

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Solución inalámbrica para banda ancha en Zona Tierra Estella



Grado en Ingeniería
en Tecnologías de Telecomunicación

Trabajo Fin de Grado

Jon Echávarri Ayala

Tutores: David Benito Pertusa,

Miguel Ángel Gómez Laso

Pamplona, 27 de junio de 2017



Resumen

En el marco del Escenario 5 (poblaciones de menos de 1000 habitantes) del Plan director de banda ancha del Gobierno de Navarra (2016-2021), el trabajo tiene el objetivo de diseño de una red que dé una solución para dar servicio de banda ancha a varias poblaciones y sedes corporativas de Gobierno de Navarra de la zona 4, Tierra Estella.

Tras realizar un estudio de las posibles soluciones tecnológicas, basado en la orografía y demografía de la zona se ha decidido adoptar una solución de banda ancha basada totalmente en tecnologías radio, tanto la red de transporte como la red de distribución. Para la red de transporte se emplearán radioenlaces de alta capacidad, que interconecten los centros de telecomunicaciones, de donde partirá la red de distribución, realizada con transmisiones punto a multipunto. Además se ha decidido este tipo de solución ya que es la opción que resulta más viable económicamente. Pero que al mismo tiempo debe cumplir con los objetivos de cobertura y servicios establecidos para este tipo de poblaciones.

Palabras clave

Plan banda ancha, Escenario 5, Navarra, Tierra Estella, tecnologías inalámbricas, centro telecomunicaciones, radioenlace, cobertura, antenas.

Abstract

In the framework of Scenario 5 (populations of less than 1000 inhabitants) of the Broadband Master Plan of the Government of Navarre (2016-2021), the work has the objective of designing a network that provides a solution to provide broadband service to several towns and corporate headquarters of the Government of Navarre in zone 4, Tierra Estella.

After conducting a study of possible technological solutions, based on the terrain and demography of the area has decided to adopt a broadband solution based entirely on radio technologies, both the transport network and the distribution network. For the transport network, high-capacity radio links will be used, interconnecting the telecommunications centers, from where the distribution network will start, with point-to-multipoint transmissions. In addition, this type of solution has been decided since it is the option that is more economically viable. But at the same time it must meet the objectives of coverage and services established for this type of population.

Key words

Broadband plan, Scenario 5, Navarre, Tierra Estella, wireless technologies, telecommunications center, radio link, coverage, antenna.

ÍNDICE

1	Antecedentes	8
1.1.	Brecha digital.....	8
1.2.	Plan Banda Ancha (2020)	10
1.2.1.	Escenario 5 [6 pp.216-231]	10
1.2.2.	Redes existentes.....	11
1.2.2.1	Radio.....	11
1.2.2.2	Fibra.....	11
1.2.2.3	Teledistribuciones	12
2	Objetivo.....	13
2.1	Necesidades	13
2.2	Como solucionarlas	13
2.3	Caso particular.....	13
3	Estado del arte	14
3.1	Estudio de las tecnologías	14
3.1.1.	Tecnologías cableadas.....	14
3.1.1.1	Fibra óptica.....	14
3.1.1.2	Cable coaxial y HFC.....	15
3.1.1.3	Pares de cobre.....	17
3.1.2	Tecnologías inalámbricas	18
3.1.2.1	WiMax	18
3.1.2.2	Wi-Fi (exteriores).....	18
3.1.2.3	Comunicaciones vía satélite	19
3.1.2.4	LTE	19
3.2	Expectativas de crecimiento de la velocidad	20
3.3	Estudio de los operadores.....	20
4	Introducción solución.....	21
4.1	Localización	21
4.2	Introducción solución tecnológica	23
5	Teoría radioenlaces	25
5.1	Nivel de señal del receptor	25
5.1.1	Atenuación en el espacio libre	25
5.1.2	Pérdidas por gases y vapores atmosféricos	25
5.1.3	Pérdidas por lluvia.....	27

5.1.4	Pérdidas en los radioenlaces de microondas	28
5.2	Modelo de tierra plana.....	28
5.3	Zonas de Fresnel.....	29
5.4	Umbral.....	30
5.5	Desvanecimientos	30
5.5.1	Desvanecimiento plano y selectivo	30
5.5.2	Desvanecimiento multitrayecto	31
5.6	Margen bruto de desvanecimiento.....	32
5.7	Calidad del radioenlace	32
5.7.1	Indisponibilidad de los radioenlaces de microondas	32
5.7.1.1	Indisponibilidad por equipos.....	32
5.7.1.2	Indisponibilidad por propagación	33
5.7.2	Parámetros de calidad de error	37
5.7.3	Calidad de fidelidad de un radioenlace digital	38
5.8	Codificación y modulación adaptativa (ACM)	41
5.8.1	Scripts ACM Radio	41
5.8.2	ACM con potencia de transmisión adaptativa	42
5.8.3	XPIC.....	42
5.8.4	Implementación de XPIC	43
5.8.5	Mecanismo de recuperación XPIC.....	44
6	Centros de telecomunicación.....	45
6.1	Existentes	45
6.2	Nuevos.....	49
7	Solución general.....	51
7.1	Red de transporte	55
7.1.1	Diseño de los radioenlaces.....	55
7.1.2	Equipos seleccionados	58
7.1.3	Simulaciones.....	59
7.1.4	Tramo fibra, interconexión CTs	64
7.2	Red de acceso.....	66
7.2.1	Equipos	72
7.3	Solución alternativa para poblaciones con problemas de cobertura	73
8	Presupuesto	74
9	Conclusiones y líneas futuras	78
9.1	Conclusiones.....	78

9.2 Líneas futuras	78
Bibliografía	79
Bibliografía Figuras	80
Anexo I – Radioenlaces	82
Anexo II-Equipos Radwin.....	85
Anexo III – Equipos NEC	93

1 Antecedentes

En los últimos años las nuevas tecnologías están teniendo una gran relevancia, se tienen herramientas de comunicación que permiten a los seres humanos compartir información de un mejor modo.

En los siguientes apartados se explicará la situación tecnológica concreta de Navarra. Haciendo hincapié en el plan director que se va a poner en marcha en los próximos cinco años. También se mencionará las nuevas necesidades que se están creando tanto en el aspecto económico como en el social y qué relación tiene la tecnología en ellas.

1.1. Brecha digital

De acuerdo con [1 p.5], podemos definir “brecha digital” como: “la diferencia entre individuos, hogares, negocios y áreas geográficas a diferentes niveles socio económicos respecto a las oportunidades que presentan para acceder a la información y tecnologías de comunicación y respecto al uso de internet para realizar diferentes actividades [...].El acceso a las infraestructuras de comunicaciones es fundamental para medir esta brecha, ya que tiene una mayor extensión y precede al acceso y uso de internet”.

Las desigualdades se producen tanto en el acceso a equipamientos (primera brecha digital) como en la utilización y la comprensión de las que ya se encuentran a nuestro alcance (segunda brecha digital).Es un concepto que se encuentra en continua evolución (a la vez que evolucionan los medios tecnológicos) y que se encuentra íntimamente relacionado con otras desigualdades sociales [2 p.2].

En esta tabla podemos apreciar el impacto económico que tiene el despliegue de tecnologías de banda ancha y por tanto la reducción de la brecha digital (Figura 1). Un estudio del impacto socio-económico de la Unión Europea dice que un aumento del 10% en la penetración de banda ancha reporta un aumento en el PIB de hasta el 2,5% [3 p.253].

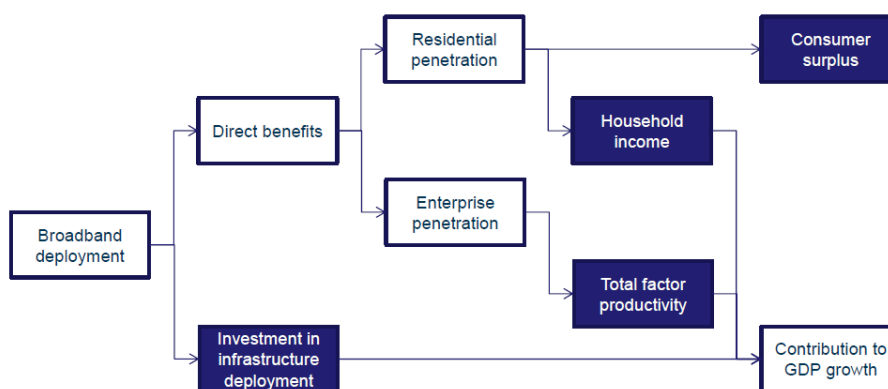


Figura 1: Esquema del impacto en la economía de las tecnologías de banda ancha.

En la siguiente figura se puede apreciar cómo, en los lugares donde adquiere mayor importancia la banda ancha, el PIB aumenta considerablemente, como ya se ha mencionado.

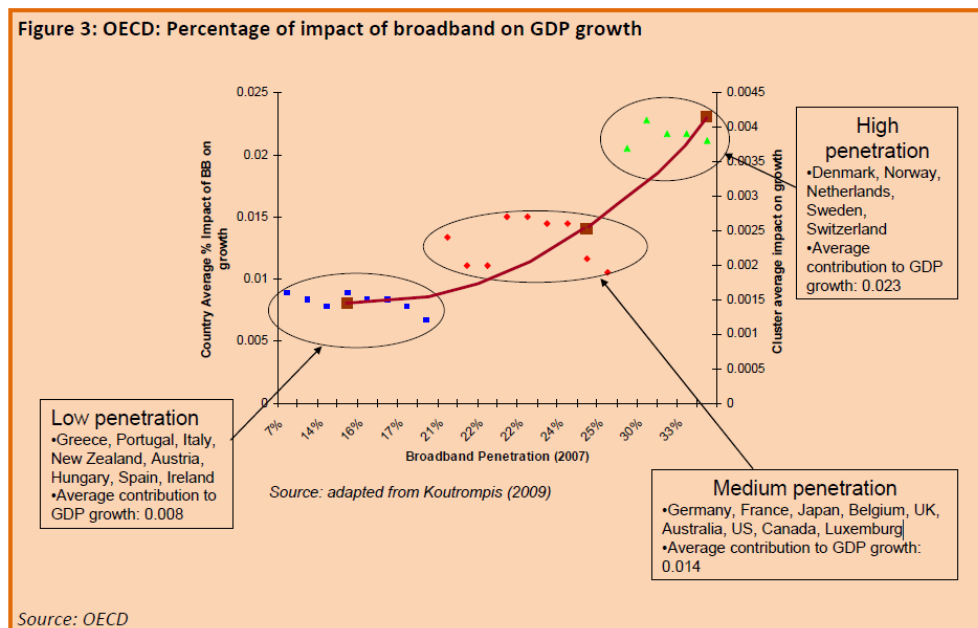


Figura 2: Relación de la penetración de la banda ancha con el PIB por países.

Ser capaces de establecer medidas que fomenten el estrechamiento de esta brecha digital es primordial si se pretende impulsar la economía, frenar el éxodo rural o reducir la marginalidad de algunos sectores de la población. Podemos ver reflejado en el documento [4], [5] la importancia de solventar la brecha digital, del papel que tiene la banda ancha en la economía, mostrándose una mejora en la misma al aumentar el alcance de la banda ancha en casi todos los casos; pero, como también indica el autor, parece ser que es necesario llegar a un cierto nivel de penetración de red para que las consecuencias sean relevantes económicamente. Debido a esto, es fundamental cerrar la brecha digital de forma global para un país para que se pueda observar un impulso en la actividad económica.

Se reducen los costes tanto de transacciones como de comunicaciones [5 pp.9-10], esto es una gran ventaja económica.

Las principales metas que se marcan en la Agenda Digital Europea 2020 y el Plan Director de Banda Ancha de Navarra están encaminadas a afrontar la reducción de la brecha digital, contribuyendo al desarrollo económico y a reducir los desequilibrios territoriales.

Se estima que la participación pública en el despliegue de redes de alta velocidad es especialmente crítico en las zonas rurales, debido principalmente a que estas zonas no suelen despertar interés económico en las empresas privadas: sin una inversión pública importante, se exponen a quedarse atrás tecnológicamente hablando, incentivando de este modo el éxodo rural. De hecho, Navarra se encuentra en una situación muy precaria en cuanto a desequilibrio territorial en el acceso a la banda ancha, existiendo una clarísima brecha digital [6 p.90].

1.2. Plan Banda Ancha (2020)

Debido al objetivo marcado por la agenda digital europea (para el año 2020) de dotar de una conexión de banda ancha (al menos 30Mbps) al 100% de la población, desde Gobierno de Navarra, en colaboración con la sociedad pública NASERTIC, se va a tratar de impulsar el despliegue de redes de comunicación de banda ancha, para así poder crear un acceso universal a servicios de comunicaciones a la población y a las empresas de la comunidad.

El plan director tiene cuatro objetivos estratégicos [6 p.6]:

- Vertebración del territorio y reducción de la brecha digital.
- Cumplimiento de la Agenda Digital Europea: establece que para 2020 todos los europeos tengan cobertura de redes capaces de prestar servicios de acceso a Internet de más de 30 Mbps y la mitad de los hogares estén abonados a conexiones a Internet superiores a 100 Mbps.
- Mejorar la conectividad de las áreas de actividad económica.
- Mejorar la conectividad de las sedes del Gobierno de Navarra y de las Administraciones Locales.

Para lograr todo esto, y conforme a la diversidad de situaciones que encontramos en Navarra, se establecen cinco tipos de Escenarios de acción, en los que se contemplan los diferentes casos que podemos hallar dentro del territorio. Dada la temática de nuestro proyecto en particular, en este documento nos centraremos en el Escenario 5, centrado en las zonas blancas NGA (no disponen de servicios de redes de acceso de banda ancha de última generación ni está previsto que se implementen en los próximos 3 años) con menos de 1000 habitantes.

1.2.1. Escenario 5 [6 pp.216-231]

Como ya he mencionado, el escenario 5 hace referencia a las poblaciones de menos de 1000 habitantes. Se hace esta agrupación de poblaciones debido a la baja densidad de habitantes por población y a que estas poblaciones están dispersadas en grandes áreas (valles). El objetivo de esta agrupación (escenario 5) es realizar proyectos en los que se den soluciones en conjunto para diferentes grupos de poblaciones y poder hacer rentables las soluciones a implantar. Estas agrupaciones de poblaciones se suelen realizar en función de su geografía, por ejemplo, se suelen agrupar pueblos que estén en el mismo valle o poblaciones que estén próximas al mismo monte.

En este escenario no es previsible que los operadores privados inviertan en el despliegue de redes de banda ancha, ya que debido a sus características no les resulta rentable invertir en infraestructuras. Por tanto el objetivo principal en este escenario será el de promover directamente (a través de administraciones públicas) el despliegue de la infraestructura de redes de banda ancha para incentivar que los operadores privados comiencen a proveer de servicios a estas poblaciones. A estas áreas en las que las operadoras no les interesa realizar despliegues para dar servicio se les denomina zonas blancas.

También es necesario un gran apoyo por parte de las administraciones locales a la hora de ofrecer facilidades para la reutilización de infraestructuras de forma que se pueda reducir de forma significativa el despliegue.

Para poder cumplir los objetivos este escenario tiene una gran importancia, debido al gran número de pueblos que abarca este escenario (852) y por ello es el escenario que más inversión pública va a necesitar.

1.2.2. Redes existentes

Navarra cuenta con una red de infraestructuras de telecomunicaciones [6 pp.21-23], pero que necesita ser mejorada y ampliada para poder dotar de conexión a toda la población.

1.2.2.1 Radio

Existen 137 Centros de Telecomunicaciones del Gobierno de Navarra en la Comunidad Foral ofreciendo una variedad de servicios. Con estos centros se da servicio de internet rural, de televisión, de comunicación para conservación de carreteras, servicios de telefonía y la red TETRA (sistema de comunicación para los servicios de emergencia).

Además ofrece servicios de coubicación de los equipos para los operadores privados.

Con estos CTs se desplegó una red de transporte a través de numerosos radioenlaces para dar cobertura de internet, lo que en su día se consideraba banda ancha (actualmente por esta red se está dando servicio de 3Mbps) principalmente en la zona norte. Debido a su orografía y la densidad de población era la solución más viable, en vez de una red cableada.

1.2.2.2 Fibra

Actualmente existe en Navarra una red de fibra óptica interurbana (red troncal) de más de 210 Km del Gobierno de Navarra. La red tiene cuatro vías principales e interconecta algunos de los puntos donde se localizan las sedes del gobierno más importantes. Esta red tiene como objetivo interconectar las sedes del gobierno, para ello existen redes troncales y distribuciones que se realizan por el interior de las poblaciones.

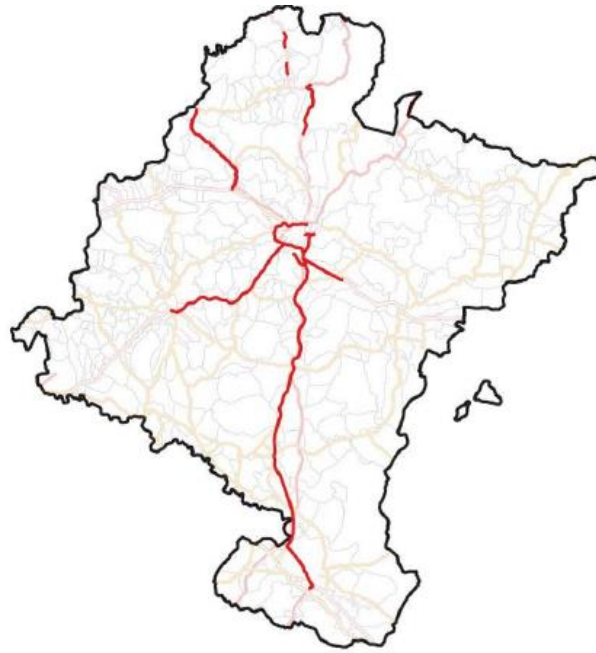


Figura 3: Red troncal fibra óptica del Gobierno de Navarra en 2016

1.2.2.3 Teledistribuciones

En Navarra hay 57 poblaciones que debido a que están localizados en zonas de “sombra”, no les llega la señal de televisión, y para dar solución a este problema construyeron una infraestructura de cable coaxial. Estas redes constan de la infraestructura de cable hasta cada hogar y de un Centro de Telecomunicación donde sí se pueda captar la señal de televisión. Esta red esta utilizada para la difusión de la televisión por cable, pero actualizando la cabecera de la red se podría usar para dar servicio de banda ancha.

2 Objetivo

2.1 Necesidades

A pesar de que en Navarra las cifras son mejores que en el resto de comunidades autónomas “(74% de la población tiene conexión de Banda Ancha de hasta 30 Mbps). Tiene más complicado ofrecer servicio al 100% de la población. Ya que el 26% restante está muy disperso”. Como ya se ha mencionado antes es necesario infraestructuras de telecomunicación para que ese porcentaje de la población no sufra la brecha digital.

2.2 Como solucionarlas

Para buscar una solución a las necesidades que se tienen en Navarra, ha sido necesario crear el plan director, con el fin de dar conectividad de banda ancha a toda la población. Según la densidad de población se adoptará una solución u otra, por ello se han creado los distintos tipos de escenarios.

2.3 Caso particular

En este caso se realizará una solución mixta fibra-radio. Al ser del escenario 5, poblaciones con muy baja densidad, se tratará de utilizar los repetidores ya existentes en la zona. En el caso de que no se pueda dar cobertura a toda la zona con los ya existentes, será necesaria la instalación de algún repetidor más. En aquellos lugares que sea imposible solucionarlo mediante una solución radio, será necesario realizar una tirada de fibra óptica para dar conectividad total a la zona.

3 Estado del arte

En este apartado se realizará un estudio de las diferentes tecnologías que en la actualidad son capaces de garantizar las condiciones de servicio exigidas por la agenda digital europea y la previsión de cada tecnología de cara al futuro; también se abordarán cuáles son las soluciones por las que optan los principales operadores por todo el mundo y cuál es la posición respecto al despliegue de redes en EE.UU. y Europa.

3.1 Estudio de las tecnologías

De acuerdo con [7, p. 13], [3, p. 75], [8], [6 Anexo 1] existe un número limitado de tecnologías capaces de cubrir los requisitos de velocidad establecidos por la Agenda Digital Europea.

Estas tecnologías podemos agruparlas en dos campos: las soluciones cableadas y las soluciones inalámbricas.

3.1.1. Tecnologías cableadas

Dentro de este grupo se incluyen aquellas tecnologías que son capaces de proveer servicios de internet de alta capacidad empleando como medio fibra óptica (FTTx), cable coaxial, pares de cobre (xDSL) o combinaciones de varios (híbridos fibra – x, ej.: HFC).

3.1.1.1 Fibra óptica

FTTx es la notación que se emplea para designar las diferentes redes de banda ancha en las que la fibra tiene un papel predominante. El significado de las siglas se refiere a “*Fiber to the X*”. Las arquitecturas de red son similares entre los diferentes formatos, ya sea entre una red “pura” de fibra o entre soluciones mixtas, que podemos encontrar; la principal diferencia radicará en hasta dónde se acerca

Está altamente aceptado que se trata de las soluciones que más progresión presenta en cuanto a la cobertura de las necesidades futuras, siendo el tipo de tecnología por excelencia a desplegar en las zonas “greenfield” como señala [9 p. 11]. Entre sus ventajas principales encontramos que se trata de una tecnología capaz de cubrir mayores distancias que las equivalentes redes cableadas metálicas, a una mucha mayor velocidad y con unos costes de mantenimientos menores, además de ofrecer simetría entre subida y bajada, aspecto cada vez más relevante teniendo en cuenta la evolución de los servicios, en los cuales los usuarios finales cada vez son más creadores de contenido.

Se considera que, con el paso del tiempo, las redes todo fibra sustituirán por completo a las redes de cable metálico y/o mixtas, convirtiéndose por tanto el resto de tecnologías que tratamos en esta sección en pasos intermedios, si bien debe estudiarse su viabilidad ya que el transitorio puede ser económicamente rentable para seguir sacando provecho de la red existente.

Las redes de fibra óptica se suelen dividir en dos grandes grupos:

- Soluciones Punto a Punto (PTP): en esta estructura, a cada abonado le llega una fibra desde la central local. El hecho de que cuente con elementos activos en el enlace hace que este tipo de redes se considere también “AON” (Active Optical Network)
- Redes ópticas pasivas (PON), en las cuales diversos usuarios comparten el medio de acceso (fibra óptica)

La principal ventaja de la primera radica en su simplicidad y en que el usuario final dispone del ancho de banda de la fibra dedicado exclusivamente; la segunda opción, en cambio, aunque requiere compartir el ancho de banda entre un determinado número de usuarios, presenta la ventaja de contar con muy poco equipamiento activo (en sentido estricto, ninguno) lo que abarata el coste de operación de la red.

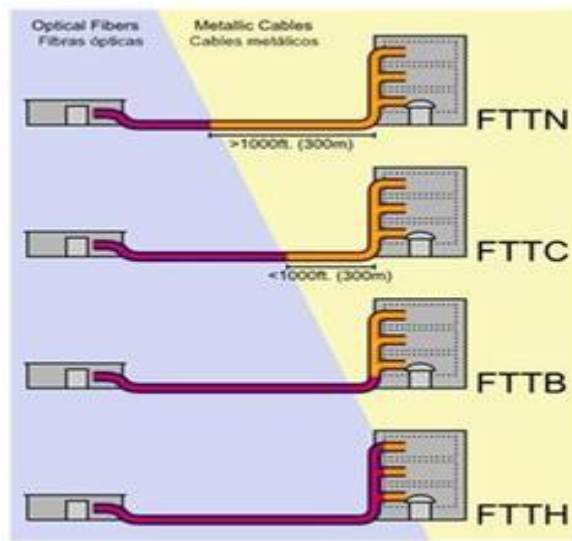


Figura 4: Diferentes esquemas FTTx

El principal inconveniente de las tecnologías basadas en fibra óptica es que no se trata de una red empleada tradicionalmente por los operadores: la infraestructura existente actualmente en redes de acceso y distribución tiende a estar basada en cableado metálico. Esto implica que el despliegue de soluciones FTTx tiene asociados unos costes de infraestructura mucho más elevados que los debidos a la actualización de las redes de acceso y distribución “tradicionales”. Además, en función de diversos factores relevantes de la red a proyectar (factores

demográficos, geográficos...), los operadores pueden estar interesados en

llegar a soluciones intermedias para seguir aprovechando las redes de las que disponen actualmente. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, el tendido de redes “todo fibra” será inevitable para satisfacer las demandas de ancho de banda de la población en el futuro, por lo que estas últimas medidas solo son soluciones temporales.

Actualmente, podemos hablar de que velocidades típicas que se ofrecen al usuario por parte de los operadores serían aquellas de 100 Mbps simétricos

3.1.1.2 Cable coaxial y HFC

Las redes basadas en cable coaxial se han empleado tradicionalmente para dar acceso cableado a servicios de televisión. Actualmente, resulta más correcto el hablar de redes HFC (Híbridas fibra coaxial) que de redes de coaxial propiamente dichas, pues la tendencia de los operadores es la de ir aproximando poco a poco la tirada de fibra hasta el usuario final, llegando a unos pocos cientos de metros. Se emplea este sistema para poder reducir el número de elementos activos en la sección de coaxial, abaratando así el coste de operación; además, se armoniza con la tendencia de las redes cableadas a una evolución hacia el empleo de fibra óptica.

Con la intención de aprovechar las redes de coaxial existentes, se han desarrollado sistemas que permiten hacer uso de estas para proporcionar acceso de alta velocidad al usuario final. Este es el origen del estándar DOCSIS de Cablelabs (en Europa, EuroDocsis, con algunas diferencias como puede ser el ancho de banda de canal empleado). La versión del estándar más relevante en estos momentos por su porcentaje de penetración y su capacidad para proveer altas velocidades es DOCSIS 3.0 (según [10 p.1050], junto con las soluciones FTTP, se trata de las únicas soluciones capaces de garantizar velocidades de hasta 100 Mbps en entorno rural con buena calidad de servicio). Los resultados obtenidos en redes que emplean el estándar DOCSIS 3.1 hacen ser optimistas acerca de la viabilidad de las redes HFC de cara a cumplir los requisitos de velocidad a corto-medio plazo. El hecho de que además la actualización de la red existente para soportar DOCSIS 3.0 sea relativamente barata en comparación con una migración de red completa es un punto interesante a la hora de plantearse este tipo de solución, si bien es verdad que esto es menos cierto cuando el número de subscriptores no supera un cierto umbral (debido a que el coste de los equipos es bastante elevado si no se comparte entre suficientes usuarios).

Los principales puntos negativos del sistema serían el tener que compartir el ancho de banda con el resto de usuarios, la dependencia con la versión del estándar, las propias limitaciones del cable en cuanto a capacidad... por lo que hay que tener presente que sería necesaria una actualización de red en la siguiente década.

DOCSIS 3.1 - Advantages

	DOCSIS 3.0		DOCSIS 3.1		
	Initial	Future	Initial	Future	
DS Range (MHz)	54* - 1002	108 - 1002	258 - 1218	504 - 1794	
DS QAM Order	256	256	256-4096	256-16,384	
# DS Channels	8 SC-QAM	24 SC-QAM	5 x 192 MHz	6 x 192 MHz	
DS Capacity	300 Mbps	1 Gbps	8 Gbps	10 Gbps	
US Range (MHz)	5 - 42	5 - 85	5 - 85	5 - 204	5 - 400**
US QAM Order	64	64	256-4096		
# US Channels	4 SC-QAM	12 SC-QAM	2 x 96 MHz	4 x 96 MHz	
US Capacity	100 Mbps	300 Mbps	400 Mbps	1 Gbps	2.5 Gbps

Figura 5: Comparativa DOCSIS 3.0/3.1

3.1.1.3 Pares de cobre

Se trata de una red cableada muy similar a la red de coaxial en cuanto a su historia. Tradicionalmente se ha desarrollado un gran despliegue de red de pares de cobre para cubrir el servicio de telefonía. Con el fin de aprovechar estas, se emplearon diferentes tecnologías para que puedan soportar servicios de banda ancha. De igual manera que ocurría en el caso de cable coaxial, la tendencia de las operadoras es de hibridar estas redes, empleando para ello en buena parte de la red fibra óptica, tratando de acercar esta lo máximo posible al usuario final. En el caso de las redes basadas en pares de cobre, esta estrategia es muy necesaria si se persigue poder ofrecer enlaces de altas velocidades, ya que se trata de un medio en el que la velocidad ofrecida es muy dependiente con la distancia de cable de cobre. Es por ello que los principales estándares sobre este medio proporcionan velocidades para distancias de como máximo 1000 metros.

Uno de los principales estándares empleados en la actualidad es el VDSL2 (very high bit-rate digital subscriber line versión 2), aunque existen muchos otros “sabores” con diferentes velocidades. Podemos verlos reflejados en la siguiente tabla:

Comparación de las tecnologías

Nombre	Longitud (metros)	Modo	Velocidad Bajada (Mbps)	Velocidad Subida (Mbps)
ADSL	3600	Asimétrico	8	0.928
SDSL	3000	Simétrico	1,544	1,544
HDSL	3600	Simétrico	1,544	1,544
SHDSL	1800	Simétrico 1 par Simétrico 2 pares	2.312 4.624	2.312 4.624
IDSL	5400	Simétrico	0,128	0,128
CDSL	5486	Asimétrico	1	0,128
UDSL		Simétrico	100	100
VDSL	300	Asimétrico	52	6
	300	Simétrico	26	26
	1000	Asimétrico	26	3
	1000	Simétrico	13	13

Figura 6: Comparativa estándares xDSL.

La principal ventaja que presenta el uso de este tipo de red es que, al igual que en el caso de las soluciones de coaxial, es una opción a emplear cuando ya existe una infraestructura existente. De esta manera, los costes asociados a la implementación de la misma son mucho más bajos que los debidos a reemplazar completamente la red, ya que consisten en acercar la fibra al usuario final reemplazando parte de la infraestructura y actualizar el resto de la red para poder cumplir con el estándar seleccionado.

Las desventajas principales de estas redes se deben principalmente a dos causas, alta dependencia de la velocidad con la distancia y el mal comportamiento de los pares de cobre en frecuencia, que limitan de forma significativa el ancho de banda disponible. También hay que resaltar que las velocidades máximas que ofrecen son significativamente inferiores a las del cable coaxial (salvo tal vez el estándar G.fast para distancias cortas) y su resistencia a interferencias y ruido es también menor. Esto se trata de compensar empleando técnicas como “vectoring” o “pair bonding”, que se vuelven necesarias si se pretende cumplir con los objetivos marcados por la ADE para ofrecer los 100Mbps [3 p.75].

3.1.2 Tecnologías inalámbricas

Soluciones en las que las comunicaciones entre los diferentes dispositivos emplean el espectro radioeléctrico sin necesidad de una infraestructura cableada. Estos dispositivos pueden ser fijos o móviles. Normalmente, se considera que este tipo de soluciones deben servir como apoyo a las soluciones cableadas más que como sustituto de las mismas [9].

Dentro de estas tecnologías, vamos a centrarnos en las siguientes: WiMax, Wi-Fi en exteriores, LTE y comunicaciones vía satélite.

3.1.2.1 WiMax

WiMax responde a las siglas Worldwide Interoperability for Microwave Access. Permite comunicaciones entre una estación base y un punto de acceso normalmente fijo con el fin de maximizar el rendimiento del enlace. Su cobertura es amplia (hasta 60Km) con velocidades simétricas de 4Mbps. Normalmente, para menores distancias, los sistemas comerciales permiten que en los momentos picos de conexión se alcancen velocidades de más de 15Mbps. Es una tecnología que se presenta como alternativa a Wi-Fi o LTE, contando además con que se trata de un sistema fácilmente escalable en cuanto a que la adición de canales es sencilla.

Al igual que sucede con el caso del Wi-Fi en exteriores, la posibilidad de ofrecer velocidades similares a las de algunos estándares xDSL pero de manera simétrica lo convierte en un importante rival para este tipo de soluciones de acceso cableado.

3.1.2.2 Wi-Fi (exteriores)

En España existen una serie de bandas frecuenciales “libres”, utilizables sin necesidad de licencia siempre que se respeten ciertas condiciones normalmente relacionadas con la potencia máxima de transmisión. En concreto, en la banda de 5 GHz encontramos dos rangos frecuenciales empleables para la transmisión en exteriores para prestar servicios de altas prestaciones, las situadas entre los 5470 – 5725 MHz y los 5725 - 5875 MHz. En el caso de la primera banda, las condiciones de uso expuestas en la norma UN-128:

- PIRE limitada a 30dBm (1 vatio)
- El transmisor debe incluir técnicas de control de potencia (TPC) que permitan una reducción de 3dB de la potencia de salida
- No se garantiza la protección frente a servicios legalmente autorizados ni se puede causar perturbación a los mismos

En el caso de la banda 5725-5875Mhz

- PIRE limitada a 36dBm (4 vatios)
- Control de potencia que permita una reducción de 12 dB
- No se garantiza la protección frente a servicios legalmente autorizados ni se puede causar perturbación a los mismos.

Todo esto se encuentra recogido en las normas UN-128 y UN-143 que podemos encontrar en [11]

El uso de estas bandas junto con la tecnología Wi-Fi permite, con un alcance de unos 3 Km, lograr conexiones a velocidades de 30Mbps simétricos, lo que lo hace un importante competidor para redes de acceso cableado, especialmente las basadas en tecnología xDSL.

La principal desventaja de este sistema, aparte de las inclemencias meteorológicas que son un factor limitante para cualquier red inalámbrica, se encuentra con que se necesita visión directa entre los equipos; si no, la distancia de operación se ve drásticamente afectada.

3.1.2.3 Comunicaciones vía satélite

Empleando satélites de gran ancho de banda (normalmente operando en la banda Ka entre 18.3-31Ghz) se puede proveer soluciones de alta velocidad a ciertas regiones. Normalmente, el uso de este recurso se limitará a zonas que resulten inaccesibles mediante acceso cableado o que no puedan ser cubiertas por otras soluciones inalámbricas por cualquier motivo, principalmente porque el empleo de este tipo de solución de internet vía satélite se encuentra limitado por la alta latencia y por la fuerte dependencia con la situación meteorológica.

Los satélites empleados para dotar de internet en esta tecnología emplean diversos haces con los cuales poder cubrir una superficie amplia de terreno. Un ejemplo de esto es el satélite "Ka-Sat" que emplea 83 haces para cubrir toda Europa, parte del norte de África y el oeste de Asia, ofreciendo una capacidad aproximada de 70 Gbit/s, repartido por haz con unas velocidades de 0.5Gbit/s de bajada (desde la Tierra) y 0.4 Gbit/s de subida (desde la Tierra). Actualmente, el servicio ofrecido por las operadoras que manejan este tipo de tecnologías no tiende a ofrecer más de 10 Mbit/s. Todo esto lo podemos encontrar en [3 p. 85].

Otro punto negativo del uso de esta tecnología es que para el usuario resulta en un coste muy elevado, ya que tiene que hacer frente a la compra del equipo.

3.1.2.4 LTE

Las siglas corresponden a Long Term Evolution, estándar de la familia GSM. Mediante esta tecnología se pueden alcanzar conexiones de usuario de 30Mbps/30Mbps en un rango de 3-6 Km. Como el resto de tecnologías inalámbricas, el ancho de banda por celda se reparte entre todos los usuarios de la misma, típicamente entre 30-40 usuarios. El punto positivo de esta tecnología es que se espera que sea económicamente viable para los operadores, de forma que puedan aportar una cobertura de 30 Mbps al menos al 90% de la población, como sucede con las redes UMTS. Requiere que se llegue a un acuerdo en cada país para liberar la banda de 800 MHz, que ofrece características de propagación que la hacen ideal para la cobertura tanto

rural como de áreas con mayor densidad de población. Requiere una inversión significativa para actualizar la red existente con el fin de que cubra los requisitos de esta nueva tecnología.

Puede trabajar a diferentes frecuencias usando un ancho de banda adaptativo de entre 1 y 20 MHz. LTE se destaca por su interfaz radioeléctrica basada en OFDMA, para el enlace descendente y SC-FDMA para el enlace ascendente.

3.2 Expectativas de crecimiento de la velocidad

Podemos considerar que la población objetivo del área de nuestro interés entra dentro de lo que [12] considera “Common Tiers” o en algunos casos “Performance Tiers”. A la vista de esto, se puede considerar que su factor de crecimiento de la demanda no aumenta con un 50% anual siguiendo la ley de Nielsen si no que se acerca más a un crecimiento de en torno al 25% anual.

El crecimiento de la demanda de velocidad vendrá determinada por la evolución de los servicios que se oferten al usuario, incluyendo IPTV, VoD, videojuegos, realidad virtual, seguridad, comercio electrónico... cada vez más consumidores de ancho de banda [13], cobrando importancia las velocidades de subida de información.

3.3 Estudio de los operadores

Buena parte de las redes de banda ancha empleadas en el mundo hacen uso de las redes de cobre ya existentes, tanto par trenzado como cable coaxial, y todavía existe cierta incertidumbre a cerca de si en los próximos años los requisitos de velocidad serán tales que solo podrán ser cubiertos por soluciones todo fibra o si por el contrario las tecnologías basadas en redes mixtas serán capaces de mantenerse competitivas.

Se espera que aquellas redes que actualmente cuentan con una estructura basada en cable coaxial, actualicen su red para soportar el estándar Docsis 3.0, ayudados por los aspectos económicos derivados de la facilidad de actualizar una red frente a sustituirla. Esta misma situación se replica para aquellos casos en que la red se base en pares de cobre FTTC. Esta situación puede tornarse diferente en el caso de poblaciones con escasa densidad de población, donde los operadores tienden a evaluar si el coste de actualizar la red existente para en el futuro sustituirla por una solución FTTH compensa frente a realizar la sustitución de forma directa: se debe tener en cuenta si el seguir sacando provecho de la red “legado” es más interesante que el sobre coste de la actualización. Por otra parte, no se espera que se produzca inversión en construir nueva red de cable de cobre (pares o coaxial), por el hecho de que el CAPEX de una red basada en cobre o el de una red basada en fibra se han normalizado, no mereciendo la pena invertir en las primeras en entornos “greenfield”.

Desde hace unos años, las principales compañías de telecomunicaciones han apostado por abandonar gradualmente las redes xDSL y HFC (de forma más pronunciada las primeras que las segundas) en favor de las soluciones FTTP, tanto a nivel español como europeo. Se espera que esta tendencia se mantenga.

4 Introducción solución

En esta sección se hará una presentación de la zona geográfica concreta donde se diseñará una solución para dar servicio de banda ancha. También se hará una pequeña introducción de la solución técnica que se ha elegido.

4.1 Localización

En este apartado se hablará de la zona y las poblaciones en concreto que se estudiarán para dar una solución de banda ancha. Se trata de la Zona 4 de Navarra, Tierra Estella, situada en la zona media oeste de la Comunidad Foral de Navarra.



Figura 7: Mapa Navarra por zonas.

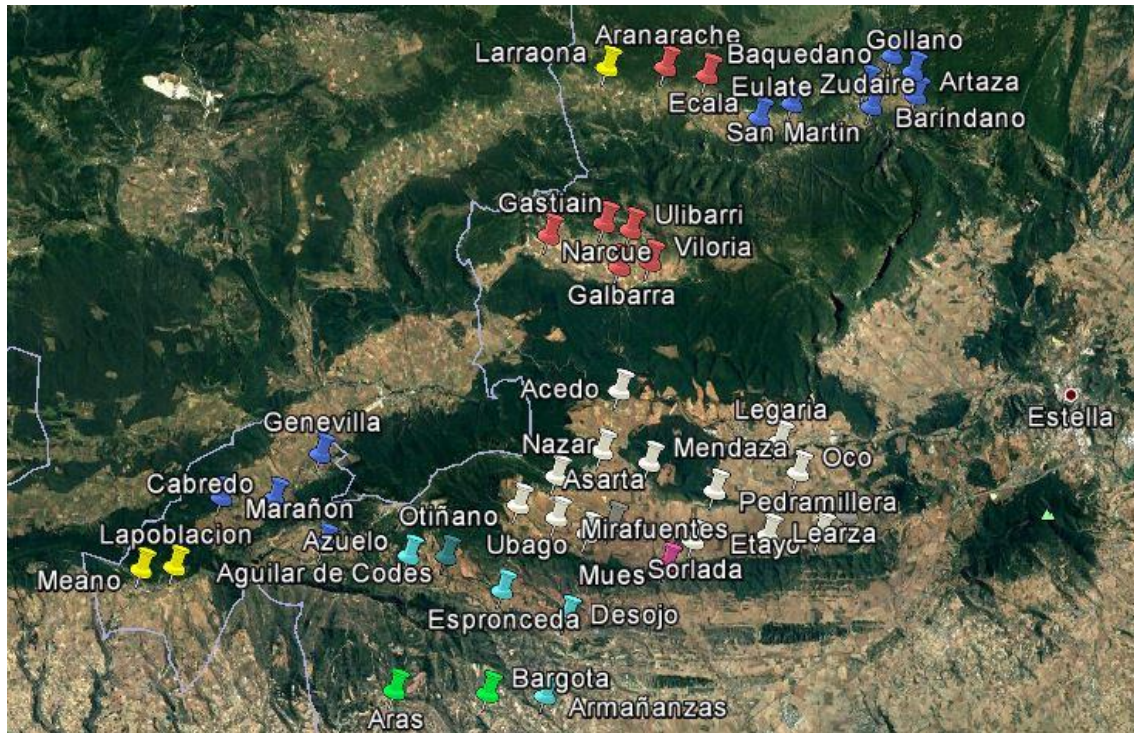


Figura 8: Poblaciones a dar servicio.

Dentro de esta zona se han seleccionado dos ‘subzonas’: La primera de ellas la referenciaré como ‘Zona 1 Tierra Estella’, que es la parte oriental de la zona 4 y a la segunda ‘Zona 2 Tierra Estella’ que mayormente ocupa la parte occidental de Tierra Estella pero también parte de la oriental.

La Zona 1 Tierra Estella, también conocida como Valle de Amescoa engloba a las poblaciones de: Larraona (116), Aralarache (77), Eulate (315), Ecala (42), San Martín (74), Barindano (94), Zudaire (230), Artaza (154), Gollano (34) y Baquedano (135). Son un total de 1271 habitantes distribuidos en 10 poblaciones.

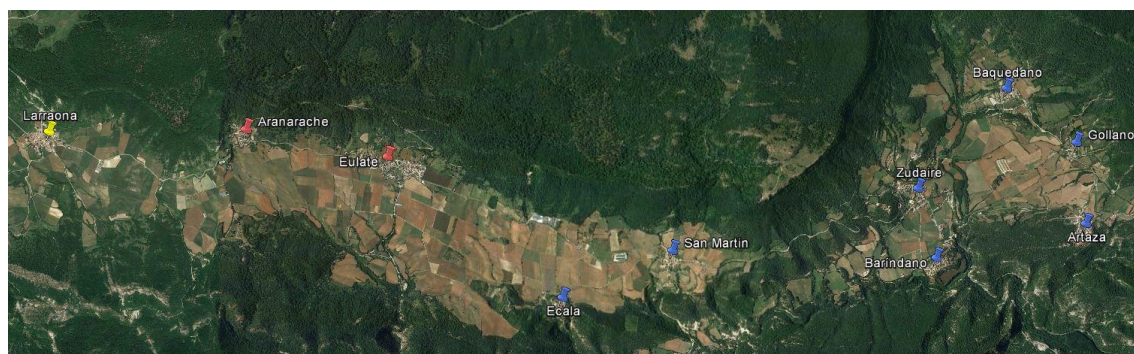


Figura 9: Poblaciones Tierra Estella 1.

Y las poblaciones que agrupamos en la segunda zona de Tierra Estella son: Meano (110), Lapoblación (31), Maraño (51), Cábredo (102), Genevilla (73), Aguilar de Codés (94), Azuelo (37), Aras (184), Torralba del Río (99), Espronceda (119), Bargota (295), Desojo (83), Armañanzas (61), Mues (75), Mirafuentes (54), Otiño (21), Nazari (45), Cábrega (6), Ubago (32), Mendaza (102), Asarta (52), Acedo (132), Sordada (71), Piedramillera (43), Legaria (106), Learza (6), Oco (66), Etayo (73), Olejua (52), Gastiain (61), Narcué (19), Galbarra (45), Vitoria (35), Ulibarri (22). Hay un total de 2457 habitantes repartidos en 34 poblaciones.

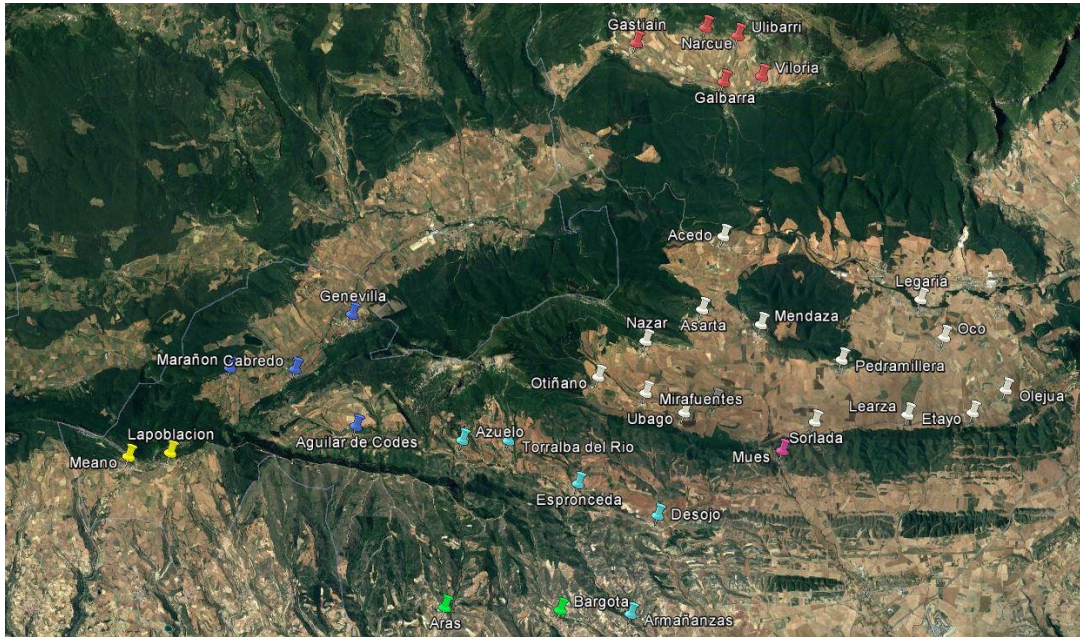


Figura 10: Poblaciones Tierra Estella 2.

Observando el número total de habitantes (3728) que se distribuyen en las poblaciones (44) de la zona, se puede apreciar que la en la media son poblaciones con muy pocos habitantes. Estas poblaciones están bastante dispersas en el territorio, y los habitantes de estas poblaciones residen en casas unifamiliares, que además no están concentradas en núcleos urbanos, sino que están dispersas por toda el área del pueblo. Con esta distribución de la población y estimando unos 2,5 habitantes por vivienda resulta inviable económicamente una solución cableada ya que la densidad de puntos de conexión sería muy baja, es decir, la relación de coste de instalación de fibra con la cantidad de habitantes sería muy alta.

4.2 Introducción solución tecnológica

Tras realizar un estudio de la topografía, la distribución de las poblaciones y de las infraestructuras existentes (centros de telecomunicación) de la zona se ha decidido implantar una solución totalmente inalámbrica. Ésta decisión se ha tomado ya que las poblaciones están muy dispersas, y además las viviendas de cada población tampoco están concentradas en un punto. Por lo que para la red de transporte no es rentable hacer una infraestructura de red troncal cableada, ya que al estar las poblaciones tan alejadas unas de otras sería muy costosa. Y la red de distribución está en una situación similar ya que realizar una red de acceso cableada en cada población tampoco sería económicamente viable. Por tanto la red de transporte se basa en radioenlaces terrestres, y la red de distribución se trata de conexiones inalámbricas punto a multipunto, suponiendo una solución mucho más eficiente económicamente y que supone menos molestias a los habitantes de la zona. Aunque este proyecto no es rentable económicamente debido a la densidad de posibles clientes de banda ancha, es importante su ejecución para evitar la brecha digital.

La red de transporte inalámbrica siempre parte de un punto en el que tengamos una conexión cableada de fibra óptica, pero en este proyecto no se hablara de la red cableada, solamente se mencionaran los equipos con los que hacemos el cambio de la red cableada a la red inalámbrica. En estos puntos a los que llega nuestra red cableada, asumimos que tenemos una capacidad de datos suficiente para servir a toda la red inalámbrica. Por tanto el objetivo es diseñar los radioenlaces con la suficiente capacidad para que en la red de transporte no existan “cuellos de botella”.

La red de distribución partirá de los diferentes centros de telecomunicación (a partir de ahora CT) que están situados en puntos clave, con los que se dará cobertura a todas las poblaciones. Para cubrir toda el área se realizan diferentes sectores, elegidos dependiendo de la situación geográfica de cada población, la distancia al CT y del número de habitantes a dar servicio. Se trata de una comunicación punto (CT) a multipunto (cada cliente).

5 Teoría radioenlaces

En la siguiente sección se describen y explican los conceptos teóricos que se necesitan para la realización del proyecto y que se requieren para la comprensión del mismo.

5.1 Nivel de señal del receptor

Este apartado trata de mostrar los diferentes medios de transmisión y fenómenos atmosféricos que pueden darse en el entorno en el que se localiza el radioenlace, que atenúan a la señal transmitida como son, el espacio libre, gases, vapores atmosféricos y lluvia.

5.1.1 Atenuación en el espacio libre

Independientemente de la frecuencia de las ondas radioeléctricas, a medida que la onda se aleja del transmisor y recorre el espacio libre, el frente de onda se ensancha y acarrea una disminución de la densidad de potencia de la misma.

La densidad de flujo de potencia en el espacio libre viene determinada por la expresión 1.

$$\phi = \frac{P_{TX} \cdot G_{TX}}{4\pi \cdot L^2} \quad (1)$$

Y la potencia recibida en la antena receptora se define en la ecuación 2.

$$P_{RX} = \frac{\phi \cdot \lambda^2 \cdot G_{RX}}{4\pi} \quad (2)$$

de lo que se deduce la expresión 3.

$$\frac{P_{RX}}{P_{TX}} = \frac{\lambda^2 \cdot G_{TX} \cdot G_{RX}}{(4\pi L)^2} \quad (3)$$

G_{TX} = Ganancia de la antena transmisora

G_{RX} = Ganancia de la antena receptora

L = Longitud del radioenlace punto a punto

El término $(\lambda/4\pi L)^2$ se denomina pérdidas en el espacio libre (L_{bf}) suponiendo que se trata de antenas isótropas.

La expresión 4 son las pérdidas expresadas en decibelios.

$$L_{bf} = 32.5 + 20 \cdot \log f_{(MHz)} + 20 \cdot \log L_{(Km)} \quad (dB) \quad (4)$$

5.1.2 Pérdidas por gases y vapores atmosféricos

Si el radioenlace se encuentra total o parcialmente en la troposfera hay que tener en cuenta las pérdidas que añaden los gases presentes en ella.

Para frecuencias inferiores a 10 GHz, la atenuación por gases es prácticamente despreciable. A partir de esta frecuencia, la atenuación aumenta en función de la misma.

Esta atenuación viene determinada por la ecuación 5.

$$a = \gamma_{atm} * L_{atm} \quad (\text{dB/Km}) \quad (5)$$

donde γ_{atm} es la atenuación específica causada por la absorción de parte de la energía de la onda electromagnética por los gases de la atmósfera terrestre. L_{atm} es la longitud de trayecto de las ondas dentro de la atmósfera.

La atenuación causada por cada tipo de gas es distinta.

La Figura 11 muestra los distintos valores de atenuación específica (γ_{atm}) para cada gas y en unas condiciones similares a las que tendrían lugar en un radioenlace terrestre.

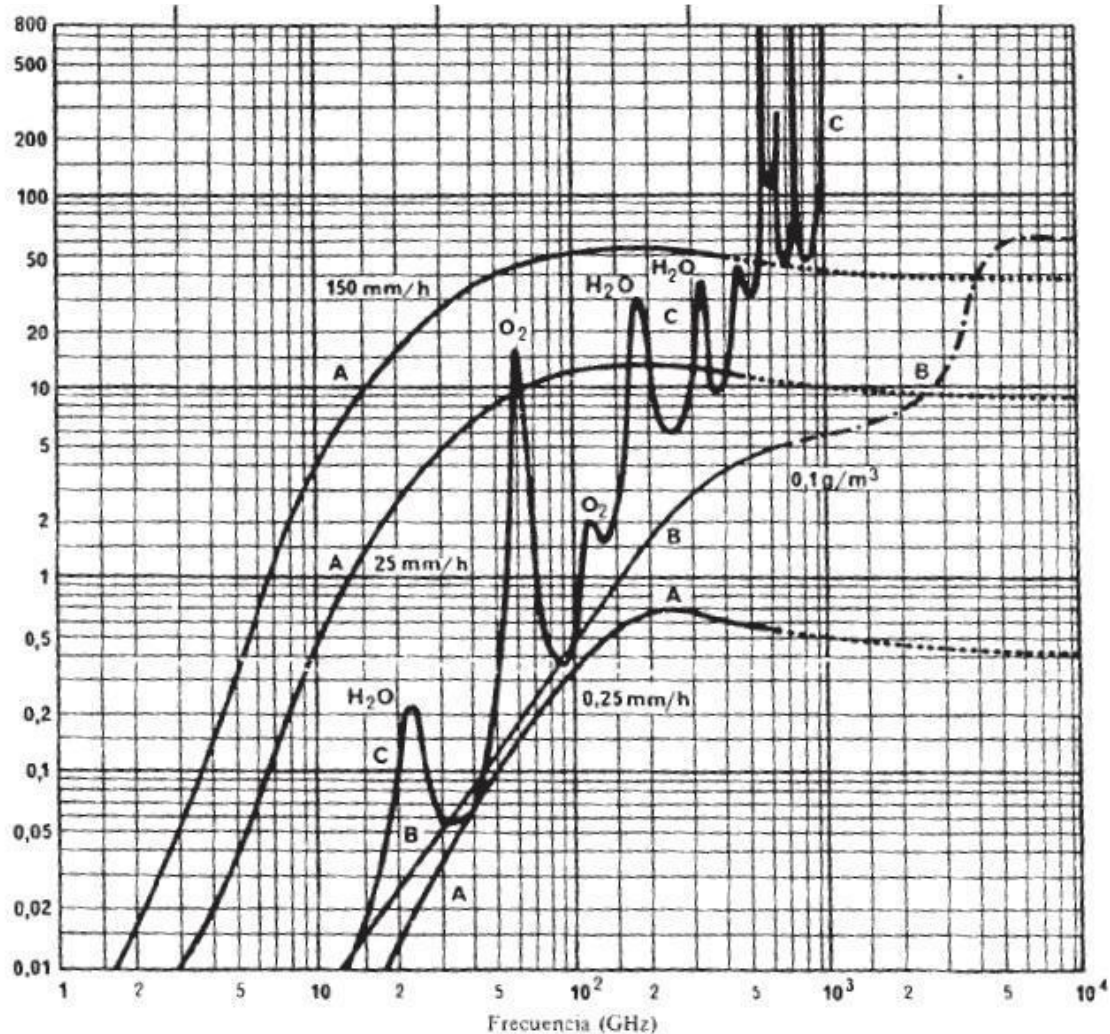


Figura 11: Valores de atenuación específica para un trayecto próximo a la superficie de la tierra. A: lluvia, B: niebla, C: gases.

La atenuación es producida en su mayor parte por el oxígeno y el vapor de agua a diferencia del resto de gases, los cuales influyen poco a frecuencias menores de 250 GHz.

La atenuación total será la suma de las producidas por los diferentes gases.

5.1.3 Pérdidas por lluvia

Cualquier obstáculo de tamaño característico interpuesto en el trayecto de propagación absorbe y dispersa la energía de la onda propagada.

Este es el caso de los posibles hidrometeoros presentes en el trayecto como lluvia, niebla, granizo, nieve, etc.

La atenuación producida por la niebla (nubes), se considera despreciable a frecuencias inferiores a 50-100 GHz, debido a que las gotas de agua en la niebla son mucho más pequeñas que la longitud de onda.

La atenuación producida por granizo y nieve se aprecia a esas frecuencias, pero no es determinante a frecuencias inferiores a 50GHz.

En cambio, la atenuación producida por la lluvia es mucho más significativa. Se pueden distinguir dos casos, la lluvia de alta intensidad o la de baja intensidad.

Las lluvias finas o de baja intensidad ($R < 0.25$ mm/h), a frecuencias inferiores a 100 GHz causan atenuaciones similares a las de la niebla por lo que se consideran despreciables.

La de alta intensidad, por ejemplo $R = 25$ mm/h, es la mayor causa de atenuación en estas frecuencias, y es debido al mayor grosor de las gotas de agua y a la cantidad de gotas que se encuentran dentro de la primera zona de Fresnel en cada instante de tiempo. La atenuación supera 0.5 dB/km a frecuencias mayores de 10GHz, y es ≥ 10 dB/km para frecuencias mayores a 100GHz. La atenuación es mayor si la lluvia es tipo torrencial ($R \geq 100$ mm/h).

Todo lo mencionado hasta ahora se refleja en la Figura 11.

Un punto a tener en cuenta es el comportamiento de las gotas de lluvia al caer. La velocidad de caída de las gotas varía muy rápidamente con el incremento de su diámetro por lo que la resistencia aerodinámica las deforma, convirtiéndolas en elipsoides cada vez más planos, y en el momento en el que alcanzan un diámetro de 6 mm aproximadamente, la gota se rompe. Como consecuencia del aplanamiento de las gotas, la atenuación es más significativa en la polarización horizontal que en la vertical.

La atenuación específica de lluvia viene determinada por la ecuación 6.

$$\gamma_R = K * R^\alpha \quad (6)$$

donde K y α son valores que dependen de la frecuencia para las polarizaciones lineales y trayectos horizontales los cuales se calculan mediante la ecuación 7.

R es la intensidad de lluvia

Es necesario conocer las distribuciones de probabilidad de la intensidad de lluvia (R) superada durante el 0.01% del tiempo la zona geográfica en la que se quiera instalar el radioenlace.

Los parámetros K y α deben calcularse mediante las ecuaciones 7.

$$K = \left(\frac{1}{2}\right)[K_H + K_V + (K_H - K_V) * \cos^2 \beta * \cos 2\tau] \quad (7)$$

$$\alpha = \left(\frac{1}{2K}\right)[K_H \alpha_H + K_V \alpha_V + (K_H \alpha_H - K_V \alpha_V) * \cos^2 \beta * \cos 2\tau]$$

siendo β el ángulo de elevación del trayecto y τ el ángulo de inclinación del vector E respecto del plano horizontal. Los valores de K_H , K_V , α_H y α_V se dan en la Figura 12 recomendada por el CCIR.

FRECUENCIA (GHz)	K_H	K_V	α_H	α_V
1	0,0000387	0,0000352	0,912	0,880
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
30	0,187	0,167	1,021	1,000
40	0,350	0,310	0,939	0,929

Figura 12: Valores de K_H , K_V , α_H y α_V

5.1.4 Pérdidas en los radioenlaces de microondas

El balance de potencias del radioenlace se escribe en términos de ganancias de las antenas, pérdidas del espacio libre y pérdidas de propagación, conformadas por las pérdidas por gases y vapores atmosféricos y lluvias. También incluye pérdidas adicionales de los equipos del sistema de microondas que son causadas por los guías de onda, conectores, filtros y las antenas. Se expresa en decibelios.

$$\frac{P_R}{P_T} = -L_0 + G_T + G_R - L' \quad (8)$$

P_R = Potencia en antena receptora.

P_T = Potencia en antena transmisora.

L_0 = Pérdidas en el espacio libre.

G_T = Ganancia de la antena transmisora.

G_R = Ganancia de la antena receptora.

L' = Pérdidas adicionales por gases, lluvias y equipos de microondas.

5.2 Modelo de tierra plana

Al hacer representaciones de algún perfil o trayectoria de la superficie de la tierra debe considerarse que la misma es esférica, dependiendo de la exactitud que se requiera en el análisis y por motivos de simplicidad suele despreciarse el radio de curvatura terrestre, dando

origen a lo que se conoce como modelo de tierra plana. Dicho modelo es óptimo para enlaces de microondas troposféricos de distancias inferiores a 15km.

5.3 Zonas de Fresnel

Una parte fundamental de los radioenlaces es saber si las antenas tienen visibilidad directa entre ellas o hay algún obstáculo en el trayecto y produce difracción en la onda transmitida.

Para ello, hay que definir la condición de visibilidad entre antenas, es decir, cuándo debe considerarse que hay visibilidad directa o cuándo hay un obstáculo que haga la difracción relevante en la propagación.

Supóngase la siguiente situación en la que dos antenas isotropas se encuentran a una distancia R.

Se definen las zonas de Fresnel como aquellos puntos del espacio que cumplen:

$$(r_1 + r_2) - R = n * \left(\frac{\lambda}{2}\right); \quad n = 1, 2, \dots \quad (9)$$

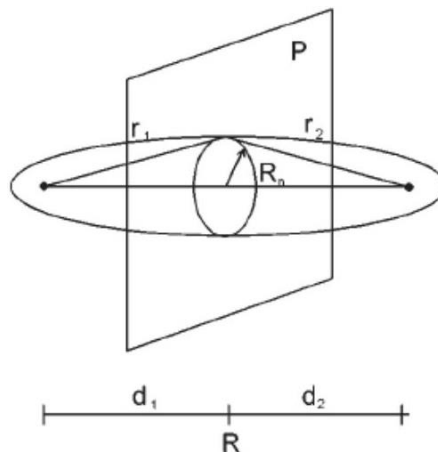


Figura 13: Zonas de Fresnel

Las zonas de Fresnel son elipsoides de revolución cuyo eje mayor tiene una longitud de

$$R + n * \left(\frac{\lambda}{2}\right); \quad n = 1, 2, \dots \quad (10)$$

La intersección de las zonas de Fresnel con el plano P (punto donde se encuentra el obstáculo, Figura 13) son circunferencias cuyo radio puede calcularse para el caso que sea mucho menor que d1 y d2 (distancias desde las antenas hasta el obstáculo).

$$R_n = \sqrt{n\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (11)$$

El frente de onda propagado por la antena transmisora se desfasa a medida que se aleja el eje longitudinal de propagación diferenciando las llamadas zonas de Fresnel. Aplicando el principio de Huygens, el campo sobre la antena receptora puede formarse como la superposición de fuentes elementales de ondas esféricas situadas en el plano P, radiando cada una de estas fuentes con un desfase función de la distancia r_1 .

A partir de la definición de las zonas de Fresnel, los campos producidos por las fuentes equivalentes de Huygens situadas en la primera zona de Fresnel se sumarán en la antena receptora con una fase inferior a 180° , es decir, constructivamente. Las contribuciones de las fuentes situadas en las zonas 2 y 3 tienden a cancelarse mutuamente [14].

Por tanto, el radio de la primera zona de Fresnel permite definir la condición de visibilidad entre antenas, de forma que mientras no exista un obstáculo dentro de la primera zona de Fresnel se considera que la trayectoria no ha sido obstruida. Por el contrario, cuando el obstáculo se encuentra dentro de la primera zona de Fresnel existirá una disminución apreciable en la potencia recibida, y se deberá tener en cuenta el efecto de la dispersión.

5.4 Umbral

El umbral (T_h) se define como el nivel de señal requerido en el receptor para que los errores en la recepción no superen la tasa de error de bit (BER) establecida.

5.5 Desvanecimientos

Desvanecimiento es un término que describe la rápida fluctuación de la amplitud y la fase de una señal de radio en un corto periodo de tiempo o durante el viaje de ésta en una distancia corta en relación a su longitud de onda.

5.5.1 Desvanecimiento plano y selectivo

El desvanecimiento selectivo ocurre cuando las condiciones atmosféricas desvían una transmisión hasta el punto que las señales alcanzan el receptor en trayectorias ligeramente diferentes. Estas trayectorias resultantes pueden originar interferencias y errores en los datos. El desvanecimiento selectivo se produce de forma independiente en cada canal y no afecta a otros canales de la transmisión de microondas (Figura 14). Por lo tanto se suelen proporcionar canales de recuperación para protegerse de este problema.

Si $B_s > B_c$, el canal se distorsiona, no conserva el espectro de la señal transmitida. B_s , ancho de banda de la señal.

B_c , ancho de banda de coherencia del canal.

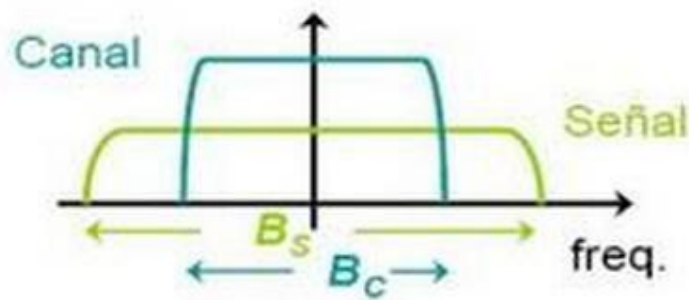


Figura 14: *Desvanecimiento selectivo*

El desvanecimiento plano se produce cuando el ancho de banda de coherencia del canal es mayor que el ancho de banda del canal (Figura 15). En este caso el cambio de amplitud y fase se pueden considerar más o menos constantes. Este desvanecimiento puede durar varias horas y la solución de canales alternativos no proporciona seguridad en este caso. El desvanecimiento plano tiene lugar durante la niebla y cuando el terreno circundante se encuentra muy húmedo. Estas condiciones cambian también las características eléctricas de la atmósfera. Una parte de la señal transmitida es refractada y no alcanza la antena receptora.

Si $B_s < B_c$, el canal conserva el espectro de la señal transmitida ya que trata todas las frecuencias por igual.

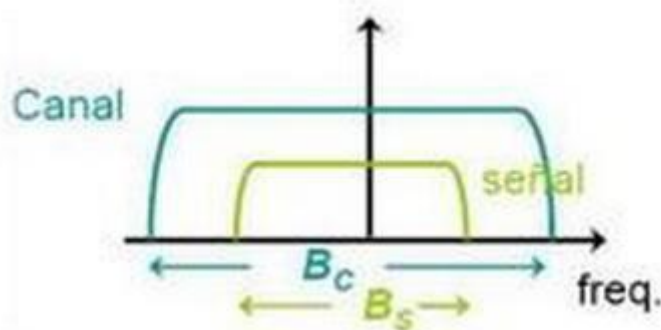


Figura 15: *Desvanecimiento plano*

5.5.2 Desvanecimiento multitrayecto

El desvanecimiento multitrayecto se produce cuando múltiples versiones de la señal transmitida llegan al receptor desplazadas una respecto de otra en términos de tiempo. Las fases aleatorias y las amplitudes de las diferentes componentes causan fluctuaciones en la intensidad de la señal, introduciendo desvanecimientos de pequeña escala, distorsión de señal o ambas. Este fenómeno se muestra gráficamente en la Figura 16.

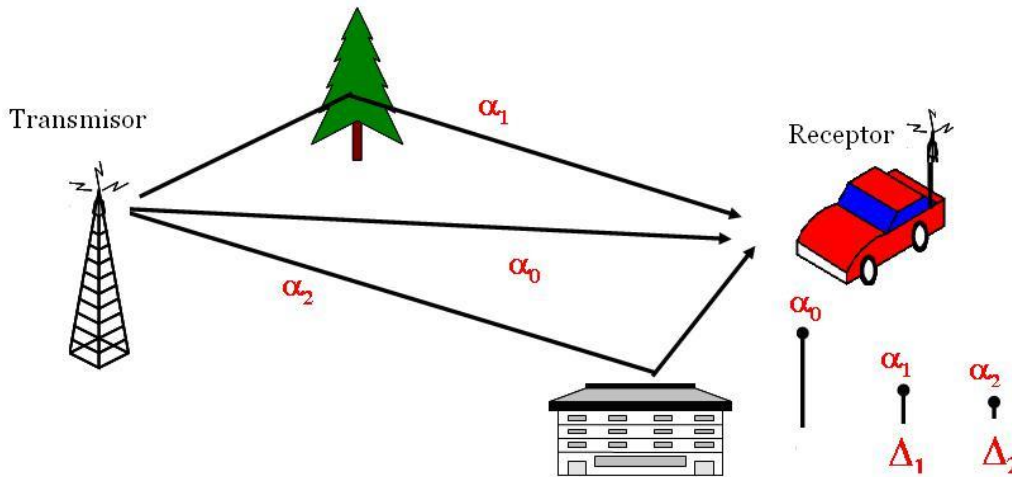


Figura 16: Desvanecimiento multirrayecto.

5.6 Margen bruto de desvanecimiento

Margen bruto de desvanecimiento es la diferencia entre la potencia recibida y el umbral. (M₃)

$$M_3 = P_R(\text{dBm}) - T_h(\text{dBm}) \quad (12)$$

5.7 Calidad del radioenlace

La calidad de un radioenlace es dependiente del porcentaje de tiempo en el que la señal recibida podría encontrarse por debajo del umbral del receptor.

La propagación multirrayecto es muy influyente en el desvanecimiento a frecuencias inferiores de 10 GHz. A frecuencias superiores, los efectos de las precipitaciones son la causa determinante del desvanecimiento.

Como los eventos de errores que afectan a la indisponibilidad son relativamente largos (>10s) y el desvanecimiento multirrayecto es de breve duración (ms), se realizan por separado las evaluaciones de indisponibilidad y calidad de fidelidad.

Para la primera sólo se considera el efecto de la lluvia por encima de 10 GHz. Para el cálculo de la calidad de fidelidad se toman en cuenta las interrupciones breves debidas a ruido térmico, interferencias y distorsiones provocadas por desvanecimiento plano y selectivo, según la capacidad del enlace.

5.7.1 Indisponibilidad de los radioenlaces de microondas

5.7.1.1 Indisponibilidad por equipos

La fiabilidad es la capacidad de un componente, equipo o sistema de no fallar durante un periodo de tiempo. Existe una relación matemática entre fiabilidad de los componentes y el sistema.

La fiabilidad distingue 3 tipos o periodos de fallos:

- a) Fallos que ocurren al iniciarse el periodo de vida operativo del equipo y que suceden generalmente por defecto de fabricación, control de calidad o instalación
- b) Fallos debidos al desgaste y que dependen del mantenimiento.
- c) Fallos aleatorios que suceden al azar y que no depende de pruebas o del mantenimiento.

Los fallos aleatorios tienen una distribución uniforme. La inversa de la tasa de fallos aleatorios se denomina Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF), y se expresa en horas.

La mantenibilidad puede definirse como la probabilidad de volver a poner en marcha en un tiempo determinado un sistema que ha sufrido un fallo o interrupción. El tiempo de interrupción comprende el tiempo logístico de movilidad y el administrativo. Se denomina Tiempo Medio de Reparación (MTTR) indicado en horas.

La disponibilidad D se define como la probabilidad que el sistema se encuentre trabajando en forma satisfactoria y equivale a:

$$D = 1 - I \quad (13)$$

$$I = MTTR / (MTBF + MTTR)$$

MTBF es mucho mayor que MTTR por lo que la indisponibilidad I se puede expresar como:

$$I = MTTR / MTBF \quad (14)$$

5.7.1.2 Indisponibilidad por propagación

La indisponibilidad por propagación se puede definir como la pérdida de señal en el receptor por desvanecimientos o diversas causas originadas en el trayecto atravesado por la señal. Los desvanecimientos más habituales son los debidos a propagación multitrayecto.

La probabilidad de aparición de un desvanecimiento o la probabilidad de indisponibilidad viene determinada por la siguiente expresión:

$$P_{ind} = P_0 * 10^{-F/10} \quad (15)$$

P_0 = Factor de aparición de desvanecimiento.

F = Margen frente a desvanecimientos.

El factor P_0 , depende de la longitud del enlace, rugosidad del terreno, frecuencia y clima.

Dicho parámetro se puede calcular siguiendo tres métodos diferentes.

1) Método Morita-Makino

Éste calcula el factor de desvanecimiento de esta forma:

$$P_0 = (f/4)^{1.2} * Q * d^{3.5} \quad (16)$$

f: frecuencia en GHz

d: longitud del enlace (Km) Q factor dado por:

Q = 2,0. 10⁻⁹ para condiciones montañosas

Q = 5,1. 10⁻⁹ para terrenos planos

Q = 3,7. 10⁻⁷*h^{-0.5} para terrenos sobre agua. h altura promedio sobre el terreno en metros.

2) Método de Barnett-Vigants

Este método permite hallar el factor de desvanecimiento para el peor mes del año. Viene determinado por la siguiente expresión:

$$P_0 = a * b * 6 * 10^{-7} * f * d^3 \quad (17)$$

f = Frecuencia en MHz

d = Distancia en Km entre el transmisor y receptor.

b = Factor climático. Toma diferentes valores según la región (Figura 17).

b	Región climática
4.0	Ecuatorial, regiones con alta temperatura y humedad
3.0	Desértica, fuertes variaciones térmicas desde el día y hasta la noche
2.0	Marítima, regiones de clima bastante seco
1.5	Templados, veranos lluviosos e inviernos secos
1.0	Templados, fuerte variación de temperatura durante el día
0.5	Regiones altas, bastante secas
0.25	Montañosas y secas
0.05	Polar. Bajas temperaturas y poca precipitación

Figura 17: Factor climático (b) para diferentes regiones climáticas

a = Factor de rugosidad. Toma diferentes valores en función del tipo de terreno (Figura 18).

a	Tipo de terreno
4	Terreno muy suave o agua
1	Terreno promedio o con alguna irregularidad
0.25	Terreno montañoso o muy rugoso

Figura 18: Factor de rugosidad(a) para diferentes terrenos.

3) Recomendación UIT-R P.530-7

Este método se utiliza para planificar radioenlaces de hasta 95 km de longitud. En ellos hay que tener en cuenta tres mecanismos de desvanecimiento en condiciones de cielo despejado, que son: dispersión del haz, desalineamiento de antena y propagación por trayectos múltiples. Estos son debidos a las capas refractivas de la atmósfera.

Otro mecanismo de desvanecimiento es el debido a irregularidades de densidad de iones y electrones que producen variaciones de amplitud y fase en la señal, pero a frecuencias inferiores a 40 GHz su efecto no es significativo.

El método que se muestra a continuación trata de predecir la distribución del desvanecimiento a una sola frecuencia para porcentajes de tiempo pequeños en el peor mes medio en cualquier parte del mundo. El método no utiliza el perfil del trayecto, y es posible utilizarlo para la planificación inicial o adquisición de licencias.

Para el cálculo del factor de aparición de desvanecimiento se plantea la siguiente fórmula:

$$P_0 = Kd^{3.2}(1 + |\varepsilon_p|)^{-0.97} * 10^{0.032f - 0.00085h_L\%} \quad (18)$$

ε_p se define como el factor de inclinación del trayecto (mrad) y se calcula teniendo en cuenta la altura de las antenas (m) respecto del nivel del mar o respecto de una altura de referencia y la longitud del trayecto (km):

$$|\varepsilon_p| = |h_r - h_e|/d \quad (19)$$

h_L es la altura de la antena inferior.

Para la ubicación del radioenlace, se estima el factor geoclimático K para el mes más desfavorable medio.

Si se conocen datos de desvanecimiento de la zona geográfica, se puede estimar K a partir de ellos.

En caso contrario, si no se conocen los datos medidos para K, se puede estimar este factor (si se trata de un enlace a más de 100 metros de altitud respecto el nivel del mar) mediante la siguiente expresión:

$$K = 5 * 10^{-7} * 10^{-0.1(C_0 - CLat - CLon)} p_L^{1.5} \quad (20)$$

el valor del coeficiente C_0 viene dado en la Figura 19 para tres rangos de alturas de la antena y tres tipos de terreno (plano, ondulado o montañoso). Dicha antena será la más baja del radioenlace, o bien la transmisora o bien la receptora.

Alturas de la antena más baja y tipo de terreno que atraviesa el enlace	C_0 (dB)
Antena de poca altura(0-400m)-Terreno plano: Enlaces sobre tierra o parcialmente sobre tierra, con una altura de la antena más baja inferior a 400m por encima del nivel medio del mar, situados en zonas predominantemente planas.	0
Antena de poca altura(0-400m)-Terreno ondulado: Enlaces sobre tierra o parcialmente sobre tierra, con una altura de la antena más baja inferior a 400m por encima del nivel medio del mar, situados en zonas predominantemente onduladas.	3.5
Antena de altura media(400-700m)-Terreno plano: Enlace sobre tierra o parcialmente sobre tierra, con una altura de la antena más baja en la gama de 400-700 por encima del nivel medio del mar, situados en zonas predominantemente planas.	2.5
Antena de altitud media(400-700m)-Terreno ondulado: Enlaces sobre tierra o parcialmente sobre tierra, con una altura de la antena más baja en la gama de 400-700m por encima del nivel medio del mar, situados en zonas predominantemente onduladas.	6
Antena de gran altura(>700m)-Terreno plano: Enlaces sobre tierra o parcialmente sobre tierra, con una altura de la antena más baja superior a 700m por encima del nivel medio del mar, situados en zonas predominantemente planas.	5.5
Antena de gran altura(>700m)-Terreno ondulado: Enlaces sobre tierra o parcialmente sobre tierra, con una altura de la antena más baja superior a 700m por encima del nivel medio del mar, situados en zonas predominantemente montañosas.	8
Antena de gran altura(>700m)-Terreno montañoso: Enlaces sobre tierra o parcialmente sobre tierra, con una altura de la antena más baja superior a 700m por encima del nivel medio del mar, situados en zonas predominantemente montañosas.	10.5

Figura 19: Valor del coeficiente C_0 según la altura de las antenas.

En caso de que el terreno se desconozca, se emplearán los siguientes valores del coeficiente C_0 a utilizar en la ecuación:

$C_0 = 1,7$ para la antena de menor altura en la gama de 0-400 m por encima del nivel medio del mar.

$C_0 = 4,2$ para la antena de menor altura en la gama de 400-700 m por encima del nivel medio del mar.

$C_0 = 8$ para la antena de menor altura situada a más de 700 m por encima del nivel medio del mar.

El coeficiente C_{Lat} de latitud ξ viene dado por:

$C_{Lat} = 0$ (dB) para $\xi \leq 53^\circ$ N o $^\circ$ S

$C_{Lat} = -53 + \xi$ (dB) para 53° N o $^\circ$ S $< \xi < 60^\circ$ N o $^\circ$ S

$C_{Lat} = 7$ (dB) para $\xi \geq 60^\circ$ N o $^\circ$ S

Y el coeficiente de longitud C_{Lon}

$C_{Lon} = 3$ (dB) para longitudes de Europa y África

$C_{Lon} = -3$ (dB) para longitudes de América del Norte y América del Sur $C_{Lon} = 0$ (dB) para las demás longitudes

El factor p_L se define como la variable climática, es decir, el porcentaje de tiempo durante el cual, el gradiente de reflectividad en los cien metros de la atmósfera más cercanos a la tierra es menor que -100 N/Km.

El valor de esta variable se estima a partir de las figuras 8 a 11 de la UIT-R P.453-10 [15], correspondientes a los 4 meses representativos de las estaciones (febrero, mayo, agosto y noviembre). De entre ellas se escoge el valor más elevado de porcentaje de tiempo de excedencia del gradiente -100 unidades N/km y ese será el valor de la variable [16].

5.7.2 Parámetros de calidad de error

El parámetro básico de calidad de error es la Tasa de error de bit (BER, Bit Error Rate). A partir de este término se establecen otros parámetros que establecen la calidad de error de las transmisiones digitales.

Hay que tener en cuenta que se debe medir dichos parámetros de calidad en el momento de disponibilidad del sistema.

Se explican a continuación los eventos de características de error para conexiones:

- Segundos con errores(ES, error second): Intervalo de un segundo en que uno o más bits tienen errores o durante el cual se detecta una pérdida de señal, o una señal de indicación de alarma (AIS).
- Segundo con muchos errores (SES, severely errored second): Intervalo de un segundo en que la tasa de errores en los bits (BER, bit error ratio) es $\geq 1 \cdot 10^{-3}$ o durante el cual se detecta una pérdida de señal, o una señal de indicación de alarma (AIS).
- Segundo sin errores (EFS, error Free Second): Periodo de 1 segundo en que no hay errores de bit.

A partir de estos términos se han definido los siguientes parámetros de calidad de error:

- Tasa de segundo con error (ESR, errored second ratio): Relación entre ES y el total de segundos de tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo.
- Tasa de segundos con muchos errores (SESR, severely errored second ratio): Relación entre SES y el total de segundo de tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo.

En caso de un enlace digital real de longitud L (Km), la recomendación UIT-R F.634 [17] establece los siguientes objetivos de calidad:

$$\begin{aligned}
 ESR &= \frac{L}{2500} * 0.0032 \\
 SESR &= \frac{L}{2500} * 0.00054 \quad 280 < L < 2500Km \\
 SESR &= 0.0005 + \frac{L}{2500} * 0.00004 \quad L > 2500Km
 \end{aligned} \tag{21}$$

Si L es menor a 280Km, los parámetros ESR y SESR consideran L=280Km.

5.7.3 Calidad de fidelidad de un radioenlace digital

Encontrándose el radioenlace en condiciones de disponibilidad, pueden aparecer situaciones transitorias de degradaciones en el funcionamiento en forma de microcortes o aumento del ruido o distorsión de la señal.

Para hallar la calidad de fidelidad se calcula los porcentajes de tiempo en cada vano. La suma de los diferentes porcentajes, o en el caso de que solo haya un vano, el porcentaje de ese vano, se compara con las especificaciones de la UIT-R F.634.

Los porcentajes se evalúan separadamente para los desvanecimientos planos y selectivos.

Por lo que definimos la proporción de segundo con muchos errores como la suma de los porcentajes correspondientes a los desvanecimientos plano y selectivo.

$$P_{TT} = P_{TP} + P_{TS} \tag{22}$$

El cálculo del se realiza aplicando el método B presente en la recomendación UIT-R F.1093-1 [18].

Para el cálculo de los porcentajes de tiempo, existen dos casos diferentes:

1) Radioenlaces digitales de baja capacidad (<34Mbit/s):

$$P_{TT} = P_{TP} = P_0 * 10^{M_3/10} * 100\% \tag{23}$$

M₃, margen bruto de desvanecimiento

P₀, factor de aparición de desvanecimiento

2) Radioenlaces digitales de capacidad media o alta:

En este caso se han de calcular los dos porcentajes (para desvanecimiento plano y selectivo). Siendo hallada mediante el método de la signatura, y finalmente con el método del margen de desvanecimiento

a) Método de la signatura

La probabilidad de interrupción de la transmisión debida a desvanecimiento selectivo, viene dada por el producto de la probabilidad de desvanecimiento multitrayecto η y la probabilidad condicional de que en estas condiciones haya interrupción:

$$p_s = \eta * p(o/\eta) \quad (24)$$

p_s = Probabilidad de interrupción de la transmisión.

η = Probabilidad de desvanecimiento multitrayecto.

$p(o/\eta)$ = Probabilidad de que en estas condiciones haya interrupción.

El porcentaje de tiempo P_{TS} es:

$$P_{TS} = p_s * 100\% \quad (25)$$

p_s = Probabilidad de interrupción de transmisión.

Se han propuesto distintos métodos que proporcionan expresiones muy parecidas para el cálculo de la probabilidad condicional $p(o/\eta)$. La recomendación UIT-R F.1093-1 propone:

$$p(o/\eta) = \frac{C * P_b(1) * k < \tau^2 >}{T_S^2} \quad (26)$$

En donde:

$C * P_b(1)$: Toma el valor 2.16 en el Método B.

k : Constante de signatura normalizada, la cual puede obtenerse a partir de la curva de signatura del receptor. En la Figura 20 figuran los valores de k típicos para receptores sin ecualización adaptativa. La utilización de ecualizadores transversales adaptativos en banda base mejora la calidad de funcionamiento del sistema de forma que las cifras para la zona de signatura normalizada k se reducen normalmente a 1/10, aproximadamente, de los valores señalados en la Figura 20.

Valores de K_n para diversos métodos de modulación cuando no se utiliza ecualizador

Método de modulación	K_n
MAQ-64	15,4
MAQ-16	5,5
MDP-8	7,0
MDP-4	1,0

Figura 20: Valor de la constante k .

$\langle \tau^2 \rangle$: Momento de segundo orden de la distribución del retardo del eco. Para los retardos con distribución exponencial:

$$\langle \tau^2 \rangle = 2 * \tau_m^2 \quad (27)$$

Donde τ_m es el valor medio del retardo, que según la Recomendación UIT-R P.530-10 se define como:

$$\tau_m = \left(\frac{d}{50} \right)^{1.3} ns \quad (28)$$

Siendo d la longitud del trayecto en (Km).

T_S : Periodo del símbolo que depende del tipo de modulación “M” usada y la velocidad de transmisión V_b , y viene dada por:

$$T_S = \frac{\log_2(M)}{V_b} \quad (29)$$

η : Denominado factor de actividad multitrayecto y representa la fracción de tiempo (del mes más desfavorable) en que se produce desvanecimiento multitrayecto y viene dado según la Rec. UIT-R F.1093-1 para el método B como:

$$\eta = 1 - \exp[-0.2 * P_0^{3/4}] \quad (30)$$

Usando el valor $C * P_b(1) = 2.16$ (correspondiente al método B propuesto en la Rec. UIT-R F.1093-1). De esta manera se tiene que el porcentaje de tiempo para desvanecimiento selecto está dado por la expresión:

$$P_{TS} = 100 * \eta * 4.32 * k * \left(\frac{\tau_m}{T_S} \right)^2 \% \quad (31)$$

Cabe destacar que según se puede observar que no depende del margen bruto M_3 , por lo que no puede reducirse su valor aumentando la potencia. La disminución de solo se

logra mediante la ecualización en FI o en BB, utilizando diversidad, o empleando una combinación de estas técnicas

b) *Método del margen neto de desvanecimiento*

La probabilidad total de interrupción puede escribirse en términos de un margen efectivo o neto de desvanecimiento M_e que es un valor teórico elegido de forma que pueda expresarse mediante una ley similar a la del desvanecimiento plano:

$$P_{TT} = P_0 * 10^{-M_e/10} \quad (32)$$

La expresión de M_3 es la siguiente:

$$M_e(dB) = M_3 - 10 \log \left(1 + \frac{P_{TS}}{P_0} * 10^{M_3/10} \right) \quad (33)$$

Donde M_3 es el margen bruto de desvanecimiento y tanto P_0 como P_{TS} están dadas en forma porcentual [19].

5.8 Codificación y modulación adaptativa (ACM)

ACM funciona de la siguiente manera. Suponiendo un sistema configurado para 128 QAM con capacidad de 170 Mbps a través de un canal de 28MHz, cuando en el receptor el Bit Error Rate (BER) alcanza un umbral determinado, el sistema cambia a 64QAM y por tanto la velocidad se reduce a 140Mbps. Se trata de una transición sin errores, prácticamente instantánea. El sistema continúa funcionando en 64QAM hasta que la condición de desvanecimiento se intensifica o desaparece. Si el desvanecimiento es más intenso, la modulación se cambia al anterior nivel, que en este caso es 32 QAM. Por otro lado, si las condiciones ambientales mejoran y por tanto el BER disminuye, la modulación pasa al siguiente escalón en el conjunto de niveles, en este caso sería 128QAM y así sucesivamente, de escalón a escalón.

La conmutación continúa de forma automática y tan rápidamente como sea necesario, y en caso de condiciones extremas, puede llegar a convertirse en una modulación QPSK.

5.8.1 Scripts ACM Radio

Un Script de radio ACM se construye de un conjunto de perfiles. Cada perfil está definido por una orden de modulación (QAM) y velocidad de codificación y define la capacidad del perfil (bps). Cuando se activa una secuencia de comandos de ACM, el sistema elige automáticamente qué perfil utilizar de acuerdo a las condiciones de desvanecimiento del canal.

El perfil de ACM del transmisor puede ser diferente del perfil ACM del receptor. El script ACM del transmisor está determinado por el error cuadrático medio del receptor (MSE). El receptor es el que inicia un perfil ACM tanto para aumentar la modulación como para disminuirla.

Cuando MSE mejora por encima de un umbral predefinido, el receptor genera una solicitud al transmisor para aumentar su perfil, en cambio si el MSE se encuentra por debajo de un umbral predefinido, el receptor genera una solicitud al transmisor para que disminuya su perfil.

Los perfiles ACM se aumentan o disminuyen en una operación sin errores, sin afectar al tráfico.

Los scripts ACM pueden ser activados en dos modos diferentes:

- **Modo fijo**

En este modo el usuario puede seleccionar el perfil específico de todos los perfiles disponibles en la secuencia de comandos. El perfil seleccionado es el único perfil que será válido, y el motor de ACM se verá obligado a estar inactivo.

Este modo se puede seleccionar sin una licencia de ACM.

- **Modo adaptativo**

En este modo, el motor de ACM está funcionando, lo que significa que la radio adapta su perfil de acuerdo a las condiciones de desvanecimiento del canal. El modo adaptativo requiere una licencia de ACM.

5.8.2 ACM con potencia de transmisión adaptativa

Al planificar enlaces de radio basados en la utilización de ACM, el planificador de radio intenta aplicar la menor potencia de transmisión que llevará a cabo de manera satisfactoria en el más alto nivel de modulación. Durante condiciones de desvanecimiento que requieren modulación, la mayoría de los sistemas de radio no pueden aumentar la potencia de transmisión para compensar la degradación de la señal, lo que acarrea un desvanecimiento más profundo y por tanto una reducción mayor de la capacidad.

Con la potencia de transmisión adaptativa se evitarían estos efectos.

5.8.3 XPIC

La cancelación de interferencia por polarización cruzada es una de las mejores maneras para duplicar la eficiencia espectral. El uso de un equipo de radio de doble polarización sobre un canal de frecuencias único, transmite dos ondas portadoras sobre la misma frecuencia, pero utilizando doble polarización. Pero hay que tener en cuenta que las antenas típicas no pueden aislar completamente las dos polarizaciones. Además, los efectos de propagación, como la lluvia pueden causar rotación de la polarización haciendo que la interferencia de polarización cruzada sea inevitable.

Por tanto los XPIC son dispositivos que atenúan el efecto del acoplamiento cruzado de polarización, de tal manera que el canal pueda soportar el doble de capacidad de transmisión dentro de un único canal de frecuencias.

El nivel de interferencia se conoce como discriminación por polarización cruzada (XPD). Mientras que los sistemas de eficiencia espectral más bajos (con requisitos de baja SNR como QPSK) pueden tolerar fácilmente dicha interferencia, esquemas de modulación más altas no pueden y requieren XPIC.

XPIC incluye un mecanismo de recuperación automático que asegura que si una portadora falla, la otra portadora no se verá afectada. Este mecanismo también se asegura de que cuando se borra el fallo, las dos portadoras estarán operativas.

5.8.4 Implementación de XPIC

El mecanismo XPIC utiliza las señales recibidas de los módems V y H para extraer las señales V y H y cancelar la interferencia de polarización cruzada debido a la fuga de señal física entre polarizaciones V y H.

Las señales que intervienen en este proceso vienen determinadas en la Figura 21.

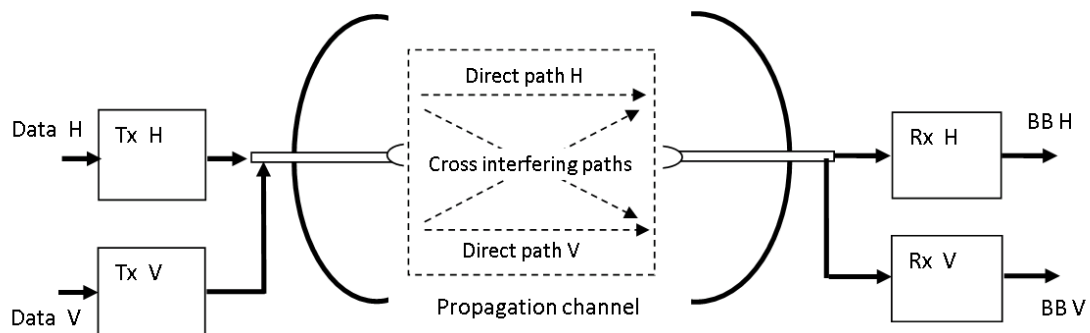


Figura 21: Señales que intervienen en el proceso XPIC.

Se supone utilizadas antenas de doble polarización.

La señal $H+v$ es la combinación de la señal deseada H (horizontal) y la señal interferente V (en minúsculas para indicar que es la interferente).

Lo mismo sucede con la señal de recepción vertical $(V)=V+h$.

El mecanismo XPIC utiliza ambas señales recibidas y las manipula para generar los datos deseados.

5.8.5 Mecanismo de recuperación XPIC

El mecanismo de recuperación tiene como propósito salvar la mitad de la capacidad del enlace durante un fallo del equipo.

El mecanismo de XPIC se basa en la cancelación de la señal y asume que ambas señales transmitidas son recibidas (con un grado de separación de polaridad). Si se da el caso del fallo de una portadora, la interferencia de la otra portadora degradará fuertemente el enlace de la polarización fallida. En esta situación, el XRSM intervendrá para apagar el transmisor interferente.

El mecanismo funciona de la siguiente manera:

- El mecanismo de recuperación tiene lugar cuando $SNR \sim 10dB$.
- La primera medida tomada por el mecanismo de recuperación es “silenciar” al transmisor remoto defectuoso, eliminando de esta manera la señal perturbadora y salvaguardando el enlace en funcionamiento.
- Después de esto, el mecanismo intenta a intervalos recuperar el enlace caído.

Para ello, realiza lo siguiente:

- El transmisor remoto se escucha por un breve periodo de tiempo
- El mecanismo de recuperación comprueba si el enlace se ha recuperado. Si no, vuelve a silenciar el transmisor.
- Esta acción se repite en intervalos exponencialmente más largos. Esta es la manera de restaurar rápidamente ambos enlaces en caso de un breve desvanecimiento del canal, sin afectar seriamente el funcionamiento.
- El número de intentos de recuperación es configurable por el usuario, con un valor por defecto de 8. Si el sistema no recupera el enlace fallido tras el número de intentos definidos, el transmisor se silencia permanentemente, el proceso de recuperación se interrumpe y el usuario tiene que llevar a cabo el mantenimiento.

Cada intento de recuperación originará tráfico que se sumará a la información transmitida por un breve instante de tiempo.

Todos los intervalos de tiempo mencionados anteriormente (tiempo de intento de recuperación, el tiempo inicial entre los intentos, factor de multiplicador para el tiempo de intento, el número de reintentos) pueden ser configurados por el usuario, pero se recomienda utilizar los valores por defecto.

El mecanismo de recuperación XPIC está activado por defecto, pero puede desactivarse por parte del usuario.

6 Centros de telecomunicación

A continuación se describirán los centros de telecomunicaciones que forman la red, la mayoría son centros ya existentes que son utilizados para captación y difusión de señales como la de televisión o telefonía. Aunque también habrá que construir algún CT nuevo para poder dar servicio a toda la población de la zona y dar continuidad a la red de transporte.

Se llaman centros de telecomunicación (CT) al lugar donde se encuentra la torre o estructura, edificio o sala donde están instaladas las antenas y se alojan los equipos necesarios para realizar las comunicaciones inalámbricas, tales como switches, transmisores, receptores... Algunos de los centros que integran la red, son centros ya existentes, en donde se instalarán los equipos necesarios para realizar los radioenlaces y dar cobertura de banda ancha a la población; los puntos elegidos donde no existe centro de telecomunicación han sido elegidos debido a diferentes criterios: facilidad para la conexión a la red de fibra óptica o debido a su situación geográfica, buena visibilidad con otros centros o visibilidad de poblaciones, y existencia de terreno libre para la construcción e implantación de las nuevas infraestructuras.

Además se ha verificado que todos los centros existentes están en buenas condiciones y existe espacio suficiente para la instalación de los nuevos equipos que se emplearán para dar los servicios de banda ancha.

6.1 Existentes

Observando todos los CT existentes de la zona, se han elegido los siguientes centros ya que con estos puntos se forma la red de transporte mediante radioenlaces y se puede dar cobertura a la mayor parte de las poblaciones. Todos estos centros de telecomunicaciones tienen prácticamente la misma infraestructura, una caseta, que dependiendo de la importancia del centro, es decir, de la cantidad de coberturas que haya de los equipos de otras empresas, será de mayor tamaño. Al lado de la caseta se encuentra la torre en la que se instalan las antenas, y siguiendo el mismo criterio que el de las casetas y también dependiendo de la necesidad de visibilidad con otros centros, ésta puede variar su altura desde los 5 metros hasta los 35m. Y por último un vallado que rodea a la caseta y la torre, la cual no existe en todos los centros. Las siguientes imágenes muestran los dos tipos “estándar” de CTs que van a existir en el proyecto.



Figura 22: *Fotografías dos CTs.*

Como se puede apreciar en la imagen de la izquierda, se trata de un centro de telecomunicaciones con las dimensiones más pequeñas. Este centro hasta el momento solo se usaba para la captación de la señal de la televisión y su retransmisión por cableado coaxial hasta las viviendas de la población.

En cambio en la imagen de la derecha podemos apreciar que se trata de un centro de mucha más importancia, hay dos casetas, la torre es más alta y hay muchas más antenas. En este centro se encuentran cobicados los equipos de unas cuantas empresas de telecomunicación.

Dentro de las casetas, los equipos están organizados en armarios rack, los equipos los diferenciamos en dos tipos: equipos de alimentación y protección eléctrica y los equipos de transmisión, recepción y gestión de las comunicaciones.



Figura 23: Fotografías armarios CT.

En las imágenes se observan dos armarios de un mismo centro de telecomunicaciones, en el que están instalados todos los equipos necesarios. Este centro es el caso en el que solo existen los servicios de captación y retransmisión de la señal de televisión, transporte de banda ancha y televisión.

A continuación se nombrarán y se localizarán los centros de telecomunicación que forman parte de la red que dará servicio de banda ancha.

- CT Estella

Desde este centro parte la red de transporte, ya que en este punto existe la capacidad suficiente para servir a esta parte de la red.

Está situado en la cima del monte Belastegui, sus coordenadas son $42^{\circ}41'31.50''N$ $2^{\circ}3'54.36''O$. Es un centro en el que hay muchas empresas coubicadas y por ello es un centro de los de mayores dimensiones. Su torre tiene una altura de 39 metros.

- CT Amescoas

Está situado en el monte común de las Amescoas, más concretamente en un punto con coordenadas: $42^{\circ}46'23.09''N$ $2^{\circ}9'21.64''O$. Como en el caso anterior, éste también es un centro de gran importancia debido a la cantidad de empresas que tienen instalados sus equipos. La torre tiene una longitud de 32 metros.



Figura 24: CT Amescoas.

- CT Aranarache

Situado a las afueras de la población de Aranarache, con coordenadas: 42°46'36.42"N 2°13'33.05"O. Este es centro de telecomunicaciones es de los que tiene las dimensiones más pequeñas, tiene una torre de 12m, ya que sus servicios se limitan a la captación y distribución de la señal de la televisión y de banda ancha.

- CT Larraona

Está localizado en las afueras de Larraona, sus coordenadas son: 42°46'33.61"N 2°15'12.45"O, y se trata de un centro de telecomunicaciones exactamente igual que el centro de Aranarache.



Figura 25: CT Larraona.

- CT Mendaza

Situado en la cima de "El Picote", Sierra de Dos Hermanas. Sus coordenadas son: 42°38'16.40"N 2°13'37.41"O. Es un centro en el que coubican unas cuantas empresas. Su torre tiene una altura de 33 metros.



Figura 26: CT Mendaza.

- CT Gastiain
Sus coordenadas son: 42°43'46.47"N 2°15'15.52"O, y se trata de un centro de grandes dimensiones debido a su participación en las comunicaciones del Valle de Lana. Tiene una torre de 21 metros
- CT Lapoblación
Las coordenadas geográficas de este centro son: 42°36'54.73"N 2°26'39.25"O. Toma ese nombre ya que el entronque de la red eléctrica se encuentra en ese pueblo. Es un centro de los grandes ya que acoge numerosos servicios.
- CT Meano
Sus coordenadas son: 42°36'13.15"N 2°27'56.51"O. La torre tiene una altura de 20 metros. En este lugar hay numerosos recintos de las diferentes empresas de telecomunicaciones, ya que se trata de un punto importante para las comunicaciones de la zona.
- CT Desojo
Sus coordenadas son: 42°35'15.67"N 2°17'21.52"O. Este centro acoge a numerosas empresas de telecomunicaciones. Se podría decir que es un centro intermedio respecto a sus dimensiones, su torre mide 21 metros.
- CT Aras
Su localización geográfica es: 42°35'19.45"N 2°20'22.20"O. Este centro acogía a una empresa de telecomunicaciones y algunos servicios del Gobierno de Navarra. Respecto a las infraestructuras es del mismo tipo que el centro de Desojo, un vallado, una caseta de las grandes y una torre de unos 20 metros.
- CT Mues
Las coordenadas geográficas de este centro son: 42°35'51.59"N 2°13'28.41"O. Este centro es exactamente igual que el CT de Aras, respecto a dimensiones y servicios.



Figura 27: CT Mues.

6.2 Nuevos

Para poder formar la red se han tenido que dar ubicación a nuevos centros de telecomunicaciones. Dos de los centros que a continuación serán nombrados son centros donde existe conexión con la red troncal de fibra óptica del gobierno y como son sedes del gobierno, (centros de salud) por ello han sido elegidos. Desde esos puntos partirá la red

troncal inalámbrica. La localización del otro centro de telecomunicaciones de nueva construcción que se ha elegido es debido a la falta de visibilidad entre dos centros alejados, y éste permitirá dar continuidad a la red actuando de repetidor.

- CT Ancín

Este centro estará situado en el centro de salud de Ancín, los equipos serán colocados en un armario rack de alguna sala del edificio y las antenas se colocarán en alguna pequeña torre en el tejado del edificio. Sus coordenadas son: 42°39'37.69"N 2°11'18.85"O. Como ya he comentado se ha elegido este edificio debido a que pertenece al gobierno y se permitirá la instalación de los equipos sin tener que pagar ningún alquiler; además existe conexión a la red de fibra óptica y a la red eléctrica.

- CT Viana

El CT de Viana también estará situado en el centro de salud y la elección de este centro de telecomunicaciones se debe a las mismas razones que el centro de Ancín, sumando la altura del edificio la longitud de la torre o mástil donde se coloque la antena serán unos 12 metros. Su dirección es Plaza Oroz, 1A, 31230 Viana, Navarra, y sus coordenadas son: 42°30'57.93"N 2°22'17.70"O.

- CT Echávarri

La construcción de este centro de telecomunicaciones es necesaria para dar continuidad a la red, al no existir visibilidad entre el CT de Estella y el CT de Amescoas. Otra opción para tener capacidad de datos en el CT de Amescoas era realizar un radioenlace desde el CT del Perdón al de Amescoas, pero debido a que su longitud era de 38 Km se descartó ya que imposibilitaría poder hacer un radioenlace con la capacidad de transmisión suficiente. Por tanto, la solución adoptada fue usar este punto intermedio, y realizar dos radioenlaces más cortos: Estella – Echávarri (4,2 Km) y Echávarri – Amescoas (8,98 Km).

Las coordenadas de este centro son: 42°43'51.65"N 2°3'51.62"O, y se eligió este punto ya que es un lugar con buena visibilidad de los dos centros anteriormente nombrados, y su cercanía a la población de Echávarri. El terreno elegido es una zona libre (arbolada), contigua a un camino, es decir, es de fácil acceso, y como está a 200 metros de la población facilita la conexión al tendido eléctrico.



Figura 28: Emplazamiento nuevo CT Echávarri.

7 Solución general

En esta sección se describirá en profundidad la solución tecnológica adoptada para dar servicio de banda ancha a las poblaciones de la zona. Como ya se ha comentado anteriormente la solución se ha elegido buscando la mejor opción tecnológica que cumpla con los requisitos de capacidad de comunicación y el presupuesto más ajustado posible. Para ello habrá dos partes diferenciadas, la red de transporte, formada principalmente por radioenlaces y la red de distribución, formada por los enlaces punto a multipunto de las antenas situadas en los centros de telecomunicaciones.

En el estudio de la solución, primero se han utilizado programas como Radio Mobile y Google Earth, en donde se han realizado las simulaciones de los radioenlaces y de las zonas de cobertura que tendría la señal emitida desde los centros de telecomunicaciones seleccionados. Una vez planteada una solución, para comprobar que es válida se asistió a los CTs, y se observó que había visión directa con las poblaciones a dar servicio y que las comunicaciones entre centros no estaban obstaculizadas. Esta comprobación en campo es necesaria ya que los programas de simulación no son del todo exactos, muchas veces no tienen en cuenta la vegetación, los edificios o la cartografía no está actualizada. Por ello, cuando se utilizan programas informáticos, siempre que se pueda hay que verificar los resultados obtenidos. Para los casos en los que las poblaciones no cumplen las condiciones de visibilidad y distancia máxima al CT, se ha planteado una solución alternativa.

A continuación se muestra un esquema realizado con el programa Visio, en este esquema se muestra la solución final de una forma visual.

Como se indica en la leyenda, existen tres tipos de centros de telecomunicaciones, se diferencian debido a su existencia o futura construcción y debido a su importancia.

Por otra parte las líneas rojas indican los radioenlaces de la red de transporte, y a su par en negro se indica la longitud de dicho radioenlace.

Las líneas azules indican de donde se transmite la señal de distribución (punto a multipunto), y que poblaciones reciben la señal. También se indica la distancia que existe entre el CT emisor y el pueblo que recibe el servicio.

Los números en azul indican el número de habitantes que agrega cada punto de la red. Esos habitantes no son posibles clientes ya que habría que agruparlos en viviendas y hacer una estimación de la penetración.

Las líneas naranjas son tramos de la red troncal de fibra óptica. El cuadro amarillo del Hospital de Estella representa un punto donde hay conexión a la red de fibra óptica.

Viendo estos esquemas, podemos ver la distribución que tendrá la red y por tanto conociendo el número de habitantes y sedes corporativas del Gobierno de Navarra realizaremos los cálculos de la capacidad necesaria en cada punto de la red. Con ello calcularemos la capacidad de transmisión mínima que debe tener cada radioenlace.

Nombre funcional	Departamento	Localidad
CONSULTORIO AGUILAR DE CODES	DEP. SALUD	AGUILAR DE CODÉS
CONSULTORIO ARAS	DEP. SALUD	ARAS
CONSULTORIO ARMAÑANZAS	DEP. SALUD	ARMAÑANZAS
CONSULTORIO AZUELO	DEP. SALUD	AZUELO
CONSULTORIO BARGOTA	DEP. SALUD	BARGOTA
CONSULTORIO CABREDO	DEP. SALUD	CABREDO
CONSULTORIO DESOJO	DEP. SALUD	DESOJO
CONSULTORIO ESPRONCEDA	DEP. SALUD	ESPRONCEDA
CONSULTORIO ETAYO	DEP. SALUD	ETAYO
CONSULTORIO EULATE	DEP. SALUD	EULATE
CONSULTORIO GENEVILLA	DEP. SALUD	GENEVILLA
CONSULTORIO MEANO (LAPOBLACIÓN)	DEP. SALUD	LAPOBLACIÓN
CONSULTORIO LARRAONA	DEP. SALUD	LARRAONA
CONSULTORIO MARAÑÓN	DEP. SALUD	MARAÑÓN
CONSULTORIO ACEDO (MENDAZA)	DEP. SALUD	MENDAZA
CONSULTORIO MENDAZA	DEP. SALUD	MENDAZA
CONSULTORIO MUES	DEP. SALUD	MUÉS
CONSULTORIO SAN MARTIN	DEP. SALUD	SAN MARTIN
CONSULTORIO SORLADA	DEP. SALUD	SORLADA
CONSULTORIO TORRALBA	DEP. SALUD	TORRALBA DEL RÍO
CPEIP SAN MIGUEL LAS AMÉSCOAS ZUDAIRE	DEP. EDUCACION	ZUDAIRE
CONSULTORIO ZUDAIRE (AMESCOA BAJA)	DEP. SALUD	ZUDAIRE
CONSULTORIO GALBARRA	DEP. SALUD	GALBARRA
CONSULTORIO MEANO	DEP. SALUD	MEANO

Figura 29: Sede Gobierno de la zona.

Se quiere dar servicio a estas 24 sedes, se quiere que el servicio sea de 30 Mbps simétricos, y reales durante el 100% del tiempo.

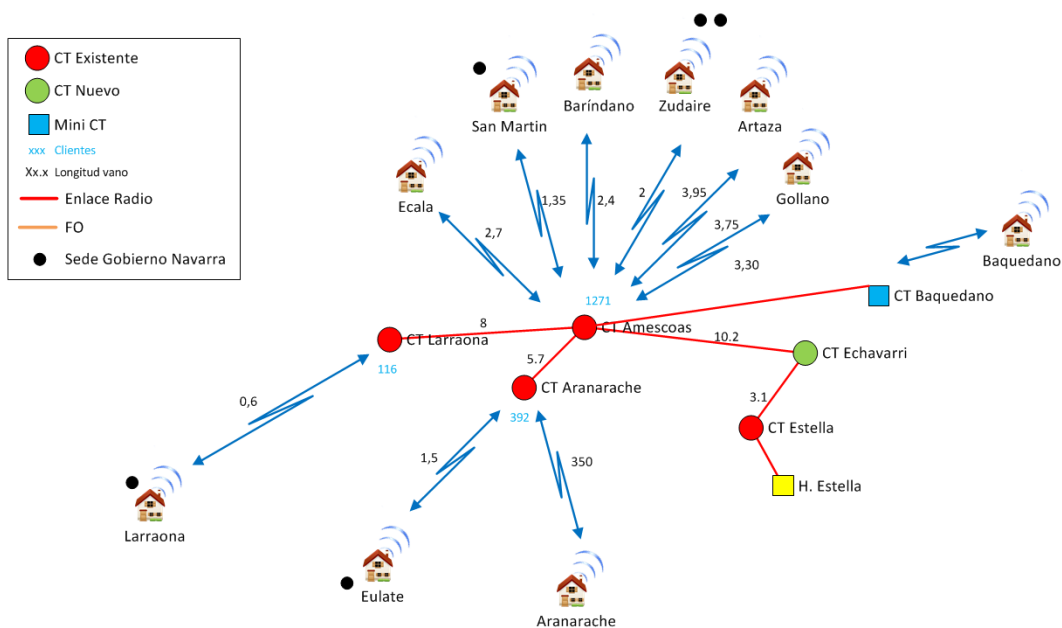


Figura 30: Esquema solución final "Zona Tierra Estella 1"

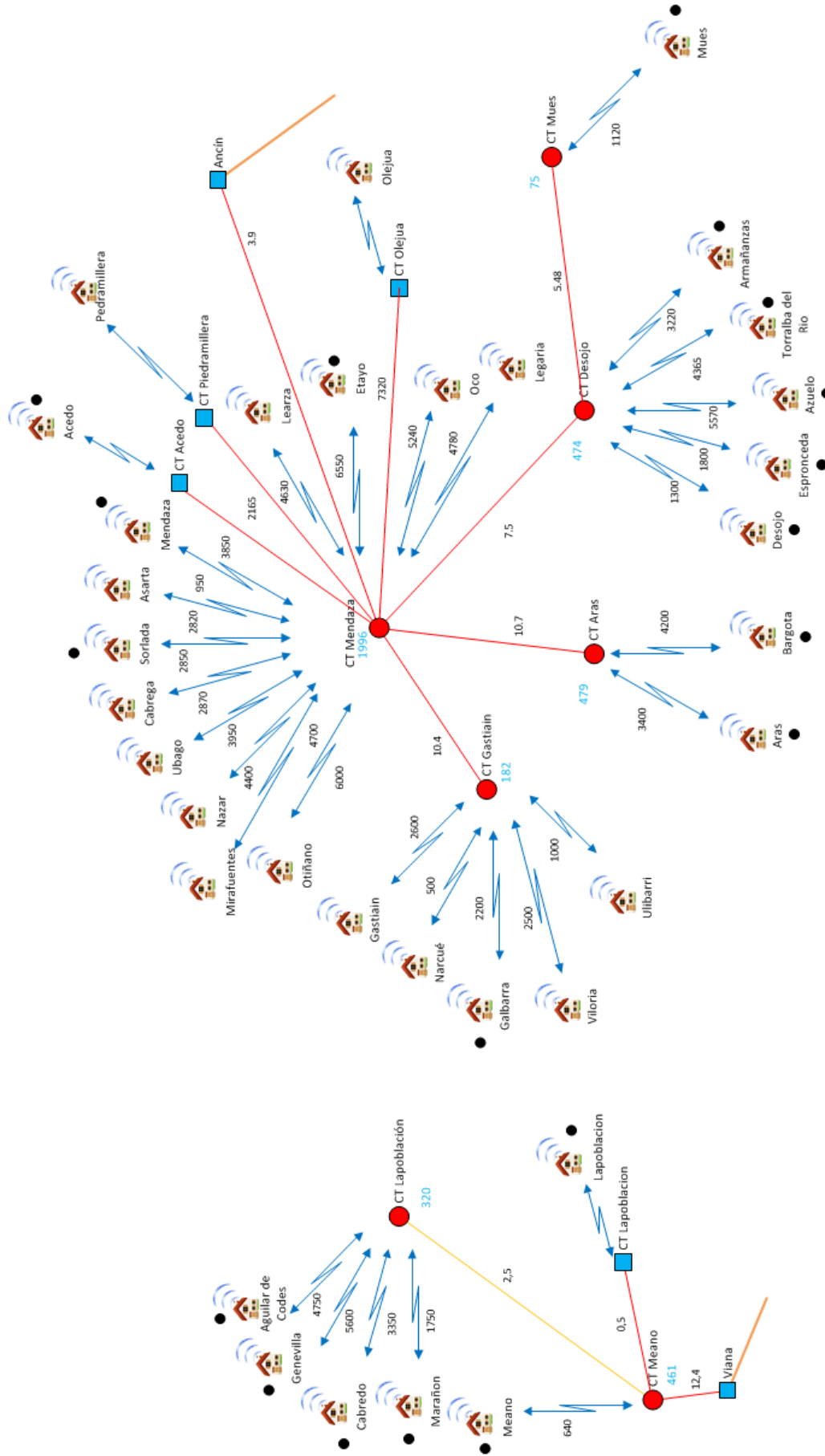


Figura 31: Esquema solución final "Zona Tierra Estella 2"

A continuación se explicaran los cálculos realizados para saber qué capacidad tendrá que tener cada radioenlace. Se realizaran cálculos en cada punto intermedio de la red de transporte, es decir, en cada CT. Se calculará la capacidad agregada necesaria en cada punto, es decir, se sumará la capacidad necesaria en otros CTs, que dependan de ese punto. Para estos cálculos de capacidad hemos tenido en cuenta la capacidad deseada en cada sede del Gobierno. Y para cada cliente hemos tenido en cuenta que por norma solo se asegura el 10% de la capacidad contratada, en este caso el objetivo son 30 Mbps, por tanto solo se pueden asegurar 3 Mbps.

- CT Meano: da servicio a 461 habitantes, lo que se estima que son unos 93 usuarios ($93 \cdot 3 = 277 \text{ Mbps}$) y recoge 6 sedes ($6 \cdot 30 = 180 \text{ Mbps}$). Por tanto en este punto se necesita una capacidad mínima de 456 Mbps.
- CT Mues: agrupa 75 habitantes, es decir, unos 15 usuarios y también una sede del Gobierno. Lo que sería necesario: $(15 \cdot 3) + (1 \cdot 30) = 75 \text{ Mbps}$.
- CT Desojo: tiene 474 habitantes lo que supone 95 usuarios ($95 \cdot 3 = 285 \text{ Mbps}$), y dará servicio a 6 sedes ($6 \cdot 30 = 180 \text{ Mbps}$). En total necesitaría 465 Mbps.
- CT Aras: da servicio a 479 habitantes, lo que se estima que son unos 96 usuarios ($96 \cdot 3 = 288 \text{ Mbps}$) y recoge 2 sedes ($2 \cdot 30 = 60 \text{ Mbps}$). Por tanto en este punto se necesita una capacidad mínima de 348 Mbps.
- CT Gastiain: agrupa 182 habitantes, es decir, unos 37 usuarios y también una sede del Gobierno. Lo que sería necesario: $(37 \cdot 3) + (1 \cdot 30) = 140 \text{ Mbps}$.
- CT Mendaza: en este punto se agrupa el servicio de 1996 habitantes, que se estima que serían unos 399 usuarios ($399 \cdot 3 = 1198 \text{ Mbps}$) y 13 sedes del Gobierno ($13 \cdot 30 = 390 \text{ Mbps}$). En total haría falta $390 + 1198 = 1588 \text{ Mbps}$.
- CT Larraona: 116 habitantes ($24 \text{ usuarios} \cdot 3 \text{ Mbps} = 72 \text{ Mbps}$) y una sede corporativa (30 Mbps). Serían en total 102 Mbps.
- CT Arasarache: tiene 392 habitantes lo que supone 79 usuarios ($79 \cdot 3 = 237 \text{ Mbps}$), y dará servicio a sede (30 Mbps). En total necesitaría 267 Mbps.
- CT Amescoas: agrupa un total de 1271 habitantes, es decir, unos 254 usuarios ($254 \cdot 3 = 762 \text{ Mbps}$) y 5 sedes del Gobierno ($5 \cdot 30 = 150 \text{ Mbps}$). Sería necesario 912 Mbps.

Tras haber realizado estos cálculos, ya podemos saber qué capacidad mínima, sin tener en cuenta la sobresuscripción (que más adelante se tendrá en cuenta una sobresuscripción de 1:2.), necesitará tener cada radioenlace:

- CT Ancín – CT Mendaza → 1588 Mbps (Capacidad necesaria en CT Mendaza).
- CT Mendaza – CT Gastiain → 140 Mbps.
- CT Mendaza – CT Aras → 348 Mbps.
- CT Mendaza – CT Desojo → 465 Mbps.
- CT Desojo – CT Mues → 75 Mbps.
- CT Viana – CT Meano → 456 Mbps.
- CT Estella – CT Echávarri → 912 Mbps.
- CT Echávarri – CT Amescoas → 912 Mbps.
- CT Amescoas – CT Arasarache → 267 Mbps.
- CT Amescoas – CT Larraona → 102 Mbps

7.1 Red de transporte

Como ya se ha dicho anteriormente, las comunicaciones entre los centros de telecomunicaciones, es decir, la red de transporte de datos está formada por numerosos radioenlaces. Estos radioenlaces son de alta capacidad para tener la suficiente capacidad de transmisión entre los centros y los clientes y poder dar un buen servicio de banda ancha.

Esta red de transporte parte de tres puntos: CT Estella, CT Ancín y CT Viana. En este proyecto partimos de la suposición de que en esos puntos existe conexión con la red troncal del Gobierno de Navarra, pero la realidad es que en Ancín y Viana todavía no se han realizado los proyectos que lleven la fibra hasta esos puntos. Estos proyectos están previstos para este año 2017.

7.1.1 Diseño de los radioenlaces

Para el diseño de estos radioenlaces, primeramente se ha tenido en cuenta la distancia entre los extremos de cada radioenlace y que la capacidad de transmisión sea alta, siguiendo el criterio de la siguiente tabla (Ministerio de industria, energía y turismo), como las longitudes de los vanos están entre 5 y 15 Km, los radioenlaces emitirán en las bandas de 18 y 23 GHz o superiores ya que la norma dice que siempre que se puede hay que utilizar la banda más alta posible. Más concretamente se puede ver la frecuencia de cada radioenlace en el Anexo I.

Baja capacidad (Canalización < 14 MHz)	
0 - 10 km	Bandas de $f \geq 23$ GHz
5-15 km	Banda de 18 GHz
10 - 20 km	Banda de 15 GHz
más de 20 km	Banda de 10 GHz

Alta capacidad (Canalización > 14 MHz)	
0 - 5 km	Bandas de $f \geq 26$ GHz
5 - 15 km	Bandas de 23 y 18 GHz
15 - 35 km	Bandas de 15 y 13 GHz
más de 35 km	Bandas de $f < 13$ GHz

Figura 32: Tabla para selección frecuencia de transmisión

Tras haber elegido la banda frecuencial, hay que comprobar que esté libre en la zona a utilizar. Para ello el Ministerio de Industria ofrece un programa llamado “Semibanda”, en el que introduciendo las coordenadas y la frecuencia del radioenlace, comprueba que la banda este libre, y nos indica que parte de la banda es la más adecuada para la transmisión.



Figura 33: Resultado aplicación Semibanda

En este caso concreto, el radioenlace del CT Echávarri al CT Amescoas (8,8 Km), empleamos la banda de frecuencia de 18GHz, y el resultado que obtenemos es que para este emplazamiento y banda podemos emplear la semibanda que queramos, ya que esta banda frecuencial no está en uso.

Por otra parte el ancho de banda del canal, será el máximo de los disponibles por los equipos seleccionados, que posteriormente se describirán. En este caso se utilizará una canalización de 56 MHz. Un ancho de banda de 56 MHz se pueden conseguir según la canalización de frecuencias del Ministerio en las siguientes bandas frecuenciales: L6, U7, L8, 18, 23, 26, y 38 GHz. Como ya he comentado anteriormente dependiendo de cada radioenlace se elegirá una banda diferente.

Con este ancho de banda, utilizando las modulaciones: 2048 QAM y 512 QAM y utilizando diferentes polarizaciones podremos alcanzar las capacidades deseadas en cada caso. Estas capacidades serán adaptativas, dependiendo de las condiciones meteorológicas se utilizaran diferentes modulaciones. Cuanto peor sean las condiciones meteorológicas, peor será la modulación y por tanto menor será la capacidad de transmisión. Cuando las condiciones lo permitan se utilizará la máxima modulación posible. Esta adaptación de la modulación se realiza para una parte muy pequeña del tiempo, ya que las condiciones originales de los radioenlaces han sido calculadas para tener una disponibilidad superior al 99,99% del tiempo.

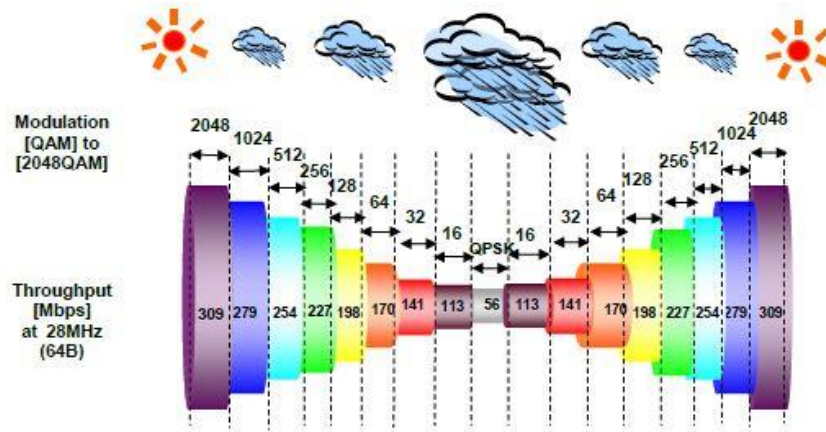


Figura 34: Relación modulación y condiciones meteorológicas

Como sistemas de transmisión, se van utilizar 1+0, que se trata del sistema que menos seguridad aporta, ya que no tiene ninguna redundancia, y 2+0 XPIC que tampoco tiene redundancia pero aporta más capacidad ya que utiliza dos canales en diferente polarización agregando su capacidad.

El sistema 1+0 consiste en un transmisor y un receptor, que trabajan a la misma frecuencia.

El sistema 2+0 XPIC consiste en dos equipos radio en cada extremo del radioenlace, que trabajan en diferente polarización, uno en horizontal y otro en vertical. Al utilizar la misma banda de frecuencias, se realiza un uso más rentable del espectro.

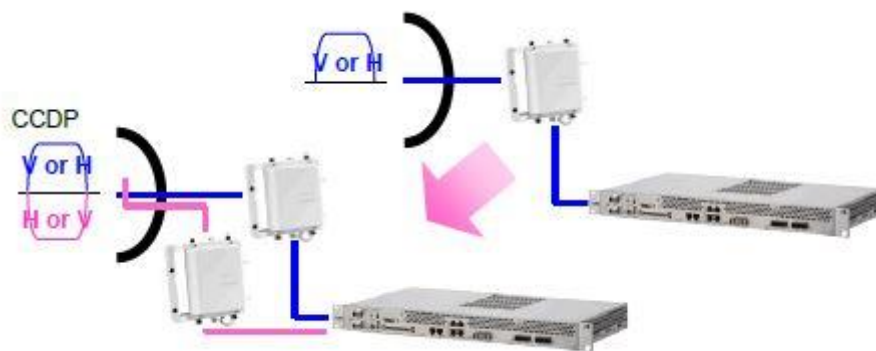


Figura 35: Sistemas 1+0 y 2+0 XPIC.

Aunque sistemas como 1+1 o 2+2, nos aportan redundancia y una fiabilidad de funcionamiento del sistema más alta, también es mucho más caro y en este caso no se ve necesario dar este nivel de seguridad.

Realizando combinaciones de las diferentes modulaciones y sistemas de transmisión, tendremos las siguientes capacidades, que serán elegidas según la necesidad de datos en cada caso:

- 400 Mbps: empleando un único canal de 56 MHz y una modulación 512 QAM (1+0).
- 500 Mbps: trabajando con un canal de 56 MHz, pero con una modulación 2048 QAM (1+0).
- 800 Mbps: transmitiendo dos canales polarizados de 56 MHz a 512 QAM, combinándolos mediante agregación L1 (2+0 XPIC).
- 1 Gbps: realizando una transmisión de dos señales con ancho de banda de 56 MHz, una polarizada horizontalmente y otra polarizada verticalmente, moduladas en 2048 QAM y combinadas mediante agregación de la capa física (L1) (2+0 XPIC).

7.1.2 Equipos seleccionados

Los equipos elegidos para los radioenlaces son el modelo “iPASOLINK VR2”, de la empresa NEC [20]. De las diferentes empresas de gama profesional de equipos radio, se ha seleccionado esta gama de productos por diferentes aspectos:

- Son equipos de gama alta, lo que aportan una gran fiabilidad.
- Tienen doble fuente de alimentación, que hace que su probabilidad de fallo se reduzca mucho.
- Las ODUs son capaces de transmitir una alta potencia, permitiendo que el tamaño de las antenas sea más reducido (facilitando su instalación).
- Transmisión con modulación adaptativa, permitiendo una comunicación más fiable, ya que reduce el BER.
- Capacidad de agregación de señales radio, para la transmisión en sistemas XPIC.

Respecto a las características más técnicas: (más detalles en anexo III):

- Amplio rango de frecuencias de trabajo (6-42 GHz).
- Diferentes anchos de banda de transmisión (7/14/28/56 MHz).
- Nodo de convergencia, varios interfaces (Radio, Ethernet, TDM)
- Bajo consumo de potencia.
- No tiene ventilador, que siempre es un sistema que acorta la vida de los equipos, ya que los elementos mecánicos son los primeros en fallar.

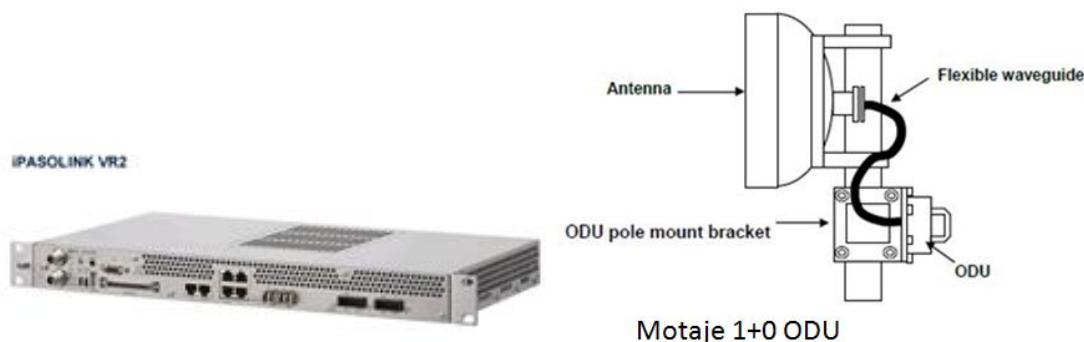


Figura 36: Equipamiento del transmisor/receptor de un radioenlace

7.1.3 Simulaciones

Para la comprobación de cada radioenlace, se han realizado simulaciones de cada uno de ellos con el programa Radio Mobile. Además para verificar que las simulaciones del programa son correctas, se comprobó visualmente desde cada CT que cada radioenlace tiene buena visibilidad y que no hay ningún obstáculo que impida la comunicación. En las siguientes imágenes se observan todos los radioenlaces (líneas azules) que forman la red de transporte.

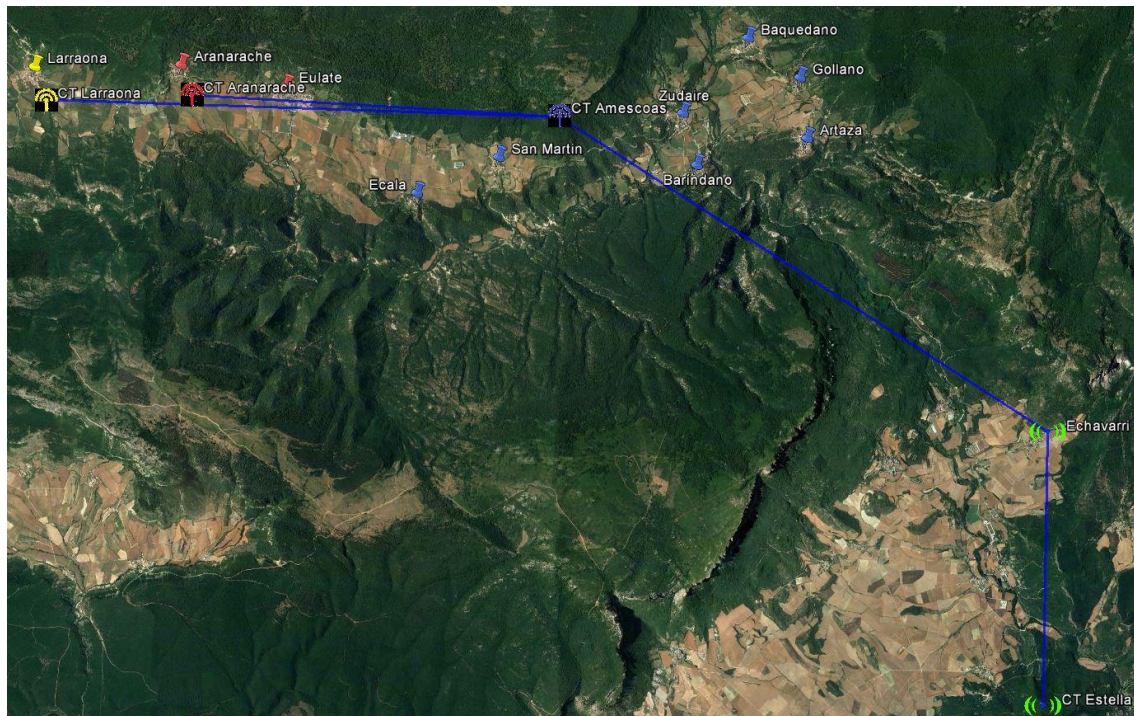


Figura 37: Radioenlaces "Zona 1" Tierra Estella

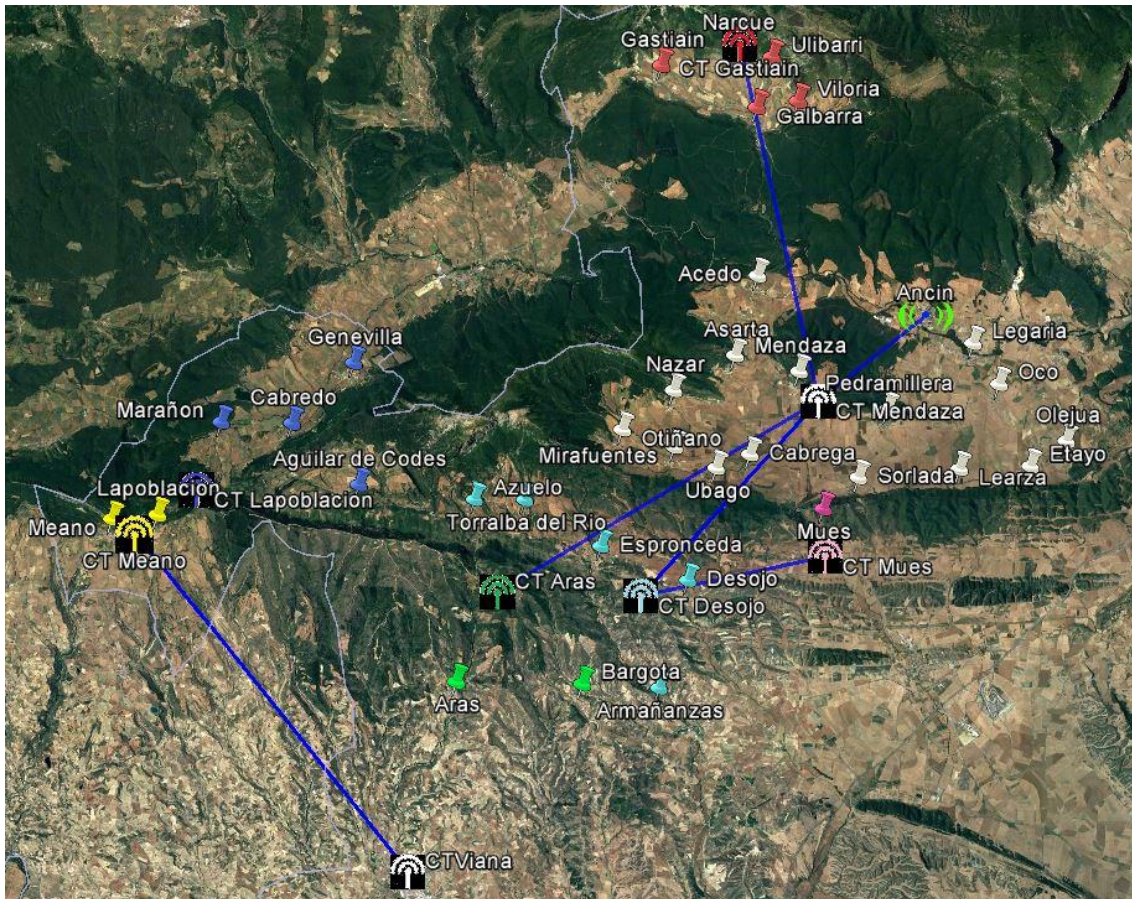


Figura 38: Radioenlaces "Zona 2" Tierra Estella

A continuación se muestran las simulaciones, realizadas en el programa Radio Mobile, de todos los radioenlaces de la solución. Para la realización de las simulaciones hemos seguido los siguientes pasos:

1. Introducción de las coordenadas exactas de los puntos a interconectar.
2. Introducción de las alturas de las torres donde se colocaran las antenas.
3. Selección de la frecuencia de trabajo.

También se mostrará, la capacidad seleccionada (de las cuatro opciones descritas anteriormente) para cada radioenlace. Observando las capacidades necesarias calculadas anteriormente y empleando una sobresuscripción de 1:2, se puede ver que las capacidades seleccionadas son coherentes.

CT Ancín – CT Mendaza (1 Gbps)

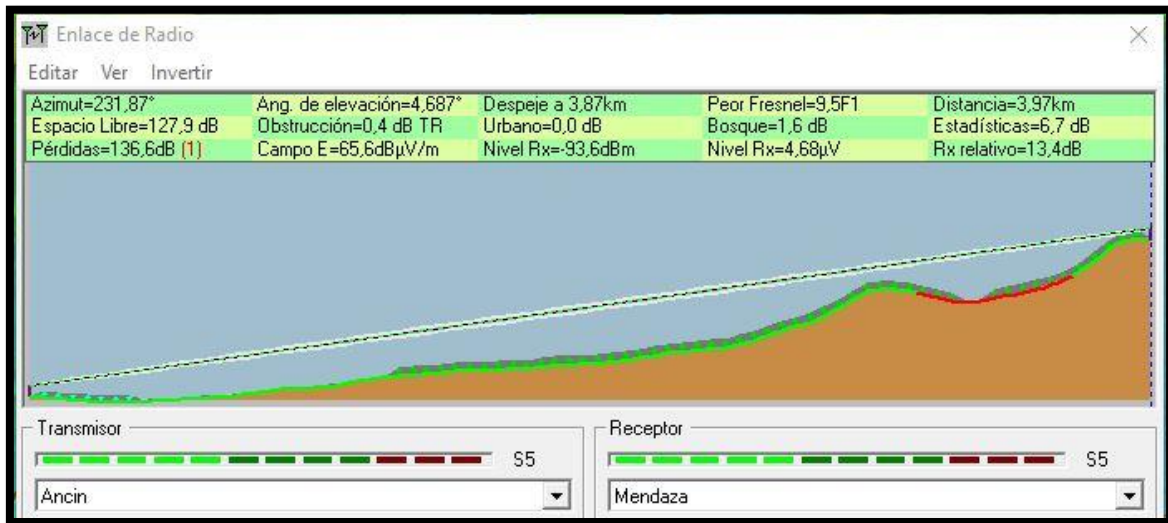


Figura 39

CT Mendaza – CT Gastiain (500 Mbps)

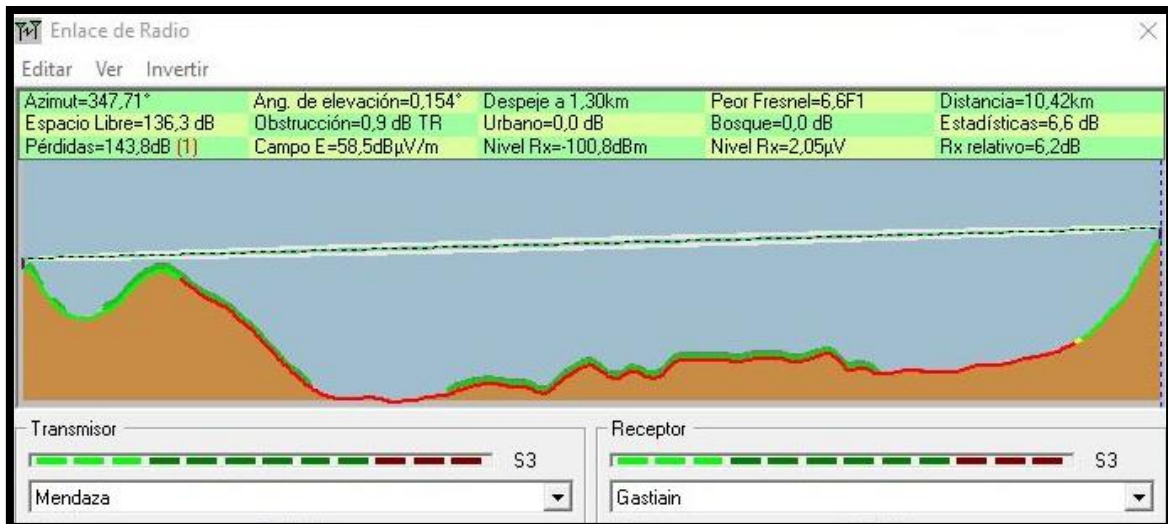


Figura 40

CT Mendaza – CT Aras (1 Gbps)

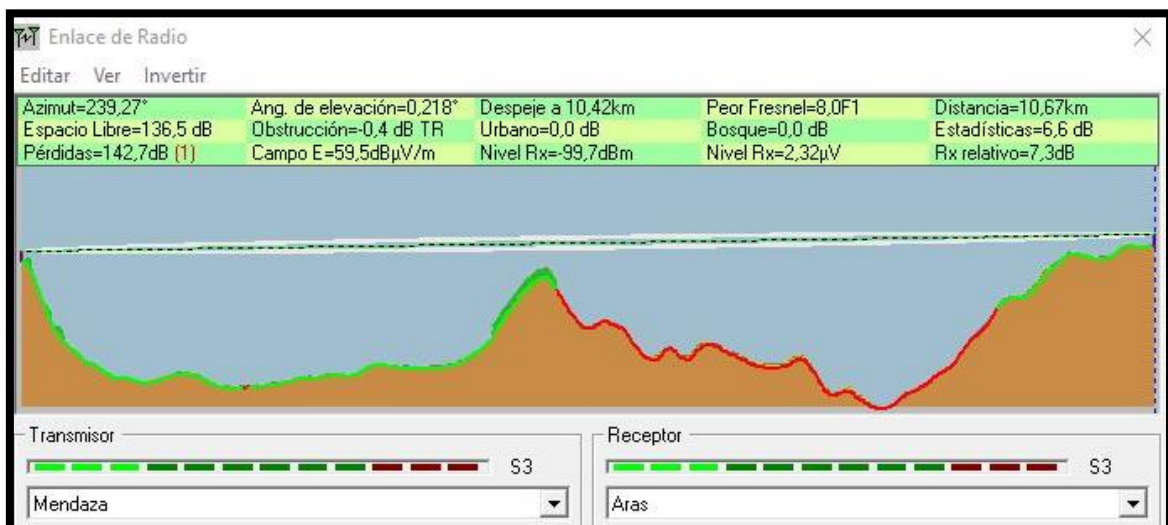


Figura 41

CT Mendaza – CT Desojo (1 Gbps)

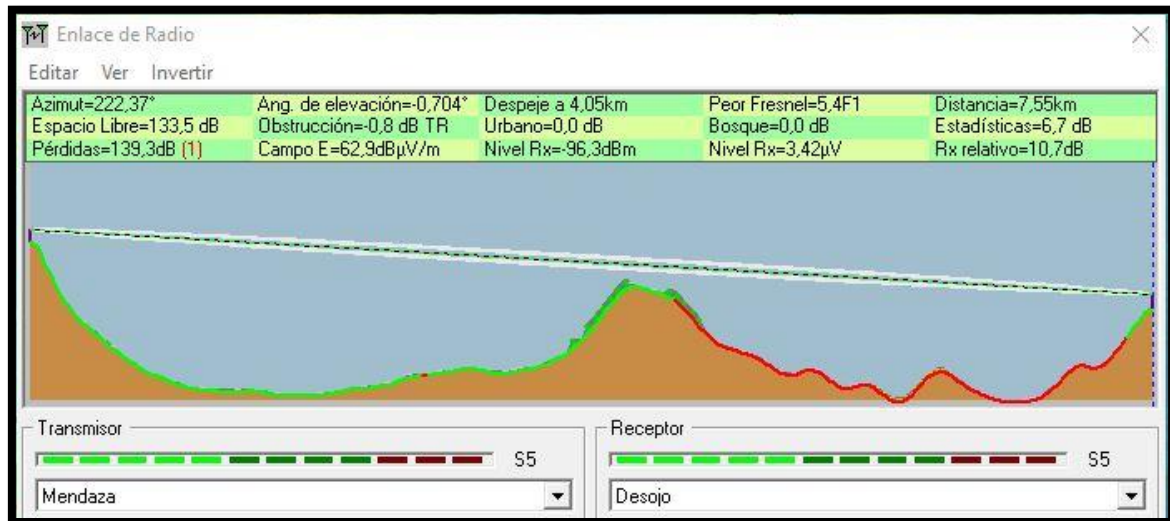


Figura 42

CT Desojo – CT Mues (500 Mbps)

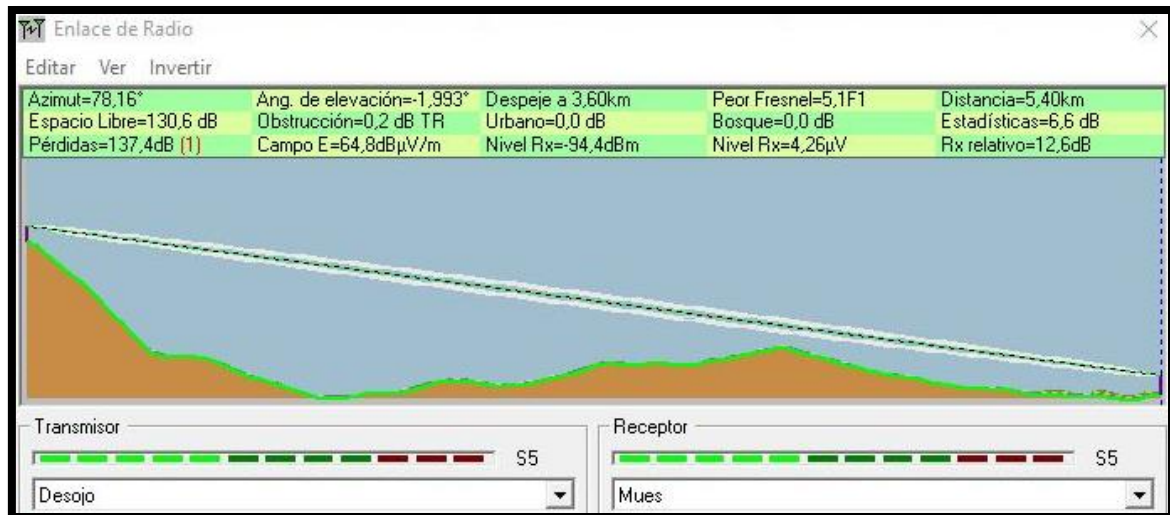


Figura 43

CT Viana – CT Meano (1 Gbps)

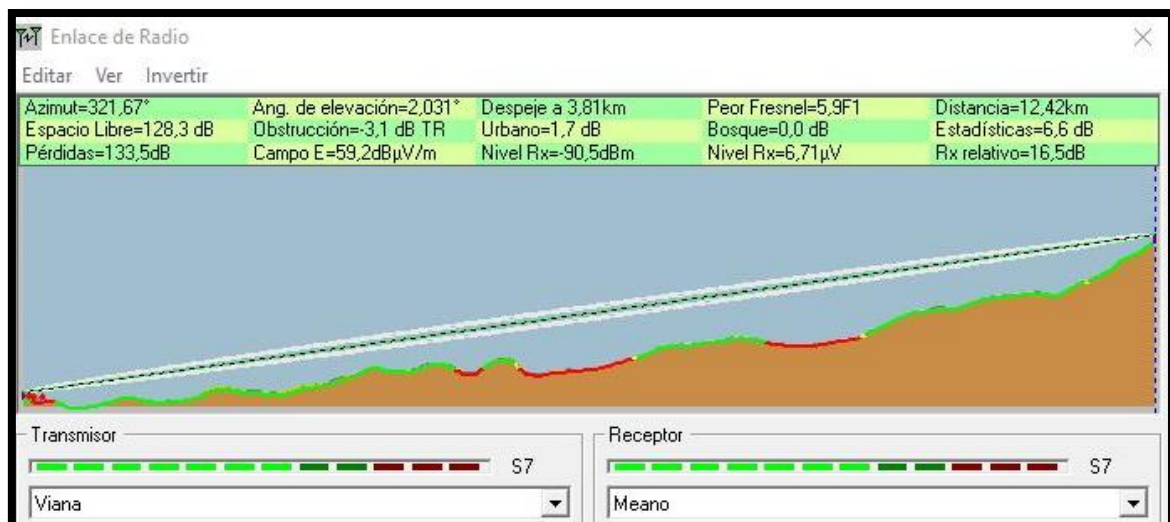


Figura 44

CT Estella – CT Echávarri (1 Gbps)

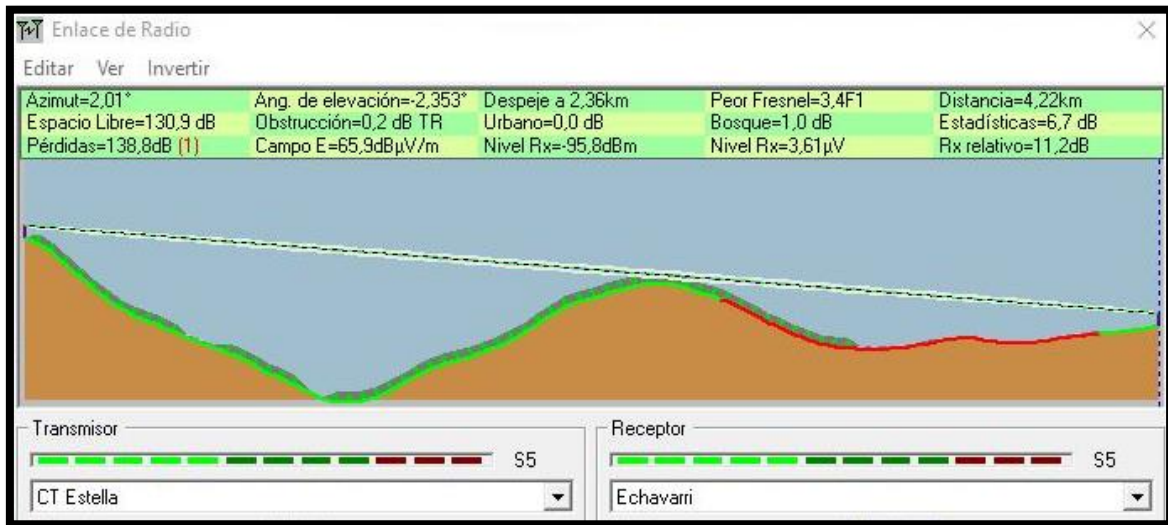


Figura 45

CT Echávarri – CT Amescoas (800 Mbps)

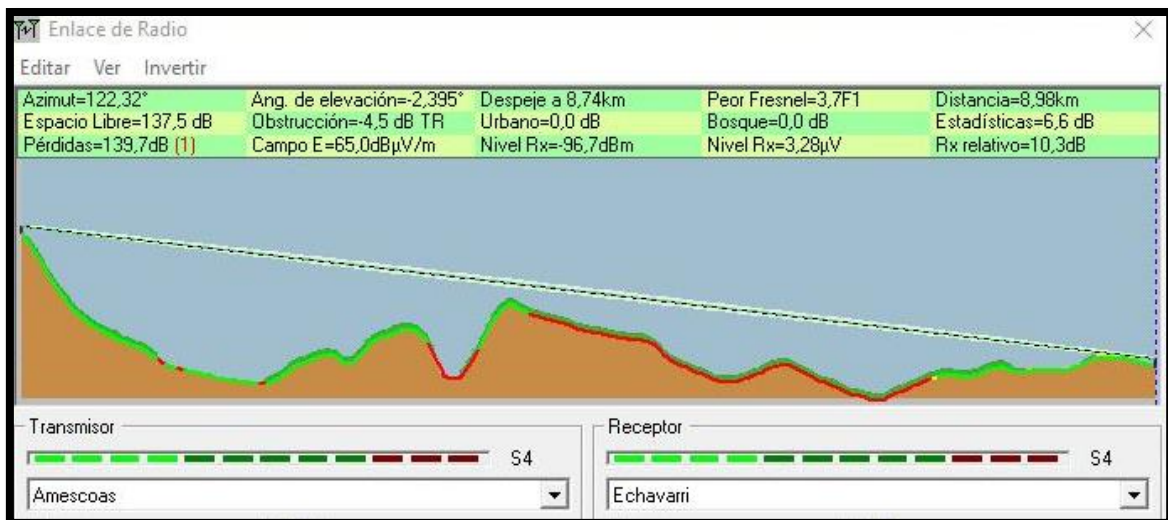


Figura 46

CT Amescoas – CT Aranarache (400 Mbps)

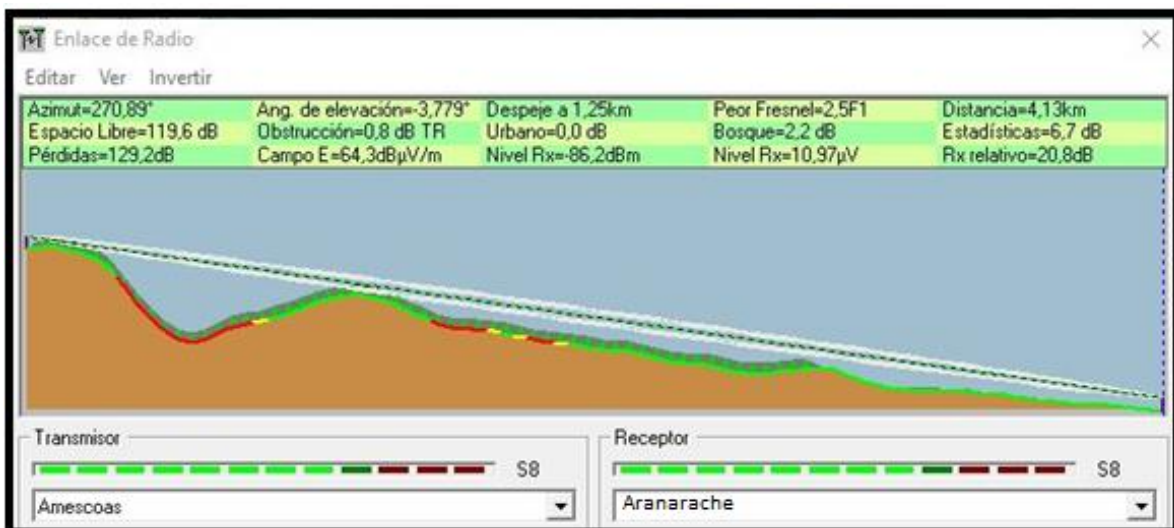


Figura 47

CT Amescoas – CT Larraona (400 Mbps)

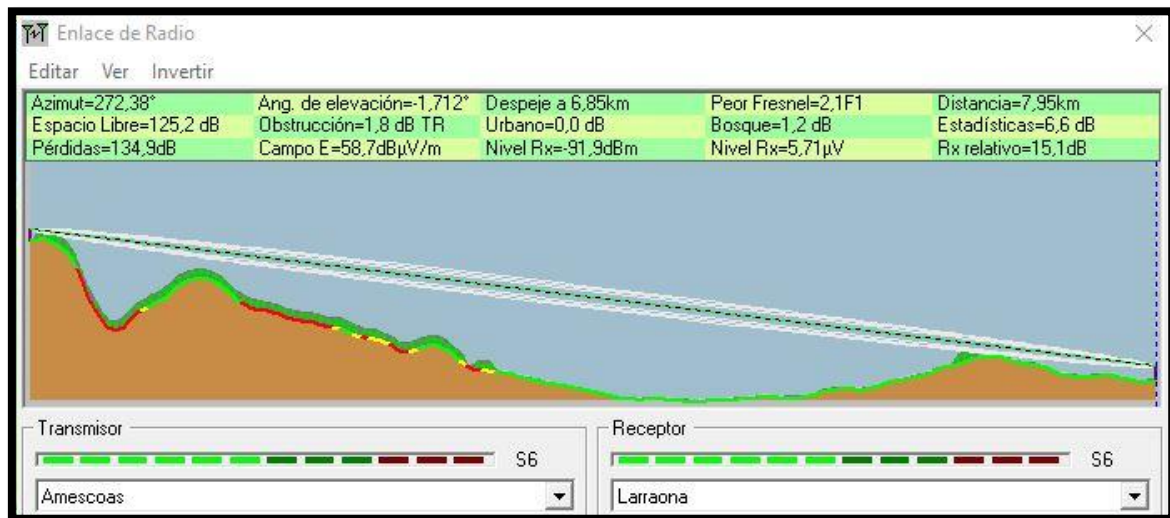


Figura 48

En estas simulaciones, los principales aspectos a tener en cuenta son: la distancia entre centros de telecomunicación, ya que a mayor distancia, mayores pérdidas, que pueden llegar a ser un limitante en el radioenlace; otro aspecto muy importante es la visibilidad entre CTs, para considerar que hay buena visibilidad entre los extremos del radioenlace debe estar despejada al menos el 60% de la primera zona de Fresnel, si esta condición no se cumple, se tendrán una dispersión muy grande y la potencia recibida tendrá una disminución importante.

Como podemos observar en las simulaciones, todos los radioenlaces cumplen con las condiciones de visibilidad y distancia, ya que están en un rango de 5 a 15 Km y tienen buena visibilidad, que además esta visibilidad fue comprobada acudiendo a los centros de comunicación.

7.1.4 Tramo fibra, interconexión CTs

Aunque anteriormente se ha dicho que la red es completamente inalámbrica, existe un tramo entre dos centros de telecomunicaciones que resulta más eficiente su interconexión mediante fibra óptica. Realizando este tramo de fibra se elimina un radioenlace de 20 Km (demasiada distancia para poder realizar un radioenlace de alta capacidad), y además conseguimos reducir la agregación de usuarios en cierto punto, traspasando estos usuarios a otro punto de interconexión menos cargado. Por otra parte, se ha decidido realizar este tramo ya que existe un tendido eléctrico, y por tanto el cable de fibra óptica se podría instalar paralelamente a esta línea, reduciendo la obra de microzanja a una parte muy pequeña del recorrido (700 metros de los 2500 metros del total), lo que abaratará la instalación.

La fibra óptica partirá del centro de telecomunicaciones de Lapoblación, y seguirá su recorrido por el tendido eléctrico que llega hasta Lapoblación, donde se encuentra el entronque del tendido eléctrico, y además a las afueras del pueblo se encuentra el CT Meano, que será el punto final de la fibra óptica. A continuación se muestra el recorrido del tramo de fibra, que tiene una longitud de 2,48 Km.

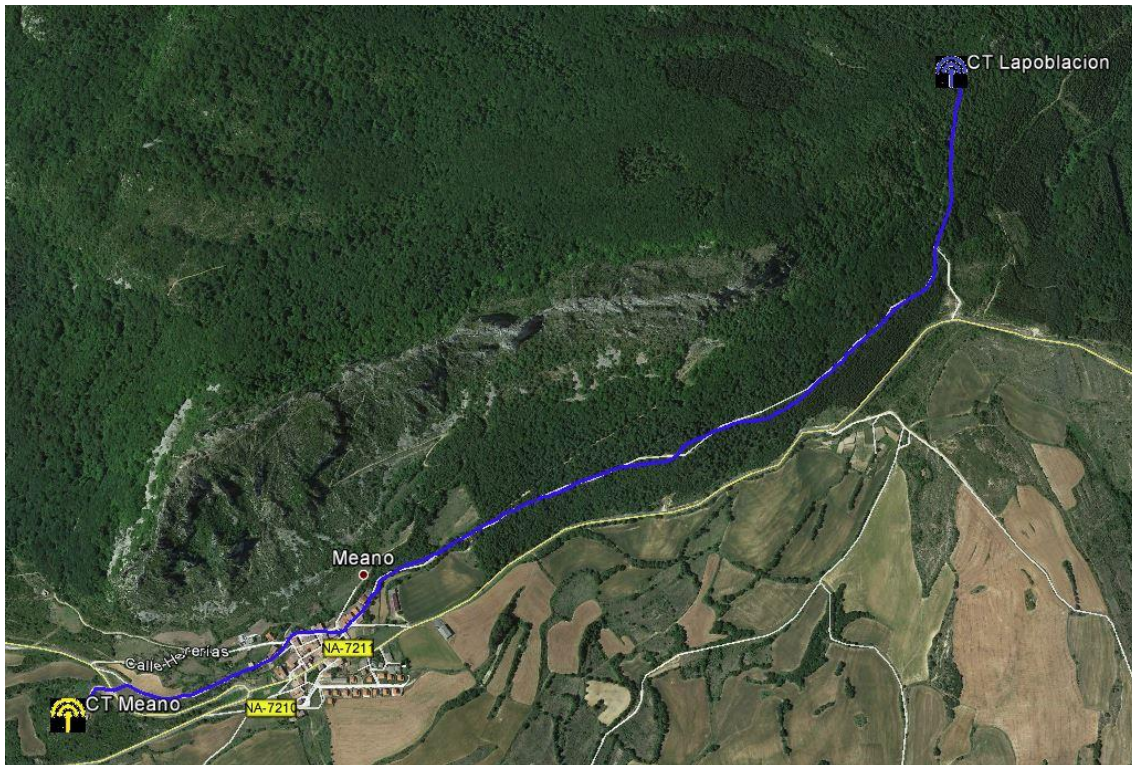


Figura 49: Recorrido fibra óptica.

Para la instalación de la fibra por el tendido eléctrico, se utilizara la fibra de la figura 50. Se ha elegido esta fibra debido a sus características mecánicas ya que permiten su despliegue en paralelo de una línea eléctrica.

Cables de fibra óptica dieléctricos autosoportados:

- Elemento Resistente Central (ERC): Plástico reforzado con fibra de vidrio y asilado con polietileno en caso de necesidad.
- Fibras ópticas contenidas en tubos holgados de PBT rellenos de compuesto hidrófugo.
- Elementos pasivos de relleno en caso de necesidad.
- Tubos holgados y elementos pasivos cableados en SZ alrededor del ERC.
- Los espacios vacíos del núcleo óptico se rellenan con un gel para garantizar la estanqueidad.
- Cubierta interior de polietileno
- Refuerzo dieléctrico: hilatura de aramida.
- Cubierta exterior de polietileno negro resistente al efecto tracking hasta potenciales incluidos de 12 kV según IEEE P1222.

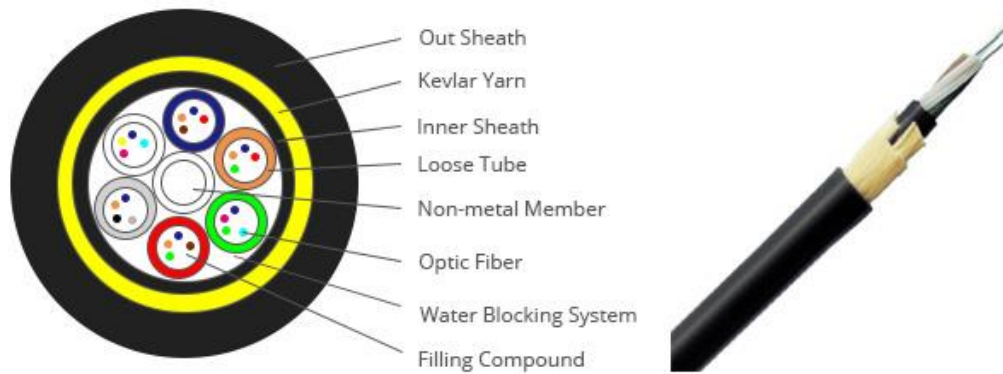


Figura 50: Cable fibra óptica.

7.2 Red de acceso

En este apartado, se explicaran y se mostraran las simulaciones realizadas y se explicará cómo se han tomado las decisiones para cubrir a todas las poblaciones y poder dar servicio de banda ancha.

Para la elección de la tecnología que se va a usar, primeramente se han tenido en cuenta el uso de frecuencias libres o licenciadas. A continuación se mostrará la comparación entre sus ventajas e inconvenientes:

- Bandas licenciadas: para transmitir en estas frecuencias es necesario el pago de una tasa por el uso del espectro radioeléctrico, pero el uso es exclusivo, lo que hará que no se tenga interferencias.
- Bandas libres: su principal ventaja es que no se necesita ninguna licencia para transmitir (simplemente cumplir con la normativa de transmisión de potencia), por lo que es mucho más barato que la banda licenciada. Aunque como no se tiene uso exclusivo, puede que se tengan interferencias.

Debido a la baja densidad de clientes, a que cumpliendo con la normativa de máxima potencia transmitida en frecuencias libres podemos cubrir todas las poblaciones, y a que con tecnologías trabajando en estas frecuencias se puede alcanzar la velocidad de transmisión deseada, se ha decidido usar las frecuencias libres para reducir los costes.

Existen dos bandas de frecuencia en las que no se necesita licencia, que son la banda de 2,4 GHz y la banda de 5GHz. Para este proyecto hemos elegido la banda de 5GHz, ya que las prestaciones de esta banda son más ventajosas para las condiciones (distancia y ancho de banda) de este proyecto.

Cumpliendo las normas de la ETSI de emisión de potencia, lo que limita el alcance de la señal (unos 6-7 Km como máximo) y comprobando que haya visibilidad directa entre las poblaciones y los CTs, se ha decidido desde que CT recibirá cada población la señal. Una vez decidido a que poblaciones se dará servicio desde cada CT, se realiza una sectorización del área dependiendo de la capacidad de transmisión de las antenas seleccionadas. En este caso

las antenas sectoriales, que más adelante se explicaran, cubren un área de 90°. La cantidad de antenas por CT se selecciona dependiendo del número de clientes a los que hay que dar servicio y de la posición en la que estén las poblaciones en relación al CT del que vayan a recibir la señal. En las siguientes imágenes se muestra una simulación global de la cobertura que tendría cada CT, usando antenas sectoriales.

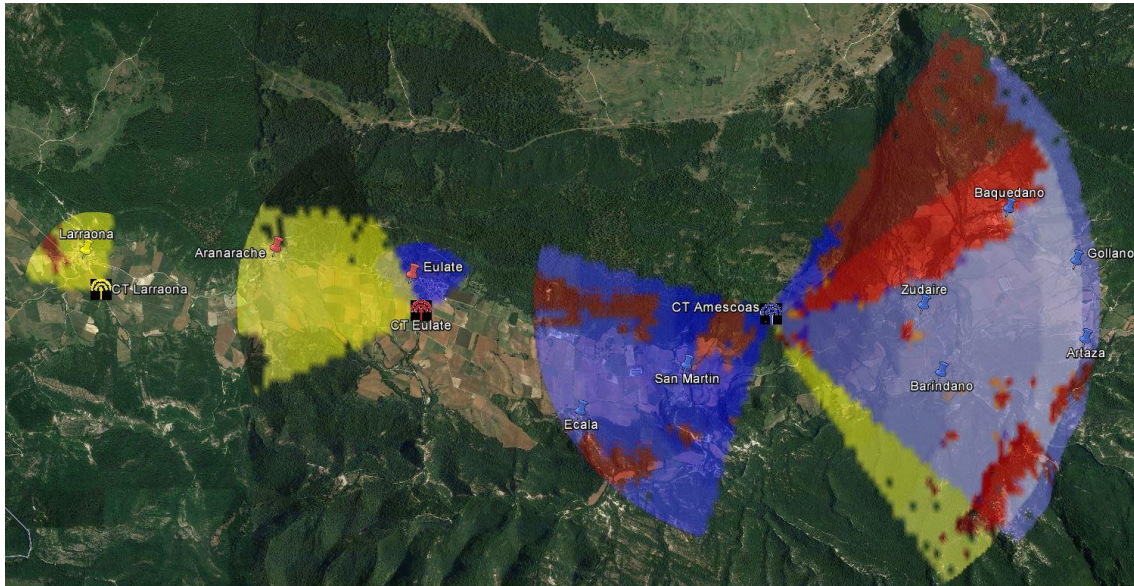


Figura 51: Cobertura sectores Zona 1 Tierra Estella

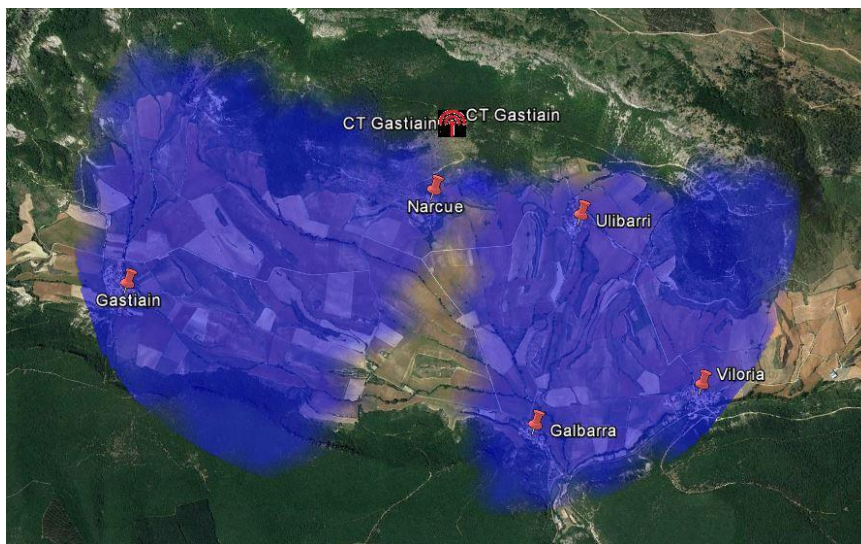


Figura 52: Cobertura sectores Valle de Lana (Zona 2 Tierra Estella)

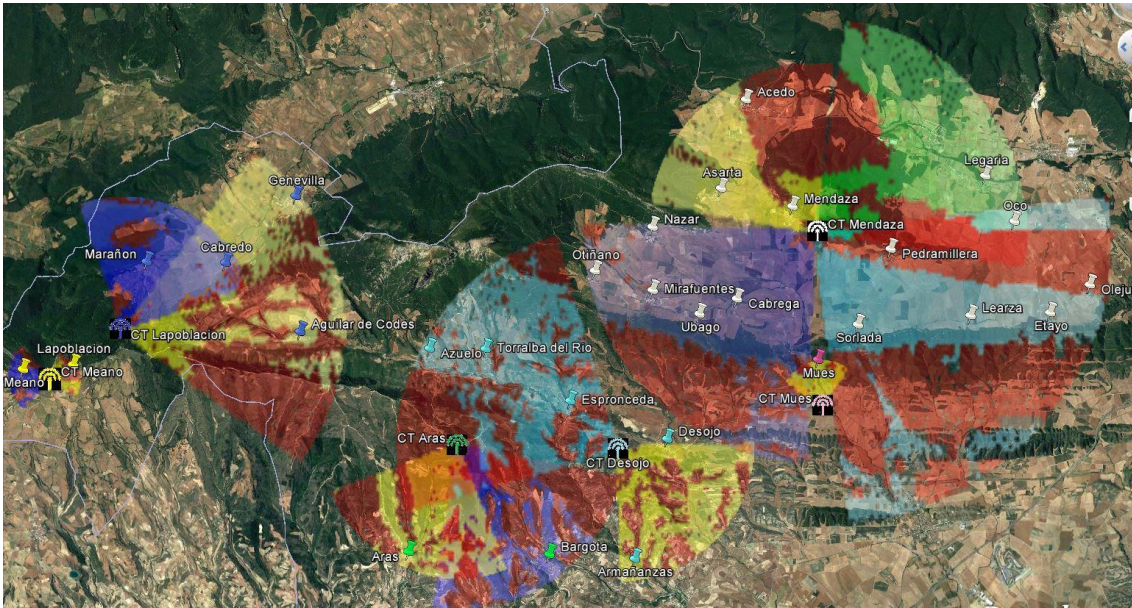


Figura 53: Cobertura sectores Zona 2 Tierra Estella

Como se puede ver en las imágenes, los diferentes colores representan el área de cobertura que tendría cada sector. El color rojo que aparece en los sectores representa las “zonas en sombra”, producidas por el relieve. La potencia de transmisión de las antenas sectoriales es la máxima permitida por la ITU, 36dBm para la banda de 5,8 GHz, y 30 dBm para la banda de 5,4 GHz, se utiliza la máxima potencia para asegurar una cobertura de calidad. Para cubrir a las poblaciones se transmitirá desde los siguientes puntos:

- Cobertura Larraona

Desde el CT de Larraona, se dará cobertura únicamente a la población de Larraona, tras hacer cálculos de la cantidad de posibles clientes en esta población se ha decidido que con una antena sectorial se puede cubrir a todos los clientes.

Zona Tierra Estella 1						
Estacion	Sector	Poblacion	Habitantes	Estimación viviendas (2,5Hab)	Estimación penetración (50%)	Clientes por estación
CT Larraona	1	Larraona	116	46,4	23,2	24

Figura 54

- Cobertura Aranarache

En el centro de telecomunicaciones de Aranarache se instalarán dos antenas sectoriales, una que cubra el pueblo de Aranarache y otra que cubra Eulate.

Zona Tierra Estella 1						
Estacion	Sector	Poblacion	Habitantes	Estimación viviendas (2,5Hab)	Estimación penetración (50%)	Clientes por estación
CT Aranarache	1	Eulate	315	126	63	79
	2	Aranarache	77	30,8	15,4	

Figura 55

- Cobertura Amescoas

En este CT habrá tres sectores, uno que dé cobertura a San Martín y Ecala, otro a Gollano y Zudaire y el último cubrirá las poblaciones de Artaza y Barindano. En el caso de estos dos últimos sectores, se utilizarán diferentes frecuencias de transmisión, uno a 5,4 GHz y otro a 5,8GHz, ya que están solapados.

Zona Tierra Estella 1						
Estacion	Sector	Poblacion	Habitantes	Estimación viviendas (2,5Hab)	Estimación penetración (50%)	Clientes por estación
CT Amescoas	1	Ecala	42	16,8	8,4	153
	1	San Martín	74	29,6	14,8	
	3	Barindano	94	37,6	18,8	
	2	Zudaire	230	92	46	
	3	Artaza	154	61,6	30,8	
	2	Gollano	34	13,6	6,8	
		Baquedano	135	54	27	

Figura 56

- Cobertura Mendaza

Desde este centro de telecomunicaciones se transmitirá con cuatro antenas sectoriales, con cuatro sentidos diferentes (noreste, noroeste, sureste y suroeste). La poblaciones que cubre el primer sector son: Legaria y Oco, el segundo sector: Etayo, Learza y Sornada, el tercer sector: Nazar, Cábrega, Ubago, Mirafuentes y Otiñano, y el cuarto sector: Mendaza y Asarta.

Zona Tierra Estella 2						
Estacion	Sector	Poblacion	Habitantes	Estimación viviendas (2,5Hab)	Estimación penetración (50%)	Clientes por estación
CT Mendaza	1	Otiñano	21	8,4	4,2	173
	1	Mirafuentes	54	21,6	10,8	
	1	Nazar	45	18	9	
	1	Ubago	32	12,8	6,4	
	1	Cábrega	6	2,4	1,2	
	2	Sornada	71	28,4	14,2	
	3	Asarta	52	20,8	10,4	
	3	Mendaza	102	40,8	20,4	
		Acedo	132	52,8	26,4	
		Pedramillera	43	17,2	8,6	
	2	Learza	6	2,4	1,2	
	2	Etayo	73	29,2	14,6	
		Olejua	52	20,8	10,4	
	4	Oco	66	26,4	13,2	
	4	Legaria	106	42,4	21,2	

Figura 57

- Cobertura Mues

Para la población de Mues se utilizara un único sector.

Zona Tierra Estella 2						
Estacion	Sector	Poblacion	Habitantes	Estimación viviendas (2,5Hab)	Estimación penetración (50%)	Clientes por estación
CT Mues	1	Mues	75	30	15	15

Figura 58

- Cobertura Desojo

En este CT habrá dos sectores, uno que cubra las poblaciones de Desojo y Armañanzas, y otro sector que dará cobertura a Espronceda, Azuelo y Torralba del Rio. Debido a que los sectores no están solapados, no es necesario transmitir en diferente frecuencia.

Zona Tierra Estella 2						
Estacion	Sector	Poblacion	Habitantes	Estimación viviendas (2,5Hab)	Estimación penetración (50%)	Clientes por estación
CT Desojo	1	Desojo	83	33,2	16,6	80
	1	Espronceda	119	47,6	23,8	
	1	Azuelo	37	14,8	7,4	
	1	Torralba del	99	39,6	19,8	
	2	Armañanzas	61	24,4	12,2	

Figura 59

- Cobertura Aras

Desde este CT, se dará cobertura a Aras y Bargota, debido a su situación geográfica es necesario la instalación de dos sectores. Aunque parte de los sectores están solapados, a cada población solo llega potencia de su sector, por tanto no es necesario transmitir a diferente frecuencia.

Zona Tierra Estella 2						
Estacion	Sector	Poblacion	Habitantes	Estimación viviendas (2,5Hab)	Estimación penetración (50%)	Clientes por estación
CT Aras	1	Aras	184	73,6	36,8	96
	2	Bargota	295	118	59	

Figura 60

- Cobertura Lapoblación

Para cubrir las poblaciones desde este centro se utilizaran dos sectores, uno que dé cobertura a Marañón y Cábredo, y otro para las poblaciones de Genevilla y Aguilar de Codés.

Zona Tierra Estella 2						
Estacion	Sector	Poblacion	Habitantes	Estimación viviendas (2,5Hab)	Estimación penetración (50%)	Clientes por estación
CT Lapoblacion	1	Marañon	51	20,4	10,2	64
	1	Cabredo	102	40,8	20,4	
	2	Genevilla	73	29,2	14,6	
	2	Aguilar de Co	94	37,6	18,8	

Figura 61

- Cobertura Meano

En este centro se instalara una antena sectorial que dará cobertura a Meano.

Zona Tierra Estella 2						
Estacion	Sector	Poblacion	Habitantes	Estimación viviendas (2,5Hab)	Estimación penetración (50%)	Clientes por estación
CT Meano	1	Meano	110	44	22	29
		Lapoblacion	31	12,4	6,2	

Figura 62

- Cobertura Gastiain

Para cubrir las poblaciones desde este centro se utilizaran dos sectores, uno que dé cobertura a Gastiain y Narcué, y otro para las poblaciones de Ulibarri, Vitoria, Galbarra.

Zona Tierra Estella 2						
Estacion	Sector	Poblacion	Habitantes	Estimación viviendas (2,5Hab)	Estimación penetración (50%)	Clientes por estación
CT Gastiain	1	Gastiain	61	24,4	12,2	37
	1	Narcue	19	7,6	3,8	
	2	Ulibarri	22	8,8	4,4	
	2	Vitoria	35	14	7	
	2	Galbarra	45	18	9	

Figura 63

Los casos en los que las poblaciones no pertenezcan a ningún sector, se debe a que no reciben buena cobertura y habrá que plantear una solución alternativa, que más adelante se comentará.

Para realizar estos cálculos de la posible cantidad de clientes por población se ha realizado una estimación de 2,5 habitantes por vivienda, y además se estima que el 50% de la población estarían interesados en la contratación de servicios de banda ancha.

7.2.1 Equipos

Los equipos seleccionados para la red de acceso, son de la empresa “Radwin”, en concreto el modelo “5000 JET” [21], se trata de una solución punto a multipunto que trabaja en bandas no licenciadas (sub- 6 GHz). Trabaja con un sistema propietario, similar a WiMax.

Aunque existen otras empresas como “Ubiquiti”, “Cambium” o “Proxim”, se ha decidido usar los equipos de Radwin porque son equipos de alta gama, y son especialista en este tipo de tecnologías. Sus equipos (que a continuación serán detallados), presentan una buena fiabilidad de funcionamiento y duración ya que tienen unas buenas características. Además esta empresa dispone de programas de simulación con las características de sus equipos que facilita el diseño de la red, haciendo que la solución planteada sea más clara y fiable.

Se utilizará una canalización de 40 MHz por canal, y la comunicación entre la estación base y el cliente será simétrica.

Respecto a la estación base sus principales características son (más detalles en Anexo II):

- Formación de haces inteligentes, lo que aumenta la capacidad, el alcance y la robustez del enlace. Esta característica es una ventaja diferenciadora con el resto de equipos del mercado. Este sistema consiste en modelar el haz de la antena (de la estación base) para crear haces más directivos (personalizados a la localización de cada cliente) y poder recibir una señal más limpia, lo que permite un funcionamiento más fiable (se producen menos errores) y de mejor calidad de comunicación.



Figura 64: Beamforming

- Alcanza una velocidad de transmisión de hasta 350 Mbps por sector empleando canalizaciones con un ancho de banda de 40 MHz.
- Radio multibanda: 3,3-3,8/3,65 GHz o 4,9-5,8 GHz en la misma unidad.
- Transmisión en sectores (90°). Cada sector puede dar servicio como máximo a 64 usuarios.

En cuanto a la unidad de los suscriptores, sus características son:

- Diversidad de unidades MIMO: Unidades para suscriptor poderosas: 10, 25, 50 Mbps, actualizables a 100 Mbps.
- Factor de forma pequeño para bajo impacto visual

7.3 Solución alternativa para poblaciones con problemas de cobertura

Como existen algunas poblaciones con problemas de cobertura, ya que están en zona de “sombra”, se ve necesario realizar una solución dedicada a cada una de estas poblaciones. Estas poblaciones son: Baquedano, Acedo, Piedramillera y Olejua.

La solución dedicada a cada una de estas poblaciones, consiste en construir un mini CT cerca de la población en una localización donde se tenga buena cobertura (haya visibilidad directa con el CT de donde recibirá la señal). Desde el mini CT del pueblo hasta un CT donde tengamos conexión con la red se realizará un radioenlace con la capacidad suficiente para dar servicio a la población. Estos radioenlaces se realizaran en frecuencias libres ya que sería muy costoso realizar un radioenlace dedicado para cada población con licencia, y además cubriría sin problemas los requisitos necesarios para estos radioenlaces. Y desde el nuevo centro construido, utilizando los equipos comentados anteriormente (Radwin PTMP) se dará cobertura a todas las viviendas del pueblo. Descripción casos concretos:

- Baquedano: Este pueblo tiene una parte que recibe buena señal, pero hay otra parte del pueblo que no tiene buena cobertura, por tanto, el mini CT se construirá en esta parte del pueblo (un punto cercano a estas coordenadas: 42°47'0.50"N 2° 7'5.64"O). Este centro recibirá la señal mediante radioenlace desde el CT de Amescoas (3,2 Km, distancia entre CTs).
- Acedo: Este pueblo está totalmente en “sombra”, pero cerca de esta población existe un camping que tiene buena visibilidad con el CT de Mendaza (3,7 Km de distancia), con lo que el mini CT o los equipos de telecomunicaciones se podrían instalar en el edificio principal del camping.
- Piedramillera: este pueblo se encuentra en una situación parecida a la de Acedo, ya que ninguna vivienda de la población recibe buena señal. Por tanto la solución es elegir el punto más cercano a la población (42°37'54.45"N 2°12'23.62"O) que tenga buena visibilidad con el CT emisor, y construir un mini CT desde el que se emitirá la señal punto a multipunto para dar servicio a la población. En este caso se realizará un radioenlace desde el CT de Mendaza (1,9 Km de distancia con mini CT).
- Olejua: Este pueblo tiene una parte que si recibe buena señal, pero la otra parte no recibe buena cobertura, por tanto, la solución consiste en construir un mini CT en esa parte de la población (42°37'21.91"N 2° 8'26.37"O). Este mini CT tendrá conexión (mediante radioenlace, de unos 7,1 Km de longitud de vano) con el centro de telecomunicaciones de Mendaza.
- Lapoblación: El pueblo inicialmente iba a recibir cobertura del CT de Meano, pero tras realizar simulaciones se comprobó que estaba en sombra por tanto, la solución consiste en construir un mini CT en una parte elevada de la población (42°36'20.85"N 2°27'31.32"O) donde se pueda dar cobertura a todo el pueblo. Este mini CT tendrá conexión (mediante fibra) con el centro de telecomunicaciones de Meano.

8 Presupuesto

PRESUPUESTO (Resumen)				
RESUMEN	DETALLE	IMPORTE	TOTAL	
CABLEADO	Cableado FO	5.907,84 €	36.477,82 €	
	Obra civil	24.416,00 €		
	Señalización vial	4.225,00 €		
	Seguridad y salud	1.040,63 €		
	Gestion de residuos	888,35 €		
RADIO	Equipos Radwin	Cobertura Larraona (1 Sector)	6.700,00 €	167.500,00 €
		Cobertura Aralarache (2 Sectores)	13.400,00 €	
		Cobertura Amescoas (3 Sectores)	20.100,00 €	
		Cobertura Lapoblacion (2 Sectores)	13.400,00 €	
		Cobertura Gastiaín (2 Sectores)	13.400,00 €	
		Cobertura Meano (1 Sector)	6.700,00 €	
		Cobertura Aras (2 Sectores)	13.400,00 €	
		Cobertura Mues (1 Sector)	6.700,00 €	
		Cobertura Desojo (2 Sectores)	13.400,00 €	
		Cobertura Mendaza (4 Sectores)	26.800,00 €	
		Cobertura poblaciones sombra (5 Sectores)	33.500,00 €	
		Equipos NEC	Radioenlace Estella-Echavarri	
	Radioenlace Echavarri-Amescoas		17.960,00 €	
	Radioenlace Amescoas-Aranarache		9.800,00 €	
	Radioenlace Amescoas-Larraona		9.800,00 €	
	Radioenlace Viana-Meano		21.000,00 €	
	Radioenlace Ancin-Mendaza		16.520,00 €	
	Radioenlace Mendaza-Gastiaín		15.000,00 €	
	Radioenlace Mendaza-Desojo		21.000,00 €	
	Radioenlace Mendaza-Aras		21.000,00 €	
Radioenlace Desojo-Mues	10.700,00 €			
Infraestructuras nuevas	Mini CT Acedo	10.687,00 €	64.122,00 €	
	Mini CT Lapoblación	10.687,00 €		
	Mini CT Piedramillera	10.687,00 €		
	Mini CT Olejua	10.687,00 €		
	Mini CT Baquedano	10.687,00 €		
	CT Echávarri	10.687,00 €		
			428.839,82 €	

En esta tabla se muestra un resumen del presupuesto, está dividido en dos apartados, el presupuesto de la obra e instalación del tramo de fibra óptica que se realizará en Lapoblación y por otra parte el presupuesto del suministro e instalación de los equipos radio.

El precio total son 433.502,22 €.

Con este proyecto se dará servicio a un total de 3728 habitantes repartidos en 44 poblaciones.

En las siguientes tablas se muestra los dos capítulos del presupuesto en detalle:

PRESUPUESTO FIBRA							
CAPITULO 1 CABLEADO F.O							
RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
SUMINISTRO Y TENDIDO MANUAL DE CABLE DE 64 F.O Tendido manual de cable de 64 fibras monomodo (32 fo x G.655 C + 32 fo x G.652 D), para exteriores con protección antirroedores y estructura holgada en canalización existente. Medida la longitud instalada (según medidas de reflecto métrica de la instalación instalada), incluido etiquetado, remate de arquetas, sellado de conductos y transporte y retirada de las bobinas. El precio de esta unidad es el mismo tanto si esta es ejecutada en horario diurno o nocturno		2.500,00			2500	1,30	3.250,00
SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CAJAS DE EMPALME Suministro e instalación de torpedo de empalme y segregación de tipo FIST-GCO2 BC6, completo, con soporte tipo FIST-MO-BRA4-FIX-S, kit de sellado termorretráctil y bandejas de empalme ti-po FIST-SOSA2-4SE equipado con las bandejas necesarias para albergar hasta 224 fusiones (8 fusiones por bandeja), correctamente instalado, identificado y etiquetado.	1				1	618,00	618,00
FUSIONES Y MEDIDAS Empalme (fusión de 2 fibras) y medidas bidireccionales en 2 longitudes de onda (1.310nm y 1.550 nm para fibra ITU-T G.652D y/o 1.550 nm y 1.625 nm para fibra ITU-T G.655 C), en ambos sentidos de una fibra en paso o en segregación, en caja de empalme exterior (en arqueta en puntas) o en repartidor óptico (en conector), incluida preparación del cable. El precio de esta unidad es el mismo tanto si esta es ejecutada en horario diurno o nocturno.	24				24	14,06	337,44
SUMINISTRO E INSTALACIÓN COMPLETA BANDEJA RACK EXTRAIBLE 24 F.O. Medidas bidireccionales en 2 longitudes de onda (1.310nm y 1.550 nm para fibra ITU-T G.652D y/o 1.550 nm y 1.625 nm para fibra ITU-T G.655 C), en ambos sentidos de una fibra. Suministro e instalación de repartidor óptico modular con frontal extraible y posibilidad de limpieza de conectores desde el frente, con adaptadores SC totalmente instalado.	2				2	851,20	1.702,40
							5.907,84
CAPITULO 2 OBRA CIVIL							
RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
MICROZANJA DE 0.08 x 0.40 m Microzanja ejecutada tanto en horario diurno como nocturno y de dimensiones 0,08 x 0,40 m., ejecutada con máquina zanjadora-aspiradora y con sistema de almacenamiento en el propio vehículo, modelo "CLEAN-FAST" de Marais" o similar (camión zanjador-aspirador con dispositivo de almacenamiento y vertido de restos de fresado, equipando todo ello en un mismo vehículo), incluso equipos humanos y traslado de equipos para desarrollar dicha labor, y p.p. de alquiler de contenedores para vertido en estos de restos de fresados, debiéndose colocar estos en lugares que no afecten al tráfico, detección previa mediante georadar de posibles infraestructuras a afectar, debiéndose también localizar los cruces con otros servicios, y la restitución de aquellos servicios o elementos afectados (bionda, hitos, cableado aforos...). Los tiempos para vertido de los restos del fresado, así como el traslado del equipo a los contenedores y el incremento de los costes por minoración de rendimientos no serán de abono.		1.700,00			1700	13,89	23.613,00
ARQUETA DE TELECOMUNICACIONES TIPO "DF", CON MARCO Y TAPA. Arqueta prefabricada de telecomunicaciones, de hormigon armado, de dimensiones exteriores 1290X1090X1000mm. Suministro y colocación de marco de acero galvanizado en caliente y tapa de hormigon armado, formada por cuatro modulos.	1				1	803,00	803,00
							24.416,00
CAPITULO 3 SEÑALIZACIÓN VIAL							
RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
SEÑALIZACIÓN DE OBRA EN EJECUCIÓN DE MICROZANJA Y CANALIZACIÓN. Señalización de obra necesaria para la ejecución de la FASE nº 3 de esta, en la realización de microzanja y canalizaciones, tendido de tritubo, adosado de tritubo así como el soporte metálico a estructuras viarias, rellenos de microzanja, reposición de pavimentos y cunetas, adecuación de zonas ajardinadas, marcas viales horizontales y levantamiento topográfico		2.500,00			2500	1,36	3.400,00
SEÑALIZACIÓN DE OBRA EN EJECUCIÓN DE TENDIDO CABLE Y FUSIÓN F.O. Señalización de obra necesaria para la ejecución de la FASE nº 4 de esta, en la realización de tendido de fibra óptica, instalación de cajas de empalme, fusiones de F.O., segregaciones, instalación de obturadores y pruebas reflectométricas, así como de almacenamiento de bobinas.		2.500,00			2500	0,33	825,00
							4.225,00
CAPITULO 4 SEGURIDAD Y SALUD							
RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
SEGURIDAD Y SALUD					1	1.040,63	1.040,63
							1.040,63
CAPITULO 5 GESTION DE RESIDUOS							
RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CANON DE VERTEDERO DE INERTES		1.700,00	0,08	0,40	54,4	16,33	888,35
							888,35

PRESUPUESTO RADIO			
EQUIPOS NEC			
RESUMEN	UNIDADES	PRECIO	IMPORTE
Radioenlace Estella-Echavarri Equipos radio trabajando a 23 GHz, en un sistema 2+0 XPIC. Antenas con diametro de 1,2m.	1	15.960,00 €	15.960,00 €
Radioenlace Echavarri-Amescoas Equipos radio trabajando a 18 GHz, en un sistema 2+0 XPIC. Antenas con diametro de 1,2m.	1	15.960,00 €	15.960,00 €
Radioenlace Amescoas-Aranarache Equipos radio trabajando a 18 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 1m.	1	7.800,00 €	7.800,00 €
Radioenlace Amescoas-Larraona Equipos radio trabajando a 18 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 1m.	1	7.800,00 €	7.800,00 €
Radioenlace Viana-Meano Equipos radio trabajando a 8 GHz, en un sistema 2+0 XPIC. Antenas con diametro de 1,2m.	1	19.000,00 €	19.000,00 €
Radioenlace Ancin-Mendaza Equipos radio trabajando a 18 GHz, en un sistema 2+0 XPIC. Antenas con diametro de 1m.	1	14.520,00 €	14.520,00 €
Radioenlace Mendaza-Gastiain Equipos radio trabajando a 8 GHz, en un sistema 1+0. Antenas con diametro de 1,2m.	1	13.000,00 €	13.000,00 €
Radioenlace Mendaza-Desojo Equipos radio trabajando a 18 GHz, en un sistema 2+0 XPIC. Antenas con diametro de 1,2m.	1	19.000,00 €	19.000,00 €
Radioenlace Mendaza-Aras Equipos radio trabajando a 8 GHz, en un sistema 2+0 XPIC. Antenas con diametro de 1m.	1	19.000,00 €	19.000,00 €
Radioenlace Desojo-Mues Equipos radio trabajando a 18 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 1m.	1	8.700,00 €	8.700,00 €
Instalacion cada radioenlace Replanteo, instalación, aceptación vano, completo (medida RFC-2544 y prueba VER-24 horas). En configuración 2+0 XPIC o 1+0.	10	2.000,00 €	20.000,00 €
			160.740,00 €
EQUIPOS RADWIN			
RESUMEN	UNIDADES	PRECIO	IMPORTE
Antena sectorial estacion base. Estacion base compacta para exteriores que incluye una antena formadora de haces MIMO 2X2, que cubre un sector de 90°.	25	6.000,00 €	150.000,00 €
Instalación cada sector	25	700,00 €	17.500,00 €
			167.500,00 €

CASETA MINI CT			
RESUMEN	UNIDADES	PRECIO	IMPORTE
SUMINISTRO E INSTALACION DE CASETA DE TELECOMUNICACIONES 1800x1800x2200 Caseta prefabricada de hormigón armado monobloque de dimensiones interiores libres 1800x1800x2200 mm. Sistema de redes de puesta a tierra de protección general exterior e interior, alojando interruptor General Magnetotérmico rearmable. Cuadro de protección, con circuitos efectuados en canalizaciones independientes compuesto por armario de superficie estanco. Armario Rack para soportar la electrónica. Torre de telecomunicaciones 15 m.	6	10.687,00 €	64.122,00 €
			64.122,00 €

9 Conclusiones y líneas futuras

9.1 Conclusiones

En este proyecto se han cumplido los objetivos marcados inicialmente:

- Diseñar una red para dar servicio de banda ancha al 100% de la población.
- Cumplir con los requisitos mínimos de servicio (30 Mbps).
- Diseñar la red buscando el presupuesto más ajustado.

Concretamente este proyecto está centrado en dar una solución de banda ancha cumpliendo los objetivos comentados para unas poblaciones situadas en la Zona de Tierra Estella en Navarra.

Para la realización del proyecto, inicialmente se realizó un estudio de la topografía, la distribución de las poblaciones y de las infraestructuras existentes. Tras realizar este estudio de la zona se decidió implantar una solución totalmente inalámbrica, ya que las poblaciones están muy dispersas, y además las viviendas de cada población tampoco están concentradas en un punto. Por lo que para la red de transporte no es económico hacer una infraestructura de red cableada, ya que al estar las poblaciones tan alejadas unas de otras sería muy costosa. Y la red de acceso está en una situación similar ya que realizar una red de distribución cableada en cada población tampoco sería económicamente viable. Por tanto, la red de transporte se basa en radioenlaces terrestres, y la red de distribución se trata de conexiones inalámbricas punto a multipunto, suponiendo una solución mucho más eficiente económicamente y que supone menos molestias a los habitantes de la zona.

Una vez decidida la tecnología a implantar, se realizó un primer diseño, utilizando programas de simulación como Radio Mobile o Sirenet y también se utilizó Google Earth. A continuación, se realizaron diferentes salidas a campo para comprobar la viabilidad de la solución planteada, ya que los programas utilizados no son del todo exactos con los datos del relieve. Estas salidas provocaron cambios en la solución debido a la inviabilidad de ciertas partes del diseño, o debido a que han surgido posibles mejoras al diseño. Finalmente se ha realizado una solución con el menor número de radioenlaces y antenas sectoriales posibles, lo que ha permitido abaratar el presupuesto.

9.2 Líneas futuras

Tras la aprobación del proyecto se espera que la solución diseñada sea instalada cuanto antes para poder dar servicio de banda ancha.

Como visión al futuro, si el servicio que se dé a partir del diseño realizado con este proyecto es satisfactorio, este trabajo puede servir de ejemplo para realizar más proyectos de este tipo ya que dentro del Escenario 5 existen muchos casos similares al de la zona de Tierra Estella.

Una vez realizados los proyectos, como son realizados por una empresa pública o entidades públicas (gobierno, ayuntamientos...), hay que estudiar el modo para que los operadores puedan usar esas infraestructuras y den servicios de banda ancha, siempre cumpliendo con la legalidad que marca la CNMC.

Cuando ya se consiga que los operadores den servicio, habrá que realizar una prospección para conocer qué servicios concretos se necesiten en entornos rurales como los del escenario 5. Estos servicios pueden ser aparte de los más comunes como datos o televisión, pueden ser la teleasistencia o el teletrabajo.

Bibliografía

- [1] Organisation for economic co-operation and development (OECD), *“Understanding the digital divide”*. 2001.
- [2] Mar Negreiro. European Parliamentary Research Service, *“Bridging the digital divide in the EU”*. Diciembre 2015.
- [3] European Commission DG Communications Networks, Content & Technology, *“The socio-economic impact of bandwidth”*. 2013.
- [4] M.Minges. World Development Report 2016: Digital Dividends, *“Exploring the Relationship Between Broadband and Economic Growth”*. 2015
- [5] R.Davies. European Parliamentary Research Service, *“Broadband infrastructure, Supporting the digital economy in the European Union”*. September 2015
- [6] Gobierno de Navarra, *“Plan Director de Banda Ancha Navarra”*. 2016.
- [7] M. Yardley, J. Obradors, P. Bates, A. Daly y M. Vrooblel, *“Policy orientations to reach the European Digital Agenda targets. Expert report for Telefónica and Telecom Italia”*. 23 mayo 2012. Ref: 33034-204
- [8] European Commission. [“https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/broadband-technologies”](https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/broadband-technologies). 22/07/2016 – 18.10.
- [9] Columbia Telecommunications Corporation, *“The State of the Art and Evolution of Cable Television and Broadband Technology”*. Noviembre, 2014.
- [10] H.Gruber, J. Hätönen, P. Koutroumpis, *“Broadband access in the EU: An assessment of future economic benefits”*. 14 agosto 2014
- [11] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, *“Notas UN CNAF 2013 (actualizado según Orden IET/614/2015)”*.
- [12] J. Ulm, T. Cloonan, M. Emmendorfer, J. Finklstein, J. Fioroni, *“Is Nielsen ready to retire? Latest developments in bandwidth capacity planning”*. 2014
- [13] Anacom, *“The evolution of NGA”*. 01/02/2011
- [14] Cardama, A. Cofre, L., Rius, J. Romeu, J. Blanch S. y Ferrando, M. (2004). Antenas. México: Alfaomega.
- [15] RECOMENDACIÓN UIT-R P.453-10. *Índice de refracción radioeléctrica: Su fórmula y datos sobre la refractividad*. http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.453-10-201202-I!!PDF-S.pdf
- [16] RECOMENDACIÓN UIT-R P.530-7. *Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa*. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-7-199708-S!!PDF-S.pdf
- [17] RECOMENDACIÓN UIT-R P.634-4. *Objetivos de característica de error y de disponibilidad para secciones digitales ficticias de referencia que constituyen un tramo o la totalidad de la parte de grado medio de una conexión de la red*

digital de servicios integrados a una velocidad binaria inferior a la velocidad primaria que utilizan los sistemas de radioenlaces digitales que forman parte de un circuito de alto grado dentro de una red digital de servicios integrados.

http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.634-4-199709-!!!PDF-S.pdf

- [18] RECOMENDACIÓN UIT-R P.1093-1. *Efectos de la propagación multitrayecto en el diseño y funcionamiento de los sistemas de radioenlaces digitales con visibilidad directa.* http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.1093-1-199709-S!!!PDF-S.pdf
- [19] Fernandez, J.J. (2008). *Diseño de un enlace de microondas y estación teledifusora.* Caracas.
- [20] http://www.nec.com/en/global/prod/nw/pasolink/products/ipasolink_VR2.html
- [21] RW5000/HBS-Pro/5BG5/F54/ETSI/JET/INT
http://www.radwin.com/contentManagement/uploadedFiles/Brochures/ES/RW5000JET_ES.pdf

Bibliografía Figuras

- Figura 1: European Commission DG Communications Networks, Content & Technology, "The socio-economic impact of bandwidth". 2013.
- Figura 2: OECD, "The impact of broadband on the economy". 2012
- Figura 3: Gobierno de Navarra, "Plan Director de Banda Ancha de Navarra". 2016
- Figura 4: M. Lattanzi, A. Graf,
<http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/expocomm/tutorial%20%20lattanzi%20y%20graf-%20ieee.pdf>
- Figura 5: B. Fu, <https://www.slideshare.net/benjaminfu/cable-access-developments>
- Figura 6: <https://es.slideshare.net/danyteleko/xdsl-2775193>
- Figura 7: https://es.wikipedia.org/wiki/Comarcas_de_Navarra
- Figura 8: Google Earth
- Figura 9: Google Earth
- Figura 10: Google Earth
- Figura 11: Cardama, A. Cofre, L., Ríus, J. Romeu, J. Blanch S. y Ferrando, M. (2004). Antenas. México: Alfaomega.
- Figura 12: Cardama, A. Cofre, L., Ríus, J. Romeu, J. Blanch S. y Ferrando, M. (2004). Antenas. México: Alfaomega.
- Figura 13: Cardama, A. Cofre, L., Ríus, J. Romeu, J. Blanch S. y Ferrando, M. (2004). Antenas. México: Alfaomega.
- Figura 14: Tipos de desvanecimiento. (2014).
<http://desvanecimientosradioenlaces.wikispaces.com/Tipos+de+Desvanecimiento>
- Figura 15: Tipos de desvanecimiento. (2014).
<http://desvanecimientosradioenlaces.wikispaces.com/Tipos+de+Desvanecimiento>

Figura 16: http://estructura7.rssing.com/chan-5843076/all_p70.html

Figura 17: Landaeta, S. y Channiel, J. (2008). Estudio de factibilidad de la expansión del backbone de la red SDH de Movistar existente entre Mtso San Cristóbal y Socopó. Caracas:

[http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/766/1/Estudio%20de%20factibilidad%20\(Ingenier%C3%ADa%20de%20Detalle%20de%20la%20Expansi%C3%B3n%20del%20Backbone%20de%20la%20Red%20SDH%20de%20Movi.pdf](http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/766/1/Estudio%20de%20factibilidad%20(Ingenier%C3%ADa%20de%20Detalle%20de%20la%20Expansi%C3%B3n%20del%20Backbone%20de%20la%20Red%20SDH%20de%20Movi.pdf)

Figura 18: Landaeta, S. y Channiel, J. (2008). Estudio de factibilidad de la expansión del backbone de la red SDH de Movistar existente entre Mtso San Cristóbal y Socopó. Caracas:

[http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/766/1/Estudio%20de%20factibilidad%20\(Ingenier%C3%ADa%20de%20Detalle%20de%20la%20Expansi%C3%B3n%20del%20Backbone%20de%20la%20Red%20SDH%20de%20Movi.pdf](http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/766/1/Estudio%20de%20factibilidad%20(Ingenier%C3%ADa%20de%20Detalle%20de%20la%20Expansi%C3%B3n%20del%20Backbone%20de%20la%20Red%20SDH%20de%20Movi.pdf)

Figura 19: RECOMENDACIÓN UIT-R P.530-7. Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-7-199708-S!!PDF-S.pdf

Figura 20: RECOMENDACIÓN UIT-R P.1093-1. *Efectos de la propagación multitrayecto en el diseño y funcionamiento de los sistemas de radioenlaces digitales con visibilidad directa.* http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.1093-1-199709-S!!PDF-S.pdf

Figura 21: <https://en.wikipedia.org/wiki/XPICKk>

Figuras 22-27: Fotografías CTs

Figura 28: Google Earth

Figura 29: Tabla Excel

Figuras 30-31: Microsoft Visio

Figura 32: http://www.alora-soluciones.es/newsletters/images/Boletin_10/Informacion_%20S_Fijo_banda_ancha.pdf

Figura 33: Aplicación Semibanda

Figuras 34-36: Documento NEC

Figuras 37-38: Google Earth

Figuras 29-48: Radio Mobile

Figura 49: Google Earth

Figura 50: <http://www.tarluz.com/es/products/cable-de-fibra-optica/>

Figuras 51-53: Google Earth

Figuras 54-63: Microsoft Excel

Figura 64: RW5000/HBS-Pro/5BG5/F54/ETSI/JET/INT

http://www.radwin.com/contentManagement/uploadedFiles/Brochures/ES/RW5000JET_ES.pdf

Anexo I - Radioenlaces

NEC PasolinkCalc Report

Date: 16/05/2017

Project: NASERTIC_May17

Page: 1

Link Name	Site A	CT Estella	CT Echavarri	CT Amescoas	CT Amescoas	
	Site B	CT Echavarri	CT Amescoas	CT Aranarache	CT Larraona	
Series		iPASOLINK	iPASOLINK	iPASOLINK	iPASOLINK	
RF Frequency		23G	18G	23G	18G	
BandWidth		56MHz	56MHz	56MHz	56MHz	
Modulation		2048QAM	512QAM	512QAM	512QAM	
Operation Mode		1+0	1+0	1+0	1+0	
Site A						
Latitude		42 41 31,00 N	42 43 39,00 N	42 46 23,15 N	42 46 23,15 N	
Longitude		2 03 54,00 W	2 03 10,00 W	2 09 22,15 W	2 09 22,15 W	
Elevation		766 m	789 m	994 m	994 m	
Main Antenna Height		39 m	30 m	32 m	32 m	
SD Antenna Height						
Main Antenna Diameter		1,2 m	1,2 m	0,9 m	0,9 m	
SD Antenna Diameter						
Main Antenna Gain		46 dBi	44,4 dBi	42,6 dBi	41 dBi	
SD Antenna Gain						
Cross Pol	IMF	Normal 30 27	Normal 30 27	Normal 30 27	Normal 30 27	
Site B						
Latitude		42 43 39,00 N	42 46 23,15 N	42 46 35,99 N	42 46 33,67 N	
Longitude		2 03 10,00 W	2 09 22,15 W	2 13 32,00 W	2 15 12,41 W	
Elavation		789 m	994 m	743 m	750 m	
Main Antenna Height		30 m	32 m	10 m	12 m	
SD Antenna Height						
Main Antenna Diameter		1,2 m	1,2 m	0,9 m	0,6 m	
SD Antenna Diameter						
Main Anntena Gain		46 dBi	44,4 dBi	42,6 dBi	38,7 dBi	
SD Antenna Gain						
Path Length		4,08 km	9,86 km	5,68 km	7,96 km	
Latitude (North,South)		<= 53 deg	<= 53 deg	<= 53 deg	<= 53 deg	
Geographical condition		Inland Link	Inland Link	Inland Link	Inland Link	
Type of terrain		Plains	Plains	Plains	Plains	
Longitude area		Europe/Africa	Europe/Africa	Europe/Africa	Europe/Africa	
Value of Climatic variables		20 %	20 %	20 %	20 %	
Fraction of path profile						
Rain zone	Rain Intensity	H 32 mm/h	H 32 mm/h	H 32 mm/h	H 32 mm/h	
Polarization		Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	
Tx Power		14 dBm	17 dBm	15 dBm	17 dBm	
Rx Threshold (10-6)		-54 dBm	-61,5 dBm	-62 dBm	-61,5 dBm	
System Gain		68 dB	78,5 dB	77 dB	78,5 dB	
Additional Loss		0,0 dB	0,0 dB	0,0 dB	0,0 dB	
Free Space Loss		132,6 dB	138,4 dB	135,7 dB	136,4 dB	
Receive Signal Level		-26,6 dBm	-32,6 dBm	-35,5 dBm	-39,7 dBm	
Flat Fade Margin		27,4 dB	28,9 dB	26,5 dB	21,8 dB	
Multipath-ITU(Outage)						
worst month		0,00000014	0,00000022	0,00000002	0,00000028	
worst month(sec/month)		0	1	0	1	
Annual		0,00000002	0,00000003	0,00000000	0,00000003	
Annual(sec/year)		1	1	0	1	
Rainfall-ITU(Outage)						
worst month		0,00006087	0,00015508	0,00014778	0,00021877	
worst month(sec/month)		158	402	383	567	
Annual		0,00000849	0,00002490	0,00002356	0,00003699	
Annual(sec/year)		264	775	733	1.151	
Total						
Annual		0,00000851	0,00002493	0,00002356	0,00003702	
Annual(sec/year)		265	775	733	1.151	
Annual Availability(%)		99,99914883	99,99750714	99,99764371	99,99629813	

NEC PasolinkCalc Report

Date: 03/06/2017

Project: NASERTIC_May17

Page: 1

Link Name	Site A	CT Viana	CT Mendaza	CT Mendaza	CT Mendaza	CT Mendaza
	Site B	CT Meano	CT Ancin	CT Gastain	CT Desojo	CT Aras
Series		iPASOLINK VR	iPASOLINK VR	iPASOLINK VR	iPASOLINK VR	iPASOLINK VR
RF Frequency		8G	18G	8G	18G	8G
BandWidth		56MHz	56MHz	56MHz	56MHz	56MHz
Modulation		2048QAM	2048QAM	2048QAM	2048QAM	2048QAM
Operation Mode		1+0	1+0	1+0	1+0	1+0
Site A						
Latitude		42 30 57,73 N		42 38 16,39 N	42 38 16,39 N	42 38 16,39 N
Longitude		2 22 17,64 W		2 13 37,77 W	2 13 37,77 W	2 13 37,77 W
Elevation		464 m	832 m	832 m	832 m	832 m
Main Antenna Height		12 m	33 m	33 m	33 m	33 m
SD Antenna Height						
Main Antenna Diameter		1,2 m	0,9 m	1,2 m	1,2 m	1,2 m
SD Antenna Diameter						
Main Antenna Gain		37,1 dBi	41 dBi	37,1 dBi	44,4 dBi	37,1 dBi
SD Antenna Gain						
Cross Pol	IMF	Normal 30 18	Normal 30 18	Normal 30 18	Normal 30 18	Normal 30 18
Site B						
Latitude		42 36 13,61 N		42 43 46,54 N	42 35 15,67 N	42 35 19,44 N
Longitude		2 27 56,79 W		2 15 15,67 W	2 17 21,52 W	2 20 22,20 W
Elevation		970 m	490 m	891 m	713 m	844 m
Main Antenna Height		20 m	12 m	21 m	21 m	20 m
SD Antenna Height						
Main Antenna Diameter		1,2 m	0,9 m	1,2 m	1,2 m	1,2 m
SD Antenna Diameter						
Main Antenna Gain		37,1 dBi	41 dBi	37,1 dBi	44,4 dBi	37,1 dBi
SD Antenna Gain						
Path Length		12,45 km	4,00 km	10,45 km	7,56 km	10,71 km
Latitude (North,South)		<= 53 deg	<= 53 deg	<= 53 deg	<= 53 deg	<= 53 deg
Geographical condition		Inland Link	Inland Link	Inland Link	Inland Link	Inland Link
Type of terrain		Hills	Hills	Hills	Hills	Mountains
Longitude area		Europe/Africa	Europe/Africa	Europe/Africa	Europe/Africa	Europe/Africa
Value of Climatic variables		20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
Fraction of path profile						
Rain zone	Rain Intensity	H 32 mm/h	H 32 mm/h	H 32 mm/h	H 32 mm/h	H 32 mm/h
Polarization		Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Tx Power		21 dBm	16 dBm	21 dBm	16 dBm	21 dBm
Rx Threshold (10-6)		-55,5 dBm	-54 dBm	-55,5 dBm	-54 dBm	-55,5 dBm
System Gain		76,5 dB	70 dB	76,5 dB	70 dB	76,5 dB
Additional Loss		2,0 dB	0,0 dB	2,0 dB	2,0 dB	2,0 dB
Free Space Loss		132,6 dB	130,1 dB	131,1 dB	135,9 dB	131,3 dB
Receive Signal Level		-39,4 dBm	-32,1 dBm	-37,9 dBm	-33,1 dBm	-38,1 dBm
Flat Fade Margin		16,1 dB	21,9 dB	17,6 dB	20,9 dB	17,4 dB
Multipath-ITU(Outage)						
worst month		0,00000166	0,00000001	0,00000678	0,00000039	0,00004196
worst month(sec/month)		4	0	18	1	109
Annual		0,00000018	0,00000000	0,00000098	0,00000004	0,00000800
Annual(sec/year)		6	0	30	1	249
Rainfall-ITU(Outage)						
worst month		0,00000348	0,00004565	0,00000087	0,00022183	0,00000110
worst month(sec/month)		9	118	2	575	3
Annual		0,00000032	0,00000610	0,00000006	0,00003759	0,00000008
Annual(sec/year)		10	190	2	1.169	3
Total						
Annual		0,00000049	0,00000610	0,00000104	0,00003763	0,00000809
Annual(sec/year)		15	190	32	1.170	252
Annual Availability(%)		99,99995065	99,99938978	99,99989598	99,99623706	99,99919130

NEC PasolinkCalc Report

Date: 03/06/2017

Project: NASERTIC May17

Page: 3

Link Name	Site A	CT Mues				
	Site B	CT Desojo				
Series	iPASOLINK VR					
RF Frequency	18G					
BandWidth	56MHz					
Modulation	2048QAM					
Operation Mode	1+0					
Site A						
Latitude	42 35 51,59 N					
Longitude	2 13 28,41 W					
Elevation	527 m					
Main Antenna Height	20 m					
SD Antenna Height						
Main Antenna Diameter	0,9 m					
SD Antenna Diameter						
Main Antenna Gain	41 dBi					
SD Antenna Gain						
Cross Pol	IMF	Normal	30	18		
Site B						
Latitude	42 35 15,67 N					
Longitude	2 17 21,52 W					
Elavation	713 m					
Main Antenna Height	21 m					
SD Antenna Height						
Main Antenna Diameter	0,9 m					
SD Antenna Diameter						
Main Antenna Gain	41 dBi					
SD Antenna Gain						
Path Length	5,42 km					
Latitude (North,South)	<= 53 deg					
Geographical condition	Inland Link					
Type of terrain	Hills					
Longitude area	Europe/Africa					
Value of Climatic variables	20 %					
Fraction of path profile						
Rain zone	Rain Intensity	H	32 mm/h			
Polarization	Vertical					
Tx Power	16 dBm					
Rx Threshold (10-6)	-54 dBm					
System Gain	70 dB					
Additional Loss	0,0 dB					
Free Space Loss	132,9 dB					
Receive Signal Level	-34,9 dBm					
Flat Fade Margin	19,1 dB					
Multipath-ITU(Outage)						
worst month	0,00000011					
worst month(sec/month)	0					
Annual	0,00000001					
Annual(sec/year)	0					
Rainfall-ITU(Outage)						
worst month	0,00014196					
worst month(sec/month)	368					
Annual	0,00002250					
Annual(sec/year)	700					
Total						
Annual	0,00002251					
Annual(sec/year)	700					
Annual Availability(%)	99,99774936					

Anexo II-Equipos Radwin

Folleto del producto **RADWIN 5000 JET PUNTO-A-MULTIPUNTO**



RADWIN 5000 JET
REDEFINIENDO LA CONECTIVIDAD
INALÁMBRICA PUNTO-A-
MULTIPUNTO EN BANDAS SUB-6 GHZ

Solución PtMP
con rendimiento
PtP
750 Mbps

RADWIN 5000 JET es una solución de formación de haces inteligentes punto-a-multipunto, excelente para operar en bandas sin licencia altamente congestionadas y bandas licenciadas donde los recursos de espectro son escasos. Entregando hasta 750 Mbps por sector, RADWIN 5000 JET es la elección ideal para conectividad de última milla y aplicaciones de alta gama que requieren SLA garantizado.

RADWIN

Características destacadas de RADWIN 5000 JET

Poderosa estación base para aplicaciones exigentes de banda ancha

- Estación base con antena de Beamforming inteligente
- Hasta 750 Mbps por sector, 3 Gbps por celda (4 sectores usando 2 x 80 MHz)
- Selección dinámica de ancho de banda de canal: 80/40/20 MHz
- SLA garantizado para cada usuario final
- Capacidad fijas y nómadas
- Baja fluctuación
- Largo alcance: 40 km (25 millas)
- Sincronización de radio TDD para mayor capacidad de red
- Receptor GPS incorporado para sincronización

Diversidad de unidades MIMO para suscriptor

- Unidades para suscriptor de ultra capacidad: 250 y 100 Mbps (QAM 256)
- Unidades para suscriptor poderosas: 10, 25, 50 Mbps, actualizables a 100 Mbps
- Modalidad Pay as you grow
- Factor de forma pequeño para bajo impacto visual

Compatible con dispositivos anteriores

- Compatible con la base ya instalada de RADWIN 5000 anteriores en todo el mundo
- Coexiste con las soluciones punto-a-punto de RADWIN

• Radio multibanda

- 3,3-3,8/3,65 GHz o 4,9-5,8 GHz en la misma unidad

FORMACIÓN DE HACES DISRUPTIVA DE RADWIN

Características destacadas de la formación de haces RADWIN

- Estación base con factor de forma pequeño (radio de sector) con antena con beamforming inteligente
- Direccionamiento de la antena para mejor desempeño en un sector de 90°
- Haz angosto efectivo de 8° @ 5,x GHz, 15° @ 3,x GHz
- OFDM, MIMO 2x2/diversidad

Beneficios de la formación de haces RADWIN

- Alta inmunidad a la interferencia, similar a punto-a-punto (debido a la antena direccional de haz angosto)
- El rendimiento más alto de la industria
- Capacidad mejorada en los bordes de la celda
- Reutilización de frecuencia optimizado -2
- Operación robusta en nLOS/NLOS
- Planificación de red simplificada

WIN

APLICACIONES DE RADWIN 5000 JET

OPERADORES E ISP

RADWIN 5000 JET es un excelente generador de utilidades para operadores e ISP que desean implementar acceso y backbone carrier class de FiberClass Wireless™ en bandas licenciadas y sin licenciar sub-6 GHz para:

- Conectividad de última milla
- Reemplazo de redes WiMAX
- Extensión FTTH
- Respaldo de fibra óptica
- Backbone de puntos de acceso Wi-Fi
- Backbone DSLAM
- Backbone de microceldas o picoceldas: hay disponible una versión dedicada de RADWIN 5000 JET para funcionar en entornos de backbone NLOS urbanos complejos.



REDES GUBERNAMENTALES Y EMPRESARIALES

RADWIN 5000 JET, impulsado por una tecnología de formación de haces especial, ofrece la infraestructura inalámbrica de banda ancha para redes gubernamentales, empresariales y de seguridad pública, necesaria para trabajar en áreas urbanas o suburbanas con espectro congestionado semi-licenciado o sin licencia. RADWIN 5000 JET reduce dramáticamente el costo total de propiedad y asegura conectividad estable y confiable para las siguientes aplicaciones:

- Conectividad para vigilancia en video de alta definición
- Conectividad edificio a edificio de largo alcance
- Aplicaciones de banda ancha de misión crítica
- Transmisión de datos SCADA en tiempo real
- Monitoreo y control industrial y de infraestructura (petróleo, gas, servicios públicos)
- Reemplazo de líneas dedicadas

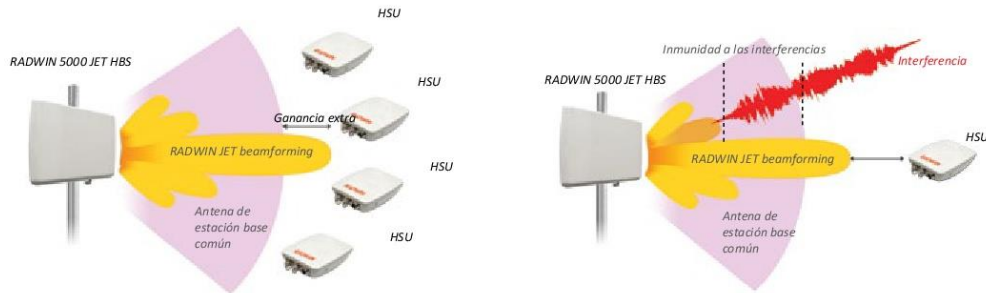


RADWIN 5000 JET: SOLUCIÓN DE FORMACIÓN DE HACES INTELIGENTES

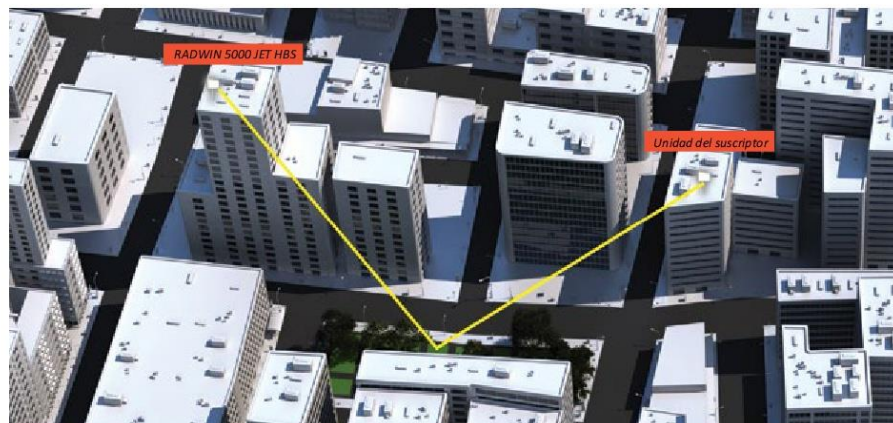
RADWIN 5000 JET es una innovadora solución punto-a-multipunto, que incorpora una antena MIMO de formación de haces disruptiva en la estación base, lo que redefine el desempeño del acceso inalámbrico de banda ancha.

La antena formadora de haces de RADWIN 5000 JET está compuesta de una matriz de elementos de antena que se combinan para generar un haz angosto y orientable. La solución de beamforming ofrece ventajas únicas.

- » **Mayor ganancia de la antena y el sistema**
Aumenta la capacidad, el alcance y la robustez del enlace.
- » **Inmunidad a las interferencias mejorada, similar a PtP**
como resultado de reemplazar el haz ancho de las antenas de sector comunes con una antena de haz angosto.



- » **Mayor reutilización de frecuencia**
El haz angosto creado por la antena formadora de haces reduce el nivel de interferencia mutua entre los sectores y sitios adyacentes. Se requiere menos espectro y se simplifica la planificación de la red.
- » **Operación excelente en condiciones nLOS/NLOS**
La antena formadora de haces puede ser orientada al punto de reflexión óptimo para obtener el mejor enlace posible.



BENEFICIOS CLAVE DEL PRODUCTO

La mayor capacidad de sector real para garantizar la mejor experiencia del usuario

La estación base RADWIN 5000 JET proporciona potencia de transmisión fija y alta en todas las modulaciones. Al combinarse con una antena formadora de haces de alta ganancia e inmune a las interferencias, RADWIN 5000 JET entrega la mayor capacidad de subida y bajada por enlace, especialmente en espectro congestionado sin licencia. Al compararse con las soluciones punto-a-multipunto convencionales, RADWIN 5000 JET cubre cuatro veces la distancia para la misma capacidad de bajada y el doble para la misma capacidad de subida.

Mayor capacidad de red por espectro

RADWIN 5000 JET proporciona la mayor capacidad de red por espectro usado: Solo se requieren dos canales de frecuencia para implementar una red celular múltiple, cada celda abarcando 4 sectores. Como resultado, en la banda de 5,x GHz, dos canales de 80 MHz pueden producir la tremenda capacidad de celda de hasta 3 Gbps al usar JET con QAM 256, logrando una eficiencia de espectro de 18 bps/Hz/celda. Por lo tanto, RADWIN 5000 JET es la mejor solución al afrontar falta de espectro (por ejemplo, en bandas licenciadas como 3,5 GHz o en bandas sin licencia congestionadas).

Interfaz radio especial para el rendimiento de enlace más robusto

RADWIN 5000 JET asegura el rendimiento del enlace manejando el esquema individual de transmisión de cada unidad remota. Por ejemplo, el ancho de banda de canal de subida y bajada (80, 40 o 20 MHz) y la configuración de la antena (MIMO 2x2 o modo diversidad) se selecciona dinámicamente en cada unidad remota para lograr la mayor capacidad posible. Se usa Fast ARQ (Automatic Replay upon reQuest) para garantizar transmisiones sin errores, incluso en las condiciones de espectro más adversas.



Rango completo de tráfico asimétrico

RADWIN 5000 JET puede proporcionar más del 90% del tráfico del canal ya sea en dirección de subida o de bajada. Esta capacidad es ideal para aplicaciones completamente asimétricas (por ejemplo, vigilancia en video, IPTV) al igual que tráfico simétrico.

Contrato de nivel de servicio seguro (SLA) para aplicaciones exigentes

La asignación dinámica de ancho de banda (DBA) de RADWIN maximiza de forma óptima el rendimiento para los usuarios activos que exigen varios niveles de servicio, por ejemplo, velocidad mínima garantizada (CIR) o mejor esfuerzo.

La sincronización TDD habilita implementaciones densas con desempeño máximo

La estación base RADWIN 5000 JET permite sincronización TDD para todos los sectores colocados dentro de un sitio. Esta sincronización previene la interferencia mutua y aumenta la capacidad y alcance de la red, mientras se ahorra espacio en la torre y se cuida el espectro de banda. Para la sincronización entre sitios vecinos, la estación base RADWIN incorpora un receptor y una antena GPS, reduciendo la cantidad de equipos necesarios.

Compatible con la base ya instalada de RADWIN 5000

RADWIN JET puede colocarse con las estaciones base RADWIN 5000 y asociarse con la base instalada de HSU existentes para una fácil expansión de las redes RADWIN 5000.

COMPONENTES INALÁMBRICOS RADWIN 5000 JET

La estación base y las unidades para suscriptor RADWIN 5000 JET son robustecidas y cumplen con IP67 para operación de larga duración en condiciones difíciles. Funcionando a 4,9-5,8 GHz y 3,3-3,8/3,65 GHz, las unidades de radio cumplen con las regulaciones líderes del mercado. Todas las unidades de radio tienen bajo consumo de energía, alimentadas por Ethernet.

ESTACIONES BASE DE ALTA CAPACIDAD (HBS) RADWIN 5000 JET CON FORMACIÓN DE HACES DISRUPTIVA

La serie HBS RADWIN ofrece una estación base compacta para exteriores que incluye una antena formadora de haces MIMO 2x2, que cubre un sector de 90°.

- Funciona para aplicaciones fijas y nómadas.
- Suministro de energía por PoE o una unidad de agregación de datos dedicada (IDU-H).
- Incluye una antena y un receptor GPS incorporados para sincronización inter-sitio, simplificando el proceso de instalación.

Hay disponibles dos unidades HBS:

- Ultra-capacidad: Hasta 750 Mbps, opera en QAM 256 sobre un canal de 80 MHz
- Alta capacidad: Hasta 250 Mbps sobre un canal de 40 MHz

Unidades para suscriptor del alta capacidad (HSU) RADWIN 5000 JET

La serie HSU incluye:

- Ultra-capacidad, entregando 100 o 250 Mbps (compatible con QAM256)
- Unidades de alta capacidad y bajo impacto visual, que entregan hasta 100 Mbps.

La capacidad de la unidad se puede actualizar remotamente mediante una clave de software, permitiendo baja inversión inicial, a la vez que asegurando la capacidad de crecimiento futuro.



Especificaciones del producto

Máxima capacidad de red neta agregada

	Estación base		Unidades para suscriptor de alta capacidad			Unidades para suscriptor de ultra capacidad	
	750 Mbps (QAM256)	250 Mbps	10 Mbps	25 Mbps	50 Mbps	100 Mbps (QAM 256)	250 Mbps (QAM 256)
4,9 ¹ -5,8 GHz							
3,3-3,8 GHz/3,65 GHz		250 Mbps	10 Mbps	25 Mbps	50 Mbps		

Configuraciones de antena

4,9-5,8 GHz	Antena formadora de haces: 20 dBi (5,1 - 5,8GHz), 17 dBi (4,9GHz)	Int. 17 dBi, 23 dBi, Con.	Int. 17 dBi, 23 dBi, Con.	23 dBi, Con.	23 dBi, Con.	23 dBi, Con.
3,3-3,8 GHz/3,65 GHz	Antena formadora de haces 17 dBi	Int. 13 dBi, 20 dBi, Con.	Int. 13 dBi, 20 dBi, Con.	Int. 20 dBi, Con.		

Radio

Número de HSU por HBS	Hasta 32 ² HSU simultáneamente
Alcance	Hasta 40 km (25 millas)
Bandas de frecuencia	Radio multibandas con frecuencias de 4,9-5,8 GHz o 3,3-3,8/3,65 GHz
Ancho de banda de canal	Configurable: 10, 20, 40, 80 ³ MHz, en 3,x GHz: también 5, 7, 14 MHz
Selección dinámica de ancho de banda de canal (D-CBS)	20/40/80 ³ MHz
Esquema de acceso de radio	2x2 MIMO OFDM
Modulación	BPSK/QPSK/QAM16/QAM64/QAM256 ²
Modulación y codificación adaptativa	Compatible
Gestión SLA	CIR, MIR, Mejor esfuerzo ⁴
Latencia integral	Típico: 3,5 ms para 2 HSU, 20 ms para 32 HSU
Tecnología dúplex	TDD
Asignación de ancho de banda de subida/bajada	Configurable: Simétrico o asimétrico
Potencia máxima de transmisión	HBS: 25 dBm @ 5,x GHz, 23 dBm @ 3,x GHz (en todos los esquemas de modulación) HSU: 25 dBm
DFS (FCC y ETSI)	Compatible
Diversidad	Compatible en HBS y HSU, MIMO auto/Diversidad por HSU
Visor de espectro	Compatible con HBS y HSU
Sincronización TDD	Sincronización inter/intra sitio (coexiste con RADWIN 2000 PtP), antena y receptor GPS incorporados
Cifrado	AES 128

Interfaces

Interfaz Ethernet	HBS: Dos puertos para datos y administración, 10/100/1000BaseT HSU: 10/100BaseT
-------------------	--

Redes

Capa subconvergencia	Capa 2
QoS	Clasificación de paquetes en 4 colas de conformidad con 802.1p y Diffserv, prioridad estricta, TTL
VLAN	VLAN 802.1Q, QinQ y 4094

Administración

Aplicación de administración	HBS y HSU: Administrador RADWIN y administración basada en web
Protocolo	SNMPv1, SNMPv3, Telnet, HTTP, IPv4 & IPv6, RADIUS para servidor AAA
Aplicación NMS	RADWIN NMS (RNMS) o integración con sistemas NMS de terceros mediante MIB estándares.

Nota 1: 4.9GHz disponible sólo con la estación base 750Mbps
 Nota 3: Compatible con HBS y HSU de ultra alta capacidad

Nota 2: 64 HSU en el segundo trimestre de 2016

Nota 4: El servicio best effort estará disponible en el segundo trimestre de 2016

Energía	
Alimentación de energía	Se suministra por la interfaz PoE
Consumo de energía	HBS < 25 W, HSU < 12 W
Ambiente de operación	
Temperatura de operación	De 35°C hasta 60°C (desde 31°F hasta 140°F)
Humedad	100% condensación, IP67 (totalmente protegido contra polvo e inmersión hasta 1 metro)
Regulaciones de radio	
FCC	47CFR Parte 15 Subparte C y Subparte E. 47CFR Parte 90 Subparte Z – Modos restringidos y sin restricción
IC	RSS-210 edición 8, RSS-192 edición 3, RSS-197 edición 1- Modo restringido
ETSI	EN 893 301, EN 2-326 302, EN 502 302
Seguridad	
FCC/IC (cTUVus)	UL 60950-1, UL 60950-22, CAN/CSA C 22.2 60950-1, CAN/CSA C22.2 60950-22
ETSI	EN/IEC 60950-1, EN/IEC 60950-22
EMC	
FCC	CFR47 Clase B, Parte 15, Subparte B
ETSI	4-489 301 EN ,1-489 301 EN
CAN/CSA	CISPR 22- 10 Class B
AS/NZS	CISPR 22:- 2009 Class B

El nombre RADWIN es una marca registrada de RADWIN Ltd.
 Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.
 © Todos los derechos reservados, mayo de 2016

RADWIN Ltd
Oficinas principales
 +972.3.766.2900
 sales@radwin.com
www.radwin.com

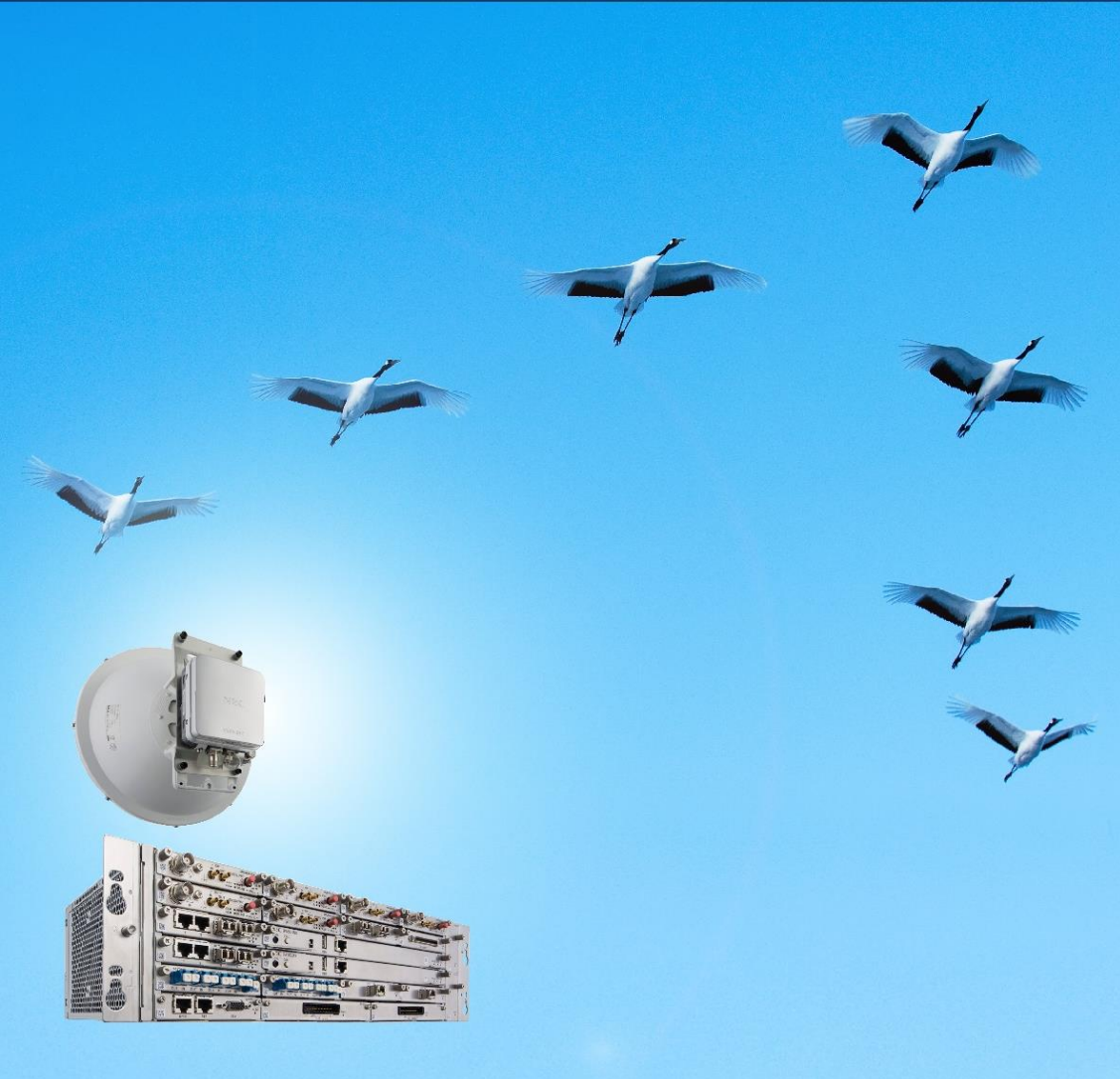
RADWIN

Anexo III – Equipos NEC

Orchestrating a brighter world **NEC**

All-around Microwave / Optical Transporter
High capacity Microwave radio & Carrier grade Packet switch

iPASOLINK VR



iPASOLINK VR

iPASOLINK VR



iPASOLINK VR10



iPASOLINK VR4



iPASOLINK VR2

iPASOLINK VR Functions / Features

Radio Features

- Full range of frequency (6GHz - 42GHz)
- QPSK - 4096QAM with AMR
- 7/14/28/56/112MHz
- 1+0, 1+1, N+0, 1+0 XPIC, 1+1 XPIC
- Radio Traffic Aggregation
- MIMO

Interface

- Max. 2(VR2) / 5(VR4) / 12(VR10) modem
- 10G optical (VR4 / VR10)
- FE/ GbE (RJ45, SFP)
- PoE
- TDM (E1/ch STM-1/STM-1 RST)
- CWDM passive filter support (VR4 / VR10)

TDM and Packet Features

- PWE
- ERPS
- ETH OAM
- H-QoS
- L2 pass through
- SyncE
- 1588v2 (TC, BC)
- MPLS-TP
- SDN
- E1 SNCP

Others

- Compatibility (w/iPASOLINK)
- Fanless (VR2)
- Universal slot modules (3 slots*/14 slots**)
- Standard protocols (for management / control)

*VR4 / **VR10

Type IAG ODU



- The smallest and lightest weight body for easy install
- Sub-band Free type 7-23 GHz
- Sub-band Fixed type 6-42 GHz
- QPSK - 4096 QAM
- Channel Bandwidth up to 112 MHz (over 18 GHz)
- XPIC (CCDP)
- 130 (W) x130 (H) x71 (D)mm, Approx. 1.2kg

Type IAP ODU



- High Power efficiency using GaN technology
- Sub-band Free type 7-18 GHz
- Sub-band Fixed type 6-18 GHz
- QPSK - 4096 QAM
- Channel Bandwidth up to 112 MHz (over 18 GHz)
- XPIC (CCDP)
- 240 (W) x246 (H) x80 (D)mm, Approx. 3kg

Specifications are subject to change without prior notice.

NEC Corporation
www.nec.com/pasolink/