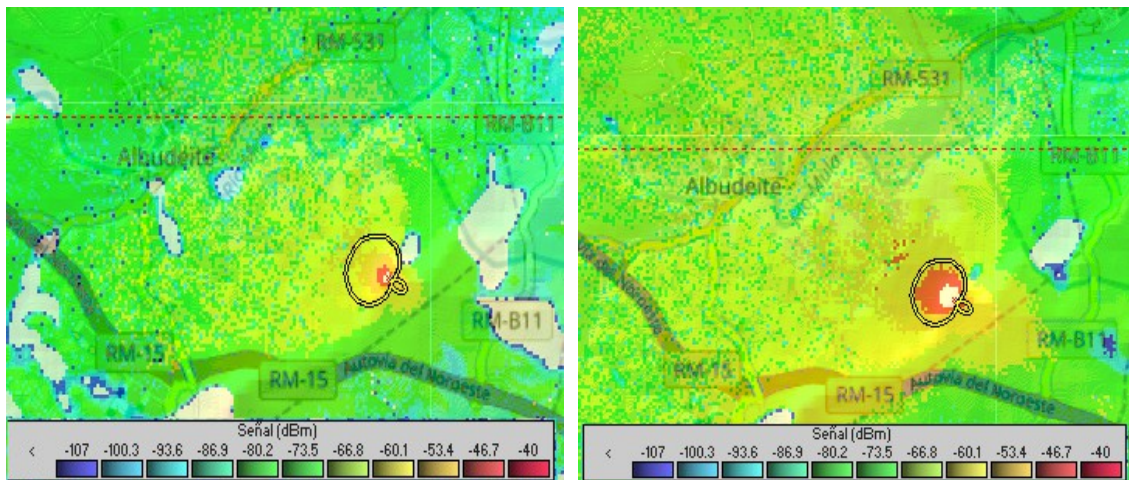


Ilustración 53: Propagación para la EB de Albudeite a 15 metros de altura.

Como se puede observar, **los tres parámetros (ganancia de suscriptor, altura del suscriptor y altura del emisor) son de interés para la elección del equipo suscriptor:**

- En la peor de las situaciones se puede tener conectividad de cierta calidad en las viviendas estando casi todo el casco urbano en torno a -85 dBm.
- Elevando la antena del suscriptor para eliminar el efecto de sombra de los edificios que puedan circundarlo, o aumentando su ganancia de la antena, por ejemplo instalando una externa, se puede sobrepasar ampliamente este condicionante mejorando los parámetros de recepción.
- Se observa la situación más favorable como se sobrepasa ampliamente el valor de -74 dBm de sensibilidad del suscriptor (Tabla 14) en todo el casco urbano.



Ilustración 54: Detalle ubicación Estación Base para Campos del Rio

5.3.5 Estación Base de Campos del Río

Una vez analizada la población de Albudeite, es interesante estudiar las características de propagación en el caso de Campos del Río, **utilizando el mismo equipamiento y características**, situándolo en el repetidor intermedio, con objeto de predecir el futuro funcionamiento de la misma en caso necesario (ilustración 54).

Como en el caso anterior, se obtiene el siguiente perfil geográfico del enlace base-suscriptor:

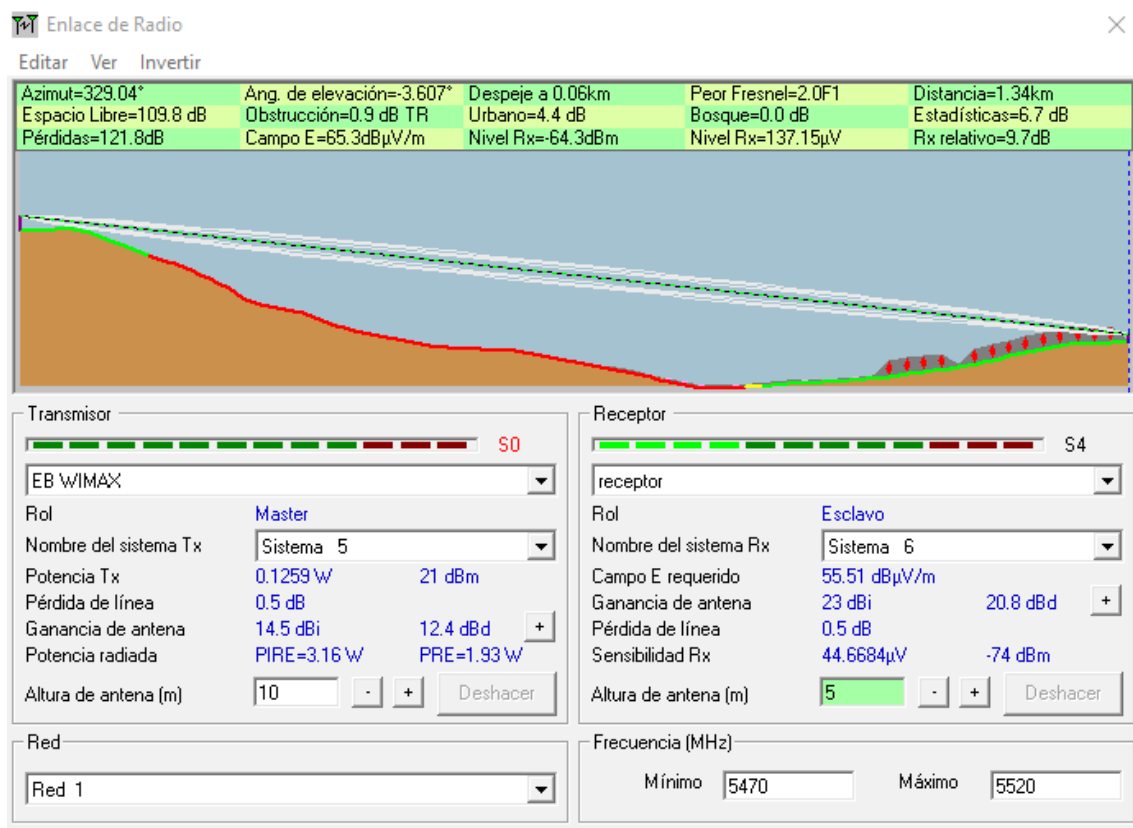


Ilustración 55: Corte geográfico de enlace en Campos del Río a 10 metros

En este caso se observa que la parte inmediatamente anterior a la Estación base tiene las **zonas de Fresnel muy cercanas al suelo**, lo que puede originar problemas de interferencias por reflexión de la señal, y puede provocar sobreexposición en las personas. Se realiza el mismo corte con una altura de estación base de 15 metros para comparar los resultados:

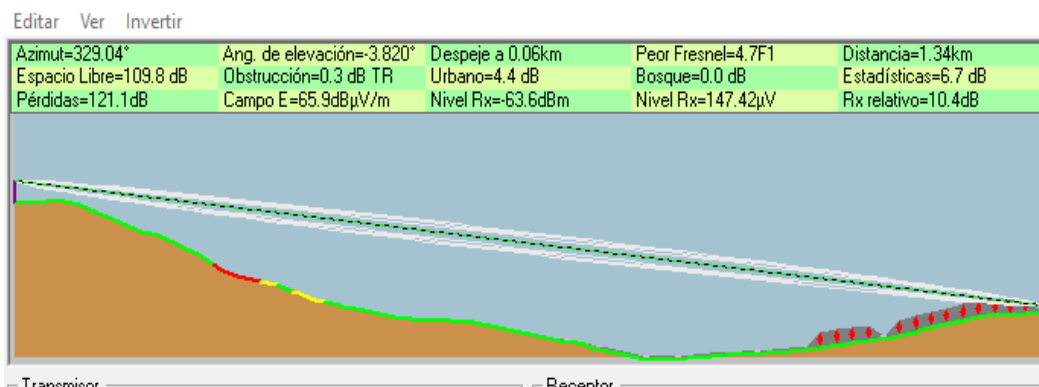


Ilustración 56: Corte geográfico del enlace en Campos del Río a 15 metros

Se procede a realizar el mismo estudio de coberturas que en el caso de la estación de Albudeite, utilizando las alturas de 5, 12 y 15 metros, ya que son poblaciones con parecidas características, y ganancias de 15 y 23 dBi.

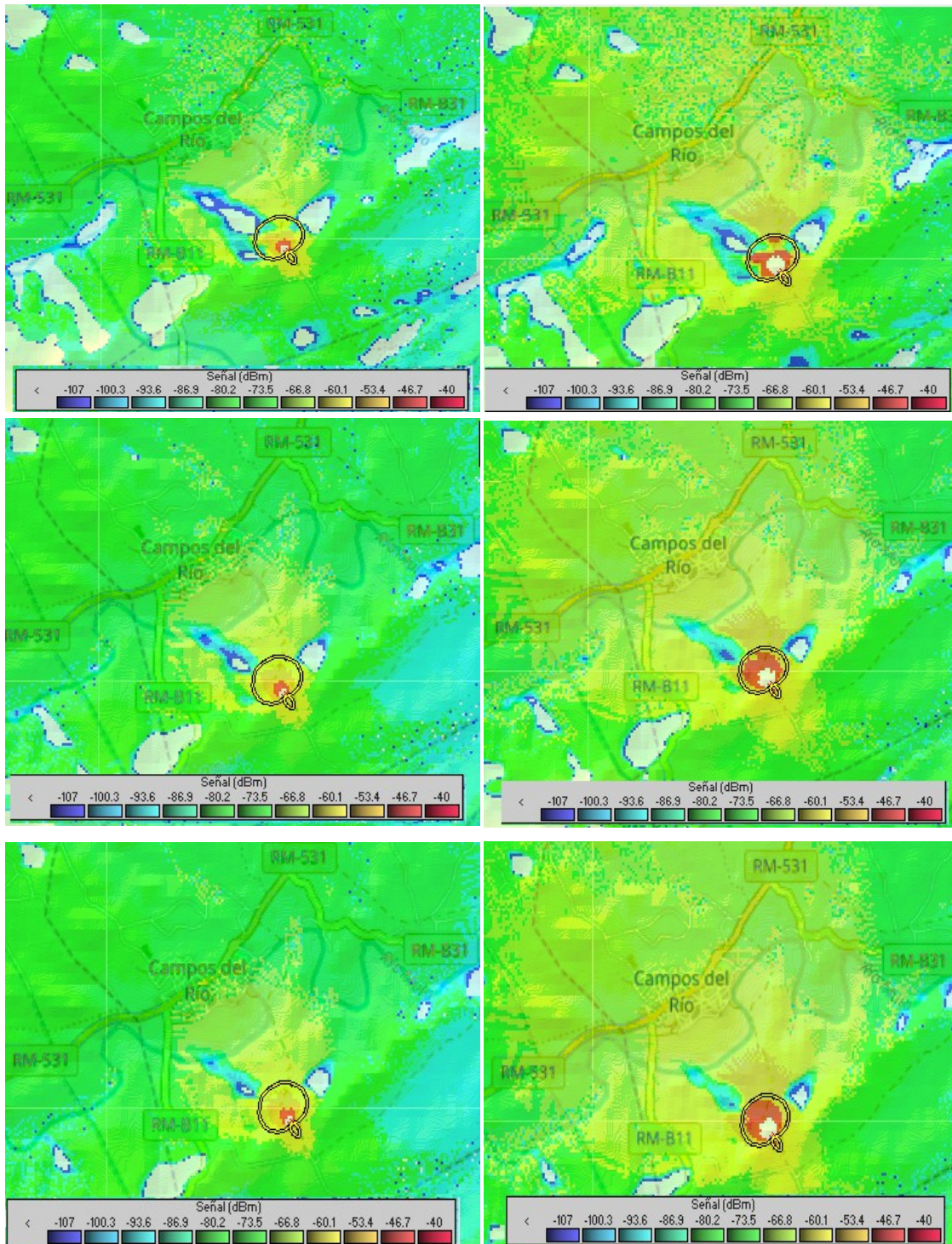


Ilustración 57: Diagramas de radiación en Campos del Río.

Se advierte así que los datos de recepción mejoran de izquierda a derecha y de arriba a abajo, como es de esperar. **A mayor altura y mayor ganancia de recepción, mejor umbral se obtiene con una mayor tasa de transferencia** como ya se vio anteriormente.

Como en el caso anterior, para realizar una comparación con los resultados que se obtienen en caso de utilizar una altura de la Estación Base de 10 metros, se exponen las gráficas de los dos casos extremos: receptor de 15 dBi a 5 metros (izquierda) y receptor de 23 dBi a 15 metros (derecha):

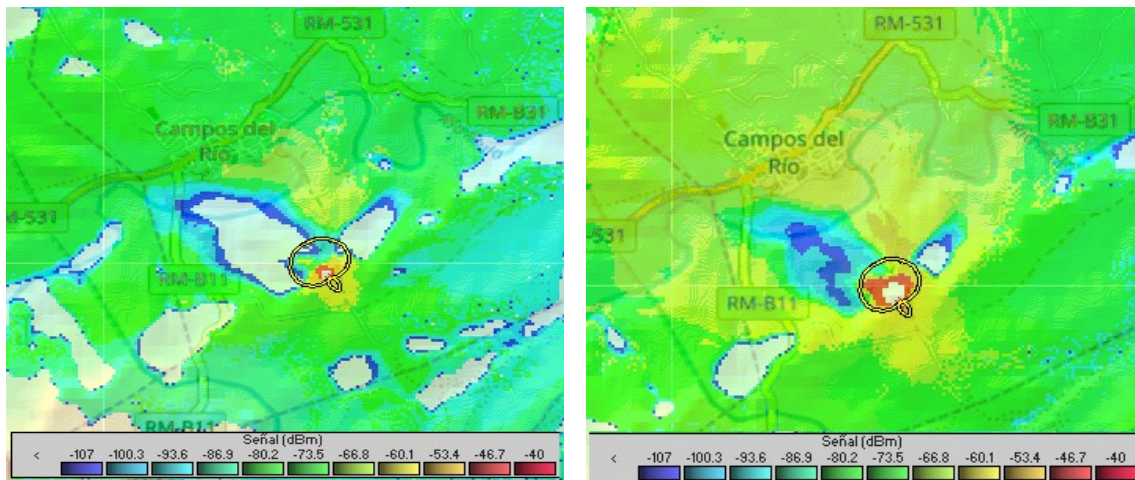


Ilustración 58: Gráficas de propagación de Campos del Río a 10 metros

De esta forma, se obtienen bastante mejores resultados con la Estación Base situada a 15 metros de altura, pero en ambos casos las comunicaciones pueden ser viables, con lo que la limitación vendrá determinada por la posible sobreexposición humana y posibles interferencias por reflexiones, aunque se recomienda la instalación por encima de los 10 metros evitar estos inconvenientes.

5.3.6 Resultados obtenidos

Estudiados los resultados expuestos a lo largo de todo el estudio de cobertura, se obtienen las siguientes conclusiones:

- **Los radioenlaces muestran suficiente capacidad para garantizar el tráfico agregado exigido**, ya que se superan los 500 Mbps que se exponen como requisito previo.
- Teniendo en cuenta que la sensibilidad del equipo suscriptor elegido oscila entre -74 y -99 dBm, se han obtenido **mínimos de -85 dBm de potencia recibida**, lo que hará la comunicación viable en todos los casos.
- Se deduce de los estudios realizados que **cuanta mayor altura de base y suscriptor se obtendrá mejor calidad de señal** en todos los casos.
- Asimismo, **la ganancia de la antena suscriptor también determina la potencia recibida**.
- La **distancia de la estación base** de Albudeite con su casco urbano condiciona más la comunicación que en el caso de la de Campos del Río, que se encuentra más cercana.
- Con la adecuada combinación de todas estas variables, se puede considerar que **se cumplen los requisitos mostrados al principio del análisis**.

Así, será preciso tener en cuenta:

- Será muy útil **estudiar cada caso de uso de forma individualizada**, ya que la variedad de viviendas de la localidad puede permitir unas configuraciones u otras eligiendo correctamente el lugar de ubicación de las antenas, así como los equipos concretos a utilizar.
- Se recomienda **disponer de varias opciones de equipamiento suscriptor**, ya que la interoperabilidad garantizada por WIMAX permite la instalación de diferentes elementos.
- La conclusión obtenida de este estudio de coberturas redonda en la **idoneidad de los emplazamientos elegidos** para la instalación de los diferentes elementos de la red y en la viabilidad de la comunicación por radio.

5.4 Comprobación de resultados

Una vez que la red estuviera implantada, será necesario comprobar que los requerimientos se cumplen con objeto de disponer de otra herramienta que permita enjuiciar el trabajo que se ha desarrollado por parte de los instaladores y un elemento de control de los resultados presentados por éstos.

Para ello se define en este apartado un modelo de procedimiento de comprobación de dichos resultados obtenidos, para lo que se realiza un análisis de diversas variables.

5.4.1 Nivel Funcional

Las comprobaciones a realizar desde el punto de vista funcional radican en la **monitorización de las tasas de transferencia en los diferentes enlaces**. Para analizar los datos ofrecidos por la red y analizar su correcta funcionalidad, se establecen una serie de cálculos previos, tomando para ello las siguientes definiciones:

- **Velocidad de la luz** (c): para los cálculos que se realizan se toma la velocidad de la luz en el aire (299705543 m/s ó 299705.5 km/s).
- **Ancho de banda** (BW): cantidad de datos que se puede transmitir por unidad de tiempo. Se mide en bits por segundo y sus múltiplos.
- **Latencia** (L): tiempo que tarda una muestra de información en llegar al destino. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$L = \frac{D(\text{Distancia en km})}{c(\text{en km/s})} + \frac{M(\text{Muestra en bits})}{BW} \quad (6)$$

- **Round trip time** (R_{rt}): es el tiempo que tarda una muestra de información en llegar a su destino y volver, por lo que es el doble de la latencia.

$$R_{rt} = 2L \quad (7)$$

- **Capacidad máxima del sistema** (C_s) es la cantidad bruta de información que circula por un sistema:

$$C_s = R_{it} \cdot BW \quad (8)$$

- **Tamaño del paquete transferido** (T_s) medido en bits.
- **Tiempo de transferencia** (T_t): tiempo que se tarda en transferir un paquete de un determinado tamaño:

$$T_t = R_{it} + \frac{T_s}{BW} \quad (9)$$

- **Throughput** (T_h) es la tasa de datos efectiva, definida como la cantidad neta de información que circula por un sistema:

$$T_h = \frac{T_s}{T_t} \quad (10)$$

De todos los elementos expresados, son de especial interés dos: **la capacidad máxima y la tasa efectiva**. Estas dos variables informan de cuántos datos está transfiriendo un sistema entre dos puntos ya sea de forma bruta, contando todos los bits que se transfieren en total como información útil para los usuarios más los bits que precisa el sistema para su funcionamiento, o de forma neta, que son los bits útiles para el usuario, sin contar la cantidad de bits que usa el propio sistema para su transmisión.

Para los radioenlaces es conveniente usar la capacidad máxima, ya que el interés radica en la cantidad de datos totales que son capaces de transportar, en emisión y recepción simultáneamente.

Si se revisan los cálculos efectuados en (1) y se comparan con los resultados teóricos obtenidos para los dos vanos de radioenlace:

- Se deben presentar resultados en términos de capacidad máxima en torno a los 500 Mbps
- Estos son sobrepasados por los 550 Mbps teóricos del equipamiento propuesto en el primer vano y los 1024 Mbps obtenidos para el segundo de ellos.

Para el caso de los enlaces residenciales, en cambio, los datos que se muestran son en términos de *throughput*, capacidad útil, que es lo que percibe el usuario residencial normal.

Observando nuevamente los cálculos efectuados en (1) hay que **analizar los suscriptores para comprobar una capacidad útil de 28,8 Mbps requeridos**, o los ofertados y efectivamente contratados, para cada uno de los usuarios residenciales y los 121 Mbps para la planta de gestión y equipamiento DMZ, medidos entre el router residencial y el de cabecera.

Para la comprobación de estos resultados presentados, será preciso realizar **mediciones** de todos los elementos mencionados en este apartado. En este sentido se deben tener en cuenta ciertos **condicionantes**:

- El R_{it} en redes de datos se puede obtener directamente mediante el comando ping[43], que informa, entre otros parámetros, del tiempo en ms (milisegundos) que tarda un paquete de 32 bytes (256 bits) en llegar de un extremo a otro de la red de estudio.
- Se puede calcular para comparar con el dato obtenido en el punto anterior, el tiempo que se debe esperar en un acceso, por ejemplo, de 28.2 Mbps. Ya que cada segundo se pueden transferir 28.2 Mb ($28.2 \cdot 10^6 \text{ bits}$) el tiempo esperado se puede calcular de la siguiente forma entre el CPE y la EB:

$$t_{ida} = \frac{256}{28.2 \cdot 10^6} = 9.08 \cdot 10^{-6} \text{ s} \quad (11)$$

$$tiempototal(R_{it}) = 2 \cdot t_{ida} = 1.815 \cdot 10^{-5} \text{ s} = 0.00001815 \text{ s} \approx 0.02 \text{ ms}$$

- La latencia expresada en (9) es útil para los vanos de radioenlace, ya que permite calcular el tiempo esperado con el ancho de banda que resulta de las mediciones realizadas.

Usando el mismo cálculo que en (11) se puede obtener el tiempo esperado de ida y vuelta de la muestra y compararlo con el resultado presentado.

Para el mismo paquete de 32 bytes, la latencia esperada es de aproximadamente 0.04 ms, con un R_{it} de 0.08 ms en el primer vano y de 0.007 (0.014) ms en el segundo.

- El tiempo de transferencia informará del tiempo que tarda la muestra en viajar desde el suscriptor hasta el router de cabecera, con lo que se podrá calcular la **tasa efectiva en atravesar todo el sistema y acceder a Internet**, como se puede observar a continuación.

$$\text{con } R_{it} = 1.815 \cdot 10^{-5} \text{ s (9)}, T_s = 256 \text{ bits y } BW = 28.2 \text{ Mbps} \quad (12)$$

$$T_t = R_{it} + \frac{T_s}{BW} = 2.72 \cdot 10^{-5} \text{ s} \approx 0.03 \text{ ms}$$

- Y se calcula la tasa efectiva de datos usando la expresión (10)

$$T_h = \frac{256}{2.72} \cdot 10^{-5} = 9.4 \text{ Mbps} \quad (13)$$

La diferencia entre el ancho de banda y la tasa efectiva estriba en que el ancho de banda es total, es la capacidad total del enlace establecido, mientras que la tasa efectiva informa de la velocidad del enlace para esa muestra en concreto.

Todos estos cálculos permiten al cliente disponer de herramientas de comparación sobre los datos obtenidos por el instalador, siendo autosuficiente con ello para determinar la viabilidad de los elementos dispuestos.

5.4.2 Nivel físico

Los resultados esperados desde el punto de vista físico deben corroborar la simulación de cobertura realizada en el apartado 5.3, de forma que se obtengan niveles de recepción adecuados para la comprobación de las predicciones efectuadas en el apartado anterior.

Las mediciones se deben realizar sobre la potencia recibida en cada punto con un analizador de espectros o medidor de campo adecuado, que informe de la potencia de señal recibida, que es el parámetro necesaria para obtener la relación con la sensibilidad.

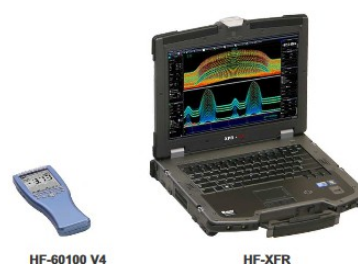


Ilustración 59: Analizador de espectros (Aaronia)

Como ya se ha expresado, la sensibilidad es la potencia mínima de la señal recibida necesaria para que el equipo receptor tenga un funcionamiento correcto. **De esta potencia mínima dependerá, en el caso de la red desplegada, la tasa de bits que se puede transportar por los equipamientos.**

Los datos se presentan normalmente en dBm, con lo que la comparación sería directa en el caso de los equipos presentados, o en $dB\mu V$ con lo que será necesario utilizar la siguiente relación matemática:

$$dBm = dB\mu V - 10 \log_{10}(Z) - 90 \quad (14)$$

Siendo Z la impedancia característica de la línea, que normalmente tiene un valor 50Ω . La tabla 15 presenta valores de conversión de una unidad a otra en saltos de 5 dBm.

dBm	dBuV
-90	16.9897
-85	21.9897
-80	26.9897
-75	31.9897
-70	36.9897
-65	41.9897
-60	46.9897
-55	51.9897
-50	56.9897
-45	61.9897
-40	66.9897

Tabla 15: Conversión dBm a dBuV

- Así, en el caso de los **radioenlaces** propuestos, se deben presentar valores aproximados a $-76,9 \text{ dBm}$ ($31.85 \text{ dB}\mu V$) **que garantiza los 550 Mbps necesarios para un correcto funcionamiento de la red según se ha expresado.**
- En el caso de los **equipos CPE** este valor debe estar entre -74 y -82 dBm (34.75 y $26.75 \text{ dB}\mu V$).

Otro punto a tener en cuenta es el **cableado y conectorización** de los equipamientos tanto en interior como en exterior:

- Éstos deben ser adecuados a las instalaciones a realizar.
- Es preciso garantizar el aislamiento contra las inclemencias del tiempo.
- Los pasos de cableado desde el interior de las instalaciones al exterior deben impedir el acceso de agentes externos.
- En todas las instalaciones se deben utilizar cableados debidamente homologados, con suficiente apantallamiento y con garantía de cumplimiento de los estándares.



Ilustración 60:
Fibra óptica
(ADSLZONE)

Así, las **fibras ópticas** instaladas deben:

- Utilizar los conectores adecuados según el fabricante de los distintos equipamientos.
- Utilizar soldadura térmica en caso necesario.
- Adoptar una correcta elección modal (fibras monomodo y multimodo).

En el caso de los **cables de datos** será preciso:

- Utilizar cables del tipo STP (apantallados) en contraposición a los UTP (no apantallados) para prevenir la aparición de parásitos electromagnéticos.

ETHERNET STP	
Categoría	6 GBE
Tipo	1000 BASE-T
Tasa	1 Gbps
Ancho de banda	250 MHz
Conector	RJ45

Tabla 16: Cableado Cat. 6 GBE

Para los **conectores y los cables coaxiales** se debe tener en cuenta:

- Es necesario cumplir las especificaciones de los fabricantes en cuanto a tipo, medida e impedancia.
- Una inadecuada elección de la impedancia provocará un desacoplamiento de potencias, lo que provocará una caída de la calidad de la línea.
- Se requiere un correcto aislamiento (vulcanizado) de los conectores de intemperie.

En cuanto a los tipos de cable se pueden encontrar elementos adecuados a intemperie y de interior, en medidas que pueden oscilar entre los RG-57 a los RG-213 de la forma más usual, atendiendo a las características de los conectores a utilizar.



Ilustración 61: Tipos de conectores coaxiales .

Fuente: www.sincables.ec

5.4.3 Comprobaciones de seguridad

La seguridad de la red también implica observar la doble vertiente de todo el trabajo expuesto: la vertiente funcional y la física. A continuación se expone una tabla resumen con los elementos de comprobación mínimos necesarios:

	Elemento	Acción	Requisito
Funcional	DMZ	Comprobar funcionamiento	Ningún equipo fuera de la red accede a otro segmento que nos sea la DMZ Sólo se encamina tráfico fuera de la DMZ si hay peticiones previas
	Vlan	Comprobar estanqueidad	Los equipos de una Vlan no pueden acceder a elementos externos a su red
	General	Verificar políticas de seguridad	Diseñar test de intrusión e IP SPOOFING para saltar los protocolos establecidos
Física	Sistemas activos	Comprobación in situ	Correcto funcionamiento
	Sistemas pasivos	Comprobación remota	Acceso garantizado sólo al personal designado

Tabla 17: Comprobaciones de seguridad

Será necesario **diseñar un protocolo de pruebas** para presentar los resultados de todas las comprobaciones por parte de la empresa instaladora, que garantice el cumplimiento de estos requisitos.

5.5 Planificación

Se estima necesaria una duración de un año y medio desde el acuerdo de inicio de los trabajos por la Administración competente hasta disponer del sistema en producción. Una previsión realista puede incluir además un tiempo de otros seis meses más, dependiendo de los retrasos que se puedan producir en las diferentes fases del mismo.

Se indica en primera instancia la composición de los **hitos** a alcanzar y sus fechas límite. Estos hitos conforman la comprobación de los cumplimientos de los plazos y la posible revisión del plan de trabajo establecido. Son las fechas límite que conforman la línea base del proyecto y determinan cuando existe variación sobre la planificación prevista y el progreso alcanzado.

A continuación se expone la **división en tareas** del proyecto. Debido a las características de este documento, no se subdividen tareas más pequeñas ya que dependerá de la estructura interna de cada empresa su implementación final, sirviendo la presente planificación como directriz básica para la ejecución concreta del trabajo.

Finalmente, un apartado recoge las **conclusiones** que se derivan de la presente planificación, con objeto de analizar el progreso expuesto y la línea temporal marcada.

5.5.1 Hitos

Comienza este proyecto el día 2 de enero de 2018 con los trabajos previos para la constitución de la Sociedad Albunet, estableciendo 4 hitos que marcarán la evolución principal de este proceso, así como la posible revisión del plan de trabajo establecido:

HITOS	FECHAS
Sociedad constituida	11/05/18
Contrato licitado	10/07/18
Ubicaciones dispuestas	26/12/18
Sistema en producción	12/04/19

Tabla 18: Hitos

Esta distribución de hitos corresponde con los cuatro grandes bloques de la planificación que se expone en el siguiente apartado:

- **Sociedad constituida:** tal como se expuso en el apartado 4, para prestar el servicio previsto es precisa la creación de esta empresa, por lo que cobran importancia nuclear los trabajos de constitución para poder desarrollar las actividades tal como se muestran en todo el documento.
- **Contrato licitado:** Una vez la Sociedad comienza su andadura, su primera actividad es licitar el contrato de despliegue de los equipamientos y creación del sistema.
- **Ubicaciones dispuestas:** Ya comenzada la implementación física del equipamiento, el disponer de las ubicaciones físicas dispuestas para comenzar la instalación de los componentes de la red constituye otra de las metas del proyecto.
- **Sistema en producción:** Terminada la formación del personal propio y con el primer mes de andadura comercial de la empresa, se considerará que el sistema está totalmente en producción, momento en el que finaliza el proyecto de puesta en marcha.

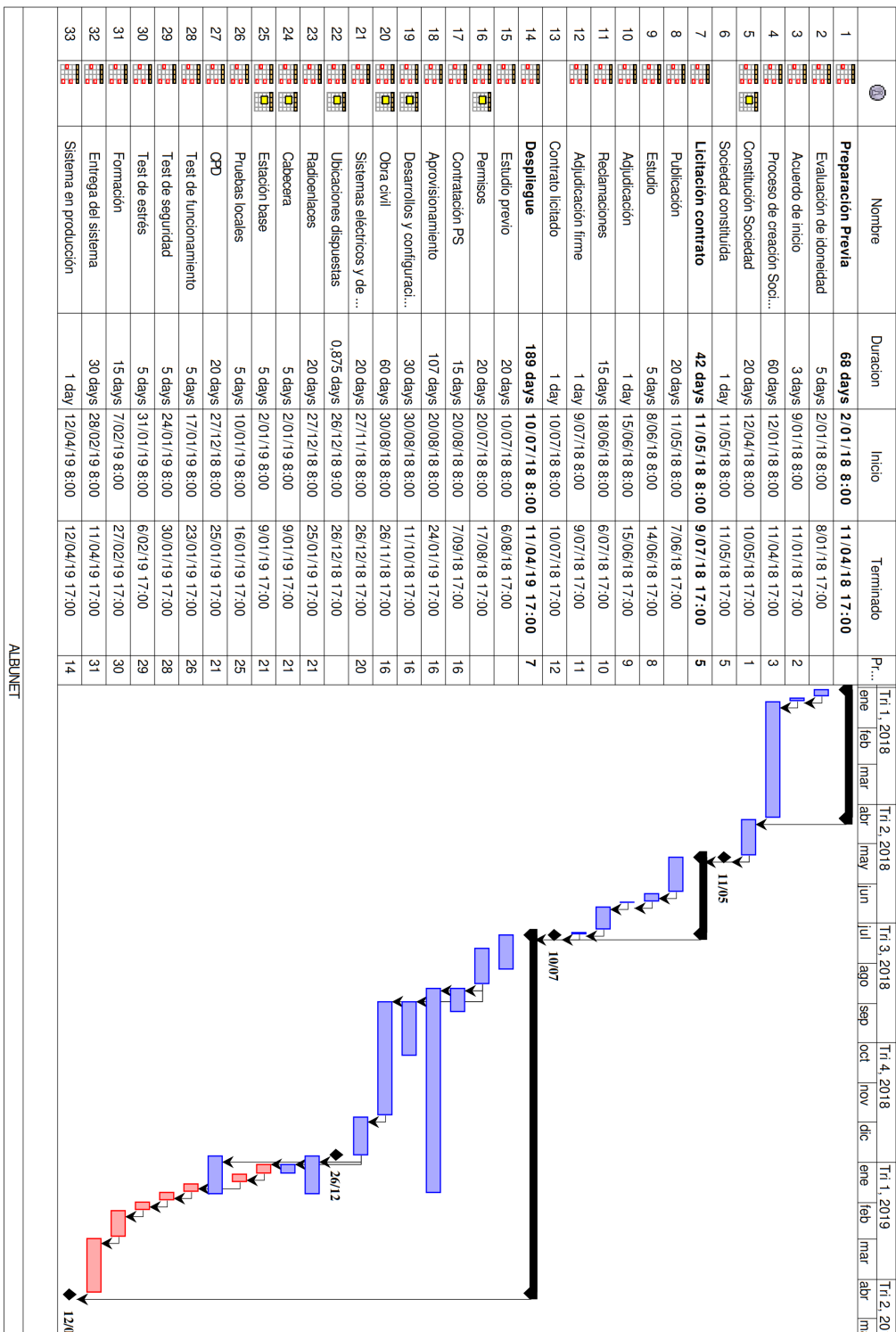
5.5.2 Evolución temporal

Especificados los hitos principales, la descomposición temporal abarcará el tiempo que transcurre entre el 2 de enero de 2018 hasta el 12 de abril de 2018. Las tareas expuestas incluyen tanto las inherentes a la puesta en marcha de la Sociedad como una aproximación a lo que se considera necesario para la implementación física del sistema.

Estas tareas dependerán del proyecto licitado finalmente, de forma que se deberá establecer un **plazo de margen sobre la planificación presentada de aproximadamente otros seis meses** que se considerará adecuado.

Así, el plazo final podrá oscilar entre este 12 de abril de 2018 y el 15 de octubre del mismo año, que se trata de tiempos normales de desarrollo de este tipo de despliegues.

La distribución de tareas y diagrama de Gantt del proyecto se especifican en la ilustración 62.



ALBUNET

Ilustración 62: Tareas y diagrama

Se han tenido en cuenta en el calendario previsto los 14 días festivos de la localidad de Murcia, con objeto de realizar una previsión lo más realista posible. La diferencia con otro tipo de localidades sólo radica en los dos festivos locales, ya que los otros 12 son iguales en todo el territorio de la Región.

Es preciso diseñar un **plan de formación** para instruir a los empleados de la empresa en todos los aspectos técnicos y administrativos que comprende el alcance del proyecto, que se debe ejecutar una vez finalicen todos los trabajos de instalación y pruebas.

Este periodo de formación sirve para que los empleados que deban explotar los sistemas instalados puedan conocer en profundidad como está diseñado y sean capaces de reaccionar ante los eventuales problemas que surjan con la operativa diaria.

Una vez terminado este trabajo será preciso que la empresa comience con su operatividad normal **bajo la tutela de los desarrolladores** para poder resolver todos aquellos aspectos que no hayan podido ser cubiertos durante el periodo de formación, finalizando así el proyecto.

5.5.3 Conclusiones

De los trabajos de planificación expuestos se deducen dos grandes cuestiones: no es un trabajo fácil ni rápido.

Tras seis meses de un intenso trabajo administrativo se podrá, en el mejor de los casos, comenzar con la implantación física y real de los sistemas. Son seis meses necesarios, ya que sin estos trabajos no será posible la andadura de la empresa creada.

Se prevé que los trabajos de desarrollo e implementación puedan ocupar entre ocho y catorce meses, dependiendo de las necesidades que puedan plantear las diferentes empresas competidoras.

Se trata, en definitiva, de un proceso no excesivamente largo, pero tampoco es un flujo de corto plazo, lo que implica dosis de paciencia, planificación y supervisión por parte de los directores del proyecto para conformar un resultado satisfactorio.

5.6 Valoración económica

El último de los elementos que se presentan en este documento es la valoración económica del proyecto. Esta valoración económica sirve como guía comparativa de precios de mercado de los diferentes productos, pudiendo sufrir variaciones con las distintas elecciones de equipos concretos por parte de las empresas adjudicatarias de los trabajos.

Se toman como ejemplo los equipamientos mostrados a lo largo de los diferentes apartados que lo conforman, así como se pretende tener en cuenta todos los aspectos relacionados con la infraestructura incluyendo la mano de obra y los impuestos correspondientes.

Se realiza también un análisis de ingresos previstos, con objeto de evaluar el tiempo de amortización, o tasa de retorno, que indicará en cuanto tiempo será factible recuperar la inversión realizada y comenzará a ser rentable el proyecto.

5.6.1 Inversión

Se calcula una inversión a realizar de **206.850 €** en total para la puesta en marcha de la Sociedad, licitación e implementación del proyecto, que incluyen desde los gastos de constitución hasta los diferentes equipamientos, incluyendo la instalación de la eventual Estación Base para la localidad de Campos del Rio. En caso de no instalar la misma, se reducirían los gastos en 6.050 € correspondientes al equipamiento específico de este servicio.

No se tiene en cuenta el coste de los equipos suscriptores, ya que se pueden servir en régimen de alquiler o pueden ser propiedad de los clientes, con lo que el coste de los mismos resultará variable, aunque se indican de forma orientativa.

Asimismo no se detalla nuevamente el equipamiento mostrado en el Repetidor que es equivalente al instalado en la Estación Base de Albudeite, indicando su valor de forma resumida en una única línea, tal como se detalla en la tabla 19.

CONCEPTO	COSTE	REPETIDOR CON EB CAMPOS		EB ALBUDEITE	
GENERALES		ROUTER	10000	RADIOENLACE	950
CONSTITUCIÓN SOCIEDAD	3550	FIREWALL	3000	ROUTER	10000
TASAS, PERMISOS Y LICENCIAS	10000	ARMARIO RACK	750	FIREWALL	3000
UBICACIÓN CABECERA	2400	RADIOENLACES	1900	ESTACIÓN BASE	6000
TERRENO REPETIDOR Y ESTACIÓN	4000	ESTACIÓN BASE	6000	ANTENA EXTERIOR	50
CONTRATOS OPERADORES	8000	ANTENA EXTERIOR	50	AIRE ACONDICIONADO	2500
DESARROLLO SOFTWARE	2500	TORRE	4000	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	6800
FORMACIÓN	3000	CASETA	3000	SISTEMAS DE SEGURIDAD	750
EQUIPAMIENTO		INSTALACIÓN TORRE	5000	TORRE	4000
CABECERA		INSTALACIÓN CASETA	2000	CASETA	3000
ROUTER	22000	CABLEADOS	600	INSTALACIÓN TORRE	5000
RACK	750	AIRE ACONDICIONADO	2500	INSTALACIÓN CASETA	2000
FIREWALL	50000	INSTALACIÓN ELÉCTRICA		CABLEADOS	600
RADIOENLACE	950	GRUPO ELECTRÓGENO	1800	SUSCRIPTOR	
SAI	1200	PLACAS SOLARES	2500	EQUIPO SUSCRIPTOR	200
AIRE ACONDICIONADO	2500	REGULADOR SOLAR	500	ROUTER	150
ALARMA	200	INVERSOR	1000	SET-TOP-BOX	150
SENSORES	100	BATERÍAS	1000	TELÉFONO IP	100
TORRE	3500	SISTEMAS DE SEGURIDAD			
CABLEADO	600	CÁMARA DOMO	300		
DESHUMIDIFICADOR	600	CÁMARA FIJA	150		
		ALARMA	200		
		SENSORES	100		
				TOTAL	206.850 €

Tabla 19: Inversión

5.6.2 Ingresos y gastos

En el **momento inicial** de creación de la empresa se dispondrán de **dos tipos de ingresos**: el capital social de la empresa y las posibles subvenciones a las que se puede tener acceso, que corresponden al 50% de la inversión inicial, según indican las ayudas alcanzables en la Región de Murcia para la creación de empresas[50] (Tabla 20).

FIJOS	
CAPITAL SOCIAL	3.000 €
AYUDAS	103.725 €

Tabla 20: Ingresos iniciales

Por cada uno de los clientes se obtienen **ingresos de la instalación** (en la primera cuota) y las **cuotas mensuales**, según la siguiente tabla:

Instalación	50,00 €
Cuota mensual	50,00 €
Anual	650,00 €

Tabla 21: Ingresos por cliente

Los **gastos** por cada uno de los clientes corresponderán a las **partes proporcionales** de cada uno de los siguientes aspectos:

- Gestión
- Mantenimiento
- Consumo eléctrico
- Alquileres
- Impuestos
- Marketing y publicidad

Teniendo en cuenta un potencial de 1140 clientes, correspondientes a 430 en la localidad de Albudeite y 710 en Campos del Rio, después del correspondiente estudio de mercado en ambas localidades, se podrían obtener los siguientes datos para los primeros 7 años de vida:

	Clientes	Gastos/cliente	Gastos Anuales	Ingresos Anuales	Ingresos Netos	Líquido
Año 1	60	15,00 €	10.800,00 €	39.600,00 €	32.727,27 €	-47.387,73 €
Año 2	100	15,00 €	18.000,00 €	62.000,00 €	51.239,67 €	-14.148,06 €
Año 3	150	16,00 €	28.800,00 €	92.500,00 €	76.446,28 €	33.498,22 €
Año 4	200	18,00 €	43.200,00 €	122.500,00 €	101.239,67 €	91.537,89 €
Año 5	200	18,00 €	43.200,00 €	120.000,00 €	99.173,55 €	147.511,45 €
Año 6	200	18,00 €	43.200,00 €	120.000,00 €	99.173,55 €	203.485,00 €
Año 7	200	20,00 €	48.000,00 €	120.000,00 €	99.173,55 €	254.658,55 €

Tabla 22: Evolución económica

Se ha de tener en cuenta las siguientes **consideraciones**:

- A la par que puede evolucionar el número de clientes, envejece la instalación y aumentarán, por ende, los gastos necesarios para cada uno de ellos.
- Los ingresos anuales se deben concordar con la tabla 21, ya que incluyen tanto las cuotas mensuales como los ingresos de instalación que realiza cada cliente en el momento de solicitar su alta.
- Los ingresos netos expresan la deducción de los impuestos indirectos correspondientes.
- El líquido de la empresa corresponde al balance de inversión no amortizada con los ingresos recibidos.

5.6.3 Resultados

Poniendo el énfasis en la relación entre ingresos y gastos del estudio anterior, se puede percibir una evolución satisfactoria de este balance, tal como se muestra a continuación:

	Gastos Anuales	Ingresos Netos
Año 1	10.800 €	32.727 €
Año 2	18.000 €	51.240 €
Año 3	28.800 €	76.446 €
Año 4	43.200 €	101.240 €
Año 5	43.200 €	99.174 €
Año 6	43.200 €	99.174 €
Año 7	48.000 €	99.174 €

Tabla 23: Balance de ingresos y gastos

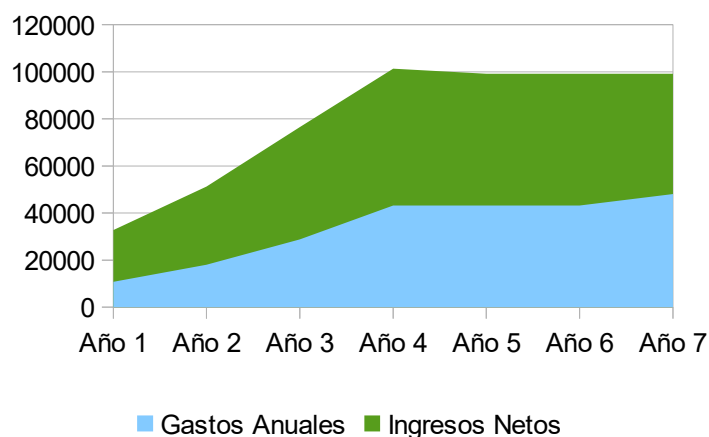


Ilustración 63: Ingresos y gastos

Se contempla, tal como se ha indicado en la tabla 22, una población media de 200 clientes a partir del cuarto año, lo que obligará a realizar un esfuerzo en el apartado de Márketing y Publicidad con objeto de continuar aumentando el número de nodos del sistema.

Así, el resultado de la comparación entre las inversiones realizadas, los gastos deducibles y los ingresos esperados, se muestra en el siguiente gráfico:

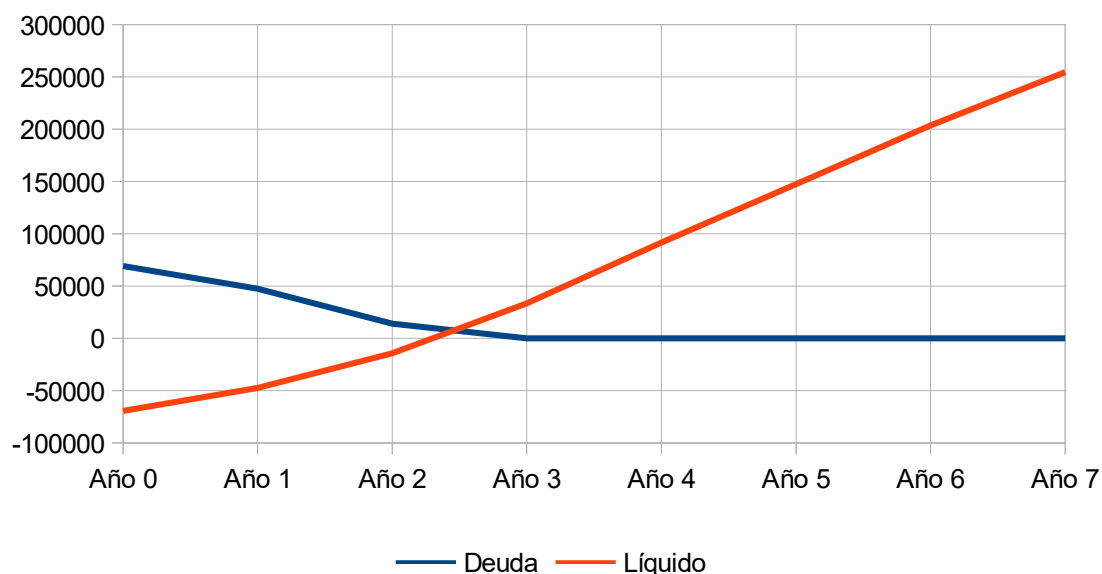


Ilustración 64: Evolución inversión

Con las cuestiones planteadas, se puede demostrar una viabilidad económica más que satisfactoria, con una recuperación de la inversión dentro de un plazo razonable y posibilidad de reinversión a partir del tercer año, indicado con el punto de corte de las dos curvas en la figura 64.

Se trata de realizar un análisis lo más realista posible, teniendo en cuenta el carácter demostrativo del documento. Las implementaciones reales deben contemplar en sus balances concursales como mínimo estos apartados, detallando además los gastos de mano de obra, de forma que se complete la información que aquí se muestra.

6. Trabajos Futuros

Este trabajo permite una verdadera convergencia de tecnologías ya que se interconexionan tramos de diferentes protocolos de comunicación, libres y propietarios, presentando una red multidisciplinar y con un alto nivel de integración.

El futuro de esta red puede pasar por la ampliación de los servicios ofertados como la prestación de servicios de telepresencia, teleasistencia u hosting web para clientes que puede favorecer la rentabilización de la inversión en términos económicos y la disposición de servicios en términos sociales.

Por otro lado cabe explorar la ampliación de las prestaciones con una mayor convergencia con otras tecnologías, como puede ser disponer de servicio Wi-Fi gratuito en determinadas zonas, que proporcionen mayor apertura a este tipo de poblaciones.

Asimismo, y dada la orientación eminentemente rural del municipio, la disposición de elementos de monitorización de cultivos puede aprovechar las capacidades de la red y favorecer el aumento de la productividad.

La utilización de frecuencias licenciadas para los radioenlaces, operando en bandas más bajas, podría aumentar el caudal de datos ofertados, con lo que se podrían incluir, además, servicios de sensorización y alarma tanto de cultivos como de elementos fijos de las infraestructuras tanto públicas como privadas.

En resumen, se trata de tecnologías que permiten la aparición de las nuevas tendencias generales en el ámbito de la conectividad, dentro de redes All-IP y una preparación para el llamado Internet de las Cosas (IoT).

7. Conclusiones

Finalizado el desarrollo de los contenidos que se exponen a lo largo de todo el documento, se puede afirmar que ha sido posible alcanzar de todos los objetivos que se indicaron al inicio dentro de los parámetros previos requeridos en el alcance del proyecto.

Se ha conseguido un asesoramiento completo sobre la forma de resolver un problema existente en una localidad pequeña, diseñando una red de transporte y difusión de servicios que involucra una serie de tecnologías diferentes, de una manera escalable, económicamente viable y sostenible en el tiempo, que puede ser implementada por los estamentos públicos de una forma casi autónoma.

Estos eran en esencia los objetivos del proyecto, cuya resolución se ha descrito de una manera global y sintética en este documento, con un esfuerzo constante en la claridad de la exposición y la comprensión de la información al objeto de obtener una documentación completa pero fácil de leer y comprender.

El núcleo central del análisis pretende informar del conjunto de requisitos que debe cumplir este despliegue, realizando una simulación de una red real que proporciona fundamentos de criterio al hipotético ayuntamiento para llevar a cabo, casi por si mismo, la ejecución del plan.

La gran cantidad de tecnologías involucradas en la definición y alcance del mismo impiden desarrollar más cada uno de estos elementos, por lo que es precisa una priorización muy estudiada del nivel de detalle que se quiere trasponer al "cliente" intentando que las definiciones y explicaciones sean suficientes para entender los resultados planteados.

Para la consecución de estas metas, se ha planificado el tiempo de forma dinámica, con una realimentación constante de información en base al trabajo ya realizado que ha permitido una modificación tanto de fechas como de contenidos, también tomando como directivas las orientaciones obtenidas por el equipo docente que han sido de mucha utilidad a lo largo de toda la realización de la memoria de este TFG.

Esta planificación se ha ido adaptando de forma progresiva lo que ha convertido en el producto en un organismo vivo que ha facilitado el dinamismo

necesario para alcanzar de una forma correcta las metas establecidas. Estos cambios han sido obligatorios, ya que han ido apareciendo necesidades que abarcar con el tiempo disponible, lo que se puede acometer únicamente con una revisión constante de los planes de trabajo, como se establece en las tesis del buen hacer en la Gestión de Proyectos.

Se destaca de este texto, como aspecto general positivo, la innovación y el alcance. Después de explorar publicaciones realizadas, de mucha calidad, por otros alumnos de esta Universidad en este campo, la gran mayoría realizan exposiciones sobre implantación de un sistema desde el punto de vista del instalador, sin tener en cuenta aspectos legales ni de asesoramiento, que también es una de las funciones del ingeniero, incluido así en los códigos de buenas prácticas. El producto de este trabajo no debe traspasar los límites de un buen asesoramiento, con ejemplos plausibles y métricas de contraste, un producto de convencimiento de mejora tecnológica y sus beneficios constatables.

Desde el punto de vista crítico, es de destacar que no se ha alcanzado la completa claridad en la exposición de contenidos, así como llegar a convencer completamente de la importancia del proyecto y la metodología empleada. Después de realizar un esfuerzo importante en la síntesis y énfasis en las cuestiones más importantes, todavía han quedado algunos puntos por mejorar en la exposición y ordenación de los elementos que lo componen.

Se han recordado y aplicado conceptos de Gestión de Proyectos, Telemática, Administración y Gestión de organizaciones, Competencia Comunicativa, Electrónica de comunicaciones, Sistemas de Comunicación, Comunicaciones Móviles, y otras muchas asignaturas, que demuestra que las materias aprendidas a lo largo de toda la singladura formativa son de utilidad práctica y manifiesta.

No se puede ir más allá de lo que muestra el alcance en este documento. Esa es una máxima de los proyectos técnicos. Aun así, podría ser interesante desarrollar con mucho más detalle, como línea futura, la parte de seguridad de la información que se muestra hasta ahora. El tratamiento pormenorizado de las cuestiones de Seguridad en Redes muestran un campo de estudio merecedor de una investigación en si mismo.

También la conectividad con los servicios de los proveedores será, seguro, objeto de investigación específica, pudiendo realizarse una tesis concreta en este ámbito, ya sea en la localidad propuesta o en otra, para la definición de los protocolos y condiciones de este tipo de integraciones.

8. Glosario

- ADSL: Acrónimo de *Asymmetric Digital Subscriber Line* (Línea de abonado digital asimétrica) que relaciona la tecnología base por la que se presta el servicio de Internet basado en el par de cobre tradicional.
- Downlink: inverso de Uplink. Indica un enlace descendente (ascendente) estación base-suscriptor (suscriptor-estación base).
- Ethernet: protocolo de comunicación que define el interfaz utilizado normalmente en el cableado de comunicación entre ordenadores
- Honeypot: traducido tarro de miel. Esta acepción indica un equipo situado en una zona segura que atrae a los equipos atacantes para estudiar su comportamiento.
- Host: nombre genérico que indica un equipo en la red.
- Modem: contracción de modulador-demodulador. Es la especificación de un equipo que adapta información a un determinado medio de transmisión, así como es capaz de realizar el proceso inverso.
- MIMO: acrónimo de *multiple input – multiple output* (múltiples entradas – múltiples salidas) que se trata de una técnica en la que se puede admitir la llegada de más de una señal con la misma información eligiendo la más correcta, normalmente mediante el uso de varias antenas.
- Multicamino: referencia la recepción de la misma señal procedente de diversas reflexiones, alcanzando la antena desde múltiples ángulos.
- Payload: es la cantidad de datos útiles que se transporta en un segmento de información.
- Portal cautivo: define una página web que es utilizada como punto de entrada a un determinado servicio, de forma que cualquier petición que no procede de un usuario autenticado es automáticamente redirigida a este portal.
- Protocolo: conjunto de reglas que rige cualquier tipo de comunicación.
- Router: dispositivo de red que realiza la redirección de la información entre dos puntos.
- Streaming: técnica de transmisión de la información de video o audio de forma que se envía a través de una red IP hacia usuarios concretos (punto a punto) o indeterminados (punto a multipunto).

9. Bibliografía

- [01] Centro Regional de Estadística de Murcia, Censo de población de la localidad de Albudeite, http://econet.carm.es/web/crem/inicio/-/crem/sicrem/PU_AlbudeiteCifras/P8002/sec3.html, visitada: 30/09/2017.
- [02] Manuel Fueyo Bros, Esquemas del Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público, http://contratodeobras.com/images/Esquemas-TRLCSPP_Manuel-Fueyo-Bros_Vs-101.pdf, visitada: 13/11/2017.
- [03] Ministerio de Economía y Hacienda, Ley de contratos del sector público, <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2017-12902>, visitada: 13/11/2017.
- [04] Ramón Rodríguez, José y Mariné Jové, Pere, Iniciación del Proyecto y trabajos previos, UOC, pid_00215843.
- [05] MOVISTAR, Página principal, <http://www.movistar.es/>, visitada: 04/10/2017.
- [06] VODAFONE, Página principal, <http://www.vodafone.es/c/particulares/es/>, visitada: 04/10/2017.
- [07] ORANGE, Página principal, <https://www.orange.es/>, visitada: 04/10/2017.
- [08] Portal WIMAX, Página principal, <https://www.portalwimax.es/>, visitada: 04/10/2017.
- [09] WIMAX ON LINE, Página principal, <https://www.wimaxonline.es/>, visitada: 04/10/2017.
- [10] Miguel Ángel García Valderrey, Procedimiento para la creación de una empresa municipal con fines urbanísticos, <http://www.reurbanismo.es/wp-content/uploads/2013/01/RPU119.pdf>, visitada: 12/10/2017.
- [11] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, Página principal, <https://www.cnmc.es/>, visitada: 07/10/2017.
- [12] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, Explotación de redes y/o prestación de servicios de comunicación electrónica, <https://sede.cnmc.gob.es/sites/default/files/2016-12/Notifica.pdf>, visitada: 07/10/2017.
- [13] FNMT-RCM, Representante de persona jurídica, <https://www.sede.fnmt.gob.es/certificados/certificado-de-representante/persona-juridica>, visitada: 07/10/2017.
- [14] WIMAX Forum, WIMAX Forum, <http://wimaxforum.org/>, visitada: 10/10/2017.
- [15] , WiMAX Forum® Network Architecture, , .
- [16] IEEE, The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards, <http://www.ieee802.org/16/>, visitada: 10/10/2017.
- [17] IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers, <https://www.ieee.org/index.html>, visitada: 10/10/2017.
- [18] Universidad de Navarra, MPLS en Linux, https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06_07/trabajos/resumenes/gr14-MPLSEnLinux.pdf, visitada: 16/10/2017.
- [19] Varios Autores, IPsec : Todo lo que debes saber. Recopilación de Artículos, <https://www.redeszone.net/ipsec-todo-lo-que-debes-saber-sobre-ipsec-recopilacion-de-articulos/>, visitada: 16/10/2017.
- [20] ORACLE, Introducción a IPsec, <https://docs.oracle.com/cd/E19957-01/820-2981/ipsec-ov-2/index.html>, visitada: 20/10/2017.

- [21] VV.AA., Modelo OSI, https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_OSI, visitada: 20/10/2017.
- [22] VV.AA., Fundamentos de IPv4, <http://www.ipv6.mx/index.php/informacion/fundamentos/ipv4>, visitada: 21/10/2017.
- [23] Crespo, Adrián, VLANs: Qué son, tipos y para qué sirven, <https://www.redeszone.net/2016/11/29/vlans-que-son-tipos-y-para-que-sirven/>, visitada: 21/10/2017.
- [24] Instituto Nacional de Estadística, Censo de población y viviendas 2011, <http://www.ine.es/censos2011/tablas/InicioAccesibilidad.do>, visitada: 22/10/2017.
- [25] Universia, Listado de empresas, <https://guiaempresas.universia.es/provincia/MURCIA?qPagLoc=3>, visitada: .
- [26] The Moving Picture Experts Group, MPEG-4, <https://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-4>, visitada: 22/10/2017.
- [28] Ayuntamiento de Molina de Segura, ORDENANZA MUNICIPAL REGULADORA DE LA INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE INFRAESTRUCTURAS RADIOELÉCTRICAS , 2008
- [29] VV.AA., Zona de Fresnel, https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel, visitada: 25/10/2017.
- [30] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, <http://atlaseolico.idae.es/meteosim/>, visitada: 26/10/2017.
- [31] Pensado Seijas, Alberto, REGULACIÓN JURÍDICA ACTUAL DE LAS ANTENAS DE TELEFONÍA MÓVIL: DE LA LEY 33/2003, DE 3 DE NOVIEMBRE, A LA LEY 9/2014, DE 9 DE MAYO, GENERAL DE TELECOMUNICACIONES, Revista Jurídica de Castilla y León, 2254-3805.
- [32] Proalt Ingeniería, Trabajos sobre torres y antenas, <https://www.proalt.es/torres-antenas-comunicacion/>, visitada: 26/10/2017.
- [33] ArcGIS, ¿Cuántas horas de sol hay en mi provincia?, <http://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=ad82a3d1a1e44fba86e20c63736210f2>, visitada: 27/10/2017.
- [34] NOKIA, ROUTER NOKIA 7750 SR, <https://networks.nokia.com/products/7750-service-router>, visitada: 28/10/2017.
- [35] Fortinet, Fortigate 2000E, https://www.fortinet.com/content/dam/fortinet/assets/data-sheets/FortiGate_2000E.pdf, visitada: 28/10/2017.
- [36] Salicru, SLC-TWIN-RT, <http://www.salicru.com/sais/slc-twin-rt.html>, visitada: 28/10/2017.
- [37] Ubiquiti, AirFiber Datasheet, https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_DS.pdf, visitada: 30/10/2017.
- [38] HP Enterprise, HPE FlexNetwork HSR6600 Router Series, https://www.hpe.com/h20195/v2/GetDocument.aspx?docname=c04111430&doctype=quickspecs&doclang=EN_US&searchquery=&c=us&lc=en, visitada: 28/10/2017.
- [39] Alvarion, BreezeMAX Extreme 5000, http://winncom.ru/wp/wp-content/uploads/DS_BMAX_Extreme_5000_reve_11_20111_LR.pdf, visitada: 29/10/2017.
- [40] WIRMAX, WIS-ANS5818-90, <http://www.wirmax.net/en/5ghz-antennas/669-wis-ans5818-90-49-59ghz-sector-16dbi-2x2-mimo90-rp-sma-connectors-with-s-series-kit-and-pigtails.html>, visitada: 29/10/2017.

- [41] Charles Escobar, Modelo Longley Rice para predicción de telecomunicaciones, <http://www.charlesescobar.com/?p=86>, visitada: 30/10/2017.
- [42] Albentia System, AXS-CPE150-15, http://www.albentia.com/Docs/DS/ALB-D059-AXSsp_A3-Access_CPE_banda_5_AXS-CPE150-15.pdf, visitada: 01/11/2017.
- [43] VV.AA., Ping, <https://es.wikipedia.org/wiki/Ping>, visitada: 05/11/2017.
- [44] S. Srikanth, P. A. Murugesu Pandian, Orthogonal Frequency Division Multiple Access in WiMAX and LTE – A Comparison , <https://pdfs.semanticscholar.org/bd03/a1151694d8d68cc4ed2ada6e0c2e8a7f5a15.pdf>, visitada: 08/11/2017.
- [45] Linksys, Router EA8500, <https://www.linksys.com/es/p/P-EA8500/>, visitada: 10/11/2017.
- [46] Informir, Equipo set-top-box, <https://www.infomir.eu/esp/products/premium/mag-352/>, visitada: 10/11/2017.
- [47] Lerro, Federico; Leyendeker, Guillermo; Protano, Mauro , VoIP (Voz sobre IP), <https://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/distribuidos/material/monografias/VoIP.pdf>, visitada: 10/11/2017.
- [48] Grandstream, Adaptador IP HT801, http://www.grandstream.com/sites/default/files/Resources/datasheet_ht801_spanish.pdf, visitada: 11/11/2017.
- [49] Yealink, Teléfono SIP T-19 E2, <http://www.yealink.com/upfiles/products/201709/1506042092472.pdf>, visitada: 11/11/2017.
- [50] CARM, Ayudas dirigidas al apoyo a empresas innovadoras de base tecnológica , http://www.ipyme.org/_layouts/15/IPYME/TextoAyudas.aspx?referencia=59875&usuario=lpymeNoVal, visitada: 20/11/2017.

10. Anexos

ANEXO I – Requisitos mínimos

Los requisitos que debe plantear la ejecución del proyecto está indicado a lo largo de todo el documento. Este anexo contiene una relación extractada de los que se deben exigir como mínimo en la oferta pública.

- | | |
|--|--|
| [REQ. 1] Diseñar un sistema que permita ofertar a los futuros clientes un servicio Triple Play: Internet, televisión y teléfono con una única entrada WIMAX a la vivienda. | [REQ. 4] Diseñar los sistemas necesarios para gestión del sistema: control de la seguridad, gestión de usuarios, gestión económica, control de accesos y gestión del tráfico |
| [REQ. 2] Gestionar los diferentes contratos con los operadores, para lo que se formulará la oportuna oferta económica. | [REQ. 5] Garantizar el mantenimiento de los equipamientos e infraestructuras con un adecuado Plan de Mantenimiento. |
| [REQ. 3] Garantizar la interoperabilidad de los equipos del tramo de distribución, usando equipos WIMAX certificados. | [REQ. 6] La red a diseñar debe ser del tipo AllIP. |
| | [REQ. 7] Establecer la política de seguridad y su implementación final. |

- [REQ. 8] Diseñar un Plan de Contingencias que contenga la identificación de los riesgos del sistema y sus medidas correctoras.
- [REQ. 9] Implementación de una zona desmilitarizada
- [REQ. 10] Los equipos de publicidad deben estar ubicados en la DMZ
- [REQ. 11] Diseñar las aplicaciones necesarias para los equipos de publicidad, incluyendo como mínimo un portal cautivo y un servidor web.
- [REQ. 12] Crear la adecuada distribución de redes virtuales que permita la segmentación de los servicios y sistemas.
- [REQ. 13] Garantizar que las peticiones que no provengan de otras redes virtuales sean redirigidas al portal cautivo.
- [REQ. 14] Todos los equipos instalados contarán con puertos de gestión remota.
- [REQ. 15] Toda la red de datos debe tener implementado el protocolo IPSec.
- [REQ. 16] Garantizar en el despliegue de transporte un ancho de banda mínimo de 550 Mbps.
- [REQ. 17] Garantizar un ancho de banda disponible en la vivienda de 28,2 Mbps y de 121 Mbps para gestión.
- [REQ. 18] No realizar una sobreprovisión mayor de 1:10 en la contabilidad de tráfico de red.
- [REQ. 19] Garantizar una potencia recibida suficiente para superar los umbrales de los distintos receptores.
- [REQ. 20] Diseñar torres y casetas con espacio suficiente para la futura ampliación de la red con la sola instalación de equipamiento.
- [REQ. 21] Garantizar la libertad de la primera zona de Fresnel en los radioenlaces.
- [REQ. 22] Elegir un equipamiento de radioenlace acorde con los estudios medios de vientos de los organismos adecuados.
- [REQ. 23] Cumplimentar las legislaciones correspondientes, incluida la adecuada protección de los riesgos laborales, en el diseño de las torres.
- [REQ. 24] Las zonas de instalación de torres y casetas deben contar protección perimetral.
- [REQ. 25] Garantizar el suministro eléctrico, con equipamiento de reserva, para las instalaciones que no cuenten con suministro de red así como la puesta a tierra de la instalación. Todas las instalaciones de la infraestructura deben contar además con un SAI de protección.
- [REQ. 26] Las instalaciones aisladas deben contar con protección frente a sobretensiones.
- [REQ. 27] Las estaciones base dispondrán de antenas sectoriales de 90°.
- [REQ. 28] Todas las instalaciones contarán con equipamiento de aire acondicionado adecuado a las necesidades.
- [REQ. 29] Las alarmas instaladas deben contar con sistemas de autoalimentación y conexión 3G.
- [REQ. 30] Se presentará un informe de resultados con expresión de los anchos de banda efectivos en cada uno de los tramos, los tiempos de latencia y las potencias de emisión y recepción, con garantía de respeto del PIRE máximo autorizado y los requerimientos de índole física establecidos por los fabricantes de los equipamientos.
- [REQ. 31] El informe de comprobaciones de seguridad del sistema debe incluir el procedimiento seguido para la zona desmilitarizada, las redes virtuales, los procedimientos de pruebas de intrusión y pruebas de los elementos físicos, así como los resultados obtenidos.
- [REQ. 32] Se realizará un plan de formación para la instrucción de los empleados de explotación.
- [REQ. 33] Finalizado el periodo de formación, se contemplará un plazo de un mes en el que un técnico acompañará el proceso de inicio de las actividades para resolución de futuras incidencias.

ANEXO II - Plan de contingencias

El Plan de Contingencias debe resumir todos los riesgos a los que se enfrenta el sistema y las reacciones que realiza el mismo, con acciones de tipo automático o forzadas para paliar dichos riesgos.

Riesgo: Cualquier amenaza a la que se enfrenta el sistema y su categoría.

Persona de contacto: Es la persona a la que se informa de la aparición del riesgo, junto con su conjunto de roles para facilitar el escalado.

Escalado: Dependiendo de la categoría del riesgo y de sus efectos, se debe avisar a un conjunto de personas o a otro.

Acción: Cualquier actividad que se deba realizar, ya sea de forma automática o no, para enfrentarse al riesgo.

Como ejemplo de definición de riesgos se puede tomar la siguiente tabla

Riesgo	Prioridad	Contacto
Acceso no autorizado detectado	Bajo	Log del sistema
Amenaza sobre datos de carácter personal	Alto	Grupo B Grupo C
Sistema no disponible	Alto	Grupo A Grupo B
Caida de un Radioenlace	Alto	Grupo C
Servidor DNS no disponible	Medio	Grupo C

Las personas responsables se deben distribuir por grupos, junto con los datos de contacto, de forma que se conforme un escalado de incidencias en caso necesario según su orden de prioridad.

La definición de cada riesgo debe incluir:

- Denominación.
- Prioridad.
- Efectos sobre el sistema.
- Medidas de reacción.

Riesgo	Prioridad	Efectos	Reacción
Caida de un radioenlace	Alto	No se puede prestar ningún tipo de servicio	Reiniciar remoto
			Desplazamiento y valoración
			Disponer medios alternativos

La tabla anterior muestra la definición de ejemplo de uno de los riesgos, con la expresión de todos los datos necesarios.

ANEXO III – Plan de Mantenimiento

El Plan de Mantenimiento incluye todas las acciones a realizar con los equipamientos y subsistemas que componen el despliegue completo, con las siguientes directrices.

Debe incluir:

- Elemento
- Acción
- Periodicidad

Elemento	Acción	Periodicidad
Grupo Electrónico	Comprobar depósito	Mensual
Grupo Electrónico	Mantenimiento mecánico	Anual
Firewall	Estado log	Quincenal
Firewall	Políticas	Semestral
Firewall	Usuarios	Mensual

Asimismo es preciso dejar constancia de los mantenimientos realizados en la hoja de control:

Elemento	Acción	Fecha	Identificación	Realizado	Observaciones
Grupo Electrónico	Comprobar depósito				
Grupo Electrónico	Mantenimiento mecánico				
Firewall	Estado log				
Firewall	Políticas				
Firewall	Usuarios				

- Se pueden unir los ítems por periodicidad, diseñando hojas de mantenimiento agrupadas.
- Se debe incluir por cada una de las acciones, la descripción completa de las actividades que hay que realizar.
- Las hojas de control serán presentadas en los vencimientos de los plazos a los responsables pertinentes para su evaluación.