

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

Diseño red de acceso de banda ancha agregada en la Ultzamaldea



Grado en Ingeniería
en Tecnologías de Telecomunicación

Trabajo Fin de Grado

Naiara Palomo Fuentetaja

David Benito Pertusa

Pamplona, 27 de junio de 2017

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	6
RESUMEN.....	7
PALABRAS CLAVE	8
ABSTRACT	9
KEY WORDS.....	10
1 Antecedentes.....	11
1.1. Brecha digital	11
1.2. Plan Banda Ancha (2020).....	13
1.2.1. Escenario 5 [6 pp.216-231].....	14
1.2.2. Redes existentes	15
1.2.2.1 Radio	15
1.2.2.2 Fibra	15
1.2.2.3 Tele distribuciones.....	16
2 Objetivo	17
2.1 Necesidades.....	17
2.2 Como solucionarlas.....	17
2.3 Caso particular	17
3 Estado del arte.....	18
3.1 Estudio de las tecnologías.....	18
3.1.1. Tecnologías cableadas	18
3.1.1.1 Fibra óptica	18
3.1.1.2 Cable coaxial y HFC	20
3.1.1.3 Pares de cobre	22
3.1.2. Tecnologías inalámbricas.....	24
3.1.2.1 Wimax.....	24
3.1.2.2 Wi-Fi (exteriores)	25
3.1.2.3 Comunicaciones vía satélite	26
3.1.2.4 LTE.....	26
3.2 Expectativas de crecimiento de la velocidad.....	27

3.3	Estudio de los operadores	27
4	Teoría radioenlaces.....	28
4.1	Nivel de señal del receptor	28
4.1.1	Atenuación en el espacio libre.....	28
4.1.2	Pérdidas por gases y vapores atmosféricos.....	29
4.1.3	Pérdidas por lluvia	30
4.1.4	Pérdidas en los radioenlaces de microondas	33
4.2	Modelo de tierra plana	34
4.3	Zonas de Fresnel	34
4.4	Umbral	35
4.5	Desvanecimientos.....	36
4.5.1	Desvanecimiento plano y selectivo	36
4.5.2	Desvanecimiento multirayecto	37
4.6	Margen bruto de desvanecimiento	37
4.7	Calidad del radioenlace	37
4.7.1	Indisponibilidad de los radioenlaces de microondas.....	38
4.7.1.1	Indisponibilidad por equipos	38
4.7.1.2	Indisponibilidad por propagación	39
4.7.2	Parámetros de calidad de error	44
4.7.3	Calidad de fidelidad de un radioenlace digital	45
4.8	Codificación y modulación adaptativa (ACM).....	48
4.8.1	Scripts ACM Radio.....	49
4.8.2	ACM con potencia de transmisión adaptativa.....	50
4.8.3	XPIC.....	50
4.8.4	Implementación de XPIC.....	50
3.1.2.	Mecanismo de recuperación XPIC.....	51
5	Teoría fibra óptica.....	53
5.1	Tipos de fibra	53
5.1.1	Fibra multimodo	53
5.1.2	Fibra monomodo	54
5.1.3	Fibra de plástico (POF).....	54
5.2	Parámetros característicos de la fibra óptica	55

5.2.1	Atenuación.....	55
5.2.2	Dispersión	56
5.2.2.1	Dispersión intermodal	56
5.2.2.2	Dispersión intramodal	57
5.2.2.3	Dispersión por el modo de polarización (PMD).....	57
5.2.3	Pérdidas por curvatura de la fibra	57
5.3	Infraestructuras red de fibra óptica.....	58
5.3.1	Canalización por micro zanjas.....	58
5.3.2	Arquetas.....	60
6	Caso particular	62
6.1	Localización.....	62
6.2	Solución adoptada	64
6.3	Centros de telecomunicaciones.....	65
6.3.1	CT existentes.....	66
6.3.2	CT nuevos.....	67
6.4	Solución mixta fibra-radio final.....	69
6.5	Radioenlaces (Red de Transporte).....	71
6.6	Red de acceso	77
6.6.1	Características de la red.....	87
6.6.2	Elección de los equipos de radio de transporte	92
6.7	Zonas fibra	94
6.8	Cable de fibra óptica	102
7	Presupuesto	104
8	Conclusiones y líneas futuras.....	109
9	Bibliografía.....	111
10	Bibliografía Imágenes	112
11	Anexos	114

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en primer lugar a la empresa NASERTIC por habernos dado la oportunidad de hacer el trabajo fin de grado con ellos y por todo lo que nos han enseñado en estos cuatro meses. A todos los compañeros de la empresa y en especial a Gonzalo, Jon y Carlos, compañeros de prácticas, que hacían las mañanas más amenas. Y a mi familia, en especial a mis padres y hermanos por todo el apoyo a lo largo de estos últimos cuatro años.

RESUMEN

Este proyecto se enmarca en el plan director de banda ancha de Navarra (2016-2021). En el cual se ha realizado una red de acceso, que agrega a varias poblaciones de la zona de la Ultzamaldea.

Tendrán una solución mixta, basada en tecnologías radio, que constarán de diferentes radioenlaces y de la tecnología WIMAX y la otra parte constará de una solución cableada, que será mediante pequeños tramos de fibra óptica. Se ha tratado de cumplir con los objetivos de cobertura y servicios que se establecían para este tipo de poblaciones, es decir se requería 30 Mbps, que era lo que se demandaba en poblaciones de menos de 1000 habitantes para entornos rurales.

PALABRAS CLAVE

- WIMAX
- Radioenlace
- Plan de banda ancha de Navarra (PBAN)
- Escenario 5
- Navarra
- NASERTIC
- Cobertura
- Fibra óptica
- Ultzamaldea
- RadioMobile
- Centro de telecomunicaciones (CT)
- Antena
- Frecuencias
- Ancho de banda
- Conectividad

ABSTRACT

This project is part of the Plan Director de Banda Ancha de Navarra (Navarre Broadband Master Plan) (2016-2021). An access network has been developed and several populations of the area of Ultzamaldea have been included.

They will consist in a mixed solution, based on radio technologies, which will comprise different radio links and WIMAX technology. The other part will consist of a wired solution that will be accomplished through small stretches of optical fiber. There have been made several attempts to meet the coverage objectives and services that were established for this type of population: 30 Mbps were required, which was the number requested in populations with less than 1000 habitants for rural environments.

KEY WORDS

- WIMAX
- Radio link
- Broadband Plan of Navarra (PBAN)
- Stage 5
- Navarre
- NASERTIC
- Coverage
- Optical fiber
- Ultzamaldea
- RadioMobile
- Telecommunication Center (CT)
- Antenna
- Frequencies
- Bandwidth
- Connectivity

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].

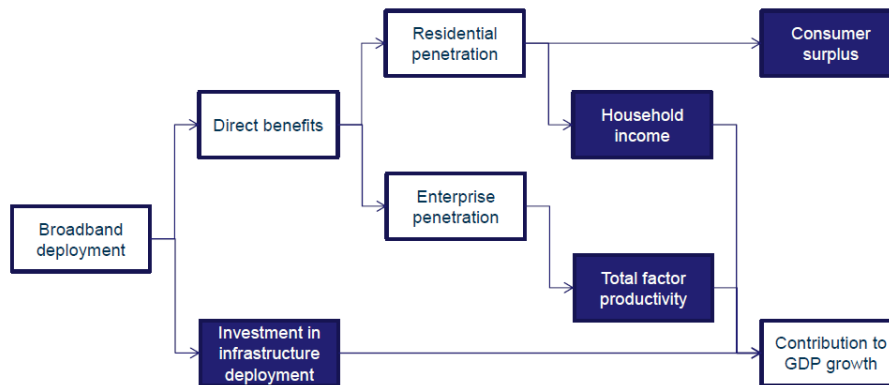


Figura 1: Esquema del impacto en la economía de las tecnologías de banda ancha.

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.

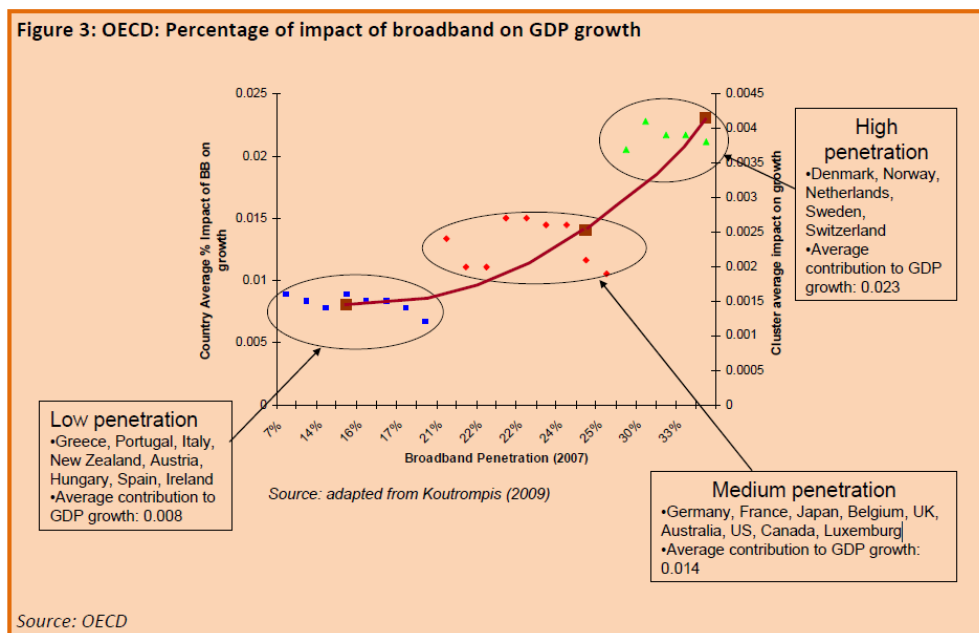


Figura 2: Relación de la penetración de la banda ancha con el PIB por países.

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 crítica 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.

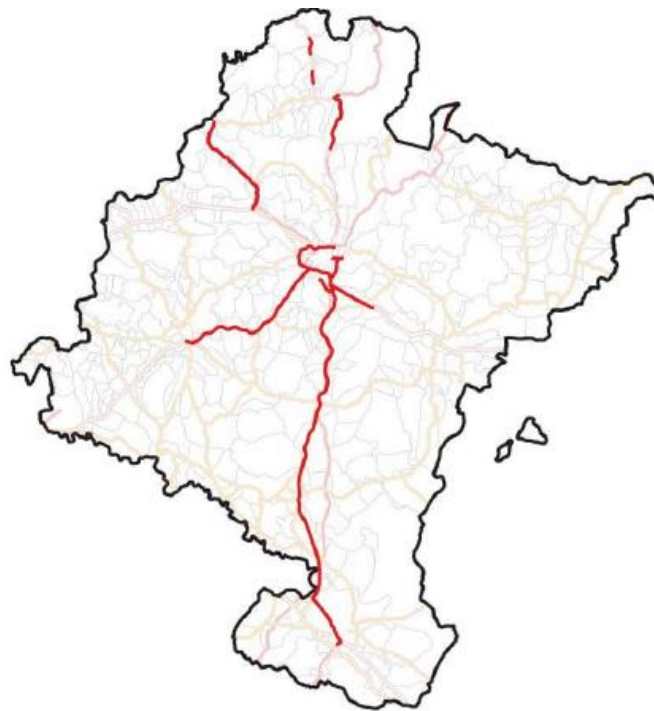


Figura 3: *Red troncal fibra óptica del Gobierno de Navarra en 2016*

1.2.2.3 Tele distribuciones

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 mención Jesús Izal en la reunión informativa del plan de banda ancha en Liedena. 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.

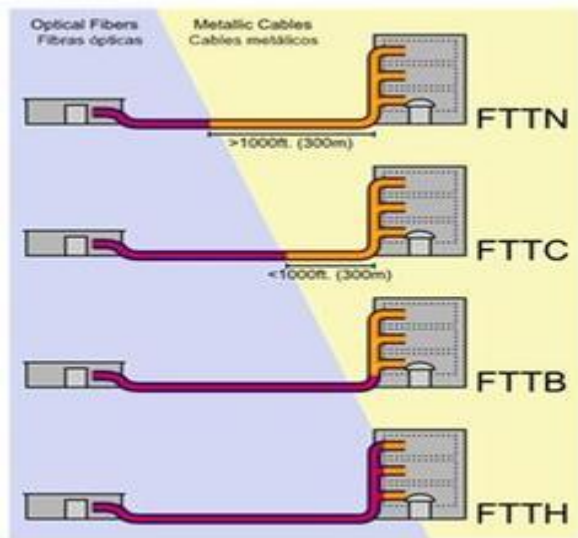


Figura 4: Diferentes esquemas FTTx

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 suscriptores 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 características técnicas de los principales estándares				
Descripción	ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line	ADSL2+ Asymmetric Digital Subscriber Line 2+	VDSL Very High Bit Rate Digital Subscriber Line	VDSL2 Very High Bit Rate Digital Subscriber Line 2
Estándar ITU-T	G.992.1 (G.dnt) G.992.2 (G.lite)	G.992.5	G.993.1 (G.vdsl)	G.993.2
Simetría	Asimétrica	Asimétrica	Asimétrica / Simétrica	Asimétrica / Simétrica
Velocidad máxima de bajada	8 Mbps 1.5 Mbps (lite)	24 Mbps	52 Mbps (asimétrica) / 26 Mbps (simétrica)	100 Mbps
Velocidad máxima de subida	1 Mbps / 512 Kbps (lite)	1 Mbps	6 Mbps (asimétrica) / 26 Mbps (simétrica)	100 Mbps
Cobertura (D=0.5mm)	3.660 m 5480 m (lite)	6.700 m	1.500 m	3.657 m
Codificación de línea	DMT	DMT	DMT	DMT
Teléfono en la misma línea	Si	Variable	Si	Si

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 sobrecoste 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 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.

4.1 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.

4.1.1 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.

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

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

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

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 2.4 son las pérdidas expresadas en decibelios.

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

4.1.2 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 siguiente ecuación:

$$a = \gamma_{atm} \cdot L_{atm} \quad (dB/Km)$$

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 7 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.

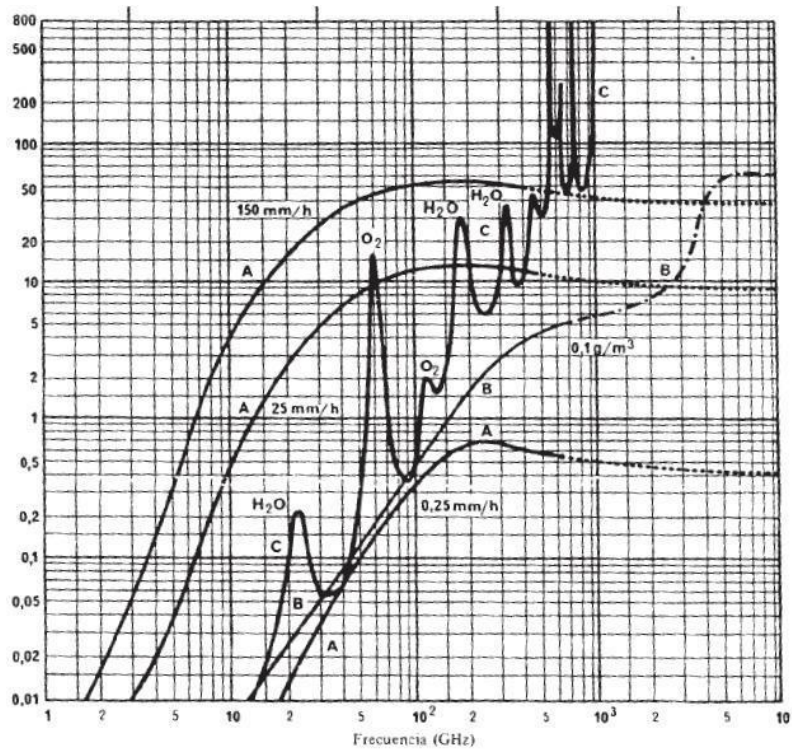


Figura 7: Valores de atenuación específica para un trayecto próximo a la superficie de la tierra. A: lluvia, B: niebla, C: gases.

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.

4.1.3 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 8.

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 causada por la lluvia es una variable aleatoria en el tiempo y se debe calcular como un valor que no debe ser superado durante un cierto porcentaje de tiempo dado. Viene dado por la siguiente fórmula.

$$a_R = \gamma_R L_{eq}$$

Se considera que la lluvia es de intensidad R solo en una parte del trayecto (L_{eq}). Para el cálculo de esta longitud, se utiliza la Figura 8.

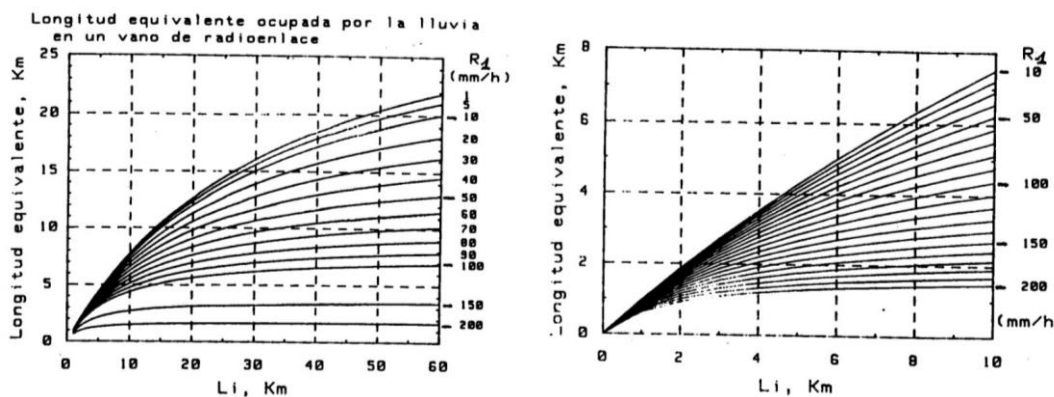


Figura 8: Gráficas para el cálculo de la longitud equivalente.

La atenuación específica de lluvia viene determinada por la siguiente ecuación:

$$\gamma_R = K * R^\alpha$$

Donde K y α son valores que dependen de la frecuencia para las polarizaciones lineales y trayectos horizontales. 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.

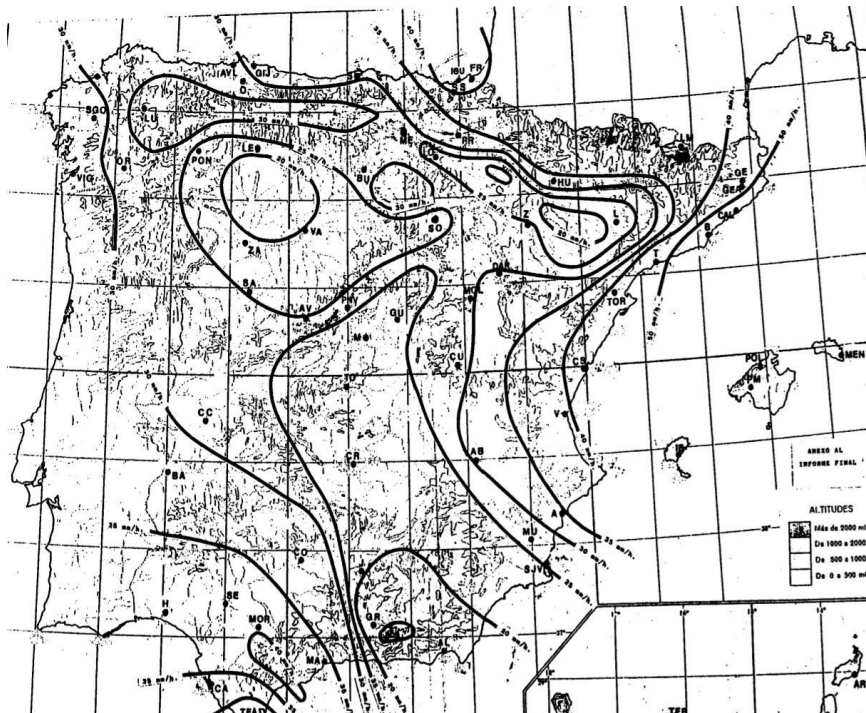


Figura 9: Mapa de las distribuciones de probabilidad de intensidad de lluvia.

Los parámetros K y α deben calcularse mediante las siguientes ecuaciones:

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

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

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 10 recomendada por el CCIR.

Frequency (GHz)	K_H	K_V	α_H	α_V
1	0.000 038 7	0.000 035 2	0.912	0.880
2	0.000 154	0.00 138	0.963	0.923
4	0.000 650	0.000 591	1.121	1.075
6	0.001 75	0.001 55	1.308	1.265
8	0.004 54	0.003 95	1.327	1.310
10	0.010 1	0.008 87	1.276	1.264
12	0.018 8	0.016 8	1.217	1.200
15	0.036 7	0.033 5	1.154	1.128
20	0.075 1	0.069 1	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744
120	1.18	1.13	0.731	0.732
150	1.31	1.27	0.710	0.711
200	1.45	1.42	0.689	0.690
300	1.36	1.35	0.688	0.689
400	1.32	1.31	0.683	0.684

Figura 10: Valores de K_H , K_V , α_H y α_V

4.1.4 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.

$$\frac{P_R}{P_T} = -L_0 + G_T + G_R - L'$$

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.

4.2 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.

4.3 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:

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

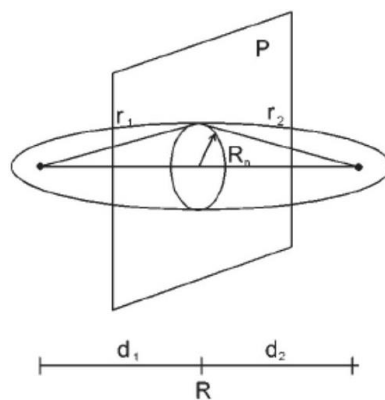


Figura 11: Zonas de Fresnel.

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

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

La intersección de las zonas de Fresnel con el plano P (punto donde se encuentra el obstáculo, Figura 2.4) son circunferencias cuyo radio puede calcularse para el caso que sea mucho menor que d_1 y d_2 (distancias desde las antenas hasta el obstáculo).

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

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.

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.

4.4 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.

4.5 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.

4.5.1 Desvanecimiento plano y selectivo

El desvanecimiento selectivo ocurre cuando las condiciones atmosféricas desvían una transmisión hasta el punto de 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 2.5). 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.

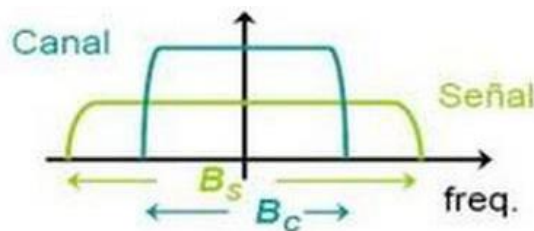


Figura 12: Desvanecimiento selectivo.

El desvanecimiento plano se produce cuando el ancho de banda de coherencia del canal es mayor que el ancho de banda del canal. En este caso el cambio de amplitud y fase se pueden considerar más o menos constantes. 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.

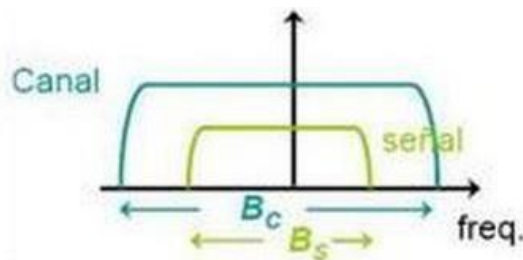


Figura 13: Desvanecimiento plano.

4.5.2 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 14.

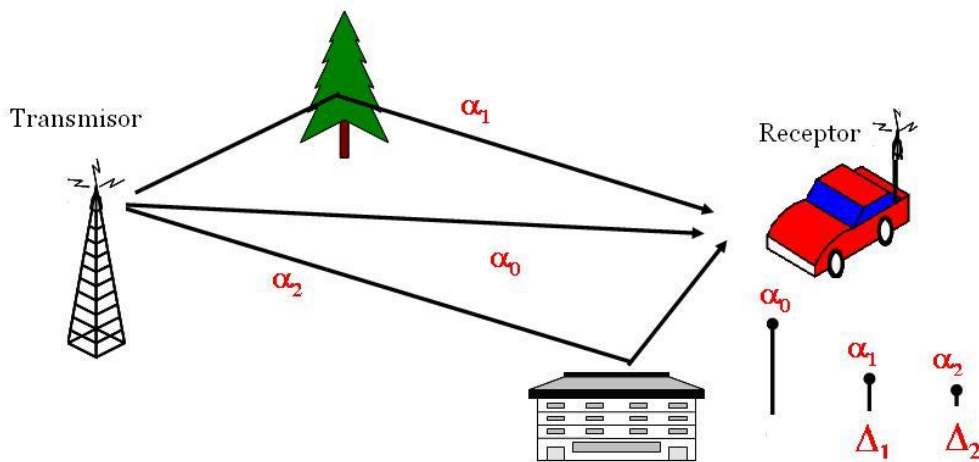


Figura 14: Desvanecimiento multitrayecto.

4.6 Margen bruto de desvanecimiento

Margen bruto de desvanecimiento es la diferencia entre la potencia recibida y el umbral. (M_3)

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

4.7 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 multitrayecto 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 multitrayecto 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.

4.7.1 Indisponibilidad de los radioenlaces de microondas

En esta sección se tratará de explicar las diferentes indisponibilidades que pueden existir en los radioenlaces, que pueden ser por factores internos e incluso externos.

4.7.1.1 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:

$$D = 1 - I$$

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

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

$$I = MTTR / MTBF$$

4.7.1.2 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:

$$P_{ind} = P_0 * 10^{-F/10}$$

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:

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

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-Viqants

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

$$P_0 = a * b * 6 * 10^{-7} * f * d^3$$

f = Frecuencia en MHz

d = Distancia en Km entre el transmisor y receptor.

b = Factor climático. Toma diferentes valores según la región (Figura 15).

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 15: Factor climático (b) para diferentes regiones climáticas.

a = Factor de rugosidad. Toma diferentes valores en función del tipo de terreno (Figura 15).

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 16: 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:

$$P_0 = Kd^{3.2}(1 + |\varepsilon_p|)^{-0.97} * 10^{0.032f - 0.00085h_L0\%}$$

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):

$$|\varepsilon_p| = |h_r - h_e|/d$$

h_L Es la altura de la antena inferior.

Para la ubicación del radioenlace, se estima el factor geo climático 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:

$$K = 5 * 10^{-7} * 10^{-0.1(Co-CLat-CLon)} p_L^{1.5}$$

El valor del coeficiente C_0 viene dado en la Tabla 2.4 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.	10.5

Figura 17: 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 $53^\circ N$ 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 -100N/Km.

4.7.2 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 [16] establece los siguientes objetivos de calidad:

$$ESR = \frac{L}{2500} * 0.0032$$

$$SESR = \frac{L}{2500} * 0.00054 \quad 280 < L < 2500Km$$

$$SESR = 0.0005 + \frac{L}{2500} * 0.00004 \quad L > 2500Km$$

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

4.7.3 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.

$$P_{TT} = P_{TP} + P_{TS}$$

El cálculo del se realiza aplicando el método B presente en la recomendación UIT-R F.1093-1 [16].

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

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

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

M_3 , margen bruto de desvanecimiento

P_0 , 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:

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

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:

$$P_{TS} = p_s * 100\%$$

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 [17] propone:

$$p(o/\eta) = \frac{C * Pb(1) * k < \tau^2 >}{T_s^2}$$

En donde:

$C * Pb(1)$: 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 Tabla 2.5 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.

Método de Modulación	k	
	Teórica(Sin Ecualización Adaptativa)	Con ecualización
64QAM	15.4	1.54
16QAM	5.5	0.55
8PSK	7.0	0.7
4PSK	1.0	0.1

Figura 18: 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:

$$\langle \tau^2 \rangle = 2 * \tau_m^2$$

Donde τ_m es el valor medio del retardo, que según la Recomendación UIT-R P.530-10 [15] se define como:

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

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:

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

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:

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

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:

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:

$$P_{TT} = P_0 * 10^{-M_e/10}$$

La expresión de M_e es la siguiente:

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

Donde M_3 es el margen bruto de desvanecimiento y tanto P_0 como P_{TS} están dadas en forma porcentual [FER08].

4.8 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.

4.8.1 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.

4.8.2 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.

4.8.3 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.

4.8.4 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 19.

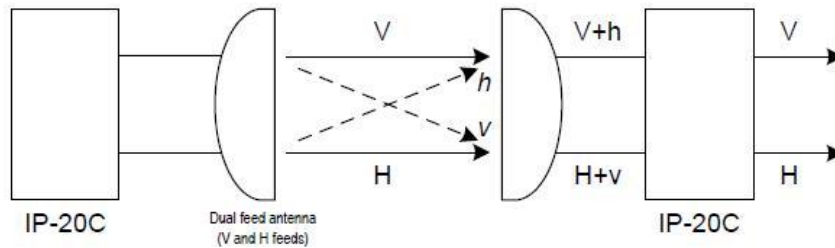


Figura 19: Señales que intervienen en el proceso XPIC.

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.

En la Figura 20 se muestra esquemáticamente el mecanismo XPIC.

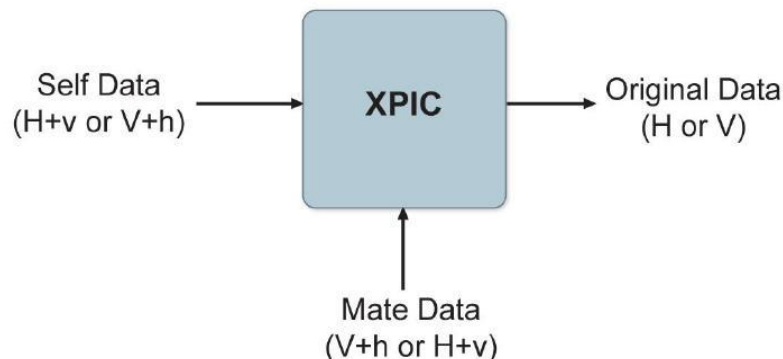


Figura 20: Mecanismo XPIC.

3.1.2. 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.

5 Teoría fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión, que es utilizado en redes de datos y de telecomunicaciones. Está formado por un hilo muy fino de material transparente, de vidrio o plástico, el más utilizado es el de vidrio. Por él se envían pulsos de luz que representan los datos que se quieren transmitir.

La fibra es utilizada en telecomunicaciones, ya que se puede enviar una gran cantidad de datos en una distancia grande, con velocidades muy superiores a las del cable convencional, en la actualidad es el medio de transmisión por cable más avanzado, es inmune a las interferencias electromagnéticas.

5.1 Tipos de fibra

Las diferentes trayectorias que puede seguir un haz de luz en el interior de una fibra se denominan modos de propagación. Y según el modo de propagación tendremos dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo.

5.1.1 Fibra multimodo

Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 2 km, es simple de diseñar y económico.

El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión.

Dependiendo el tipo de índice de refracción del núcleo, tenemos dos tipos de fibra multimodo:

- Salto de índice: en este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica, tiene alta dispersión modal.
- Gradiente de índice: mientras en este tipo, el índice de refracción no es constante, tiene menor dispersión modal y el núcleo se constituye de distintos materiales

5.1.2 Fibra monomodo

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 100 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (10 Gbit/s).

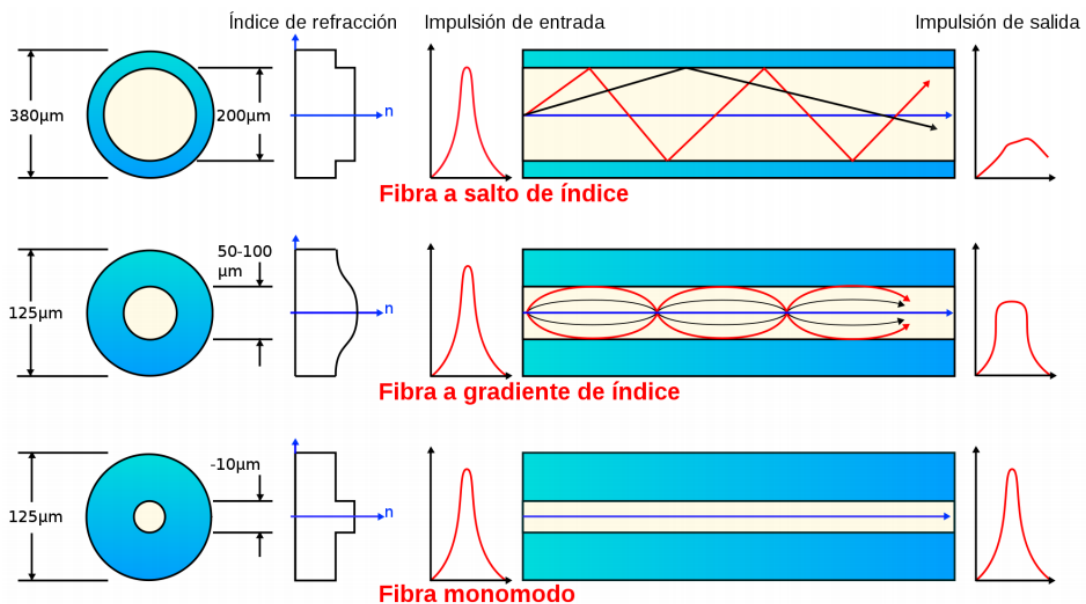


Figura 21: Esquema de los distintos tipos de fibra (multimodo, monomodo).

5.1.3 Fibra de plástico (POF)

La fibra óptica plástica (o POF, por *Plastic -o Polymer- Optical Fibre*) es un tipo de fibra óptica hecha esencialmente de plástico. Generalmente se construye con un núcleo de polimetilmetacrilato y un revestimiento de polímeros fluoruros.

En fibras de gran diámetro el 96% de su sección está destinada a la transmisión de la luz. El tamaño del núcleo es entre 20 y 100 veces mayor que el de la fibra de vidrio.

Una de sus características más importantes es la gran flexibilidad que tiene, ya que soporta 20 mm de radio de curvatura. Posibilita la conexión en los hogares, contraponiéndose a la rigidez de la fibra óptica tradicional.

La fibra plástica (al igual que las fibras de vidrio) no conduce la corriente eléctrica, y por eso puede ser colocada también en ambientes en los que están presentes vapores o sustancias inflamables y explosivas.

5.2 Parámetros característicos de la fibra óptica

Las características de transmisión son de importancia primordial cuando se evalúa el uso de algún tipo de fibra. Las características de mayor interés son la atenuación (pérdidas de señal) y el ancho de banda. Inicialmente el desarrollo de la fibra vino determinado por el tremendo potencial de las comunicaciones ópticas en lo que se refiere al ancho de banda de transmisión, pero la gran limitación venía fijada por las enormes pérdidas. Las fibras comerciales tienen atenuaciones inferiores a 1dB/Km, algunas fibras especiales han llegado a 0.01dB/Km lo que posibilita la transmisión a distancias considerables sin degeneración de la señal.

La otra característica importante a analizar es el ancho de banda real, este nos determina el número de bits que pueden transmitirse por unidad de tiempo. Cuando se consiguió bajar la atenuación a valores aceptables se empezó a trabajar en este punto consiguiéndose anchos de banda de decenas de gigahercios para distancias de varios kilómetros.

5.2.1 Atenuación

La atenuación o pérdidas de transmisión han demostrado ser la espoleta que ha disparado la aceptación de estos sistemas como medio de transmisión en telecomunicaciones. La atenuación del canal es lo que fija la distancia entre repetidores (amplificadores de señal), así pues, la fibra empezó a ser un medio muy interesante cuando bajó su atenuación por debajo de los 5dB/Km que es la atenuación típica de un conductor metálico. La atenuación, como en los demás medios de transmisión, se mide en decibelios. El decibelio, que se usa para comparar dos niveles de potencia, se puede

definir para una determinada longitud de onda como el cociente entre la potencia óptica a la entrada de la fibra P_i y la potencia óptica a la salida P_o según la siguiente fórmula:

$$\alpha_{dB}L = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_o}$$

Donde α_{dB} es la atenuación por unidad de longitud y L es la longitud de la fibra.

5.2.2 Dispersión

La dispersión es el fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material. Todos los medios materiales son más o menos dispersivos, y la dispersión afecta a todas las ondas.

La dispersión se debe a que la velocidad de una onda depende de su frecuencia. Por ejemplo, las ondas luminosas de diferente longitud de onda tienen velocidades de propagación distintas en el vidrio, por lo que son refractadas en diferente medida.

El resultado de la dispersión es un espectro, y su estudio es la base de la espectroscopia, una de las disciplinas que más ha contribuido al conocimiento actual del universo.

Cuando un pulso de luz está viajando a lo largo de una fibra, la señal no sólo se atenúa sino también se desvía o extiende en el tiempo. Esto es debido a la dispersión. Si se envían varios pulsos en una fibra a una velocidad alta, los pulsos se solaparán debido a la dispersión y el receptor ya no puede distinguir donde empieza el pulso y donde el otro acaba.

5.2.2.1 Dispersión intermodal

La dispersión intermodal o esparcimiento del pulso, es causado por la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias por una fibra. Obviamente, la dispersión modal puede ocurrir sólo en las fibras multimodo. Se puede reducir considerablemente usando fibras de índice gradual y casi se elimina totalmente usando fibras de índice de escalón de modo sencillo.

5.2.2.2 Dispersión intramodal

Este tipo de dispersión es un efecto complejo, y es causado por la forma el perfil del índice de refracción del núcleo de la fibra. Sin embargo, esto puede ser controlado a través de un diseño cuidadoso, y en realidad, la dispersión de guía de onda puede ser usado para contrarrestar la dispersión del material.

La forma o perfil de la fibra tienen un efecto significativo sobre la velocidad de grupo. Esto es debido a que el campo eléctrico y magnético que forman parte de un pulso de luz se extiende fuera del núcleo. Esta cantidad que los campos comparten entre el cladding y el núcleo tiene una fuerte dependencia de la longitud de onda.

5.2.2.3 Dispersión por el modo de polarización (PMD)

Otro tipo de Dispersión es del modo de Polarización (PMD): la polarización es la propiedad de la luz relacionada con la dirección de sus vibraciones, el viaje de la luz en una fibra típica vibra en dos modos de polarización perpendiculares. El modo en el eje X es arbitrariamente etiquetado con un modo lento, mientras que en el eje Y es etiquetado en el modo rápido. La diferencia en los tiempos de arribo en los modos de dispersión por polarización (PMD), es típicamente medida en picosegundos.

Si no es controlado, la PMD puede producir errores tasa de errores excesivos en la transmisión de los sistemas digitales y pueden distorsionar las señales.

De manera similar a la atenuación la dispersión puede limitar la distancia a la que una señal puede llegar a través de una fibra óptica. La dispersión no debilita la señal, se vuelve borrosa. Si se envía una señal cada nanosegundo y si el pulso se dispersa a 10 ns al final de la fibra, las señales se solaparán. La señal estará presente, pero es tan ruidosa en el tiempo que no será posible recuperarla.

5.2.3 Pérdidas por curvatura de la fibra

La fibra óptica tiene pérdidas cuando se dobla, esto es debido a que la energía en el campo evanescente en la parte exterior de la curva, ya que debe seguir el mismo frente de onda que el resto y por tanto debe ir a una velocidad mayor, mayor que la velocidad de la luz. Esto es imposible y para remediarlo pierde parte de su energía radiándola al

exterior. Esta pérdida puede ser representada numéricamente según un coeficiente de atenuación dado por:

$$\alpha_r = c_1 \exp(-c_2 R)$$

Donde R es el radio de curvatura y c1 y c2 son constantes. Para cualquier tipo de fibra se establece un umbral a partir del cual las pérdidas son elevadas.

5.3 Infraestructuras red de fibra óptica

Para el tendido de fibra óptica se intenta utilizar siempre las infraestructuras existentes, canalizaciones de telecomunicaciones, alumbrado de carreteras...para ello es necesario previamente mandrilar el tubo, con su correspondiente guía antes del tendido manual del cable de 64 fibras ópticas proyectado.

5.3.1 Canalización por micro zanjas

Para situar en que consiste esta técnica primero pasaremos a describirla, las Micro zanjas constituyen una novedosa técnica constructiva de redes ópticas en entornos urbanos. Consiste en la instalación de cables y micro ductos en el interior de cortes de pequeñas dimensiones realizados en asfalto u hormigón. Las dimensiones de la microzanja aproximadas suelen ser de 8 cm de anchura de la ranura y 40 cm de profundidad.

En cuanto a los cables que irán en el interior existen dos opciones, mediante tritubo y mediante microductos. El tritubo normalmente es de $\varnothing 40$ mm y los microductos son de $\varnothing 6$ a $\varnothing 20$ mm.



Figura 22: Ejemplo microductos y tritubos.

Por su metodología de construcción, las micro zanjas son un excelente complemento de las canalizaciones tradicionales y puede realizarse con facilidad la transición de una a otra tipología constructiva. La técnica de la Micro zanja está recogida en el estándar ITU-T L.49.

Son una buena opción por sus grandes ventajas, bajo coste, flexibilidad de crecimiento, baja ocupación de suelo urbano, rápida de instalar y alta fiabilidad.



Figura 23: *Microzanja.*



Figura 24: *Microzanjadora.*

5.3.2 Arquetas

Una arqueta es un pequeño depósito utilizado para recibir, enlazar y distribuir canalizaciones o conductos subterráneos; suelen estar enterradas y tienen una tapa en la parte superior, por allí será por donde vaya pasando la fibra óptica.



Figura 25: *Ejemplo de arquetas.*

En cuanto a los tipos de arquetas se identifican 3 tipos:

- **Arquetas de empalme**, de mayores dimensiones, la función de alojar las cajas de empalme. Se tendrá en cuenta que a partir de ellas se podrán efectuar futuras segregaciones de cable, por lo que deben permitir alojar una reserva o coca de 50m en cada extremo del cable.
- **Arquetas de reserva**, función de posibilitar la adición futura de algún punto de conexión intermedio si esto fuera necesario. Deberán poder alojar una reserva o coca de 30 m.
- **Arquetas de paso**, situadas a distancias variables y con la función de facilitar el tendido.

6 Caso particular

En este apartado se va a explicar el caso concreto que se quiere solucionar en este proyecto que está contenido en el escenario 5 del plan de banda ancha de Navarra.

6.1 Localización

En este proyecto se tratará de dar una solución de cobertura a una parte del noreste de Navarra, concretamente a la zona de la Ultzamaldea. Los pueblos que se van a abarcar son: Eraso (44), Zarranz (14), Goldaraz (35), Latasa (83), Udabe (52), Urriza (40), Beramendi (24), Ihaben (53), Itsaso (60), Beruete (149), Arrarats (56), Jaunsarats (48), Aizarotz (185), Erbiti (36), Gartzaron (76), Orokieta (35), Ola (16), Etxaleku (114), Oskoz (68) y Muskiz (36).

Varios de los pueblos mencionados tendrán una solución de fibra óptica, ya que están contemplados en el PIL. El PIL es el plan de inversiones locales (2017-2019), con el que se pretende reforzar la cohesión y el equilibrio territorial, este incluye tres apartados:

-Programa de Inversiones, Programación Local y Libre Determinación.

El apartado de *Programa de inversiones*, surtido con 34 millones, está destinado a actuaciones concretas en materias de abastecimiento de agua en alta (20,4 millones), tratamiento de residuos urbanos (9,5) e infraestructuras pasivas destinadas al despliegue de redes de acceso de banda ancha de nueva generación (4 millones). En este proyecto se hablará del apartado de acceso de banda ancha para Navarra en las poblaciones de la zona de la Ultzamaldea que se incluyen dentro del PIL.

El PIL tiene previsto un despliegue de fibra óptica a lo largo de los pueblos de Navarra.

Se buscará la mejor solución teniendo en cuenta el número de habitantes, la distribución de cada población y el presupuesto. Como ya se ha mencionado Navarra es una comunidad con poblaciones muy disgregadas y cada una de ellas con muy pocos habitantes. Dicha solución dará cobertura a un total de 1269 habitantes.



Figura 26: Mapa de Navarra por zonas.

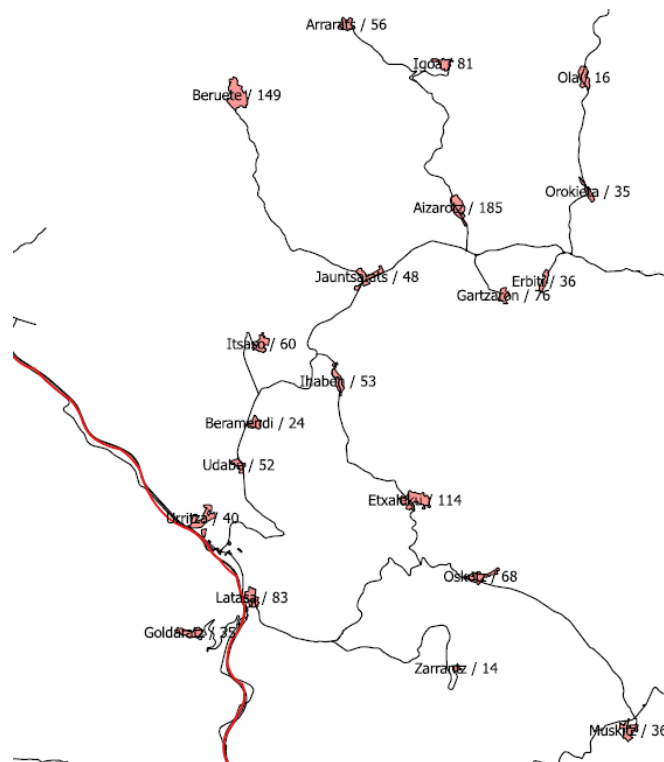


Figura 27: Mapa de poblaciones a las que se va a dar cobertura de la Ultzamaidea.

6.2 Solución adoptada

Para este proyecto es preciso seleccionar las tecnologías que van a ser utilizadas. Dependiendo del relieve de cada zona, del número de habitantes y del presupuesto que se tenía para cada lugar se han ido eligiendo distintas soluciones. Al ser una solución mixta fibra-radio, habrá varios radioenlaces que irán dando conectividad de banda ancha a los distintos pueblos, mediante un sistema propietario y algún tramo de pueblos que estarán conectados mediante fibra óptica. Estos pueblos que estarán conectados mediante fibra entran dentro del PIL de Navarra, esta contemplado así ya que están contiguos entre sí, tienen común una carretera principal por la que será sencillo realizar la tirada de la fibra óptica. Aunque no sea una solución rentable económicamente, se realiza para evitar la temida brecha digital. Más adelante se explicará que pueblos entran dentro de este apartado. En cuanto al estudio de los radioenlaces es necesario realizar varios estudios, en los cuales se va a utilizar programas simuladores como el SIRENET (Simulation of RadioElectric NETWORKS), que es una aplicación informática que facilita la planificación y gestión de redes radio y el RadioMobile, que es similar pero gratuito.

Ha sido adoptada esta solución, ya que aparte de que las poblaciones están muy disgregadas entre sí, dentro de cada población, las casas de cada uno de los habitantes también se encuentran muy separadas, por lo que hacer una solución únicamente de fibra sería muy complicada en cuanto a temas de presupuestos.

También otra de las ventajas de la solución radio es que existen diferentes frecuencias libres que pueden ser utilizadas sin necesidad de tener un permiso. Hablaremos particularmente de las bandas en 2,4 GHz y 5 GHz por ser usadas para aplicaciones de banda ancha y usadas prácticamente en todo el mundo. Para que esto sea posible es necesario cumplir con ciertas reglas que están contempladas en la regulación de estas bandas. Las más importantes tienen que ver con la potencia máxima y mecanismos para evitar interferencias. En Europa, para aplicaciones de interior estas bandas tienen una limitación de potencia de 200 mW y para exteriores de 1 W o 4 W dependiendo de la frecuencia exacta

En la realización de dicho proyecto será necesario la utilización de centros de telecomunicaciones ya existentes y la construcción de nuevos, en los puntos estratégicos que sea necesario para el correcto funcionamiento de los radioenlaces.

6.3 Centros de telecomunicaciones

Los centros de telecomunicaciones (CTs) proporciona el espacio para alojar el equipo de telecomunicaciones, el hardware de conexión, los distribuidores, conexiones cruzadas, conexiones de tierra eléctrica y uniones y el sistema de protección eléctrica El Cuarto de Equipo (Centro de telecomunicaciones principal) es el espacio principal que aloja el equipo para dar servicio de telecomunicaciones, tales como voz, vídeo, datos, y comunicaciones inalámbricas.



Figura 28: *Ejemplo centro de telecomunicaciones (CT Desojo).*

Como ya se ha mencionado será necesario diferenciar entre dos tipos de centros de telecomunicaciones, los ya existentes, que se aprovecharán para el proyecto y los nuevos, que será necesaria su inmediata construcción para el desarrollo del mismo.

6.3.1 CT existentes

Los CT están alojados en puntos estratégicos que tienen visibilidad directa de un punto a otro del radioenlace que se quiere crear. La lista de los CT que ya existe en la zona de la Ultzamaldea es la siguiente:

- CT Arrarás: 43° 2'27.27"N 1°48'17.45"O
- CT Jaunsaras1: 43° 0'56.49"N 1°48'36.91"O
- CT Jaunsaras2: 43° 0'54.10"N 1°48'30.60"O
- CT Aizarotz: 43° 0'31.47"N 1°47'10.29"O
- CT Etxaleku: 42°58'18.25"N 1°47'19.22"O
- CT Oskoz: 42°57'37.63"N 1°46'44.85"O



Figura 29: Componentes de un CT (CT Jaunsaras).



Figura 30: *Componentes de un CT (CT Jaunsaras).*

6.3.2 CT nuevos

Con Google Earth se va a comprobar en que puntos es necesario colocar estos nuevos centros de telecomunicaciones, se pretende buscar aquellos puntos más altos que tengan visibilidad directa con otros CTs para poder realizar un radioenlace que funcione correctamente. Para ello se busca aquel punto que nos interese, ubicando ahí los equipos radio y así obtendremos la longitud del enlace y el perfil topográfico que hará ver si el radioenlace funcionará correctamente o no. Cabe destacar que una vez realizada la solución, será necesario desplazarse a campo para comprobar que todo funciona correctamente.

A continuación se detallará los pueblos en los que es necesario colocar nuevos centros de telecomunicaciones, así como la ubicación concreta:

- CT Beruete: 43° 1'7.79"N 1°49'47.72"O
- CT Latasa: 42°57'18.00"N 1°49'21.62"O
- CT Goldaraz: 42°56'59.49"N 1°50'0.79"O

-CT Beramendi: 42°58'49.35"N 1°49'25.54"O

-CT Igoa: 43° 1'53.02"N 1°47'9.36"O

-CT Ola: 43° 1'59.86"N 1°45'40.52"O

-CT Orokieta: 43° 0'44.76"N 1°45'26.46"O

-CT Gartzaron: 42°59'47.79"N 1°46'30.39"O

Para la ubicación concreta de estos CTs fue necesario ir a campo a ver si en ese lugar que se había pensado era viable o no colocarlo. Se hicieron varios viajes, en los que se fue estudiando el caso de cada pueblo, así como con que pueblo tenía visibilidad directa para poder realizar el radioenlace y así dar cobertura a los pueblos que es necesario. Otro punto a tener en cuanto a la hora de poner centros de telecomunicaciones nuevos es, la necesidad de tener un punto de alimentación cercano y caminos de acceso, si este se encontrase muy lejos, no sería viable su construcción, ya que por temas de presupuesto saldría muy elevado.

6.4 Solución mixta fibra-radio final

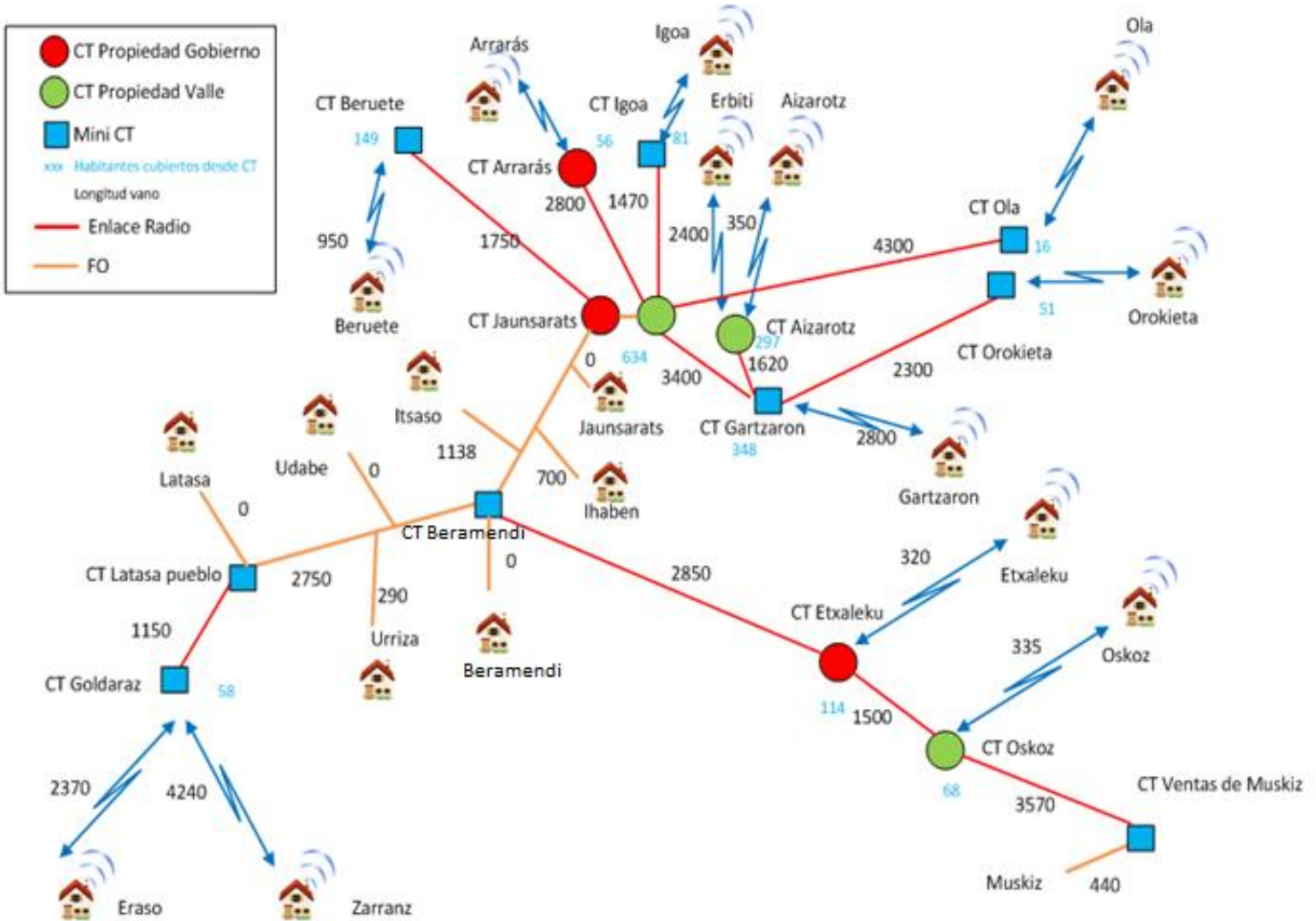


Figura 31: Esquema de la solución final mixta.

En este esquemático se tiene la solución final del proyecto. Se va a explicar cada detalle del esquema de la solución final para luego ir explicando poco a poco todas las partes de la solución.

En cuanto a los centros de telecomunicaciones existen tres tipos, los CTs pertenecientes al Gobierno de Navarra, los cuales son propiedad de NASERTIC y pueden ser utilizados sin tener que pedir permiso a ninguna otra parte, de estos hay tres en esta zona. Por otro lado se encuentran los CTs que pertenecen a ayuntamientos concretos, para poder utilizarlos ha sido necesario pedir permiso al propio

ayuntamiento de cada uno de ellos, a ellos les interesa que se pueda hacer uso de los mismos para su propio beneficio.

Los otros CTs que quedan por describir serán nuevos centros de telecomunicaciones que tendrán que ser instalados para este proyecto en concreto, van a ser mini CTs por las características que se necesitan, no es necesario que sean mayores, se harán un total de ocho.

Por otra parte tenemos los radioenlaces, los cuales van uniendo un pueblo con otro tratando de dar cobertura, como ya hemos dicho para realizarlos tiene que haber visibilidad directa entre antenas de un extremo a otro. Hay un total de once radioenlaces en toda la zona. En el esquema también se puede apreciar que CTs dan cobertura de banda ancha a que pueblos en concreto.

Por último se pueden apreciar los tramos de fibra en un color naranja, la fibra como ya se ha mencionado irá por la carretera principal en varios tramos que une Jaunsaras con Latasa y luego se hará una pequeña tirada a los pueblos próximos como se ve en el esquema, con más detalle se explicará más adelante. Como por ejemplo de Urriza a Udabe que irá por la canalización de aguas.

6.5 Radioenlaces (Red de Transporte)

En los radioenlaces lo que se realiza es una emisión de señal que se realiza entre dos centros de telecomunicaciones. No obstante, será necesario comprobar si hay visibilidad o no de una antena a la otra para asegurarse el correcto funcionamiento. Mediante la herramienta de vanos se verá si existe dicha visibilidad, es decir si no hay obstáculos entre medio.

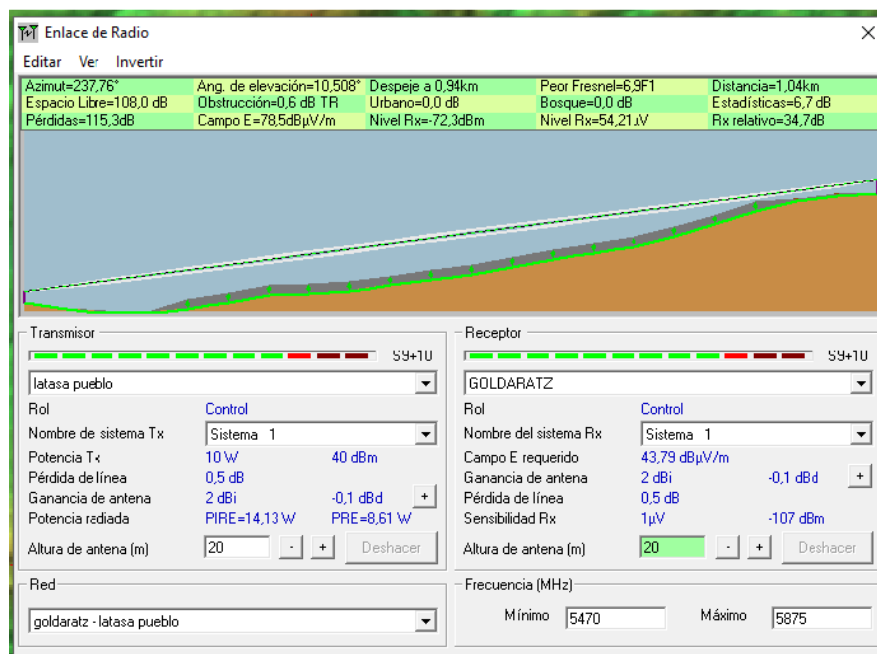


Figura 32: Ejemplo de perfil de radioenlace obtenido con RadioMobile

Con este programa podremos apreciar el perfil geográfico que se obtiene donde se representa las zonas donde el nivel de señal es correcto y las zonas donde no llega señal, conocidas como “zonas de sombra”.

A continuación se va a presentar los distintos radioenlaces que va a ser necesario implementar para el correcto funcionamiento de la red, hay que destacar que en Jaunsaras hay dos CTs, uno perteneciente a NASERTIC y otro que pertenece al propio ayuntamiento, por lo que se tendrá que mencionar que CT se va a utilizar para cada radioenlace desde dicho punto. Otros se unirán mediante fibra óptica, la cual tendrá una tirada total de unos 8.500 metros aproximadamente. En el anexo I se expondrán las

características de cada radioenlace más en concreto, elevación del terreno de cada zona, ganancia de cada antena, diámetro de la antena, frecuencia de RF, polarización...

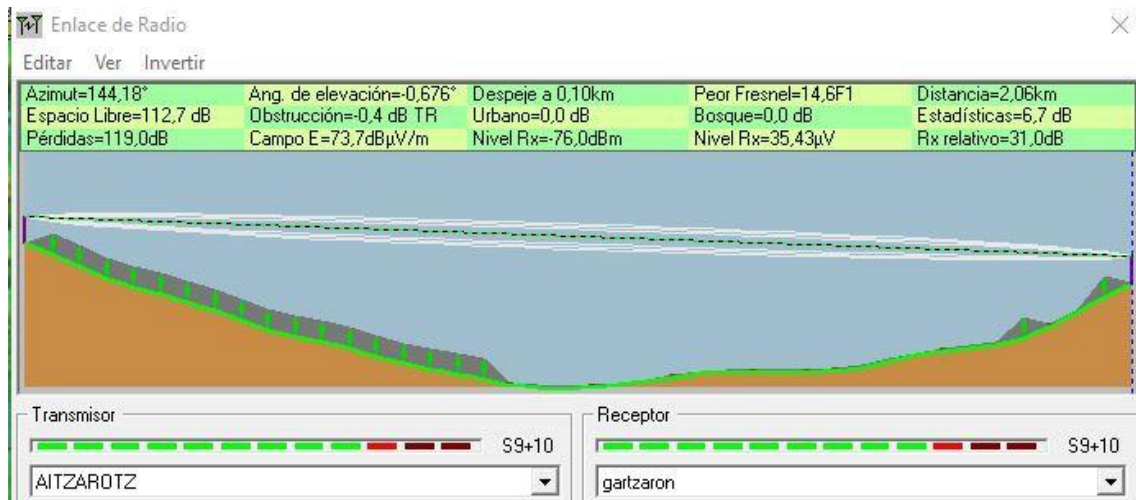


Figura 33: Radioenlace Aizarotz-Gartzaron.

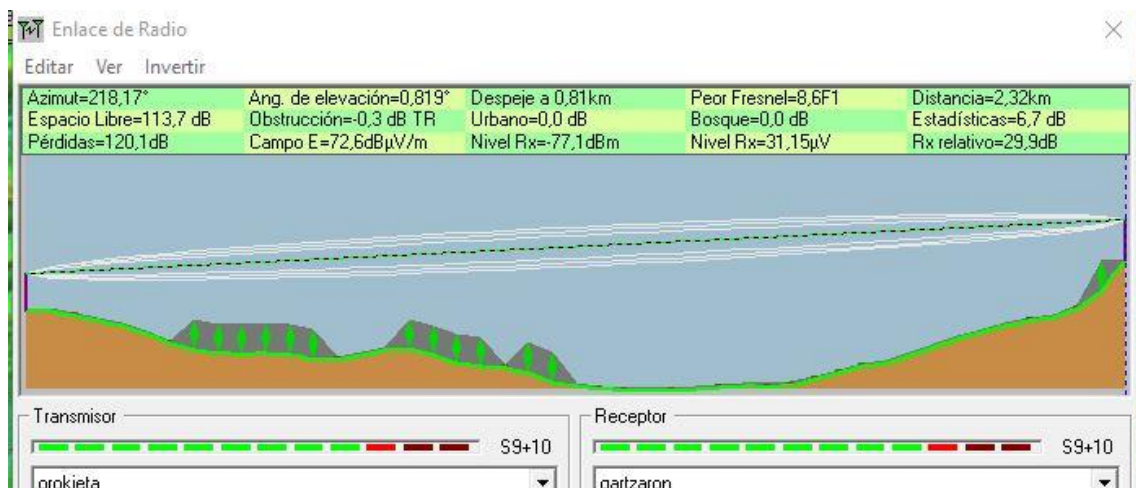


Figura 34: Radioenlace Orokieta-Gartzaron.

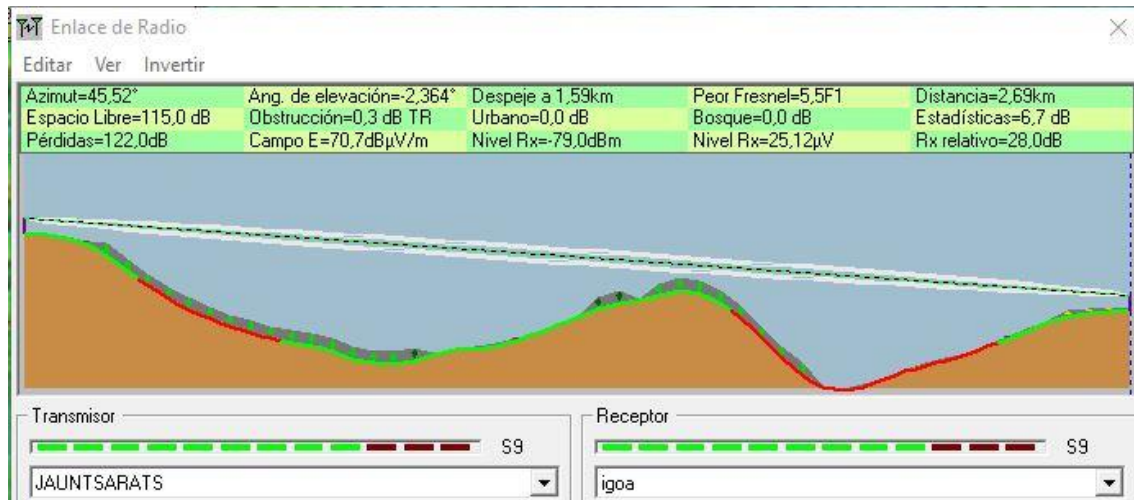


Figura 35: Radioenlace Jaunsarats-Igoa.

Nota: en este radioenlace se utiliza el CT de Jaunsaras2.

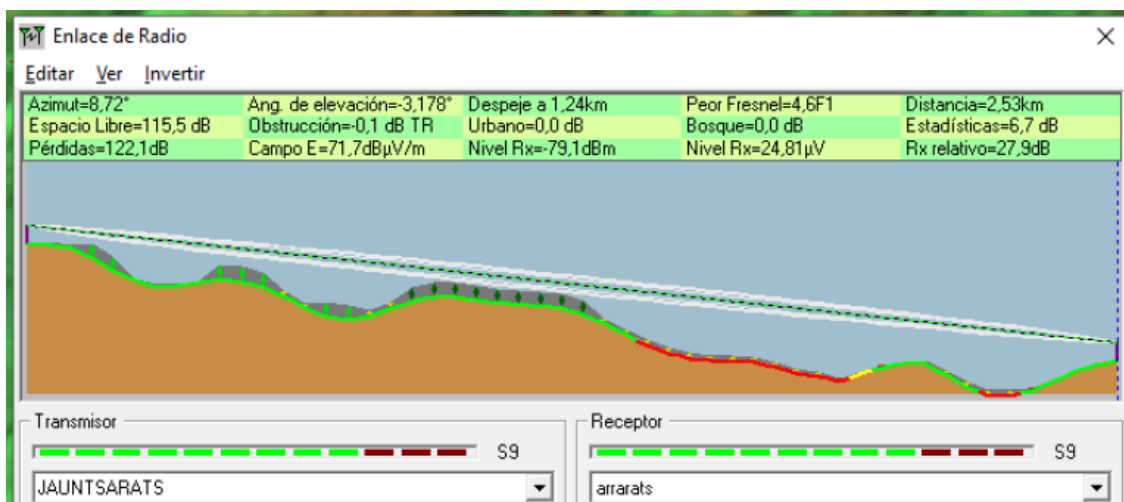


Figura 36: Radioenlace Jaunsarats-Arrarats.

Nota: en este radioenlace se utiliza el CT de Jaunsaras1.

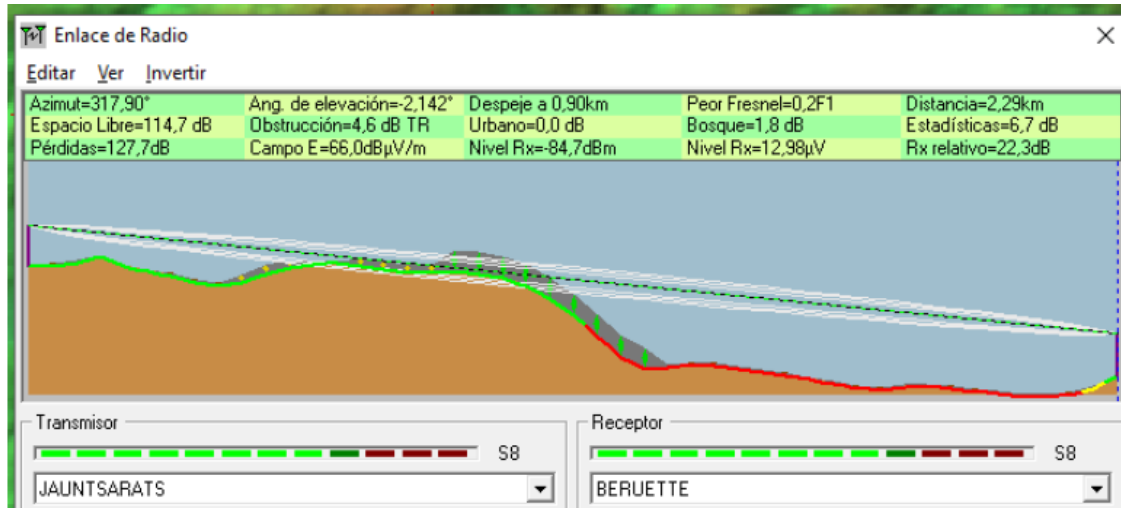


Figura 37: Radioenlace Jaunsarats-Beruetete.

Nota: en este radioenlace se utiliza el CT de Jaunsaras1.

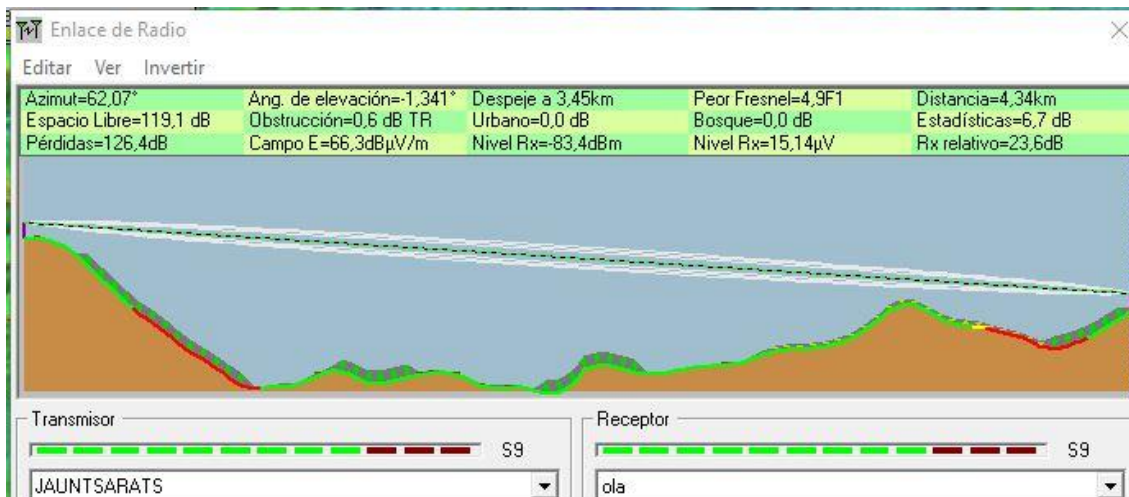


Figura 38: Radioenlace Jaunsarats-Ola.

Nota: en este radioenlace se utiliza el CT de Jaunsaras2.

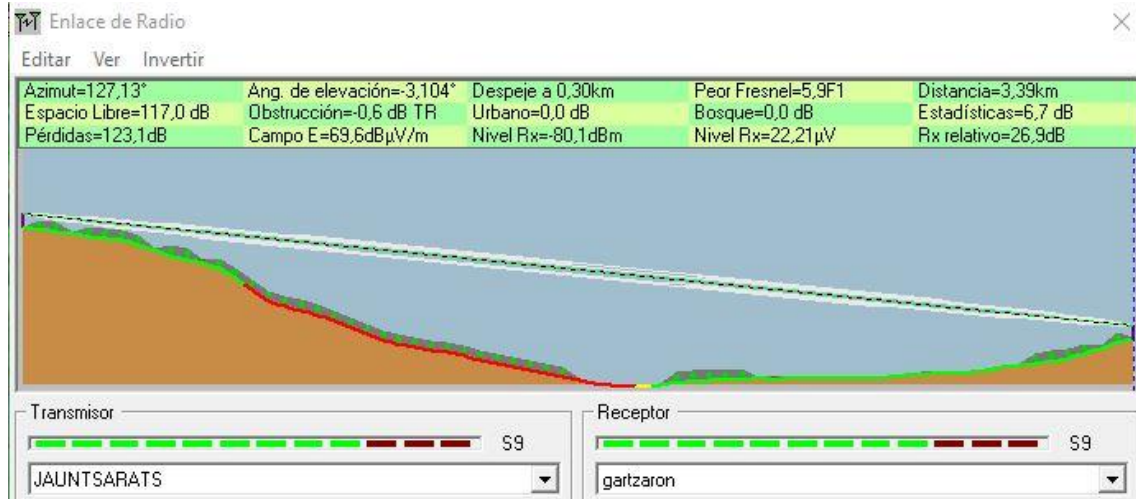


Figura 39: Radioenlace Jaunsarats-Gartzaron.

Nota: en este radioenlace se utiliza el CT de Jaunsaras2.

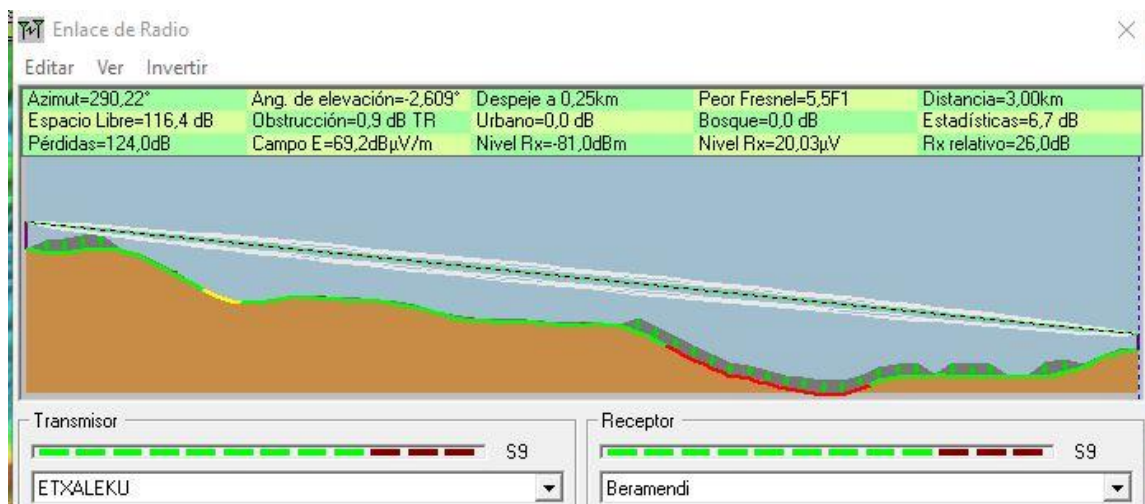


Figura 40: Radioenlace Etxaleku-Beramendi.

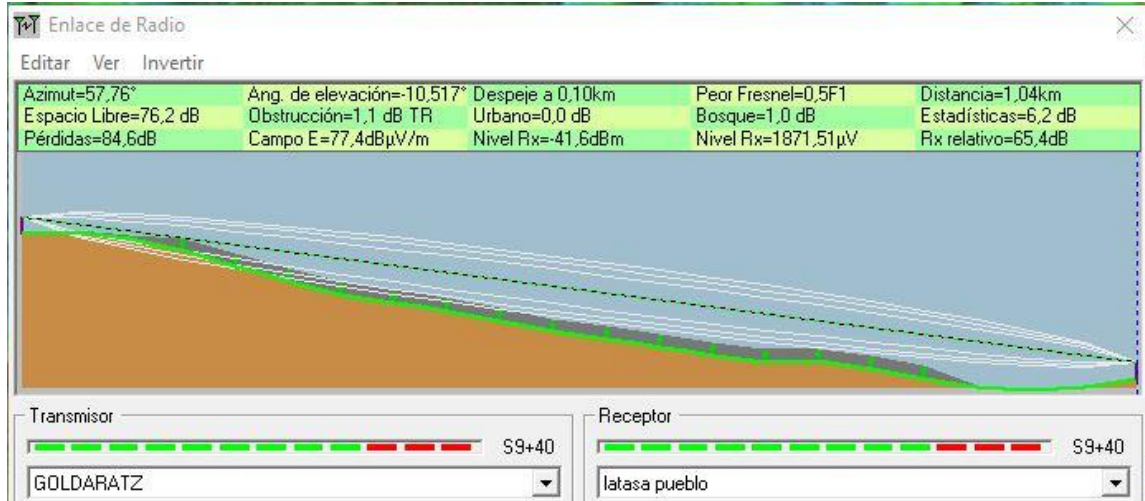


Figura 41: Radioenlace Goldaraz-Latasa.

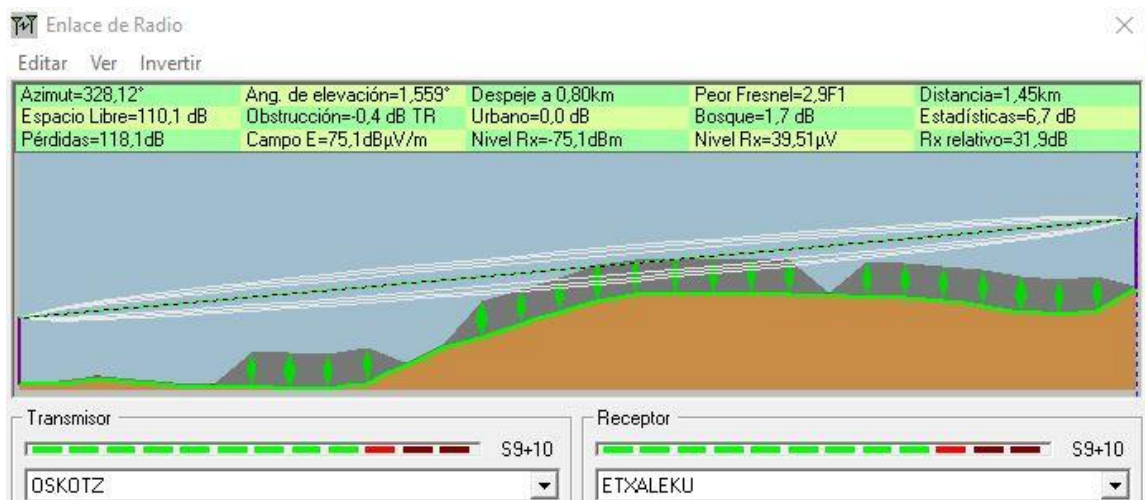


Figura 42: Radioenlace Oskotz-Etxeleku.

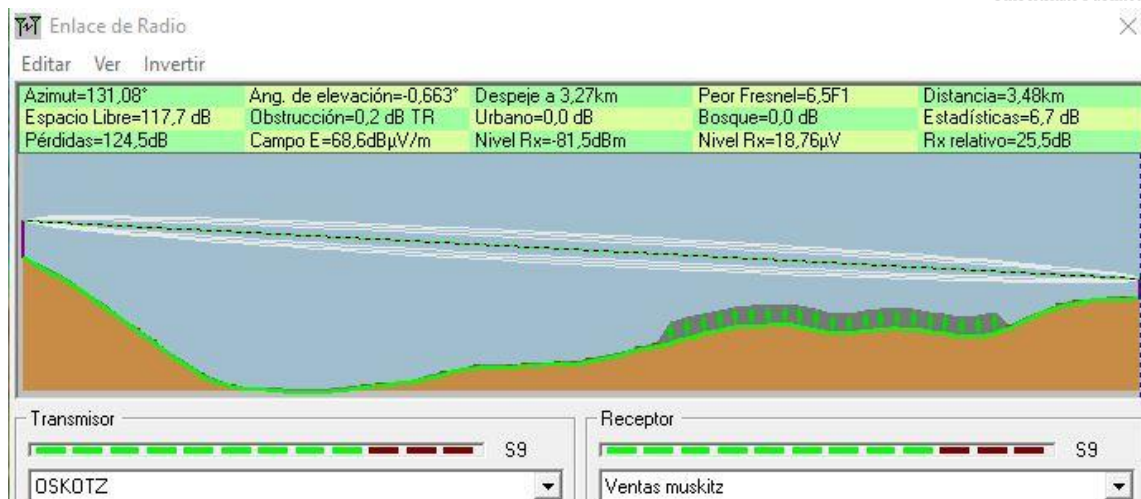


Figura 43: Radioenlace Oskotz-Ventas Muskitz.

Se puede apreciar como todos los radioenlaces realizados cumplen satisfactoriamente los requisitos de visibilidad que se requieren para que cada uno de ellos funcione a la perfección. Así mismo se aprecia cómo queda libre en todos ellos la primera zona de Fresnel. También se ve la distancia en kilómetros de cada uno de los radioenlaces, todos ellos de corto alcance.

6.6 Red de acceso

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

A continuación, se presenta una tabla resumen de la zona concreta de este proyecto (Basaburua-Imoz). En ella queda reflejada a que poblaciones da cobertura cada CT existente, así como los habitantes de cada pueblo. La tecnología que se va a utilizar para dar cobertura a cada pueblo concreto es una tecnología punto-multipunto, se ha elegido esta tecnología debido a que las características que tienen se ajustan perfectamente a este proyecto en particular.

El número de habitantes de cada zona es importante para poder estimar la penetración al 50% en este caso. Se tendrá en cuenta que cada vivienda tiene 2,5 habitantes para así calcular el número de viviendas a las que se va a dar cobertura. Todos estos cálculos se realizan para poder calcular finalmente la capacidad agregada

mínima por usuario, para así saber en cada estación la capacidad necesaria en un principio. Aunque en el PBAN se diga que cada usuario tiene que tener 30Mbps, por ley se le tiene que asegurar únicamente el 10% de este valor, por tanto, este dato es el que tendrá que ser tenido en cuenta

BASABURUA-IMOZ								
ESTACIÓN	POBLACIÓN	HABITANTES	ESTIMACIÓN VIVIENDAS (2,5 habitantes)	ESTIMACIÓN PENETRACIÓN (50%)	CLIENTES POR ESTACIÓN	Distancia CT - Población	Capacidad agregada mínima (10% 30Mbps por usuario)	Agregación acumulada CTs
CT Beruete	Beruete	149	60	30	30	580	90	90
CT Aizarotz	Aizarotz	185	74	37	37	650	111	111
	Erbiti	36	14	7		2400		
CT Gartzaron	Gartzaron	76	30	15	22	2080	66	
CT Jauntsarats 1,2			0	0	0		0	171
CT Etxaleku	Etxaleku	114	46	23	23	570	69	132
CT Oskotz	Oskotz	68	27	14	14	335	42	63
CT Goldaratz	Eraso	44	18	9	12	2370	36	36
	Zarrantz	14	6	3		4240		
CT Latasa			0	0	0		0	0
CT Ola	Ola	16	6	3	3		9	9
CT Orokieta	Orokieta	35	14	7	7		21	21
CT Arrarats	Arrarats	56	22	11	11		33	33
CT Igoa	Igoa	81	32	16	16		48	48
CT Muskiz	Muskiz	36	14	7	7	440	21	21

Figura 44: Tabla de estimaciones de los CTs.

Se va a mostrar la cobertura que se obtiene en cada tramo de la zona de Basaburua-Imoz, para el cálculo de coberturas se han utilizado dos métodos:

- 1) Mediante la herramienta RadioMobile: poniendo las coordenadas de cada punto en concreto. Se realiza una simulación para ver la visibilidad que hay.
- 2) Mediante una empresa especializada (para mayor exactitud): en este punto, se enviaba los posibles radioenlaces que se pretendía que funcionasen y la empresa encargada de ello daba respuesta con la simulación de cobertura y lo parámetros utilizados en dicha simulación, que eran los que se les había indicado en un principio, con los equipos que ya habían sido seleccionados.

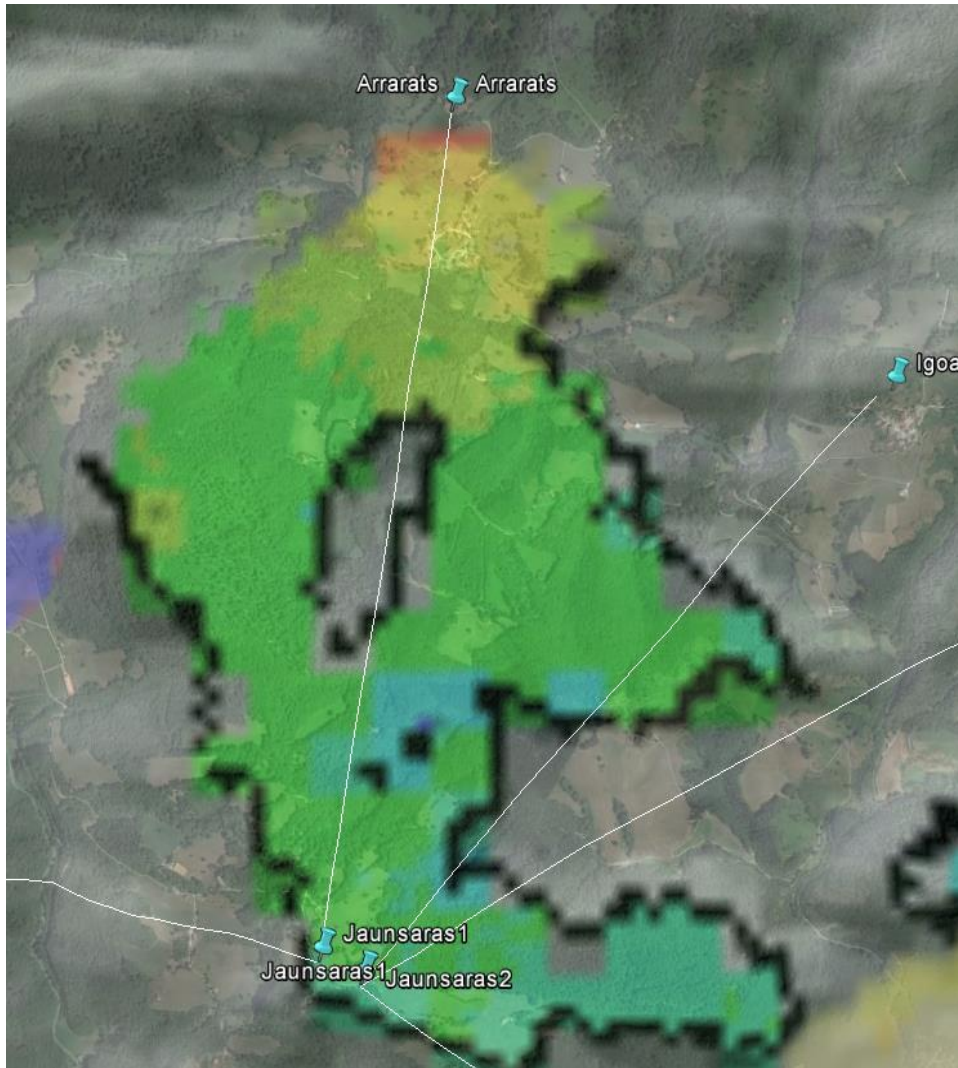


Figura 45: Mapa de cobertura de Arrarats.

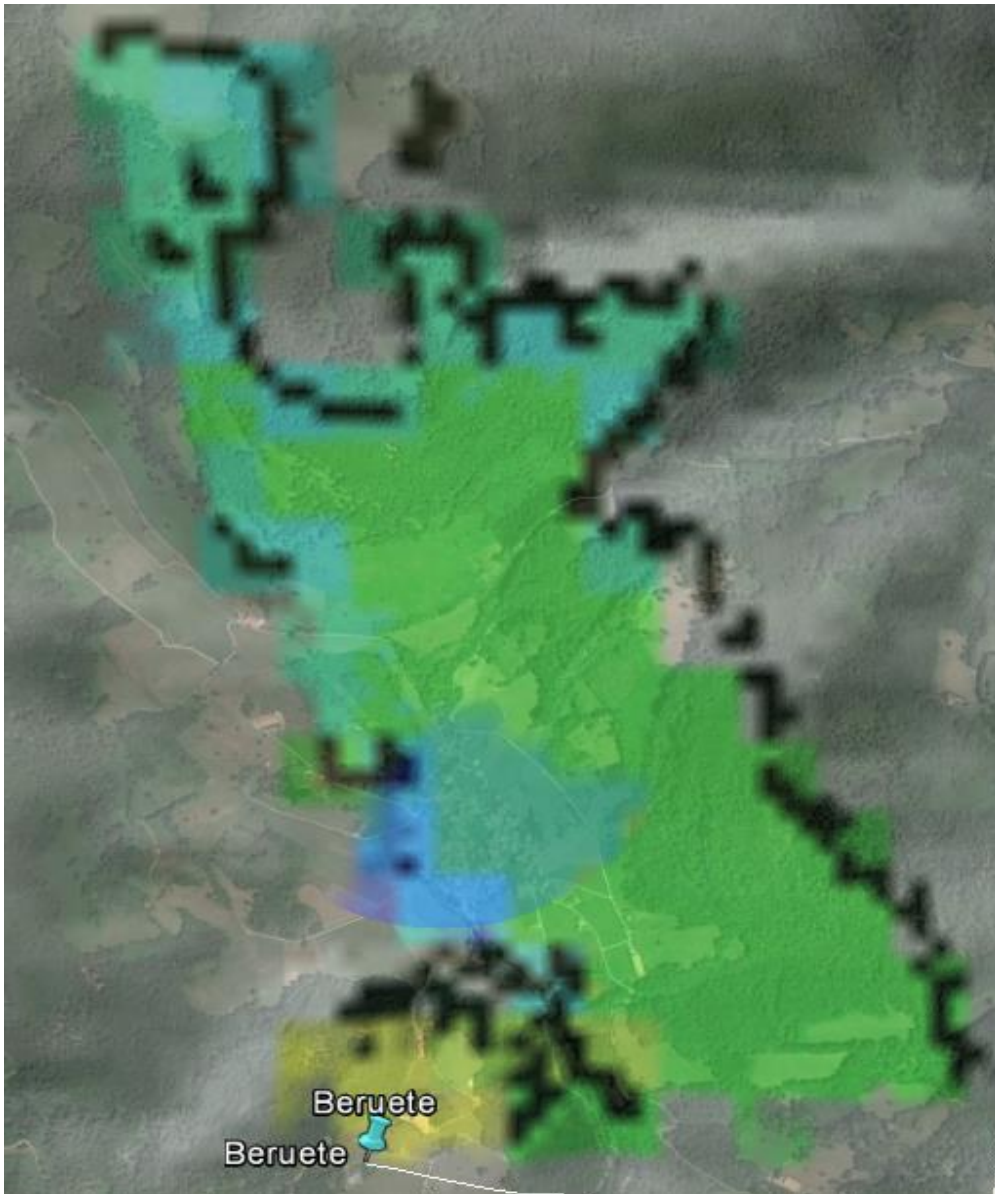


Figura 46: *Mapa de cobertura de Beruete.*

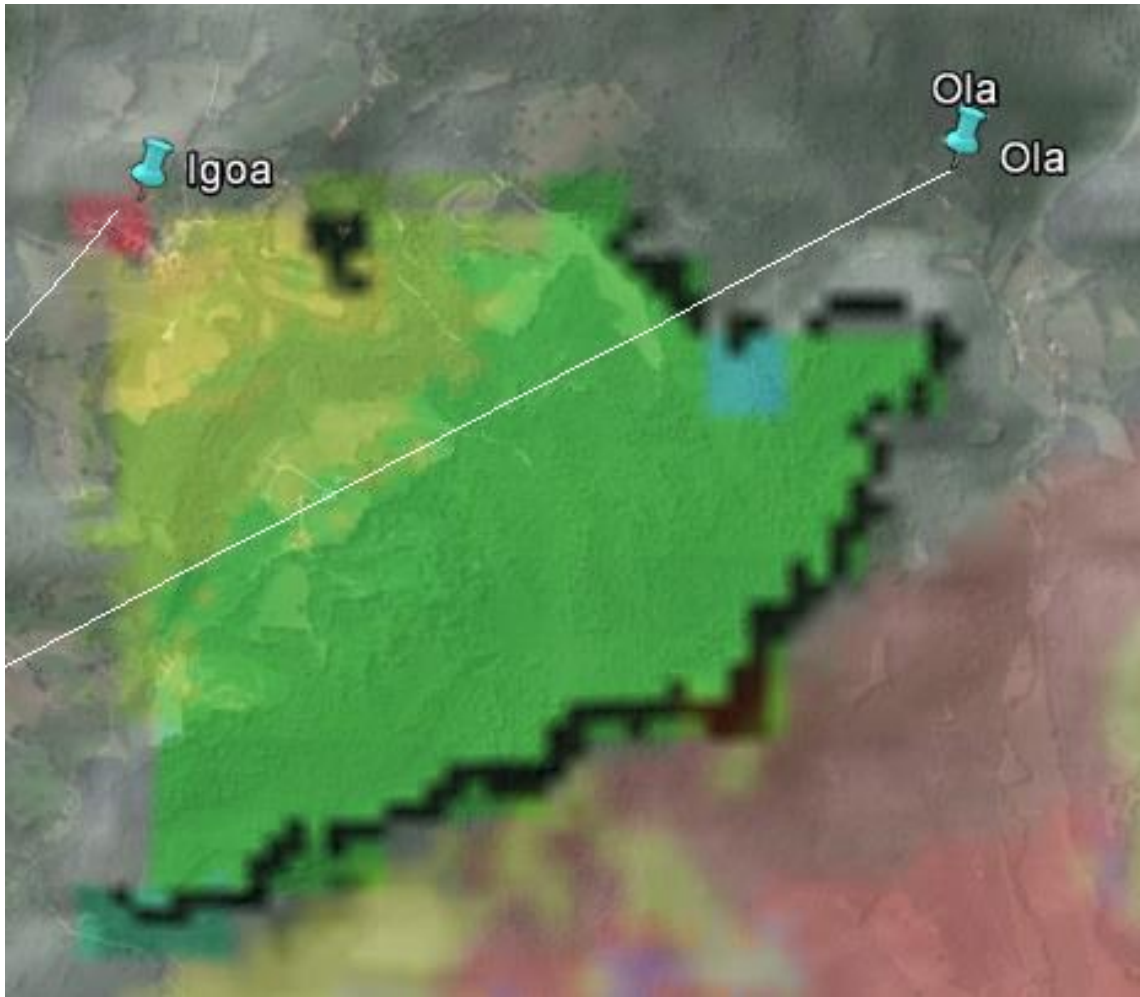


Figura 47: *Mapa de cobertura de Igoa.*

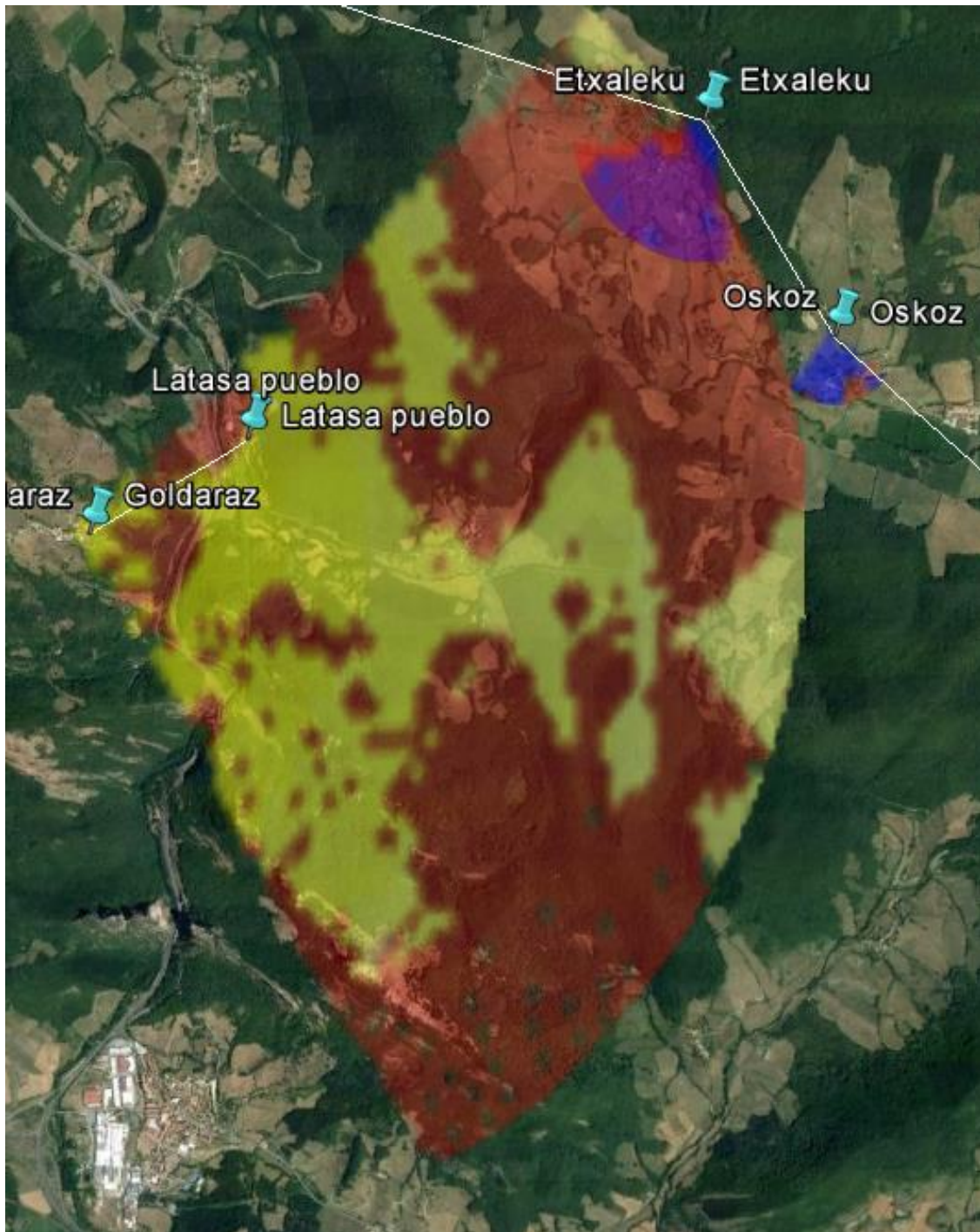


Figura 48: Mapa de cobertura de Oskoz, Etxaleku, Goldaraz y Latasa.

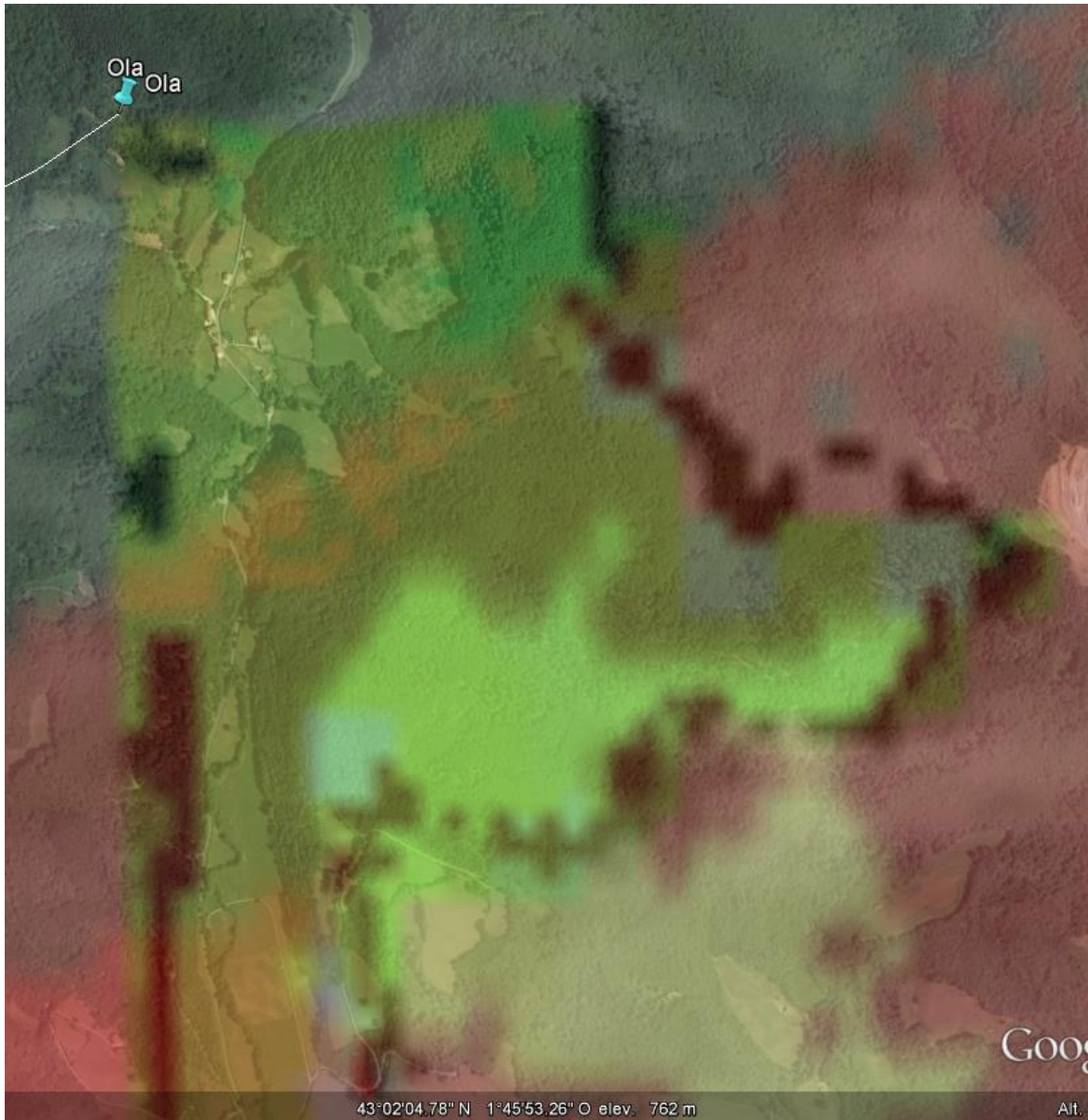


Figura 49: *Mapa de cobertura de Ola.*

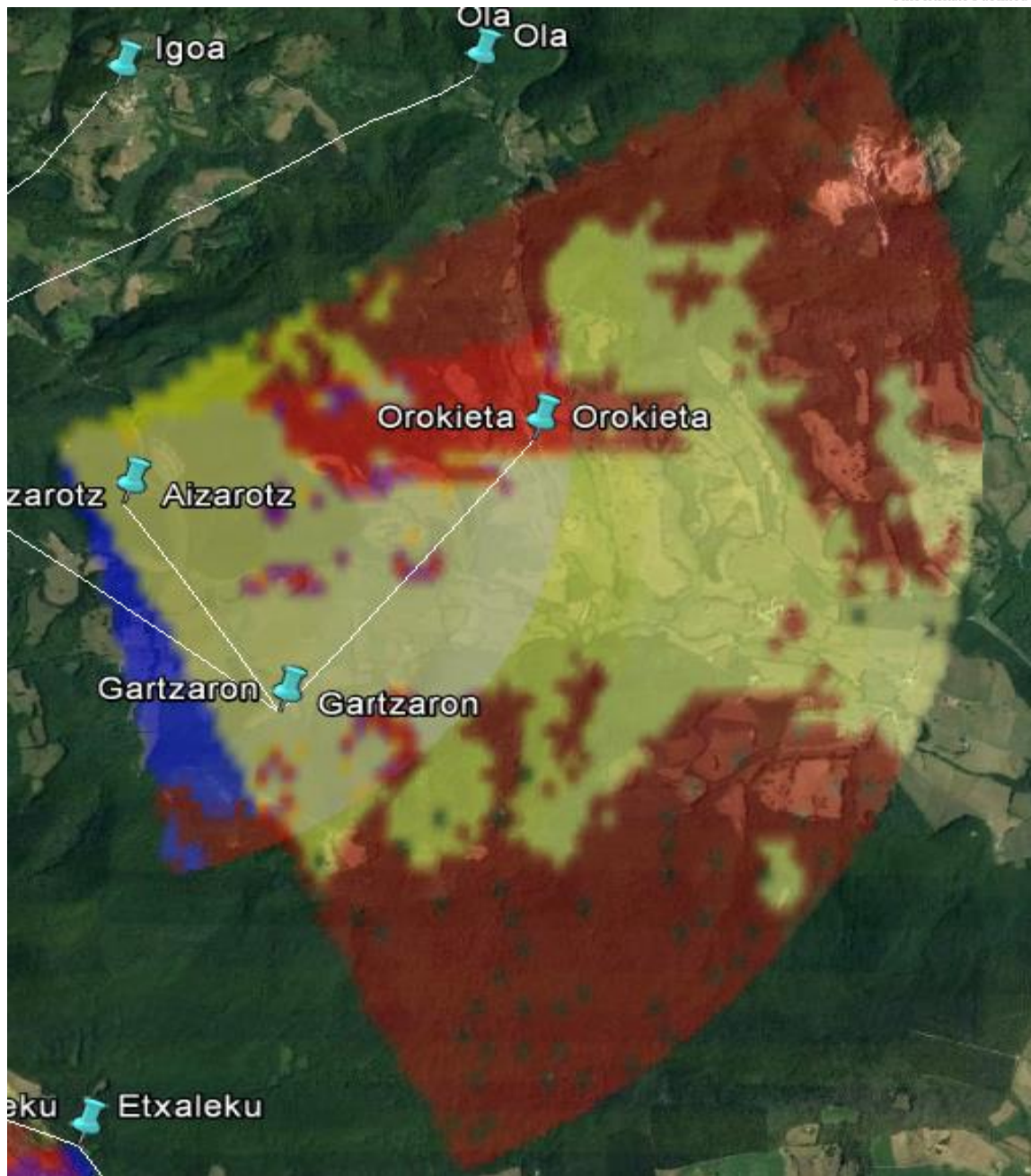


Figura 50: Mapa de cobertura de Orokieta, Aizarotz y Gartzaron.

Se ha decidido separar los mapas de cobertura por zonas para que se aprecie mejor como de esta forma se da cobertura a toda la zona completa de Basaburua-Imoz, de manera que únicamente se quedan excluidos de la solución radio aquellos pueblos a los que se les va a dar cobertura mediante fibra óptica, por lo que más adelante en el proyecto se explicará cómo se va a hacer para estos casos.

Cabe destacar que cada uno de los colores de las capturas corresponde a una antena sectorial, por ejemplo, en la figura 37 hay tres colores distintos, azul, rojo y amarillo, cada uno de ellos da cobertura a la zona correspondiente con cada color. Todas ellas transmiten en la banda de 5Ghz, unas transmitirán en 5,4 Ghz que tendrán una potencia de 1 W (se usarán para las de corta distancia) otras en 5,8 Ghz, con una potencia de 4 W (se usarán para las de más larga distancia).

A la hora de buscar esta solución que dé servicio a todas las zonas que se pedía, han sido necesarias varias soluciones previas antes de la solución final.

Otro punto que se tiene que tener en cuenta es la calidad que se da con las antenas sectoriales en cada uno de los pueblos. Para ellos se va a presentar diferentes capturas de las simulaciones hechas por Radwin en las cuales se irá observando los distintos parámetros que se han obtenido.

ETXALEKU(ETXALEKU_CT ETXALEKU)	
RADWIN	
ODU Name	ETXALEKU(ETXALEKU_CT ETXALEKU)
Link ID	665
Product	RW5000/HSU/55A0/F54/ETSI/INT
Band ID	5.8 GHz ETSI/GER
Antenna	Integrated
HSS	Independent
Polarization	Dual
TX Power	10 dBm
Cable Loss	0 dB
EIRP	36 dBm
RSSI	-41.1 dBm
Fade Margin	16.9 dB
CBW	40 MHz
Rate	400 Mbps
RFP	E
Distance From Peer	0.322 m
Latitude	42.969357°
Longitude	-1.790611°
Height(AMSL)	613 m
Height(AGL)	10 m
Azimuth	32.6
Elevation	19.2

Other Site Parent Link

Indicaciones: [Hasta aquí](#) - [Desde aquí](#)

Figura 53: Parámetros Etxaleku.

ERBITI(ERBITI_CT AIZAROTZ)	
RADWIN	
ODU Name	ERBITI(ERBITI_CT AIZAROTZ)
Link ID	621
Product	RW5000/HSU/55A0/F54/ETSI/INT
Band ID	5.8 GHz ETSI/GER
Antenna	Integrated
HSS	Independent
Polarization	Dual
TX Power	10 dBm
Cable Loss	0 dB
EIRP	36 dBm
RSSI	-58.9 dBm
Fade Margin	8.1 dB
CBW	40 MHz
Rate	240 Mbps
RFP	E
Distance From Peer	2.357 m
Latitude	42.999635°
Longitude	-1.766658°
Height(AMSL)	592 m
Height(AGL)	10 m
Azimuth	306.4
Elevation	2.3

Other Site Parent Link

Indicaciones: [Hasta aquí](#) - [Desde aquí](#)

Figura 54: Parámetros Erbiti.

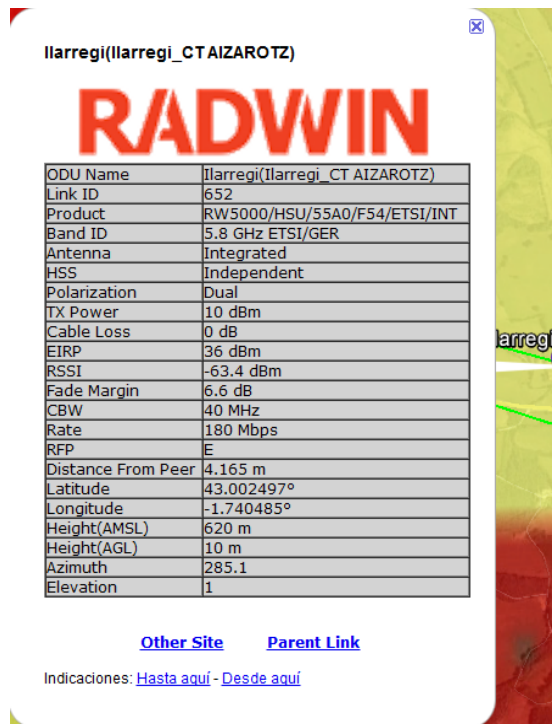
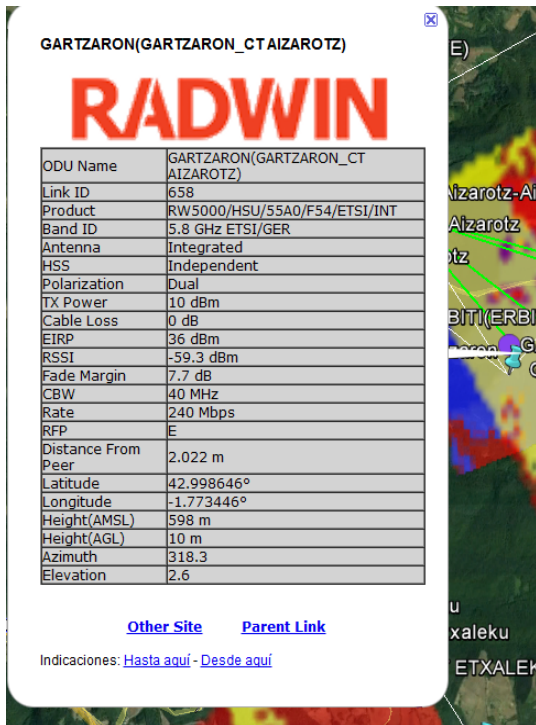


Figura 55: Parámetros Gartzaron.

Figura 56: Parámetros Ilarregi.

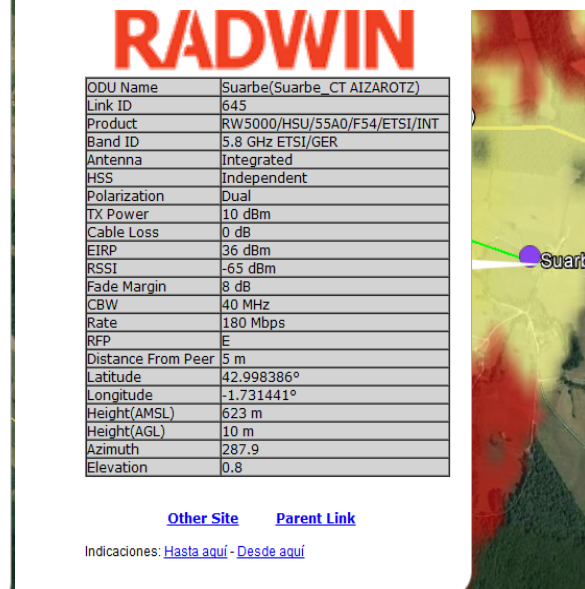
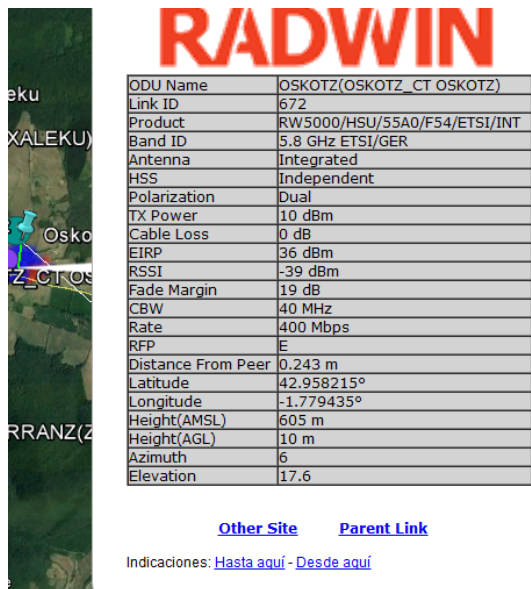


Figura 57: Parámetros Oskotz.

Figura 58: Parámetros Suarbe.

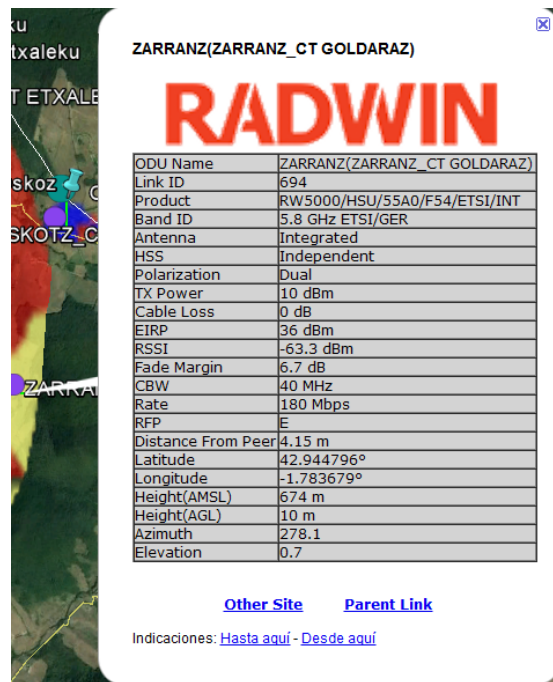


Figura 59: *Parámetros Zarranz.*

En las distintas capturas anteriores se puede ver parámetros importantes de la red de transporte como: la potencia que se emite (TX Power), la potencia que se recibe (RSSI), la velocidad que se consigue (Rate), la distancia de un punto al otro (desde el CT que da cobertura al pueblo), la potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP), todos estos son algunos de los más importantes que cabe destacar.

La velocidad que se consigue será en el mejor de los casos y se repartirá entre todos los clientes que haya en cada pueblo o zona, se aprecia en las capturas como varía la velocidad según el pueblo que sea, esto es debido a la distancia que hay desde un punto a otro. Por ejemplo, en los pueblos que la distancia es inferior a 0,3 km se ve cómo se consiguen 400 Mbps, en cambio en los que la distancia es superior a 4 km únicamente se consiguen 180 Mbps. La potencia recibida también varía según la distancia, a mayor distancia del enlace menor potencia acaba llegando al receptor, como es de suponer, ya que el balance de potencia siempre dependerá de la distancia.

6.6.1 Características de la red

La solución obtenida tiene varios radioenlaces, en los cuales el de mayor longitud tiene aproximadamente 4,35 km que es el perteneciente a Jaunsarats-Ola, lo que indica

que estamos trabajando con enlaces de corta distancia. Como en el camino de una antena a otra se interponen ciertos obstáculos, es necesario poner torretas de diferentes alturas para poder salvar dichos obstáculos. Las alturas a las que se colocarán las distintas antenas rondarán los 20-30 metros, así se conseguirá una perfecta transmisión, ya que se tendrá visibilidad directa.

La principal finalidad de estos radioenlaces es conseguir la transmisión de datos a 30 Mbps, para llegar a alcanzar esta velocidad ha sido necesario utilizar una modulación de 2048 QAM, más adelante en las hojas de especificaciones se especificará para qué radioenlace se usa cada una de ella.

El modo de operación de las antenas que se utilizará será el 1+0, esto quiere decir que únicamente se utiliza una radio, no se requiere de otra radio redundante. Cabe destacar que aunque en este caso se utilice 1+0, esta configuración es compatible con la 2+0 XPIC, la cual utiliza dos polarizaciones ocupando un mismo ancho de banda.

Como se requiere la máxima capacidad posible y modulación de 2048 QAM, el ancho de banda que se requiere es de 56 MHz, aunque los equipos que se van a elegir

como máximo tiene 112 MHz de ancho de banda. Este ancho de banda no depende de la longitud de los enlaces, son datos completamente independientes.

A continuación, se va a presentar una tabla (Ministerio de Industria, Energía y Turismo) en la que se vea la relación entre la longitud y la frecuencia a utilizar en cada radioenlace del proyecto, para el caso de alta capacidad y para el caso de baja capacidad.

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 60: *Bandas de frecuencia a utilizar según longitud del vano y de la canalización.*

Se elegirá el menor ancho de banda que cumpla con los requisitos de velocidad necesarios, por tanto 56 MHz, se elige el menor posible por temas económicos, a mayor ancho de banda mayor precio, se puede apreciar cómo estamos en el caso de alta capacidad. Y al tener enlaces de muy poca longitud como ya se ha dicho, estamos en las bandas de frecuencias de ≥ 26 GHz, por lo que se usará la banda de 38 GHz. En los enlaces de mayor distancia, aunque siguen siendo enlaces cortos se usará la banda de 23 GHz, todos estos datos se pueden apreciar en el anexo I.

Existen otro tipo de sistemas como son el 1+1 (prácticamente ya en desuso) o el 2+2, nos aportan redundancia y una fiabilidad de funcionamiento del sistema más alto, pero en este tipo de casos no necesitamos un nivel de seguridad tan alto.

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)

Por último, es necesario comprobar para la zona elegida, si la banda de frecuencias seleccionada está libre o no, en el espectro de frecuencias. En el ministerio de Industria del Gobierno de España existe una herramienta, que es la que se utilizará, que sirve para realizarlo. El programa se llama Semibanda y presenta este interfaz:



Figura 61: Captura de la interfaz del programa Semibanda v 3.0.

Para utilizar este programa únicamente se necesita poner las coordenadas del sitio concreto que se quiere comprobar y seleccionar la banda de transmisión. En el recuadro de abajo saldrá el resultado del emplazamiento que se ha puesto para comprobar. Existen diferentes soluciones:

- Baja: indica que se debe transmitir en la parte baja de la banda de frecuencias.
- Alta: indica que se debe transmitir en la parte alta de la banda de frecuencias.
- Indiferente: indica que no hay establecida ninguna Semibanda de transmisión, por lo que se podría elegir en principio cualquiera de las dos Semibandas.
- A determinar: no se puede determinar una Semibanda para el lugar indicado.

Se comprobará para todos los emplazamientos del proyecto si la banda de frecuencias se encuentra libre, y se pondrá uno de ellos como ejemplo para verificarlo.

Aplicación IdeSemibanda

Archivo Ayuda

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

IdeSemibanda v 3.0

Seleccione latitud del emplazamiento(ETRS89): 43 N 2 27.27 Seleccione longitud del emplazamiento(ETRS89): 1 W 48 17.45

Seleccione banda de transmisión: 26 GHz Limpiar Consultar

Resultado:
Emplazamiento: 43° N 2' 27.27" / 1° W 48' 17.45"
Banda: 26 GHz Semibanda: INDIFERENTE

Figura 62: *Resultado de frecuencia libre del CT de Arrarás.*

6.6.2 Elección de los equipos de radio de transporte

En cuanto a los equipos que se ha seleccionado para los radioenlaces son de la marca NEC, y son los siguientes:



Figura 63: IPASOLINK VR2 (1U, fixed type).



Figura 64: IPASOLINK VR2 (antena).

Se han elegido estos equipos porque cumplen los requisitos que se necesitan para satisfacer las necesidades de los radioenlaces.

- Alta gama.
- Tienen un rango amplio de frecuencias que va desde los 6Ghz-42Ghz.
- El ancho de banda puede llegar hasta los 112 MHz.
- Tienen un bajo consumo
- Permiten la configuración 1+0 (la que se va a utilizar en este caso) y varias más.
- Llega a 4096 QAM.
- Fiabilidad.
- Doble fuente de alimentación.
- Modulación adaptativa XPIC.
- ODU's de alta potencia.
- Agregación radio.

En el anexo II se podrá la hoja de características de dichos equipos más detalladas.

Entre las marcas de este tipo de equipos cabe destacar RADWIN, Ubiquiti, Cambium Networks y Proxim, todos ellos expertos en el tema. Sin embargo, los equipos elegidos para dar cobertura de banda ancha serán de la marca RADWIN, especialista en esta gama de productos. Se elige esta marca porque es de alta gama, sus equipos tienen buenas características, son resistentes y duraderos en el tiempo. También tienen la ventaja de que prestan el servicio de simulación con sus propios equipos para poder ver resultados prácticamente exactos. Al ser una conexión punto-multipunto se necesitan unos equipos que estén preparados para ello.

Se ha elegido en concreto el RADWIN 5000 JET, este equipo está compuesto por una antena MIMO "Multiple Input Multiple Output" permite una cobertura mayor en zonas de difícil acceso eliminando en lo posible la pérdida de paquetes de datos vía inalámbrica, también nos proporciona mayor velocidad inalámbrica por usar varias antenas de forma simultánea) 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. Ofrece diferentes ventajas, entre ellas cabe destacar las siguientes:

- Mayor ganancia de la antena y el sistema.
- Inmunidad a las interferencias mejorada, similar a PtP.
- Mayor reutilización de frecuencia.
- Operación excelente en condiciones nLOS/NLOS.
- Opera en bandas sin licencia.
- Entrega hasta 350 Mbps por sector (para 40 Mhz).
- Selección dinámica de ancho de banda de canal: 80/40/20 MHz.
- Baja fluctuación.

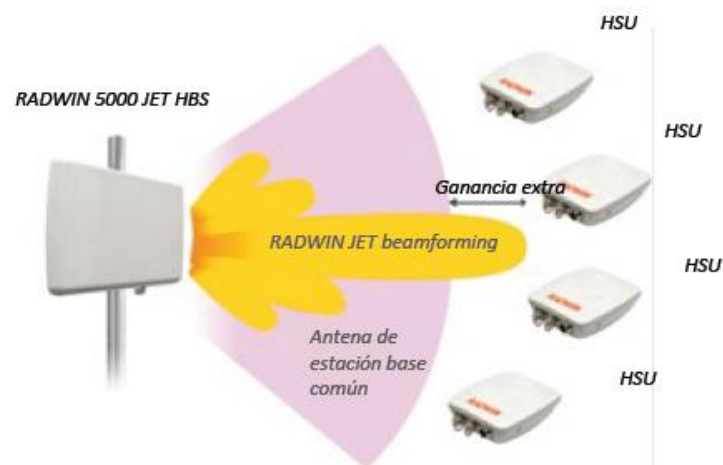


Figura 65: Radwin 5000 JET.

En el anexo III se apreciará la hoja de características de Radwin 5000 JET con todas sus características.

6.7 Zonas fibra

Como ya se ha explicado en un principio la solución de este proyecto es una solución mixta fibra-radio. Por lo que este apartado tratará de explicar la parte en la que se utilizará fibra óptica.

Este despliegue va a ser realizado en varias poblaciones del proyecto, con el fin de beneficiarse de las tecnologías y servicios de telecomunicaciones, en concreto el Internet de banda ancha, así será posible ir reduciendo poco a poco la “brecha digital”.

Para llevar a cabo esta parte de la red se requiere de varias infraestructuras de las cuales se apoya el proyecto (arquetas, canalizaciones...), su construcción conlleva un coste elevado y a su vez causa un impacto ambiental, paisajístico, etc. Por esto mismo se intentará utilizar en la medida de lo posible las infraestructuras ya existentes, cuando sea viable.

Se ha realizado un replanteo de las infraestructuras existentes en todo su recorrido e “in situ” para la elaboración de esta segregación. Y se ha decidido que los pueblos a los que se dará cobertura mediante esta tecnología son: Jaunsaras, Itsaso, Ihaben, Beramendi, Udabe, Urritza, Latasa y Muskiz, que están próximos unos a otros, por eso se ha llevado a cabo esta decisión de despliegue de fibra en estos casos. Como se ha mencionado más arriba, todos ellos están contemplados en el PIL.

Para el tendido de fibra óptica de esta segregación se utilizarán en lo posible aquellas infraestructuras existentes, canalizaciones de telecomunicaciones y alumbrado de carreteras... Para ello será necesario previamente mandrilar el tubo, con su correspondiente guía antes del tendido manual del cable de 64 fibras ópticas proyectado.

En primer lugar, la fibra llegará a Latasa por la carretera A-15, proveniente de Irurzun, proyecto que se ejecutó con anterioridad mediante microzanja.



Figura 66: Tramo de fibra Irurzun a Latasa.

Una vez en Latasa, se cambiará de ramal a la NA-1300 (Antigua carretera a San Sebastián), la cual llegará hasta el inicio de la NA-411.

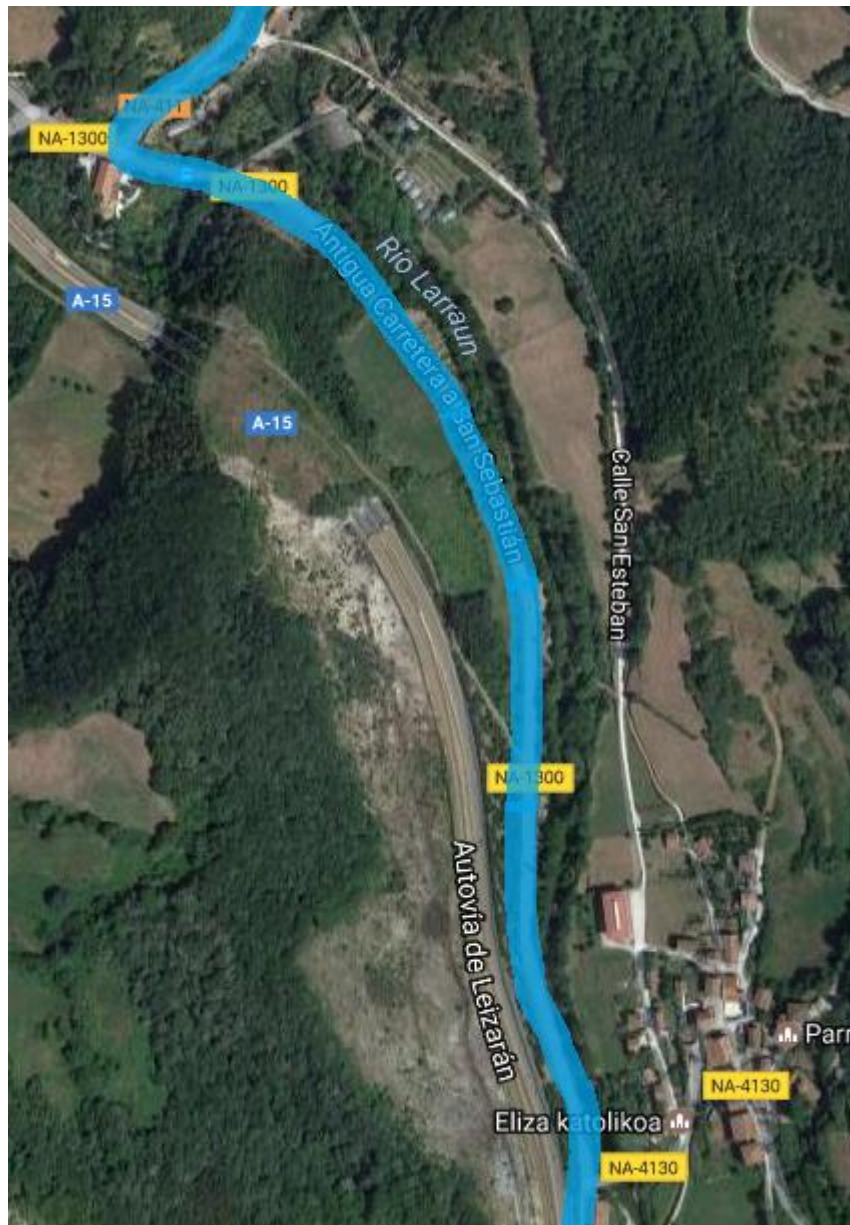


Figura 67: Tramo de fibra Latasa a Urriza .

En el punto en el que se marca en la imagen siguiente, se cambiará de infraestructura, y pasará de ir por microzanja a ir por arquetas. En la imagen segunda se puede ver la arqueta en la cual se va a realizar dicho cambio.



Figura 68: Tramo de fibra en Urriza.

A continuación, la fibra irá desde la arqueta mostrada anteriormente recorriendo el pueblo de Urriza por las arquetas ya existentes. Estas arquetas pertenecían a la canalización de agua, pero ya llevan varios años libre, por lo que se ha acordado con el ayuntamiento de la zona que se va a utilizar para poder llevar por ahí la fibra óptica necesaria, ya que es un espacio muy amplio y es adecuado para ello. En la Yeguada de Udabe será necesaria la construcción de una nueva arqueta como se puede apreciar en la imagen, será utilizada en usos futuros.

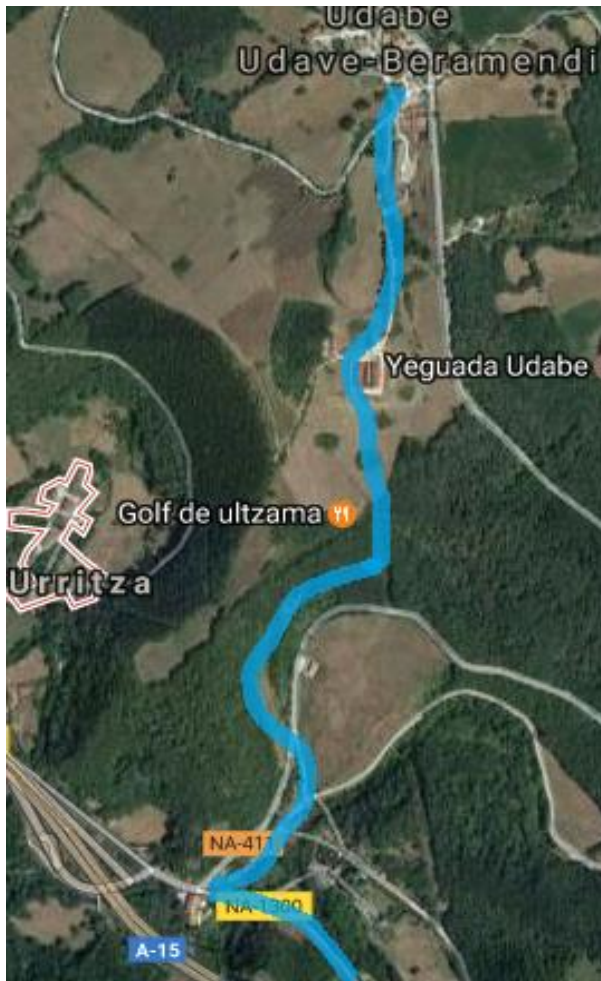


Figura 69: Tramo de fibra d Urritza Udabe.

Desde la Yeguada de Udabe hasta el pueblo de Udabe irá por la canalización nueva, en el pueblo se seguirá el camino trazado en la siguiente imagen hasta llegar a la arqueta que esta al finalizar el pueblo, se puede apreciar en la figura 69, segunda imagen.

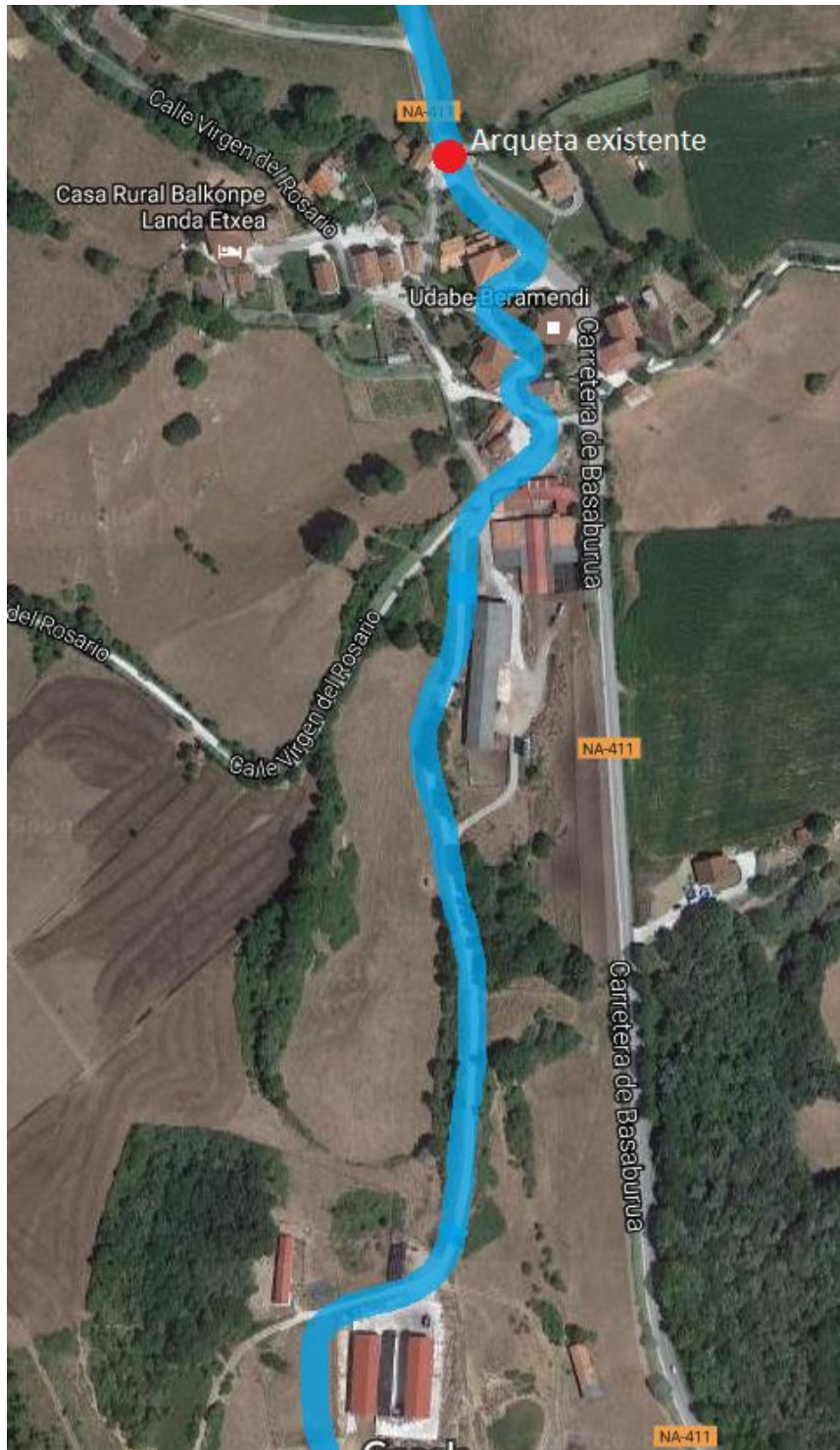


Figura 70: Tramo de fibra de Yeguada de Udabe hasta Udabe pueblo.



Figura 71: *Tramo de fibra en Udabe.*

En esta última arqueta mostrada perteneciente al pueblo de Udabe figura 73, será donde se de paso al cambio de canalización, para así poder llegar mediante microzanja al resto de pueblos que quedarían por cubrir. Se puede apreciar mejor en la

siguiente imagen el camino que se recorrería por la carretera NA-411 hasta llegar a Jaunsaras.

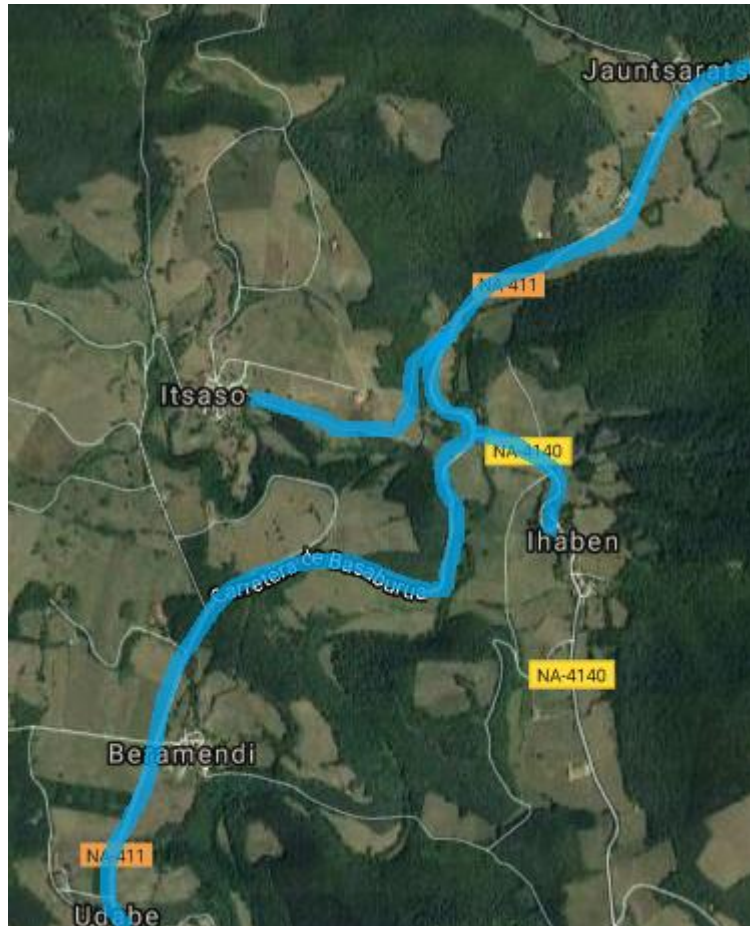


Figura 72: Tramo de fibra Ventas de Udabe-Jaunsaras.

Para dar cobertura al pueblo de Muskiz ha sido necesaria una solución de fibra, el pueblo se encuentra en zona de sombra y es imposible darle cobertura mediante una solución radio. Se colocará un nuevo mini CT en las ventas de Muskiz (lugar en el que sí que hay visibilidad) que se enlazará con el CT de Oskoz. Desde ese mini CT se conectará con el pueblo mediante fibra óptica recorriendo el tramo que se aprecia en la figura 73, usando la técnica de la microzanja.

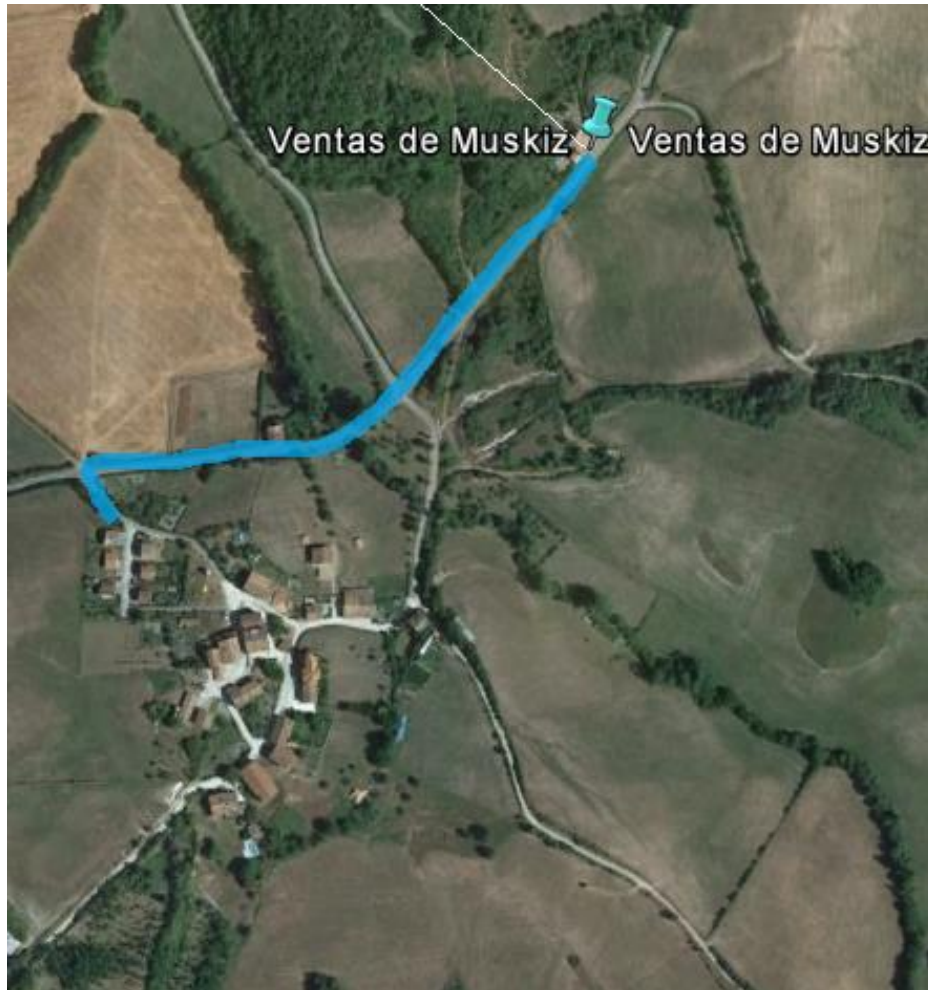


Figura 73: *Tramo de fibra Ventas de Muskiz-Muskiz pueblo.*

6.8 Cable de fibra óptica

En la nueva red de fibra óptica, debido a los requerimientos futuros de alta capacidad sobre largas distancias y por tanto baja atenuación y baja dispersión, se utilizarán, dos tipos de fibra óptica monomodo siguiendo las recomendaciones ITU-T G.652.D e ITU-T G.655 C.

El número de fibras de cada tipo y para cada cable viene determinado por los requerimientos de capacidad por tramos que se desprende del diseño de la red de telecomunicaciones por fibra óptica de alta capacidad que va a desplegar el Gobierno de Navarra.

En el tramo descrito en el presente proyecto se empleará un único cable mixto de fibra óptica con cubierta con protección anti roedores de acero corrugado PESP,

compuesto por 64 fibras ópticas monomodo de las cuales 32 fibras serán conforme a la norma G.655.C y el resto, 32 fibras ópticas, serán conforme a la norma G.652.D.

7 Presupuesto

El presupuesto se dividirá en dos, el perteneciente a la solución radio y el perteneciente a la solución de fibra. Finalmente se resumirá todo en una única tabla, para verlo con más claridad.

PRESUPUESTO RADIO			
EQUIPOS NEC			
RESUMEN	UNIDADES	PRECIO	IMPORTE
Radioenlace Beramendi-Etxaleku Equipos radio trabajando a 23 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,6m.	1	8.020	8.020,00 €
Radioenlace Etxaleku-Oskoz Equipos radio trabajando a 23 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,6m.	1	8.020	8.020,00 €
Radioenlace Goldaraz-Latasa Equipos radio trabajando a 38 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,3m.	1	7.980	7.980,00 €
Radioenlace Oskoz-Ventas Muskiz Equipos radio trabajando a 23 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,6m.	1	8.020	8.020,00 €
Radioenlace Beruete-Jaunsaras Equipos radio trabajando a 38 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,3m.	1	7.980	7.980,00 €
Radioenlace Arrarás-Jaunsaras Equipos radio trabajando a 38 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,6m.	1	8.020	8.020,00 €
Radioenlace Igoa-Jaunsaras Equipos radio trabajando a 38 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,6m.	1	8.020	8.020,00 €
Radioenlace Ola-Jaunsaras Equipos radio trabajando a 23 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,6m y de 1 m.	1	8.300	8.300,00 €
Radioenlace Gartzaron-Jaunsaras Equipos radio trabajando a 23 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,6m.	1	8.020	8.020,00 €
Radioenlace Aizarotz-Gartzaron Equipos radio trabajando a 38 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,3m.	1	7.980	7.980,00 €
Radioenlace Gartzaron-Orokieta Equipos radio trabajando a 23 GHz, en un sistema 1+0 . Antenas con diametro de 0,6m.	1	8.020	8.020,00 €
Instalación cada radioenlace Replanteo, instalación, aceptación vano, completo (medida RFC-2544 y prueba VER-24 horas). En configuración 2+0 XPIC o 1+0.	11	2.000	22.000,00 €
			110.380,00 €

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°.	6	6.000,00 €	36.000,00 €
Instalación cada sector	6	700,00 €	4.200,00 €
			40.200,00 €

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. Torreta de telecomunicaciones 15 m.	9	10.687,00 €	96.183,00 €
			96.183,00 €

PRESUPUESTO						
CAPITULO 1 CABLEADO F.O						
RESUMEN	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
SUMINISTRO Y TENDIDO POR SOPLADO DE CABLE DE 64 F.O. Tendido por soplado 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. Medida la longitud instalada (según medidas de reflectometría de la instalación instalada), incluido etiquetado, remate de arquetas y transporte y retirada de las bobinas.	7.500			7.500	1,10 €	8.250,00 €
TENDIDO MANUAL POR ALUMBRADO 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. Medida la longitud instalada (según medidas de reflectometría de la instalación instalada), incluido etiquetado, remate de arquetas, sellado de conductos y transporte y retirada de las bobinas.	1.000			1.000	1,30 €	1.300,00 €
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 conforme al Pliego de Condiciones Técnicas	8			8	618,00 €	4.944,00 €
SUMINISTRO E INSTALACIÓN COMPLETA DE BANDEJAS RACK extraíble 24 F.O. Suministro e instalación del repartidor óptico modular con frontal extraíble y posibilidad de limpieza de conectores desde el frente con adaptadores SC. 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	8			8	851,20 €	6.809,60 €
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.	192			192	14,06 €	2.699,52 €
						24.003,12 €

CAPITULO 3 SEÑALIZACIÓN VIAL						
RESUMEN	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 cu-netas, adecuación de zonas ajardinadas, marcas viales horizontales y levantamiento topográfico				8.000	1,36 €	10.880,00 €
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				503	0,33 €	165,99 €
						11.045,99 €
CAPITULO 4 SEGURIDAD Y SALUD						
RESUMEN	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
SEGURIDAD Y SALUD				1	5.140,63 €	5.140,63 €
CAPITULO 5 GESTION DE RESIDUOS						
RESUMEN	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
Canon de vertedero de Inertes	8.000	0,08	0,4	256	16,33 €	4.180,48 €
						4.180,48 €

PRESUPUESTO				
RESUMEN	DETALLE		IMPORTE	TOTAL
CABLEADO	Cableado F.O		24.003,12 €	157.909,22 €
	Obra civil		113.539,00 €	
	Señalización vial		11.045,99 €	
	Seguridad y salud		5.140,63 €	
	Gestion de residuos		4.180,48 €	
RADIO	Equipos Radwin	Cobertura Oskoz (1 sector)	6.000,00 €	40.200,00 €
		Cobertura Aizarotz (2 sector)	12.000,00 €	
		Cobertura Beruete(1 sector)	6.000,00 €	
		Cobertura Etxaleku(1 sector)	6.000,00 €	
		Cobertura Goldaraz(1 sector)	6.000,00 €	
		Instalación	4.200,00 €	
	Equipos NEC	Radioenlace Beramendi-Etxaleku	8.020,00 €	110.380,00 €
		Radioenlace Etxaleku-Oskoz	8.020,00 €	
		Radioenlace Goldaraz-Latasa	7.980,00 €	
		Radioenlace Oskoz-Ventas Muskiz	8.020,00 €	
		Radioenlace Beruete-Jaunsaras	7.980,00 €	
		Radioenlace Arrarás-Jaunsaras	8.020,00 €	
		Radioenlace Igoa-Jaunsaras	8.020,00 €	
		Radioenlace Ola-Jaunsaras	8.300,00 €	
		Radioenlace Gartzaron-Jaunsaras	8.020,00 €	
		Radioenlace Aizarotz-Gartzaron	7.980,00 €	
		Radioenlace Gartzaron-Orokieta	8.020,00 €	
	Instalación: replanteo, aceptación dvano completo (medida RFC-2544 y prueba BER-24 horas). En configuración 1+1.		22.000,00 €	
	Infraestructuras nuevas	Mini CT Goldaraz	10.687,00 €	96.183,00 €
		Mini CT Latasa	10.687,00 €	
Mini CT Beruete		10.687,00 €		
Mini CT Ola		10.687,00 €		
Mini CT Igoa		10.687,00 €		
Mini CT Gartzaron		10.687,00 €		
Mini CT Beramendi		10.687,00 €		
Mini CT Ventas Muskiz		10.687,00 €		
Mini CT Orokieta	10.687,00 €			
			404.672,22 €	

8 Conclusiones y líneas futuras

Conclusiones

Se ha conseguido realizar satisfactoriamente la solución a la red de acceso para poblaciones rurales que se había planteado en un principio, en la que se quería dar una solución de banda ancha, para así poder acabar con la brecha digital que se está creando en la sociedad y más en concreto en este tipo de poblaciones. Cabe destacar que se ha tenido que pasar por varias soluciones hasta llegar a la solución final de este proyecto. Al ser una zona en la que había varias partes montañosas, era complicado realizar pocos radioenlaces, por lo que ha sido necesario aumentar la cantidad que se había pensado en un principio, finalizando en un número de once que es bastante pensando en la poca densidad de población que hay.

Se ha logrado dar cobertura a los aproximadamente 1005 habitantes que hay en Basaburua-Imoz, dándoles el ancho de banda que se tenía como objetivo en el inicio del proyecto, 30 Mbps. Esto se ha conseguido gracias a los equipos elegidos, se ha recurrido a estas marcas que son fiables y ya conocidas por la empresa, por lo que los resultados que proporcionan son de calidad.

Como el proyecto ha sido realizado de forma pública es necesario buscar la forma legal en la que los operadores puedan dar servicio a los distintos pueblos. Ya que alquilar las infraestructuras no es una opción, hay que respetar la legalidad que marca la CNMC, únicamente se podrán alquilar parte de las canalizaciones. Cabe destacar que el precio del alquiler de estas canalizaciones irá variando según cuanto se ocupe de ellas.

Líneas futuras

- En cuanto se disponga de los equipos necesarios para el desarrollo de la red se implementará la solución lo antes posible.
- Cuando todo esté implantado será necesario realizar pruebas de funcionamiento.
- Los resultados que se obtengan se compararán con los que se habían obtenido en las simulaciones previas.
- Serán necesarias pruebas en todas las soluciones, radio y fibra óptica.
- Una vez que se consiga dar el servicio de banda ancha correspondiente, se hará una exploración de los servicios que se quiere dar.
- Se dará servicios como la teleasistencia, al ser lugares con población con una elevada edad será un punto importante.
- El teletrabajo también será un servicio de gran importancia, así se conseguirá que no se deshabiten tan fácilmente, pudiendo trabajar cada uno desde su propia casa.
- Otros servicios también importantes serán la televisión y el internet.

9 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-Aznar,A., Jofre-Roca, L., Rius-Casals,J.M., Romeu-Robert,J. y Blanch-Boris,S. (2002).Antenas.
- [15] 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!!PDFS.pdf

- [16] Recomendación UIT -R P .634-4. Objetivos en materia de características de error para radioenlaces digitales reales que forman parte de la porción de grado alto de calidad

de conexiones internacionales digitales a una velocidad binaria inferior a la velocidad primaria dentro de una red digital de servicios integrados.

https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.634-4-199707-I!!PDF-S.pdf

[17] Recomendación UIT-R F.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

10 Bibliografía Imágenes

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: M. Lattanzi, A. Graf,

<http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/expocomm/tutorial%209%20lattanzi%20y%20graf-%20ieee.pdf>

Figura 4: B. Fu, <https://www.slideshare.net/benjaminfu/cable-access-developments>

Figura 5: Gobierno de Navarra, “*Plan Director de Banda Ancha de Navarra*”. 2016

Figura 6:

Figura 7-20: Cardama-Aznar,A., Jofre-Roca, L., Rius-Casals,J.M., Romeu-Robert,J. y Blanch-Boris,S. (2002).Antenas.

Figura 21: <http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/dispositivos-y-medios-de-transmission-opticos/material-de-clase-1/modulo-2-propagacion-en-fibras-opticas>

Figura 22: <http://www.texim.es/Tritubo.html> <http://microzanjas.com/microductos-soluciones-ventajas-instalaciones-fibra-optica/10939/>

Figura 23-25: Fotografías de microzanjas y arquetas.

Figura 26: https://es.wikipedia.org/wiki/Navarra#/media/File:Navarra_-_Zonificacion_2000.svg

Figura 27: SITNA.

Figura 28-30: Fotografías de CT en campo.

Figura 31: Esquema con Microsoft Visio.

Figuras 32-43: Captura del programa RadioMobile.

Figura 44: Microsoft Excell.

Figura 45-50: Capturas Google Earth.

Figura 51-59: Capturas Google Earth Radwin.

Figura 60: /www.alora-soluciones.es/newsletters/images/Boletin_10/Informacion_%20S_Fijo_banda_ancha.pdf

Figuras 61-62: Capturas del programa Semibanda.

Figura 63-64:

http://www.nec.com/en/global/prod/nw/pasolink/products/ipasolink_VR4.html

Figura 65:

http://www.radwin.com/contentManagment/uploadedFiles/Brochures/ES/RW500OJET_ES.pdf

Figuras 66-73: Capturas Google Earth.

11 Anexos

ANEXO I

NEC PasolinkCalc Report

Date: 30/05/2017

Project: NASERTIC_May17

Page: 1

Link Name	Site A	CT Jaunsaras 1	CT Jaunsaras 1	CT Jaunsaras 2	CT Jaunsaras 2	CT Jaunsaras 2
	Site B	CT Beruete	CT Arraras	CT Igoa	CT Gartzaron	CT Ola
Series		iPASOLINK VR	iPASOLINK VR	iPASOLINK VR	iPASOLINK VR	iPASOLINK VR
RF Frequency		38G	38G	38G	23G	23G
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		43 00 56,49 N	43 00 56,49 N	43 00 54,10 N	43 00 54,10 N	43 00 54,10 N
Longitude		1 48 36,91 W	1 48 36,91 W	1 48 30,60 W	1 48 30,60 W	1 48 30,60 W
Elevation		818 m	818 m	820 m	820 m	820 m
Main Antenna Height		20 m	20 m	20 m	20 m	20 m
SD Antenna Height						
Main Antenna Diameter		0,3 m	0,6 m	0,6 m	0,6 m	0,9 m
SD Antenna Diameter						
Main Antenna Gain		40 dBi	45 dBi	45 dBi	40,2 dBi	42,6 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		43 01 07,79 N	43 02 27,27 N	43 01 53,02 N	42 59 47,79 N	43 01 59,86 N
Longitude		1 49 47,12 W	1 48 17,45 W	1 47 09,36 W	1 46 30,39 W	1 45 40,50 W
Elavation		760 m	728 m	715 m	625 m	625 m
Main Antenna Height		20 m	20 m	20 m	20 m	20 m
SD Antenna Height						
Main Antenna Diameter		0,3 m	0,6 m	0,6 m	0,6 m	0,6 m
SD Antenna Diameter						
Main Anntena Gain		40 dBi	45 dBi	45 dBi	40,2 dBi	40,2 dBi
SD Antenna Gain						
Path Length		1,63 km	2,84 km	2,59 km	3,40 km	4,35 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		Plains	Plains	Plains	Plains	Plains
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		13 dBm	13 dBm	13 dBm	14 dBm	14 dBm
Rx Threshold (10-6)		-53,5 dBm	-53,5 dBm	-53,5 dBm	-54,5 dBm	-54,5 dBm
System Gain		66,5 dB	66,5 dB	66,5 dB	68,5 dB	68,5 dB
Additional Loss		0,0 dB	0,0 dB	0,0 dB	0,0 dB	0,0 dB
Free Space Loss		128,5 dB	133,5 dB	132,6 dB	130,8 dB	133,2 dB
Receive Signal Level		-35,5 dBm	-30,5 dBm	-29,6 dBm	-36,4 dBm	-36,4 dBm
Flat Fade Margin		18 dB	23 dB	23,9 dB	18,1 dB	18,1 dB
Multipath-ITU(Outage)						
worst month		0,00000000	0,00000001	0,00000000	0,00000004	0,00000012
worst month(sec/month)		0	0	0	0	0
Annual		0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000001
Annual(sec/year)		0	0	0	0	0
Rainfall-ITU(Outage)						
worst month		0,00016509	0,00032020	0,00023861	0,00013101	0,00022612
worst month(sec/month)		428	830	618	340	586
Annual		0,00002676	0,00005733	0,00004087	0,00002051	0,00003842
Annual(sec/year)		832	1.783	1.271	638	1.195
Total						
Annual		0,00002676	0,00005733	0,00004088	0,00002052	0,00003843
Annual(sec/year)		832	1.783	1.271	638	1.195

NEC PasolinkCalc Report

Date: 30/05/2017

Project: NASERTIC_May17

Page: 2

Annual Availability(%)	99,99732388	99,99426723	99,99591247	99,99794850	99,99615659
------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

ANEXO II

IPASOLINK VR

IPASOLINK VR



IPASOLINK VR Functions / Features

Radio Features

- Full range of frequency (0GHz - 40GHz)
- QPSK - 4096QAM with AMR
- 71.4438/96/11.25MHz
- 1-1/5, 1-1, N-5, 1-D XPC, 1-1 XPC
- Radio Traffic Aggregation
- MIMO

Interface

- Max. 20VR / 5VR4 / 12VR10 modem
- 10G optical (VR4 / VR10)
- FE (GE, PLAS, SFP)
- PoE
- TDM (E1 on STM-1/STM-16)
- CDSDM passthru flow support (VR4 / VR10)

TDM and Packet Features

- PWE
- EPRC
- ETH QAM
- 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*1.6 slots*)
- Standard protocols (for management / control)

~*~*~*~*~*

Type IAG ODU

- The smallest and lightest weight body for easy install
- Sub-band Free type 7-23 GHz
- Sub-band Band type 6-45 GHz
- QPSK - 4096 QAM
- Channel Bandwidth up to 112 MHz (over 18 GHz)
- XPC (CCDP)
- 120 (H) x 120 (W) x 71 (D)mm, Approx. 1.2kg

Type IAP ODU

- High Power efficiency using GaN technology
- Sub-band Free type 7-19 GHz
- Sub-band Band type 6-18 GHz
- QPSK - 4096 QAM
- Channel Bandwidth up to 112 MHz (over 18 GHz)
- XPC (CCDP)
- 240 (H) x 140 (W) x 80 (D)mm, Approx. 3kg

Specifications are subject to change without prior notice.


NEC Corporation
www.nec.com/ipasolink/

Cat.No.999-1611001E

Orchestrating a brighter world **NEC**

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

iPASOLINK VR



NEC's state-of-the-art technology sustains flexible networks with optical and microwave radio that is adaptable to ever-changing societal needs, enabling telecommunication that everyone, everywhere, can enjoy.

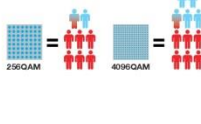
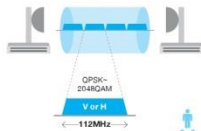
iPASOLINK VR is a new-concept microwave and optical transporter that transcends the realms of traditional microwave equipment.

iPASOLINK VR leads the microwave radio industry with rich features and outstanding capacities. As a high performance device, it is capable of high capacity transport with optical and microwave, for a true carrier-grade converged node experience. Along with NEC's SDN solution, iPASOLINK VR is ready for the 5G era, where new services and technologies revolutionize the mobile landscape.

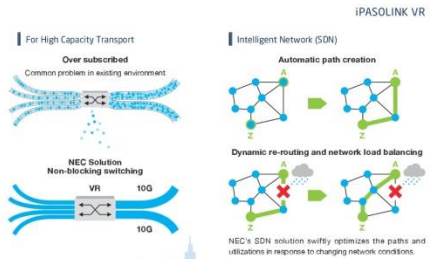
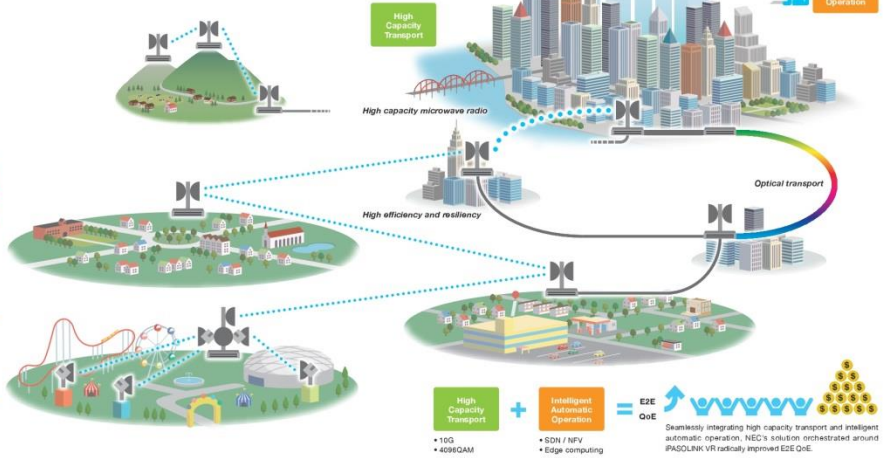
Feature-rich and Flexible Next Generation Platform

For High Capacity Microwave Radio

Over 10Gbps with Single Channel / Polarization



Continuity of gigabit class transmission over microwave radio when wired connection fails.



ANEXO III

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

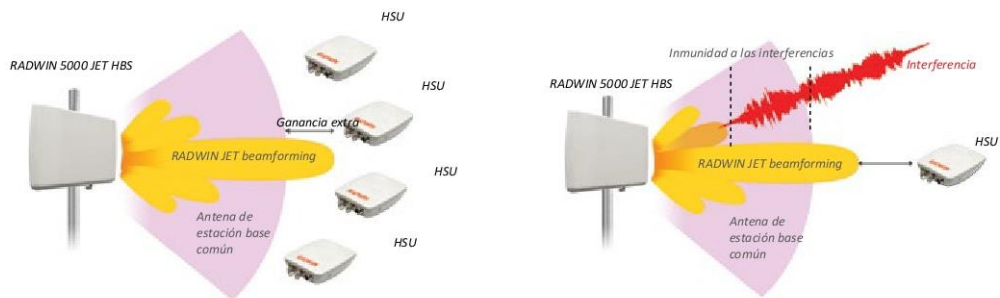


RADWIN 5000 JET: SOLUCIÓN DE FORMACIÓN DE HACES INTELIGENTES

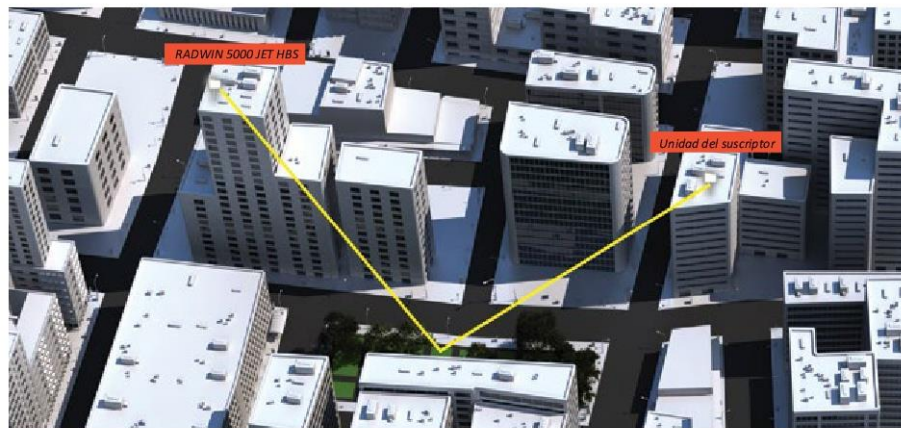
RADWIN 5000 JET es una innovadora solución punto-a-multipunto, que incorpora una antena MIMO de formación de haces disruptiva en la estación base, lo que redefine el desempeño del acceso inalámbrico de banda ancha.

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'-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