



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

– **TELECOM** ESCUELA  
TÉCNICA **VLC** SUPERIOR  
DE INGENIERÍA DE  
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de  
Telecomunicación

Diseño de una red de comunicaciones críticas en el Pirineo  
Oscense mediante tecnología híbrida TETRA-LTE

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías y Servicios de  
Telecomunicación

AUTOR/A: Soria García, Alberto

Tutor/a: Rubio Arjona, Lorenzo

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022





## Resumen

En este proyecto final de grado (TFG) se diseña una red de comunicaciones críticas para las rutas de senderismo más conocidas del pirineo oscense y sus estaciones de esquí. Esta red está basada en tecnología TETRA en todos los centros emisores, solapándose con huellas de cobertura LTE, en lo que viene a ser un diseño híbrido de red. Con ello se consigue que los terminales puedan decidir qué tecnología de red utilizar en función de las necesidades del usuario. Además del diseño radio de la red, también se estudia una red de transporte considerando centros de apoyo ya existentes, así como una red de fibra ya desplegada. A modo de ampliación futura se estudia también la instalación de nuevos centros de telecomunicaciones para poder dotar de cobertura a las rutas de senderismo con orografía más compleja de solventar desde un punto de vista de cobertura radioeléctrica.

## Resum

En aquest projecte final de grau (TFG) es dissenya una xarxa de comunicacions crítiques per a les rutes de senderisme més conegudes del Pirineu Oscenc i les estacions d'esquí. Aquesta xarxa està basada en tecnologia TETRA a tots els centres emissors, solapant-se amb empremtes de cobertura LTE, en el que ve a ser un disseny híbrid de xarxa. Amb això s'aconsegueix que els terminals puguin decidir quina tecnologia de xarxa utilitzar segons les necessitats de l'usuari. A més a més del disseny ràdio de la xarxa, també s'estudia una xarxa de transport considerant centres de suport ja existents, així com una xarxa de fibra ja desplegada. Com a ampliació futura s'estudia també la instal·lació de nous centres de telecomunicacions per poder dotar de cobertura les rutes de senderisme amb orografia més complexa de resoldre des d'un punt de vista de cobertura radioelèctrica.

## Abstract

In this final degree project its designed a critical communications network to offer coverage to the hiking paths and ski stations of Huescan Pyrenees. This network is based on TETRA technology in all its sites, overlapping this coverage with LTE coverage footprint in some cases. That means, the network will offer hybrid technology, TETRA and LTE. Due to this fact the terminal equipment could decide which network is better in order to satisfy the final user needs. Furthermore radio-network design, this project is also focus on a transmission system, based on radio-links and fiber. As an extra, you can find an enhanced network which is pretend to be installed on the future. It will count on with new telecommunications towers, to reach the most remote locations on hiking paths. With this, the whole network will be able to cover the most difficult places from a radio-electrical view.

# Índice general

## I Memoria

<b>1. Introducción y objetivos</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
1.2. Objetivo . . . . .	2
1.3. Estructura . . . . .	2
<b>2. Aspectos generales de las redes TETRA y LTE</b>	<b>3</b>
2.1. Características generales TETRA . . . . .	3
2.1.1. Acceso TETRA . . . . .	6
2.2. Reselección de celda . . . . .	7
2.3. Modos de tráfico . . . . .	8
2.4. Aspectos básicos de radiación para redes LTE . . . . .	9
2.4.1. Tecnologías de acceso en LTE . . . . .	10
2.4.2. Estructura de la trama e interferencias en LTE . . . . .	10
<b>3. Estudio de cobertura de red</b>	<b>13</b>
3.1. Emplazamientos empleados . . . . .	13
3.2. Simulaciones de cobertura TETRA y LTE . . . . .	15
3.2.1. Parámetros de simulación . . . . .	15
3.2.2. Resultados de la simulaciones de cobertura compuesta TETRA . . . . .	16
3.2.3. Resultados de la simulaciones de cobertura individual TETRA . . . . .	19
3.2.4. Resultados de la simulaciones de cobertura compuesta LTE . . . . .	20
3.2.5. Resultados de la simulaciones de cobertura individual LTE . . . . .	23
3.3. Planificación de frecuencias . . . . .	24
3.3.1. Estado final del espectro radioelectrico TETRA . . . . .	25
3.3.2. Configuración de vecinas . . . . .	25
<b>4. Estudio de la red de transporte</b>	<b>27</b>
4.1. Información general sobre la red de transporte . . . . .	27
4.2. Información detallada sobre la conectividad en la red . . . . .	29
4.2.1. Anillo de Jaca . . . . .	29
4.2.2. Anillo de Sallent de Gállego . . . . .	30
4.2.3. Anillo de Aínsa . . . . .	31
4.2.4. Anillo de Cerler . . . . .	32
4.2.5. Redundancia sur . . . . .	34
4.3. Parámetros de los radioenlaces . . . . .	34

4.4.	Simulación de los radioenlaces . . . . .	37
4.4.1.	Banda 5,9-7,4 GHz: Arguis RTV - Estadilla . . . . .	38
4.4.2.	Banda 7,4-7,7 GHz: Bielsa - Boltaña . . . . .	39
4.4.3.	Banda 15 GHz: Formigal - Panticosa Petrosos . . . . .	41
4.4.4.	Banda 18 GHz: Sallent de Gállego - Formigal Sarrios . . . . .	42
4.4.5.	Banda 23 GHz: Cascada de Ardonés - Benasque . . . . .	44
4.5.	Resumen general de radioenlaces simulados . . . . .	45
4.6.	Parámetros de enlaces de fibra óptica . . . . .	45
<b>5.</b>	<b>Equipamiento de telecomunicaciones empleado</b>	<b>47</b>
5.1.	HLR y Nodos Principales de la Red . . . . .	47
5.2.	Estación Base . . . . .	47
5.3.	Sistemas radiantes - Configuración y equipamiento . . . . .	48
5.3.1.	Sistema radiante omnidireccional . . . . .	48
5.3.2.	Sistema radiante tipo panel . . . . .	49
5.4.	Equipos de conectividad punto a punto . . . . .	50
5.5.	Equipos de recepción - Terminales móviles . . . . .	50
5.6.	Resumen del equipamiento empleado en la red . . . . .	51
<b>6.</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>53</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusiones y posibilidad de ampliación de red en el futuro</b>	<b>55</b>
7.1.	Mejoras propuestas para el aumentar alcance de la red . . . . .	55
7.1.1.	Refugio de Linza . . . . .	56
7.1.2.	Baños de Panticosa . . . . .	57
7.1.3.	Valle de Otal . . . . .	57
7.1.4.	Parador de Pineta . . . . .	58
7.1.5.	Refugio de Renclusa . . . . .	59
7.1.6.	Presa de Llauset . . . . .	60
7.2.	Conclusiones . . . . .	61
<b>II</b>	<b>Anexos</b>	
<b>1.</b>	<b>Simulaciones individuales de cobertura TETRA</b>	<b>65</b>
<b>2.</b>	<b>Simulaciones individuales de cobertura LTE</b>	<b>71</b>
<b>3.</b>	<b>Simulaciones de radioenlaces</b>	<b>75</b>

# Índice de figuras

2.1. Arquitectura de protocolos del sistema TETRA V+D ( <i>Fuente internet</i> ) . . . . .	5
2.2. Diferencias entre TDMA y FDMA ( <i>Fuente internet</i> ) . . . . .	7
2.3. Tasas - Expresión gráfica ( <i>Fuente internet</i> ) . . . . .	7
2.4. Modo semi-dúplex para tecnología TETRA ( <i>Fuente internet</i> ) . . . . .	8
2.5. Modo Dúplex para tecnología TETRA ( <i>Fuente internet</i> ) . . . . .	9
3.1. Plano general - Centros estudiados . . . . .	14
3.2. Tabla de centros - Información general . . . . .	15
3.3. Paleta de colores de niveles de señal . . . . .	16
3.4. Capa de cobertura compuesta . . . . .	17
3.5. Capa de cobertura Best Server . . . . .	18
3.6. Paleta de colores de niveles de señal . . . . .	19
3.7. Cobertura individual de Sabiñanigo . . . . .	19
3.8. Cobertura individual de Cerler Cogulla . . . . .	20
3.9. Paleta de colores de niveles de señal . . . . .	20
3.10. Capa de cobertura compuesta . . . . .	21
3.11. Capa de cobertura Best Server . . . . .	22
3.12. Paleta de colores de niveles de señal . . . . .	23
3.13. Cobertura individual de Jaca . . . . .	23
3.14. Cobertura individual de Formigal Anayet . . . . .	24
3.15. Plan de frecuencias para la red del Pirineo Oscense . . . . .	25
3.16. Vecinas para la red del Pirineo Oscense . . . . .	26
4.1. Esquema general de conexión entre centros . . . . .	28
4.2. Detalle de los enlaces del anillo de Jaca . . . . .	29
4.3. Detalle de los enlaces del anillo de Sallent de Gállego . . . . .	30
4.4. Detalle de los enlaces del anillo de Aínsa . . . . .	31
4.5. Detalle de los enlaces del anillo de Cerler . . . . .	32
4.6. Detalle de los enlaces del anillo de Cerler - Detalle . . . . .	33
4.7. Enlaces de la redudancia sur . . . . .	34
4.8. NEC iPasolink 200 - Specifications . . . . .	35
4.9. Antenas parabólicas Ericsson - Specifications . . . . .	37
4.10. Radioenlace Arguis RTV - Estadilla . . . . .	38
4.11. Radioenlace Bielsa - Boltaña . . . . .	40
4.12. Radioenlace Formigal - Panticosa Petrosos . . . . .	41
4.13. Radioenlace Sallent de Gállego - Formigal Sarrios . . . . .	43
4.14. Radioenlace Cascada de Ardonés - Benasque . . . . .	44
4.15. Tabla resumen de radioenlaces simulados . . . . .	45

4.16. Parámetros de los enlaces de fibra óptica . . . . .	46
4.17. Resultados de los cálculos de los enlaces de fibra óptica . . . . .	46
5.1. Sistema radiante Omnidireccional - Configuración . . . . .	49
5.2. Sistema radiante tipo panel - Configuración . . . . .	50
5.3. Equipamiento de la red . . . . .	52
6.1. Presupuesto general del proyecto . . . . .	54
7.1. Ubicación de los centros estudiados para la ampliación de red . . . . .	56
7.2. Simulación de cobertura de la TBS Refugio de Linza . . . . .	56
7.3. Simulación de cobertura de la TBS Baños de Panticosa . . . . .	57
7.4. Simulación de cobertura de la TBS Valle de Otal . . . . .	58
7.5. Simulación de cobertura de la TBS Parador de Pineta . . . . .	59
7.6. Simulación de cobertura de la TBS Parador de Renclusa . . . . .	60
7.7. Simulación de cobertura de la TBS Presa de LLauset . . . . .	61
3.1. Radioenlace Canfranc - Jaca . . . . .	76
3.2. Radioenlace Jaca - Badaguás . . . . .	77
3.3. Radioenlace Badaguás - Sabiñánigo . . . . .	78
3.4. Radioenlace Sabiñanigo Telefónica - Sabiñánigo . . . . .	79
3.5. Radioenlace Sabiñanigo Telefónica - Biescas . . . . .	80
3.6. Radioenlace Sallent de Gállego - Formigal Sarrios . . . . .	81
3.7. Radioenlace Sallent de Gállego - Panticosa Petrosos . . . . .	82
3.8. Radioenlace Panticosa Pueblo - Panticosa Petrosos . . . . .	83
3.9. Radioenlace Ordesa - Fiscal Telefónica . . . . .	84
3.10. Radioenlace Arguís - Biescas . . . . .	85
3.11. Radioenlace Arguís - Estadilla . . . . .	86
3.12. Radioenlace Naval - Estadilla . . . . .	87
3.13. Radioenlace Boltaña - Aínsa . . . . .	88
3.14. Radioenlace Boltaña - Bielsa . . . . .	89
3.15. Radioenlace Ainsa - Laspuña . . . . .	90
3.16. Radioenlace Laspuña - Tella . . . . .	91
3.17. Radioenlace Naval - Cerler Cogulla . . . . .	92
3.18. Radioenlace Naval - Graus . . . . .	93
3.19. Radioenlace Graus - Campo . . . . .	94
3.20. Radioenlace Cerler Cogulla - Campo . . . . .	95
3.21. Radioenlace Cascada de Ardonés - Cerler Cogulla . . . . .	96
3.22. Radioenlace Cascada de Ardonés - Bensaque . . . . .	97
3.23. Radioenlace Cerler Cogulla - Cerler Collado Basibé . . . . .	98
3.24. Radioenlace Canfranc - Astun . . . . .	99
3.25. Radioenlace Jaca - San Juan de la Peña . . . . .	100
3.26. Radioenlace San Juan de la Peña - Arguís . . . . .	101
3.27. Radioenlace Fiscal Telefónica - Graus . . . . .	102
3.28. Radioenlace Boltaña - Laspuña . . . . .	103
3.29. Radioenlace Formigal - Formigal Anayet . . . . .	104
3.30. Radioenlace Formigal Sarrios - Formigal . . . . .	105
3.31. Radioenlace Formigal - Panticosa Petrosos . . . . .	106

# Índice de tablas

2.1. Banda reservada a emergencias (TETRA) [ <b>TablasTETRA</b> ] . . . . .	4
2.2. Banda de servicio público (TETRA) . . . . .	4
4.1. Parámetros técnicos de las fibras empleadas . . . . .	46



**Parte I**

**Memoria**





# Capítulo 1

## Introducción y objetivos

### 1.1. Introducción

Las redes TETRA (TERrestrial TRunked RAdio) son la evolución tecnológica de las redes PMR. Estas, son redes de comunicaciones privadas enfocadas a ser utilizadas por grupos de usuarios, lo que es óptimo para servicios de emergencias. Cualquier servicio de emergencias (bomberos, policía, servicios sanitarios...) cuenta con su personal distribuido por localizaciones geográficas. Con ello, se consideró que las redes PMR eran óptimas para agrupar los usuarios en flotas de terminales.

En la década de los 80, surge la necesidad de utilizar de forma más eficiente el espectro radioeléctrico y nace el sistema Trunking, que utiliza menor número de frecuencias y de una forma más eficaz.

Tras la intervención de la Unión Europea, el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones, ETSI, unifica todas las alternativas de *trunking* que estaban surgiendo en ámbitos menores y este estándar se pasa a llamar estándar TETRA. El ETSI, considera que uno de los factores más diferenciales de este estándar ha de ser mejorar la fiabilidad y robustez de las redes; alejándolo así de la tecnología GSM, con las siguientes características:

- Utilización de frecuencias más bajas
- Modo de comunicación terminal a terminal (DMO, *Direct Mode Operation*)
- Comunicaciones de grupo
- Terminales específicos, en función de la necesidad del usuario: terminales móviles, por ejemplo instalados en coches de policía, terminales portátiles destinados a usuarios en mano y terminales en base o fijos, como puede ser un despacho en un centro de control.

Las redes de comunicaciones críticas o redes de emergencias siguen evolucionando siguen evolucionando conforme a las necesidades de los usuarios y la principal mejora que requieren de hoy en adelante es aumentar su capacidad de tráfico. Para ello se están comenzando a diseñar e instalar redes que contengan la robustez y fiabilidad de las redes TETRA junto con ampliaciones de capacidad de transmisión de datos, para lo cual, se está utilizando tecnología LTE.

Con esta mejora en este tipo de redes se puede evolucionar hacia la transmisión de imágenes, vídeos y todo tipo de archivos multimedia. Con estos podremos por ejemplo, enviar al usuario final de una forma eficaz información como multas de tráfico, citaciones médicas, identificaciones en aduanas y control de temperatura en incendios entre otros muchos más usos.

## 1.2. Objetivo

El objetivo de este trabajo final de grado es diseñar una red de comunicaciones críticas en el pirineo oscense, basada en tecnología híbrida TETRA-LTE. Las ubicaciones primordiales a cubrir serán las rutas de senderismo ofrecidas por la concejalía de turismo de la provincia de Huesca, junto con sus estaciones de esquí ubicadas en el pirineo oscense.

## 1.3. Estructura

La estructura de este trabajo final de grado seguirá los siguientes apartados:

- En el capítulo 2, se presentan unos apuntes de teoría TETRA y teoría LTE necesarios para comprender el resto de apartados.
- En el capítulo 3, se entrará de lleno en el grueso del trabajo con la propuesta de diseño de red, haciendo hincapié en todos sus parámetros técnicos para poder presentar las simulaciones de cobertura prevista en cada una de las rutas de senderismo y estaciones de esquí objetivo.
- En el capítulo 4, se completa el funcionamiento idóneo de una red de comunicaciones con el diseño y simulación de una red de transporte redundada con anillos de radioenlaces y una red de fibra. Consiguiendo con ello, que no quede ningún centro principal de la red aislado.
- En el capítulo 5, tras presentar la red en su totalidad, se presenta el estudio de equipamiento utilizado en cada centro de comunicaciones.
- En el capítulo 6, se presenta un presupuesto aproximado de todos los elementos de red necesarios para desplegar el proyecto de forma realista.
- En el capítulo 7, para concluir se expondrán las conclusiones de dicho trabajo, junto con un apartado de ampliación de red con vistas a futuro, con nuevos centros de comunicaciones que reforzarán la cobertura en las rutas de senderismo de difícil acceso.
- Finalmente se presenta un apartado de Anexos, donde se encontrará toda la información simulada del proyecto.

## Capítulo 2

# Aspectos generales de las redes TETRA y LTE

### 2.1. Características generales TETRA

En este capítulo se explicarán los rasgos principales de la una red TETRA. Esta tecnología tiene como característica principal la robustez que ofrece a una red. Por lo tanto hablamos de unas posibilidades óptimas para crear una red de emergencias.

Los servicios que ofrece esta tecnología aprovechan la flexibilidad que ofrece la técnica TDMA para generar conversaciones de voz y datos simultáneas. Las características básicas del interfaz radio para la tecnología TETRA son:

- Multiacceso: TDMA con 4 por trama (Voz y datos).
- Canalización: 25 kHz, con posibilidad, dependiendo de la banda, de 12,5 kHz.
- Modulación:  $\pi/4$ -DQPSK con filtros de coseno alzado con parámetro de caída progresiva  $\alpha = 0,35$ .
- Velocidad de modulación: 36 kbps.
- Retardo máximo por multitrayecto:  $5\mu s$ .
- Relación de portadora con interferencia cocanal:  $C/I=19dB$ .

Los servicios de telefonía vocal que ofrece TETRA son simplex, semidúplex y dúplex. Los servicios más importantes de esta tecnología se subdividen en la siguiente clasificación:

- **Llamada individual:** En este tipo de llamadas se permite la transmisión full-dúplex, como en las llamadas convencionales y la transmisión semi-dúplex. La selección del método de comunicación la realiza el usuario. La tecnología TETRA soporta cambios entre celdas para este tipo de llamadas mientras se cursan. Se reservan recursos radio en la celda destino y se liberan en la celda que abandona el terminal.

- **Llamada de grupo** Llamada de grupo: Son llamadas de pseudo canal abierto. Cada vez que un usuario concreto pulse el PTT (Press To Talk), tendrá acceso al canal de voz del grupo y únicamente podrá hablar ese usuario por el canal. Al soltar el PTT el canal queda libre para que otro miembro del grupo lo utilice. Se utiliza transmisión semi-dúplex.
- Llamada de difusión.
- Llamada de grupo con reconocimiento.
- Servicio de datos cortos SDS.
- Mensajes de estado.

En cuanto a las bandas de frecuencia que se podrán utilizar en este trabajo las asigna el cuadro nacional de atribución de frecuencias para la tecnología TETRA. Las bandas son las mostradas en las tablas 2.1 y 2.2. La banda que utilizaremos en este trabajo será la que alberga de 390 MHz a 393 MHz, considerando como banda de recepción la banda baja o banda 1 como se indica en las tablas tablas y como banda de transmisión la banda alta o banda 2. En el CNAF [CNAF-TETRA] se indica que la subbanda de 410 MHz a 415,3 MHz y de 420 MHz a 425,3 MHz, se destinan a sistemas digitales de acceso aleatorio con anchura de banda de emisión canalizada a 25 kHz. Sin embargo el resto de la banda se destina a comunicaciones dúplex con canalización de 12,5 kHz.

Servicio de emergencia	
Pareja de Frecuencias (MHz)	
Banda 1	Banda 2
380-383	390-393
383-385	393-395

**Tabla 2.1: Banda reservada a emergencias (TETRA) [TablasTETRA]**

Servicio Público	
Pareja de Frecuencias (MHz)	
Banda 1	Banda 2
385-390	395-399.99
410-420	420-430
450-460	460-470
870-876	915-921

**Tabla 2.2: Banda de servicio público (TETRA)**

Para la selección de esta banda también se ha tenido en cuenta que en el futuro próximo una pequeña porción de la banda TETRA de 406 MHz a 406,1 MHz pasará a utilizarse para el sistema de radiobalizas del 5G. [RestriccionDeBandaTETRAPara5G].

También hemos de considerar que los canales de estas bandas, están asignados a canales ETSI. Estos canales están impuestos por el gobierno. El plan de frecuencias de este trabajo comenzará en el canal ETSI 3640, con frecuencia de transmisión 391,0125 MHz y con frecuencia de recepción 381,0125 MHz.

Tomando toda esta información, considerando el número de centros y el despliegue de dos TTRX por TBS; necesitaré 22 canales para desplegar esta red.

En la tecnología TETRA se consideran dos estándares básicos de funcionamiento principales y uno secundario. Ambos estándares principales o modos de funcionamiento consideran la separación entre portadoras y esquemas de modulación, sin embargo entre ellos no son compatibles. Se tratan de los modos TMO (Trunked Mode Operation) y DMO (Direct Mode Operation); cuyas características como estándares se presentan a continuación.

- TMO (Trunked Mode Operation): El método de acceso en las redes TETRA es el TDMA (*Time Division Multiplex Access*). Gracias a esta técnica de acceso es posible que varios canales de comunicación puedan compartir la misma portadora. En este interfaz tenemos cuatro *Time slots* por portadora. Esto hace más eficaces los modos dúplex y semi-dúplex, debido a que cuando un terminal está configurado para pertenecer a un grupo de comunicaciones, tan solo se ocupará un *Time slot* de la TBS que tenga registrados los terminales de la zona.

Ejemplo: Cinco terminales del grupo EmergenciasA están conectados a la TBS Jaca y ocupan 1 time slot de la primera portadora de dicha TBS. Sin embargo, un terminal del grupo EmergenciasA está conectado a la TBS Sabiñanigo y ocupará también un *Time slot*.

Este sistema se puede descomponer en capas como se observa en la imagen 2.1:

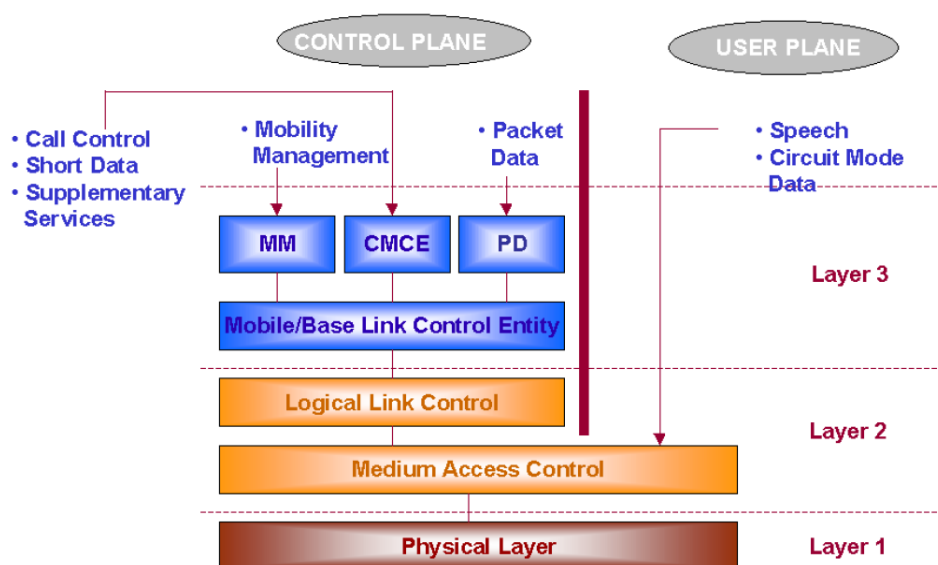


Figura 2.1: Arquitectura de protocolos del sistema TETRA V+D (Fuente internet)

La capa 1 o capa física se encarga de los servicios de transferencia de información a la capa de acceso al medio. Las funciones más importantes que realiza son la sincronización temporal, modulación y demodulación de la señal.

La capa 2 controla el acceso al medio MAC y el del enlace lógico. La capa 3 es la que da el servicio final de los equipos emisores y receptores.

- DMO (Direct Mode Operation): Las especificaciones de este modo lo definen como un estándar independiente, debido a que no necesita una red física, es decir, transmiten y reciben

los mismos terminales. Generalmente se implementa como complemento del modo TMO.

- PDO(Packet Dedicated Mode): Modo dedicado a la transmisión exclusiva de datos. Permite servicios de mensajería vocal, correo electrónico e informática vehicular como la localización y gestión del tráfico de vehículos. No se tiene constancia de que haya ninguna red TETRA en el mundo funcionando con este modo de operación.

Los diferentes tipos de canales lógicos de control que utiliza la tecnología TETRA son:

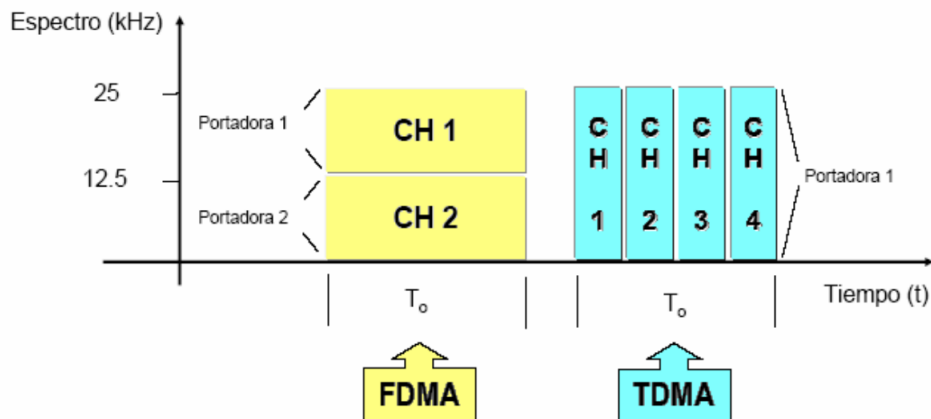
- BCCH (Broadcast Control Channel): Es un canal únicamente utilizado para *downlink* mediante el cual la TBS envía información general de la red, a modo de paquetes, de forma secuencial. En ellos podemos encontrar los canales de frecuencia de la TBS que lo envía o las TBS vecinas que tiene asignadas.
- SCH (Signaling Channel): Dirigido a señalización común. Existe como mínimo uno por TBS.
- AACH (Access Assignment Channel): Indica para cada canal físico, la asignación de intervalos descendente y ascendente.
- MCCH (Main Control Channel): Se asigna a uno de los canales de la portadora o portadoras de una TBS. Usualmente se le asigna al primer time slot de la portadora. Contiene la información necesaria de la TBS, para que los terminales puedan registrarse en ella.

Los canales lógicos de tráfico transportan mensajes de voz o datos mediante conmutación de circuitos. Se les asignan las siglas TCH (Traffic Channel).

### 2.1.1. Acceso TETRA

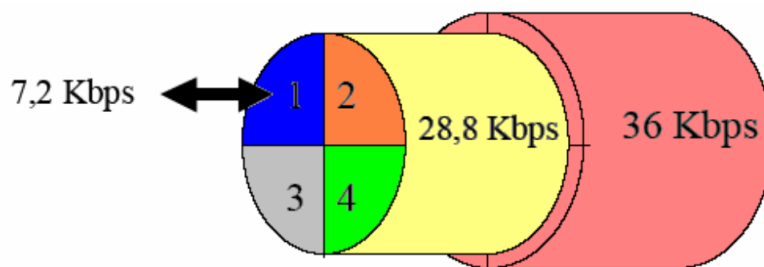
En 1991 se define la tecnología de acceso TDMA (Time Division Multiplex Access) como estándar para redes TETRA, con 4 canales de 25 kHz por portadora. A estos canales se les llama más común TCH (Traffic Channel). Es importante recordar que uno de estos TCHs por centro emisor quedará reservado para el MCCH. En caso de que se trate de un centro multiportadora, solo se reservará un canal TCH para todos sus canales. Es decir, en un centro emisor donde tenemos una TBS con 3 portadoras radiando, tendríamos un canal de control (MCCH) y 11 canales de tráfico (TCHs), que en total sumarían 12 canales (4 canales por portadora).

La tecnología de acceso TDMA se rige por dividir los canales de cada portadora por tiempo 2.2, con duraciones de trama de 56,67 ms y una velocidad por canal de 7,2 kbps.



**Figura 2.2: Diferencias entre TDMA y FDMA (Fuente internet)**

Cada canal tiene comprende una velocidad de 7,2 kbps en un tiempo de 14,167 ms. La tasa bruta por portadora es de 36 kbps y la tasa neta es de 28,8 kbps. Esta explicación se puede observar de forma gráfica en la imagen 2.3



**Figura 2.3: Tasas - Expresión gráfica (Fuente internet)**

Es importante destacar que la trama de canal ascendente está retrasada dos TCHs sobre la trama de canal descendente. Con ello el terminal tiene el tiempo suficiente para poder conmutar de TX a RX en caso de se le solicite.??

## 2.2. Reselección de celda

La reelección de celda o "handover", es el proceso por el cual los terminales cambian de la celda en la que se encuentran, a otra celda con mejor nivel de señal. La finalidad de este proceso es que la comunicación entrega usuarios se mantenga con niveles de señal lo más óptimos posible.

Cada estación base envía mensajes de broadcast constantemente, en los cuales indica a los terminales de la red sus centros vecinos, entre otros parámetros. Las vecindades se configuran manualmente en cada uno de los centros emisores, con el objetivo de que los terminales nunca puedan quedarse fuera de la red.

Por lo tanto, un terminal que se encuentra disminuyendo su nivel de señal en un área geográfica



determinada, comienza a analizar los mensajes de broadcast enviados por las celdas vecinas a la estación base sobre la que está registrada. Cuando detecta que la diferencia de nivel de señal de una de las estaciones base vecinas, con respecto a la que se encuentra registrado es superior a un umbral (en este caso: proceso rápido 4dB, proceso normal 10 dB), inicia una negociación para registrarse en la celda vecina.

Cuando la nueva estación base servidora verifique que la encriptación de la red es la correcta, enviará un mensaje al terminal, preguntándole si sigue interesado en reelegir a esta celda. En caso afirmativo, el terminal abandonará la celda sobre la que estaba registrado y pasará a obtener niveles de señal de esta nueva estación base.

Para finalizar este apartado, cabe destacar que los umbrales indicados anteriormente se definen para los siguientes casos:

- FRT (Fast Reselection Threshold): Este umbral se fija en una diferencia de nivel de señal de 4 dB entre celda candidata y celda sobre la que está registrado el terminal. Este proceso se realiza mayoritariamente para terminales móviles que se pueden mover a velocidades altas. Estos equipos suelen tener 10 W de potencia. Un ejemplo serían las radios instaladas en los coches de policía local.
- SRT (Slow Reselection Threshold): Este umbral se fija en una diferencia de nivel de señal de 10 dB entre celda candidata y celda sobre la que está registrado el terminal. Este proceso se realiza mayoritariamente para terminales móviles y portátiles que se moverán a velocidades lentas. Estos equipos suelen tener entre 1,8 W y 2,7 W de potencia. Un ejemplo serían los terminales que usa la policía local de campo. En este caso el terminal Tactilon Dabat de la firma Airbus.

### 2.3. Modos de tráfico

El modo simplex es un modo de operación en el que se utiliza la misma portadora para el enlace ascendente y el enlace descendente. El único modo de comunicación que utiliza esta tecnología es el modo DMO.

El modo semi-duplex es el de utilización más común en los sistemas TETRA. Su principal virtud es economizar los recursos radio de las TBS. Se utiliza un *slot* de portadora para el enlace ascendente y otro *slot* diferente para el enlace descendente.

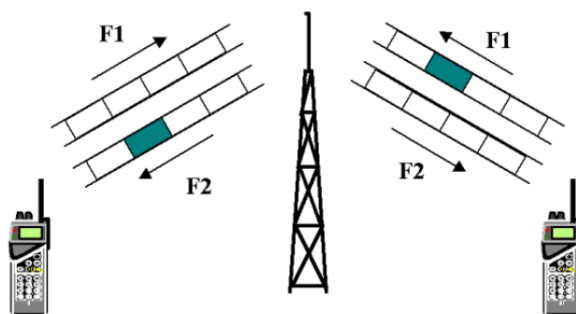
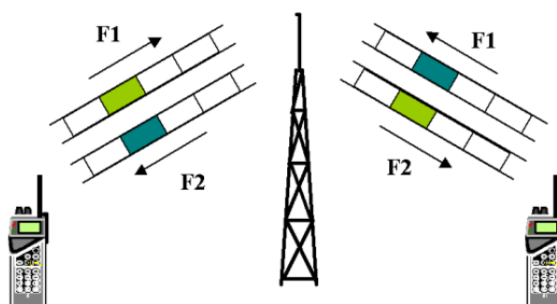


Figura 2.4: Modo semi-dúplex para tecnología TETRA (*Fuente internet*)

En la figura 2.4 se observa el *slot* que ocupa la comunicación semi-dúplex en ambos enlaces. Como se observa no han de pertenecer a la misma frecuencia portadora. A ambos *slots* se les llama *slot* pareado. Este es compartido por los usuarios dentro de la misma comunicación de grupo. Como consecuencia de este modo de comunicación, cuando el emisor presiona el PTT (Push To Talk), no puede recibir información.

El modo más utilizado en comunicaciones móviles es el modo dúplex, como por ejemplo en la tecnología LTE. La ventaja que presenta este modo es la posibilidad de transmitir y recibir al mismo tiempo.



**Figura 2.5: Modo Dúplex para tecnología TETRA (Fuente internet)**

Pero como se observa en la figura 2.5 se utilizan dos recursos radio por enlace (ascendente y descendente), cosa que para este tipo de comunicaciones no hace este modo el más eficiente.

## 2.4. Aspectos básicos de radiación para redes LTE

La tecnología de comunicación LTE (Long Term Evolution) nació con el objetivo de garantizar la creciente necesidad de transmisión de datos entre usuarios de una red. Con esta tecnología se pudo pasar definitivamente del servicio de voz original, objetivo de las primeras tecnologías de comunicación a la transmisión masiva de datos. Las características principales en redes LTE son:

- Alta eficiencia espectral: OFDMA en downlink y SC-FDMA en uplink.
- Baja latencia: En torno a 10 milisegundos.
- Movilidad: Soporta hasta 350 kilómetros por hora.
- Duplexado TDD y FDD con la misma tecnología de acceso radio.

El nodo principal de las redes LTE se llama "eNodeB". Puede haber varios eNodeB por red.

MIMO es la agupación técnica de antenas de forma genérica (Multiple Input Multiple Output). En LTE el MIMO 2x2 en el canal descendente está estandarizado, es decir, es obligatorio. Para el canal ascendente se utiliza diversidad.

### 2.4.1. Tecnologías de acceso en LTE

La tecnología de acceso múltiple, empleada para el canal de downlink de las redes LTE es la llamada OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplex Access*).

Las principales características de esta tecnología de acceso son:

- Modulación OFDM, múltiples subportadoras con separación de 15 kHz.
- Baja latencia: En torno a 10 milisegundos.
- Movilidad: Soporta hasta 350 kilómetros por hora.
- Duplexado TDD y FDD con la misma tecnología de acceso radio.

Esta cuenta con múltiples subportadoras de 15 kHz de separación. A cada usuario se le asigna un conjunto de subportadoras.

Para evitar los efectos del multitrayecto, se utiliza el prefijo cíclico.

La tecnología de acceso múltiple, empleada para el canal de uplink de las redes LTE es la llamada SC-FDMA (*Single Carrier - Frequency Division Multiplex Access*).

En el terminal del usuario es necesario reducir el consumo de potencia y conseguir una gran eficiencia en el amplificador, por lo que se ha optado por una técnica de acceso de portadora única.

Esta tecnología cuenta con una modulación análoga a OFDM. Con una operación matemática adicional agrupa las subportadoras de manera contigua.

SC-FDMA se basa en unos principios de transmisión muy similares a los de OFDM, pero en este caso se efectúa una precodificación de los símbolos que se van a transmitir previa al proceso de transmisión OFDM.

### 2.4.2. Estructura de la trama e interferencias en LTE

La unidad mínima de asignación de recursos es el RB”, cuyas siglas significan ”*Resource Block*”. Cada RB comprende 12 subportadoras por slot. Para cada ancho de banda de cada canal se consideran:

- 1,4 MHz - 6 RB.
- 3 MHz - 15 RB.
- 5 MHz - 25 RB.
- 10 MHz - 50 RB.

La estructura temporal de una señal LTE se jerarquiza mediante el número de slots que se puede asignar a recursos. El tiempo mínimo que se puede asignar es el de 1 subtrama, es decir, 1 milisegundo (2 slots). Una trama LTE comprende 10 subtramas, es decir 10 milisegundos (20 slots).

Debido al gran ancho de banda requerido para desplegar redes LTE (5/10 MHz) y el limitado número de frecuencias disponibles para redes privadas, la mayoría de redes se desplegarán con una única frecuencia.

Con esta condición, la capacidad de gestión de interferencia entre celdas vecinas es muy importante. Esto se debe a que la interferencia se añade al ruido en recepción del la TBS vecina. Esto genera un empeoramiento en la SNR que lo reciben los eNodeB.

Para solucionar este problema del estandar LTE, se ha previsto la funcionalidad ICIC, que asigna RB distintos a los terminales que se encuentran en el borde de celdas contiguas. Sin embargo esta restricción no se aplica a los terminales cercanos a la antena de transmisión.



## Capítulo 3

# Estudio de cobertura de red

### 3.1. Emplazamientos empleados

En este capítulo se mostrará el estudio y resultados de la red radio que ofrecerá cobertura a las zonas objetivo del pirineo oscense. Para ello, se han seleccionado una serie de emplazamientos de operadores de telefonía.

Para conseguir la máxima huella de cobertura TETRA/LTE en las zonas objetivo, he seleccionado los centros que se observan en la figura 3.1. En verde observamos los centros asociados a la compañía Cellnex. En azul los centros propiedad de Telefónica y en rojo los centros asociados a Vodafone. Por último, es importante señalar que los centros que aparecen en blanco, son los centros relativos a la red de ampliación propuesta en este trabajo.

Se considera que en todos los centros presentados contamos con acceso permitido y con línea eléctrica. Esta consideración se debe a que en todos los centros propuestos que pertenecen a un operador, ya hay otros sistemas instalados de telefonía.



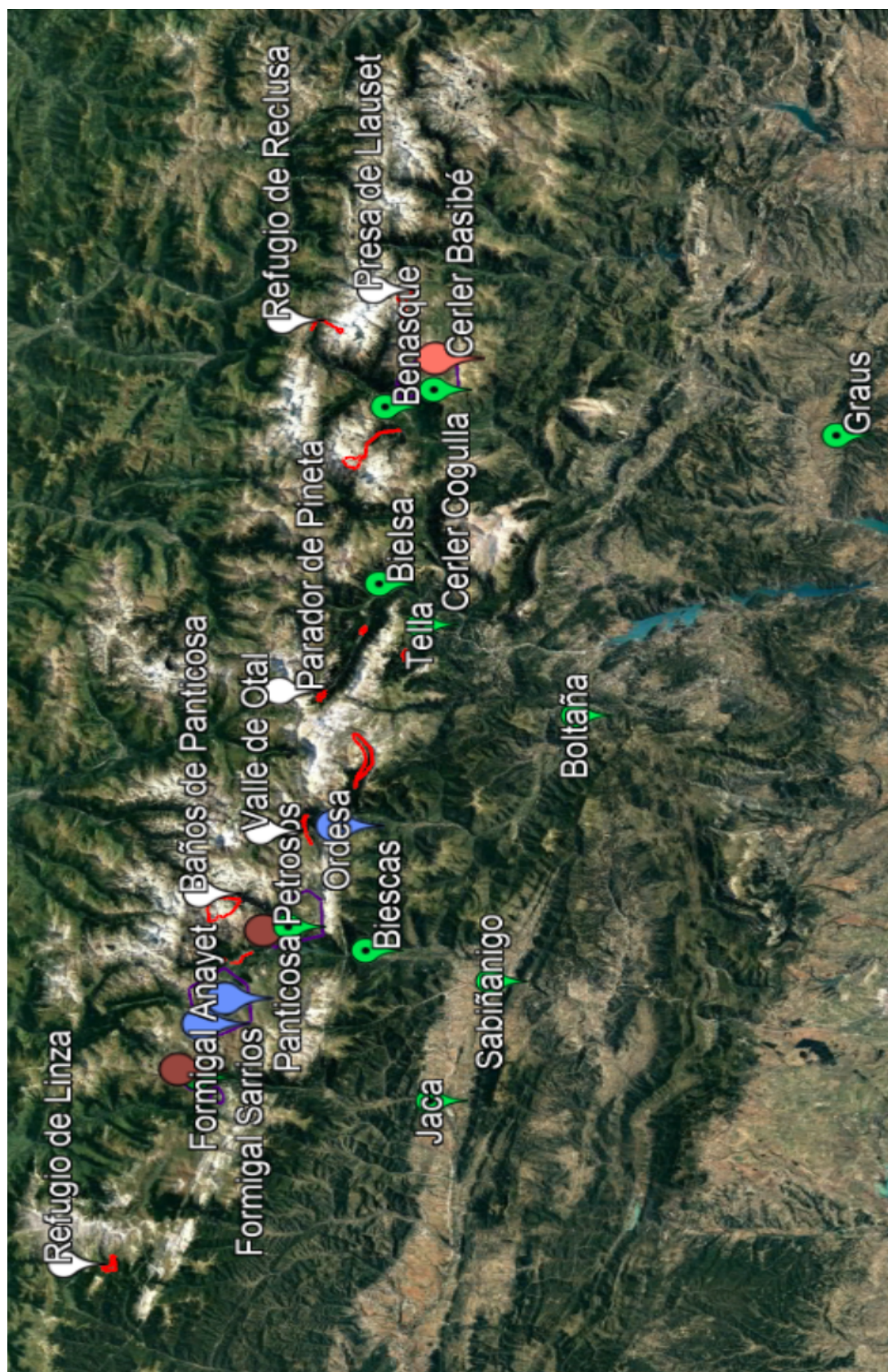


Figura 3.1: Plano general - Centros estudiados

Como se observa en la tabla 3.2 las titularidades de los centros no son todas propiedad de Cellnex. Por tanto, habremos de considerar una partida en el presupuesto de coubicaciones. Concretamente habré de negociar 3 coubicaciones en centros de Vodafone y 3 coubicaciones en centros de Telefónica.

En dicha tabla, podemos encontrar centros que en su campo *Nombre del Centro*, el nombre va acompañado de una "X"; esto quiere decir que pertenece a la red de ampliación propuesta.

En casi todos estos centros, no observaremos ninguna titularidad asignada. Esto se debe a que estos centros habrían de desplegarse completamente. Las coordenadas asociadas a este tipo de centros hacen referencia a instalaciones de obra civil que podrían albergar centros de telecomunicaciones en un futuro.

NºTBS	Acrónimo	Nombre del Centro	LA	Titularidad	Coordenadas								Cota (m)
					Latitud				Longitud				
					º	min	seg	CP	º	min	seg	CP	
1	JACA	Jaca CT ATW	1	Cellnex	42	34	15,23	N	0	32	47,8	W	821
2	SABI	Sabiñanigo	2	Cellnex	42	30	43,36	N	0	21	49	W	850
3	PETR	Panticosa Valle de Petrosos	3	Cellnex	42	42	15,42	N	0	16	29,7	W	1853
4	BIES	Biescas CT ATW	4	Cellnex	42	37	45,96	N	0	19	20,9	W	862
5	COGU	Cerler Cogulla	5	Cellnex	42	33	19,53	N	0	32	33,1	E	2347
6	CANC	Canfranc	6	Cellnex	42	47	34,11	N	0	30	19,3	W	2274
7	ASTU	Astún	7	Vodafone	42	48	27	N	0	29	29,6	W	1920
8	SARR	Formigal Sarrios	8	Telefónica	42	45	46	N	0	23	2,4	W	1870
9	BIEL	Bielsa	9	Cellnex	42	36	43,5	N	0	14	53,9	E	1640
10	TELL	Tella	10	Cellnex	42	34	24,4	N	0	11	4,8	E	1361
11	BOLT	Boltaña	11	Cellnex	42	25	36,75	N	0	2	34,2	E	1061
12	GRAU	Graus	12	Cellnex	42	10	13,65	N	0	27	56	E	1120
13	ORDE	Ordesa	13	Telefónica	42	39	21,1	N	0	7	15,5	W	1940
14	ANAY	Formigal Anayet	14	Telefónica	42	47	8,31	N	0	25	19,3	W	2030
15	BASI	Collado Basibé	15	Vodafone	42	33	0,5	N	0	35	23,4	E	2371
16	BENA	Benasque CT ATW	16	Cellnex	42	36	10,6	N	0	31	10,9	E	1140
17	PANT	Panticosa Pueblo	17	Vodafone	42	43	31,6	N	0	16	50,1	W	1240
18	PINE	Parador de Pineta (X)	18	Cellnex	42	40	47,06	N	0	5	5,74	E	1361
19	RECL	Refugio de Reclusa (X)	19		42	40	7,9	N	0	39	2,8	E	2160
20	LINZ	Refugio de Linza (X)	20		42	53	38,4	N	0	47	42	W	1510
21	OTAL	Valle de Otal (X)	21		42	41	59,4	N	0	7	45,4	W	1610
22	BAÑP	Baños de Panticosa (X)	22		42	45	32,3	N	0	13	27,1	W	2060
23	LLAU	Presa de Llauset (X)	23		42	34	50,73	N	0	41	37,5	E	2190

Figura 3.2: Tabla de centros - Información general

En la tabla 3.2 no se muestran los centros de apoyo, que serán utilizados en la red de transporte, tan solo se muestran los centros que dispondrán de sistemas radiantes para coberturas TETRA y LTE.

## 3.2. Simulaciones de cobertura TETRA y LTE

### 3.2.1. Parámetros de simulación

- **Coordenadas del centro emisor.**
- **Altura de transmisión:** Altura a la que se instalará la antena de transmisión en metros.



- **Altura de recepción:** Altura a la que se encontrará el usuario final. Se estima 1,5 metros para todos los casos.
- **Distancia máxima de simulación:** La simulación se extenderá hasta 35 km, a pesar de que en la mayoría de los casos la cobertura ofrecida por el centro en cuestión no alcance dicha distancia. Aún así un sistema TETRA podrá ofrecer cobertura con un límite de distancia de 56,7 km, siempre y cuando contemos con las condiciones de visibilidad idóneas.
- **Potencia nominal de transmisión:** La potencia nominal de transmisión que ofrecerán la TB3 y la TB4 serán 65 W.
- **Pérdidas en el combinador, cable y conectores:** Las pérdidas que añade el combinador de cavidades ya integrado en la TB3, serán de 3,8 dB. Las pérdidas que se estandarizan para el cable coaxial que llegará a los sistemas radiantes se fijan en 2,5 dB. Este es un parámetro teórico, dado que depende de la instalación podrían variar.
- **Frecuencia de TX:** Se fija la frecuencia de transmisión en la banda alta asociada a comunicaciones críticas por el CNAF en 400MHz para TETRA y 810MHz para LTE. Este es un parámetro estandarizado, dado que en las diferentes TBS se configurarán frecuencias diferentes dentro de la banda para evitar interferencias.
- **Antena de transmisión:** Se cargará el modelo de antena previsto para cada uno de los centros, considerando su diagrama de radiación, ganancia y tilt.
- **Número total de bloques radiados (PRB) y subportadoras:** Los PRB se fijan en 6, para la red LTE. Las subportadoras se fijan en 72, para la red LTE.

### 3.2.2. Resultados de la simulaciones de cobertura compuesta TETRA

A continuación, se muestran las capas de cobertura compuesta generales de la red.

En la imagen 3.4 observamos los niveles de señal simulados en las zonas objetivo del pirineo oscense. Para que sea fácil identificar los niveles de señal simulados, se presenta una tabla con los colores referentes a los niveles de señal que se presentan en la siguientes simulaciones 3.3.

Umbral	Nivel (dBu)	RSSI (dBm)	Color
Sensibilidad	30	-104	Naranja
Cobertura móvil	43	-91	Amarillo
Cobertura portátil	52	-82	Azul
Cobertura indoor	62	-72	Verde

**Figura 3.3: Paleta de colores de niveles de señal**

Por otro lado, en la imagen 3.5 observamos en que zonas serán mejor servidora las TBSs de la red. En este caso, cada color hace referencia a la huella de cobertura, donde el centro emisor es mejor servidor.

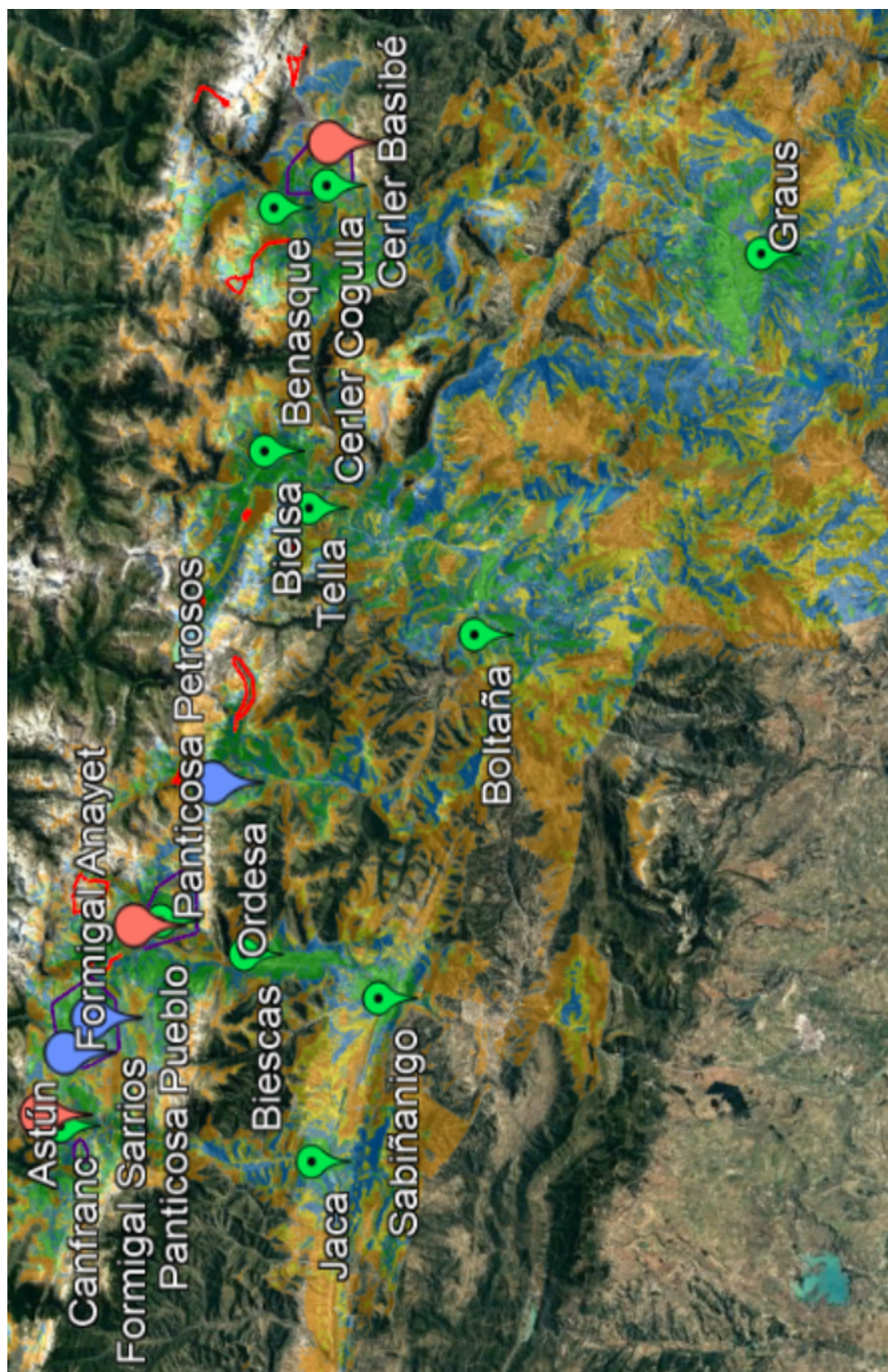


Figura 3.4: Capa de cobertura compuesta



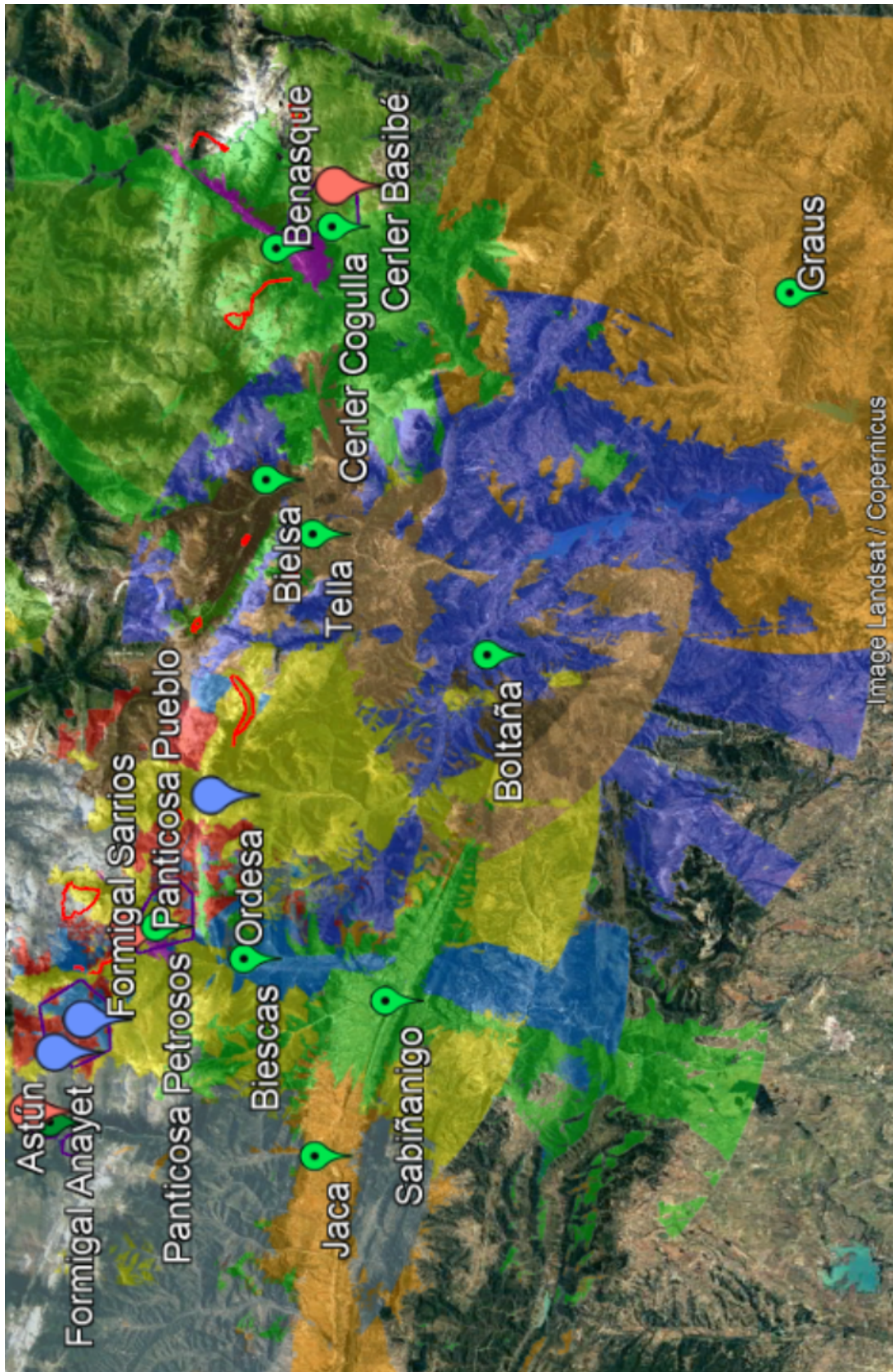


Figura 3.5: Capa de cobertura Best Server

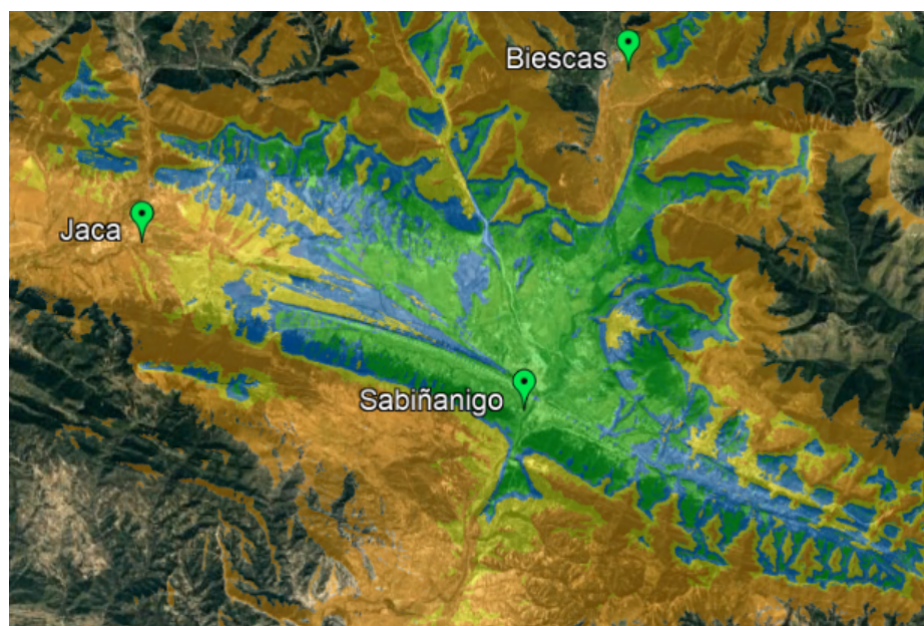
### 3.2.3. Resultados de la simulaciones de cobertura individual TETRA

En este apartado se presentarán algunas de las coberturas individuales de los centros emisores de la red. El resto de coberturas individuales, se presentarán en el apartado de Anexos. Estas simulaciones, se realizan de forma previa a la obtención de la capa de cobertura compuesta TETRA, presentada en el punto anterior. Para que sea fácil identificar los niveles de señal simulados, se presenta una tabla con los colores referentes a los niveles de señal que se presentan en las simulaciones 3.12.

Umbral	Nivel (dBu)	RSSI (dBm)	Color
Sensibilidad	30	-104	Naranja
Cobertura móvil	43	-91	Amarillo
Cobertura portátil	52	-82	Azul
Cobertura indoor	62	-72	Verde

**Figura 3.6: Paleta de colores de niveles de señal**

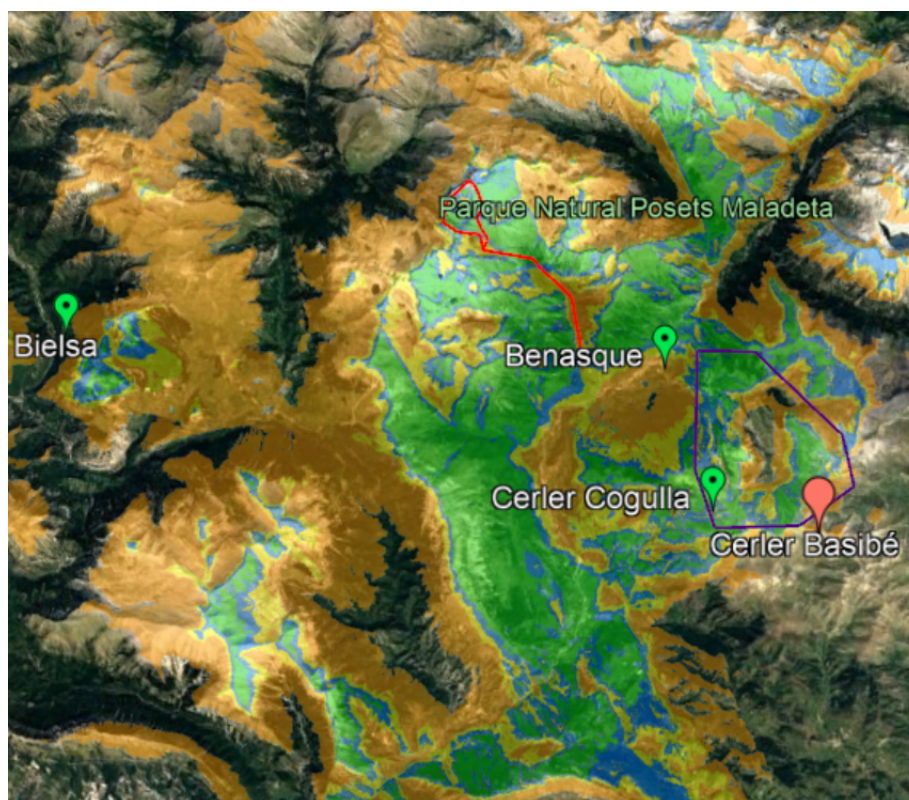
En la imagen 3.7 observamos la cobertura que ofrece un centro con sistema radiante omnidireccional, sin tilt mecánico. Con este sistema radiante conseguimos cubrir de cobertura la población de Sabiñanigo.



**Figura 3.7: Cobertura individual de Sabiñanigo**

Por otro lado, en la imagen 3.8 observamos la cobertura que ofrece un panel directivo de 90° de apertura de haz y un tilt mecánico de +2°. Con este sistema radiante conseguimos cubrir la ruta de senderismo del Parque natural de Possets y la Maladeta. Además se consigue dotar de cobertura la zona oeste del valle de Benaque; a la cual no se le puede dotar de cobertura desde el centro ubicado en el mismo valle de Benaque. Cerler Cogulla es un centro muy dominante en su área de influencia, debido a su cota y a su ubicación.





**Figura 3.8: Cobertura individual de Cerler Cogulla**

### 3.2.4. Resultados de la simulaciones de cobertura compuesta LTE

No todos los centros dispondrán de cobertura LTE. Se han escogido los centros que más tráfico de usuarios tendrán en la red y que en momentos puntuales será potencialmente necesaria una capacidad de canal mayor: Jaca CT ATW, Sabiñanigo, Canfranc, Astún, Formigal Sarrios, Formigal Anayet, Panticosa Petrosos, Benasque CT ATW, Cerler Cogulla y Cerler Collado Basibé.

A continuación, se muestran las capas de cobertura compuesta generales de la red LTE. Para que sea fácil identificar los niveles de señal simulados, se presenta una tabla con los colores referentes a los niveles de señal que se presentan en la siguientes simulaciones 3.12.

Umbral	Nivel (dBu)	RSSI (dBm)	Color
Sensibilidad	30	-104	Naranja
Cobertura móvil	43	-91	Amarillo
Cobertura portátil	52	-82	Azul
Cobertura indoor	62	-72	Verde

**Figura 3.9: Paleta de colores de niveles de señal**

En la imagen 3.10 observamos los niveles de señal simulados en las zonas objetivo del pirineo oscense. Por otro lado, en la imagen 3.11 observamos en que zonas serán mejor servidora las TBSs de la red. En este caso, cada color hace referencia a una huella de cobertura.

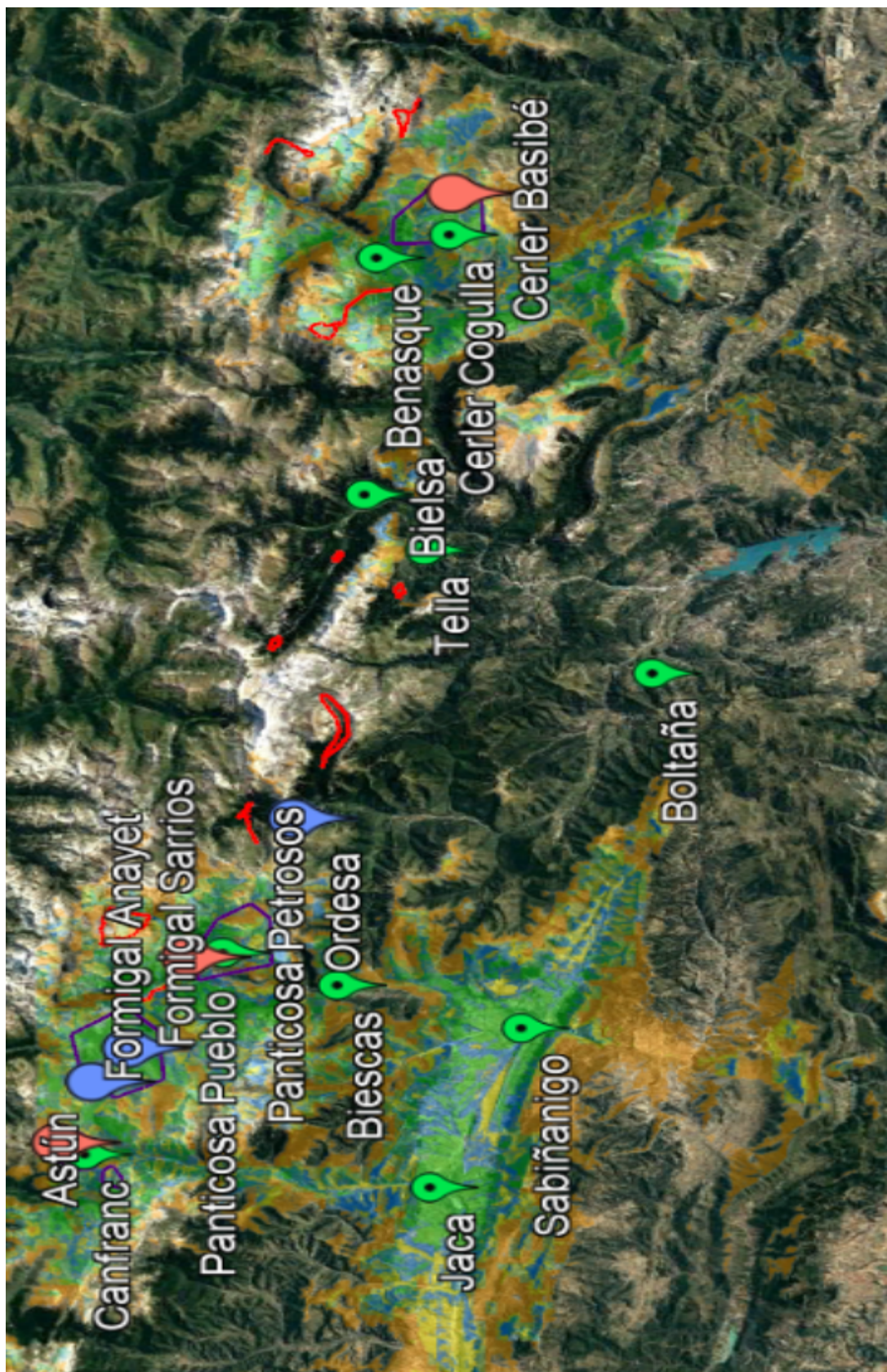


Figura 3.10: Capa de cobertura compuesta



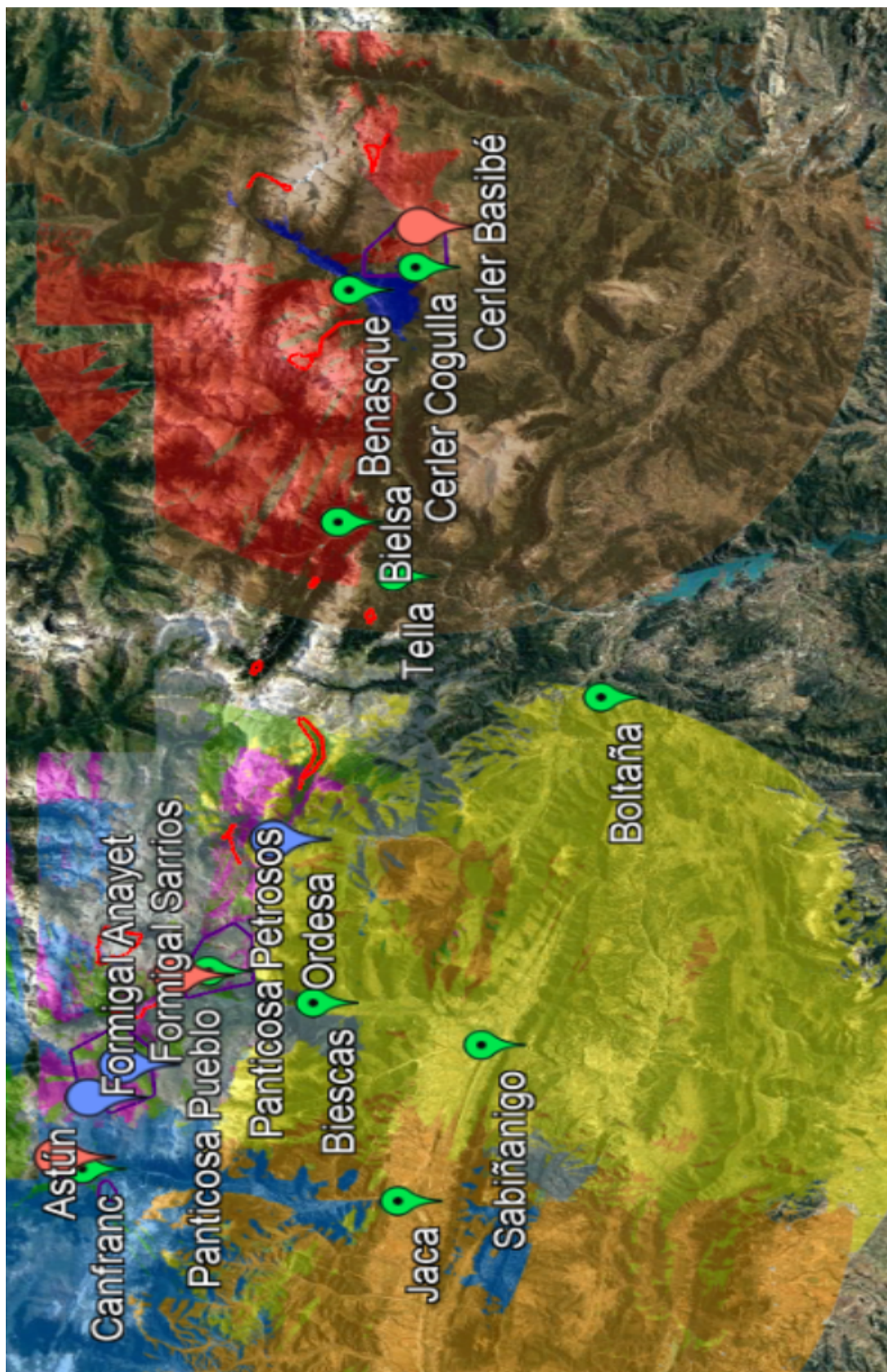


Figura 3.11: Capa de cobertura Best Server

### 3.2.5. Resultados de la simulaciones de cobertura individual LTE

En este apartado se presentarán algunas de las coberturas individuales de los centros emisores de la red que dispongan de sistemas radiantes en la banda de LTE. El resto de coberturas individuales, se presentarán en el apartado de Anexos.

Estas simulaciones, se realizan de forma previa a la obtención de la capa de cobertura compuesta TETRA, presentada en el punto anterior.

Para que sea fácil identificar los niveles de señal simulados, se presenta una tabla con los colores referentes a los niveles de señal que se presentan en las simulaciones 3.12.

Umbral	Nivel (dBu)	RSSI (dBm)	Color
Sensibilidad	30	-104	Naranja
Cobertura móvil	43	-91	Amarillo
Cobertura portátil	52	-82	Azul
Cobertura indoor	62	-72	Verde

Figura 3.12: Paleta de colores de niveles de señal

En la imagen 3.13 observamos la cobertura que ofrece un centro con sistema radiante omnidireccional, sin tilt eléctrico. Con este sistema radiante conseguimos cubrir de cobertura la población de Jaca.

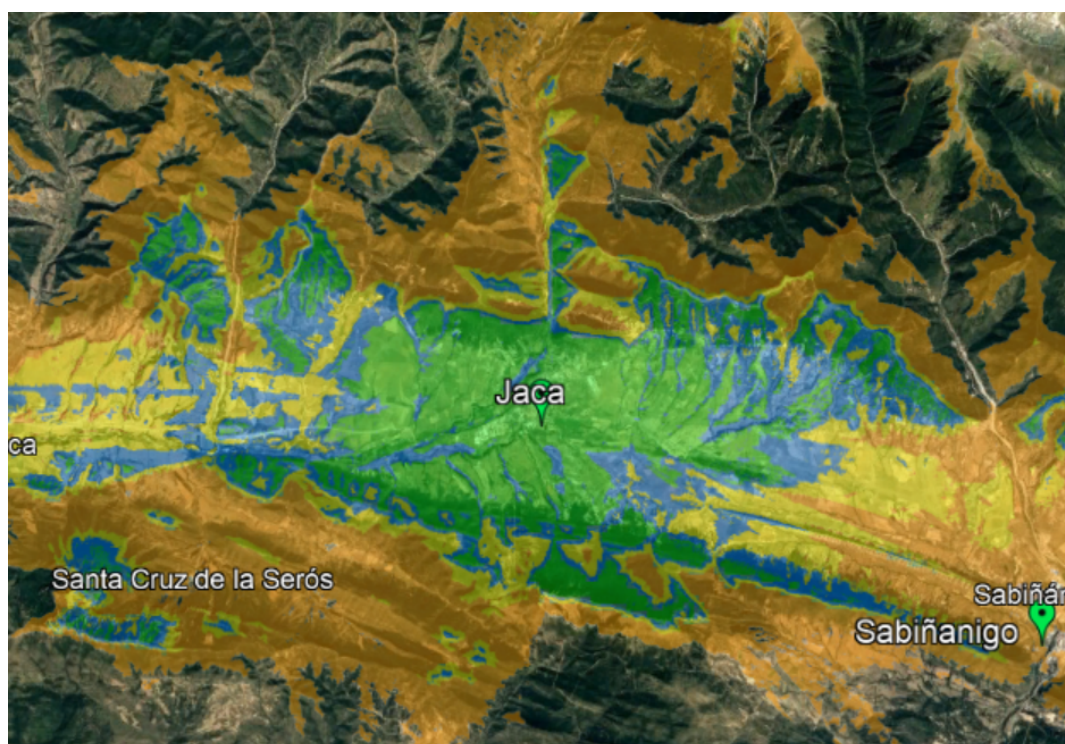
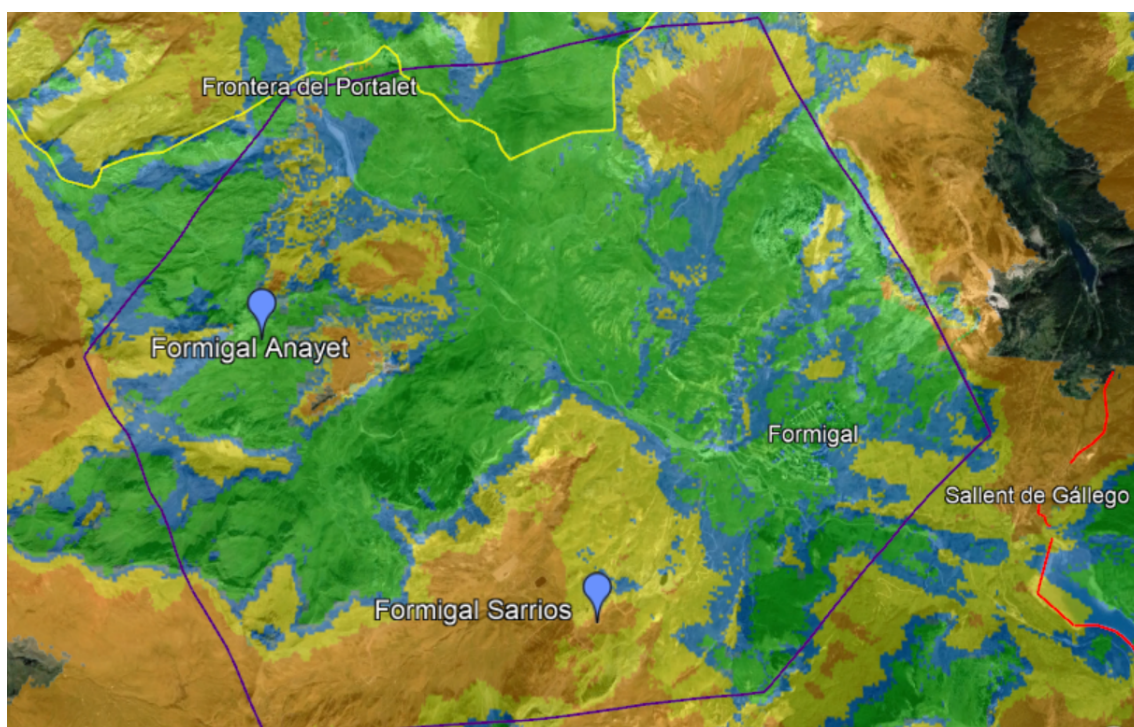


Figura 3.13: Cobertura individual de Jaca



Por otro lado, en la imagen 3.14 observamos la cobertura que ofrece un panel directivo de 90° de apertura de haz y sin tilt mecánico. Con este sistema radiante conseguimos cubrir el valle de Anayet en la estación de esquí de Formigal. Además se consiguen dotar de cobertura zonas de difícil acceso entre los valles de Anayet y Sarriós.



**Figura 3.14: Cobertura individual de Formigal Anayet**

### 3.3. Planificación de frecuencias

En este apartado comentaré los pasos que he seguido para seleccionar la frecuencia con la que radiará cada centro de la red.

Primeramente se realiza un barrido rápido de los centros cuyas huellas de cobertura no se solapan y se considera la posibilidad de que compartan canales de frecuencias. Como por ejemplo, los centros Benasque y Astún; ambos se encuentran en valles y sus coberturas no se solapan.

En el estudio previo se considera insertar frecuencias en los centros de la red optimizada. Aparecen con una (X), al final del nombre del centro. Estas frecuencias no ampliarán el espectro necesario, debido a que estos centros emisores se encuentran en zonas donde no supondrán interferencias con el resto de TBSs de la red.

Para comprobar si la sistemática anterior es correcta, se deben hacer simulaciones de interferencia de cobertura, en las cuales se observa que como se preveía, no tendremos interferencias entre los centros con canales iguales.

Para los canales de frecuencia LTE, solo solicitaremos un canal de frecuencia, debido a que la misma TB4 se encarga mediante el método ICIC (Inter-Cell Interference Coordination) de la

asignación dinámica de recursos radio. Con ello somos capaces de evitar interferencias en el límite de las celdas, asignando subportadoras o RB (Resource Block) distintas dentro de la matriz de subportadoras que ofrece el estándar LTE.

La frecuencia que solicitaremos al ministerio para este proyecto será la más baja dentro de la banda para redes de emergencia LTE. En transmisión solicitaremos el canal 832,25 MHz, para el cual nos asignarán en recepción la canalización 791,25 MHz.

### 3.3.1. Estado final del espectro radioelectrico TETRA

Tras realizar la comprobación con el simulador ICS, presento el estado final de frecuencias en la red estudiada. Se presenta también la columna "Canal", en la que aparece un número que se ha utilizado para facilitar la selección de canales.

NºTBS	Acrónimo	Nombre del Centro	LA	Canales de frecuencia TETRA							
				1ª Portadora				2ª Portadora			
				Canal	Canal ETSI	Canal TX	Canal RX	Canal	Canal ETSI	Canal TX	Canal RX
1	JACA	Jaca CT ATW	1	1	3640	381,0125	391,0125	12	3651	381,2875	391,2875
2	SABI	Sabiñanigo	2	6	3645	381,1375	391,1375	17	3656	381,4125	391,4125
3	PETR	Panticosa Valle de Petrosos	3	7	3646	381,1625	391,1625	18	3657	381,4375	391,4375
4	BIES	Biescas CT ATW	4	2	3641	381,0375	391,0375	13	3652	381,3125	391,3125
5	COGU	Cerler Cogulla	5	2	3641	381,0375	391,0375	13	3652	381,3125	391,3125
6	CANC	Canfranc	6	4	3643	381,0875	391,0875	15	3654	381,3625	391,3625
7	ASTU	Astún	7	2	3641	381,0375	391,0375	13	3652	381,3125	391,3125
8	SARR	Formigal Sarrios	8	5	3644	381,1125	391,1125	16	3655	381,3875	391,3875
9	BIEL	Bielsa	9	8	3647	381,1875	391,1875	19	3658	381,4625	391,4625
10	TELL	Tella	10	3	3642	381,0625	391,0625	14	3653	381,3375	391,3375
11	BOLT	Boltaña	11	9	3648	381,2125	391,2125	20	3659	381,4875	391,4875
12	GRAU	Graus	12	5	3644	381,1125	391,1125	16	3655	381,3875	391,3875
13	ORDE	Ordessa	13	10	3649	381,2375	391,2375	21	3660	381,5125	391,5125
14	ANAY	Formigal Anayet	14	11	3650	381,2625	391,2625	22	3661	381,5375	391,5375
15	BASI	Collado Basibé	15	1	3640	381,0125	391,0125	12	3651	381,2875	391,2875
16	BENA	Benasque CT ATW	16	4	3643	381,0875	391,0875	15	3654	381,3625	391,3625
17	PANT	Panticosa Pueblo	17	3	3642	381,0625	391,0625	14	3653	381,3375	391,3375
18	PINE	Parador de Pineta	18	4	3643	381,0875	391,0875	15	3654	381,3625	391,3625
19	RECL	Refugio de Reclusa (X)	19	6	3645	381,1375	391,1375	17	3656	381,4125	391,4125
20	LINZ	Refugio de Linza (X)	20	6	3645	381,1375	391,1375	17	3656	381,4125	391,4125
21	OTAL	Valle de Otal (X)	21	7	3646	381,1625	391,1625	18	3657	381,4375	391,4375
22	BAÑP	Baños de Panticosa (X)	22	9	3648	381,2125	391,2125	20	3659	381,4875	391,4875
23	LLAU	Presa de Llauset (X)	23	8	3647	381,1875	391,1875	19	3658	381,4625	391,4625

Figura 3.15: Plan de frecuencias para la red del Pirineo Oscense

### 3.3.2. Configuración de vecinas

La selección de centros vecinos entre sí se realiza comprobando las coberturas de mejor servidora alrededor de la TBS en estudio. Es estrictamente necesario que dos TBS sean vecinas para que se pueda iniciar un proceso de handover entre dos centros y el terminal que cursa la llamada. Es interesante para que las llamadas de la red no caigan, que los centros donde se cursen las llamadas sean vecinos de otros con los que compartan huellas de cobertura con diferentes niveles de potencia.

Cada una de las TBS de la red envía de forma constante mensajes de broadcast a los terminales que se encuentran bajo su área de influencia. En estos mensajes se indican parámetros de configuración de la red, entre ellos las TBS que son vecinas de la TBS que envía los mensajes. Con esta información el terminal es capaz de asociar las LA de las TBS vecinas a la red y por tanto iniciar

dicho proceso de handover con el terminal.

En la siguiente tabla 3.16 se observa la distribución final. En color azul se observan los centros propuestos para la ampliación.

Nombre del Centro	LA	Vecinas								
Jaca CT ATW	1	SABIÑANIGO	CANFRANC	BIESCAS	PETROSOS	LINZA				
Sabiñanigo	2	JACA	CANFRANC	BIESCAS	PETROSOS	ORDESA	BOLTAÑA	TELLA	GRAUS	
Panticosa Valle de Petrosos	3	SABIÑANIGO	CANFRANC	JACA	ANAYET	SARRIOS	BIESCAS	ORDESA	PANTICOSA	BAÑOS
Biescas CT ATW	4	SABIÑANIGO	CANFRANC	JACA	PETROSOS	ORDESA	GRAUS	OTAL		
Cerler Cogulla	5	BENASQUE	BASIBÉ	BIELSA	BOLTAÑA	TELLA	GRAUS	PINETA	RECLUSA	PRESA
Canfranc	6	SABIÑANIGO	JACA	PETROSOS	BIESCAS	ASTÚN	ANAYET	SARRIOS	LINZA	
Astún	7	CANFRANC	PETROSOS	ANAYET						
Formigal Sarrios	8	CANFRANC	PETROSOS	ANAYET	PANTICOSA	BAÑOS				
Bielsa	9	BOLTAÑA	TELLA	PINETA	COGULLA	BASIBÉ	GRAUS			
Tella	10	BIELSA	BOLTAÑA	PINETA	GRAUS	ORDESA	SABIÑANIGO	COGULLA	OTAL	
Boltaña	11	TELLA	GRAUS	BIELSA	SABIÑANIGO	ORDESA	PINETA	COGULLA	OTAL	
Graus	12	BOLTAÑA	SABIÑANIGO	ORDESA	TELLA	BASIBÉ	PRESA			
Ordesa	13	BOLTAÑA	SABIÑANIGO	BIESCAS	PETROSOS	TELLA	PINETA	BIELSA	OTAL	
Formigal Anayet	14	CANFRANC	PETROSOS	SARRIOS	ASTÚN					
Collado Basibé	15	COGULLA	BENASQUE	GRAUS	BOLTAÑA	BIELSA	RECLUSA	PRESA		
Benasque CT ATW	16	COGULLA	BASIBÉ	RECLUSA						
Panticosa Pueblo	17	PETROSOS	SARRIOS	BIESCAS	OTAL	BAÑOS				
Parador de Pineta (X)	18	BOLTAÑA	BIELSA	COGULLA						
Refugio de Reclusa (X)	19	COGULLA	BASIBÉ	BENASQUE	PRESA					
Refugio de Linza (X)	20	JACA	CANFRANC							
Valle de Otal (X)	21	PETROSOS	TELLA	BOLTAÑA	ORDESA	PANTICOSA	BIESCAS			
Baños de Panticosa (X)	22	PETROSOS	PANTICOSA	SARRIOS						
Presa de Llauset (X)	23	COGULLA	BASIBÉ	BENASQUE	GRAUS	RECLUSA				

Figura 3.16: Vecinas para la red del Pirineo Oscense

## Capítulo 4

# Estudio de la red de transporte

### 4.1. Información general sobre la red de transporte

La red propuesta utilizará distintas tecnologías para establecer sus enlaces. En este apartado se visualizará de manera general las formas de enlazar los centros propuestos de la red, para dotar de cobertura las rutas de senderismo y estaciones de esquí; objetivo del proyecto. En la imagen 4.1 se puede observar la solución general para cubrir de cobertura TETRA el Pirineo Oscense.



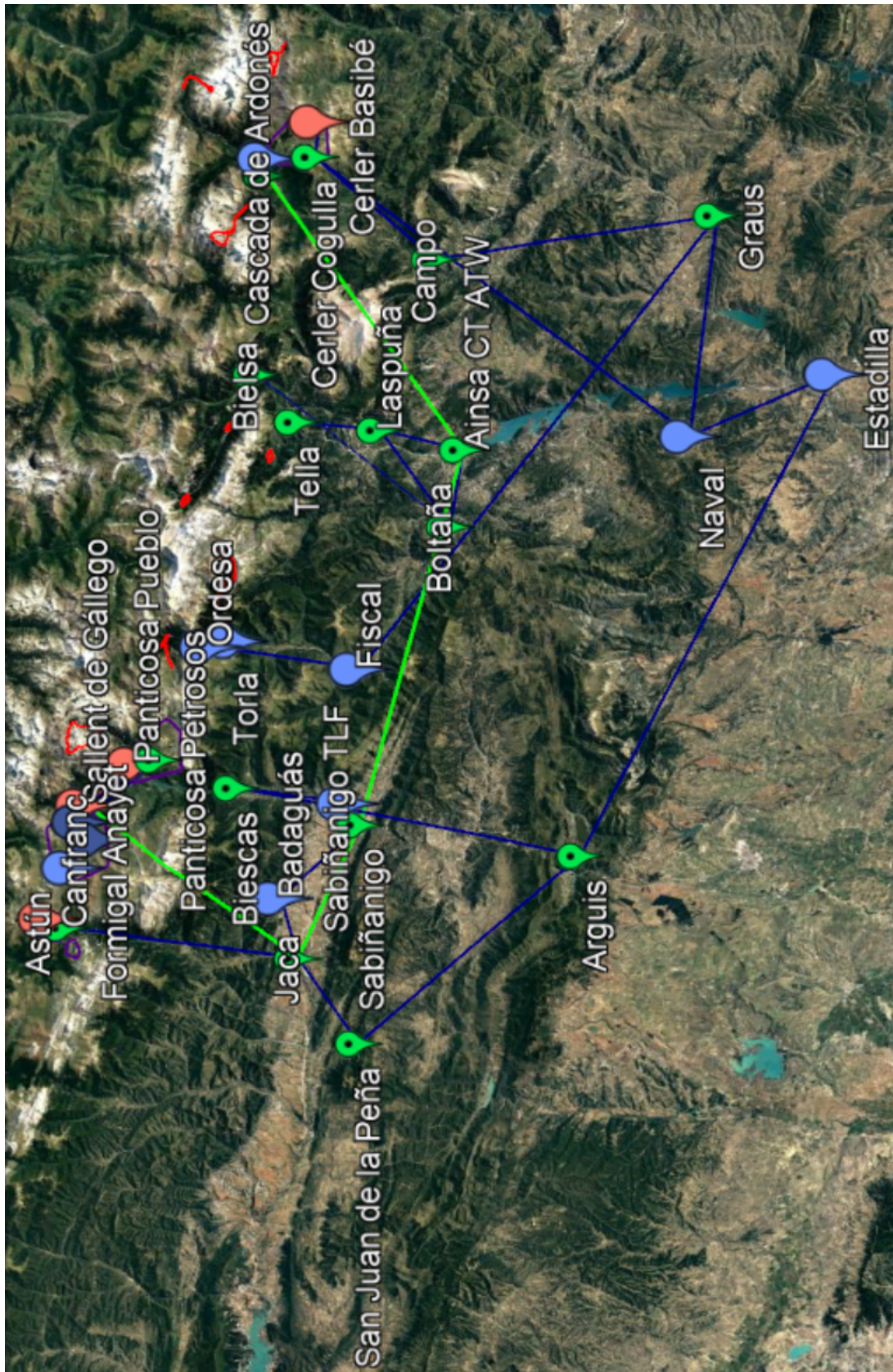


Figura 4.1: Esquema general de conexión entre centros



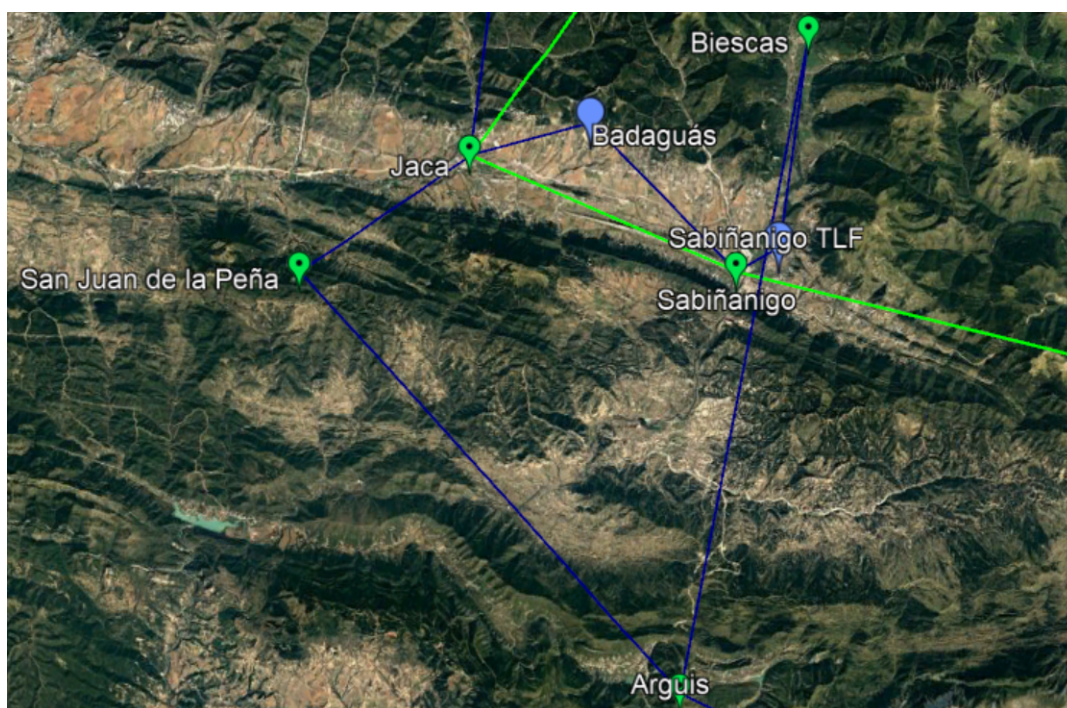
## 4.2. Información detallada sobre la conectividad en la red

De forma más específica se presentan los anillos de conectividad con los que se conforma la red. Cabe destacar que los enlaces con tonalidad azul oscuro se refieren a conectividad por radioenlace y los enlaces con tonalidad verde, se consideran enlaces de fibra óptica.

Los cálculos de potencia recibida de cada uno de radioenlaces se encuentran en el apartado "Parámetros de radioenlaces" y los cálculos de potencia recibida de enlaces por fibra óptica se encuentran en el apartado "Parámetros de enlaces de fibra óptica".

### 4.2.1. Anillo de Jaca

Este anillo se diseña para que los centros de Jaca y Sabiñanigo no pierdan conectividad. Debido a la importancia de ambos en la red se les aplican las redundancias que se observan en la imagen 4.2



**Figura 4.2: Detalle de los enlaces del anillo de Jaca**

Debido a que los centros de Sabiñanigo y Jaca se encuentran en núcleos urbanos, se considera que tendrán acceso a fibra óptica en ambos puntos. Además de este enlace se diseña un centro de salto entre ambos en la localidad de Badaguás; conectando este centro con los dos principales mediante radioenlaces. Conseguimos así que los centros de Jaca y Sabiñanigo sean los más redundados de la red.

Por otro lado, se observa que el centro Sabiñanigo Telefónica se ofrece como centro de salto hasta el centro situado en Biescas. Este centro de salto es necesario dado que no tenemos visibilidad directa entre los centros de Sabiñanigo y Biescas.

Conseguimos cerrar el anillo con los centros de San Juan de la Peña y Arguis RTV. Estos

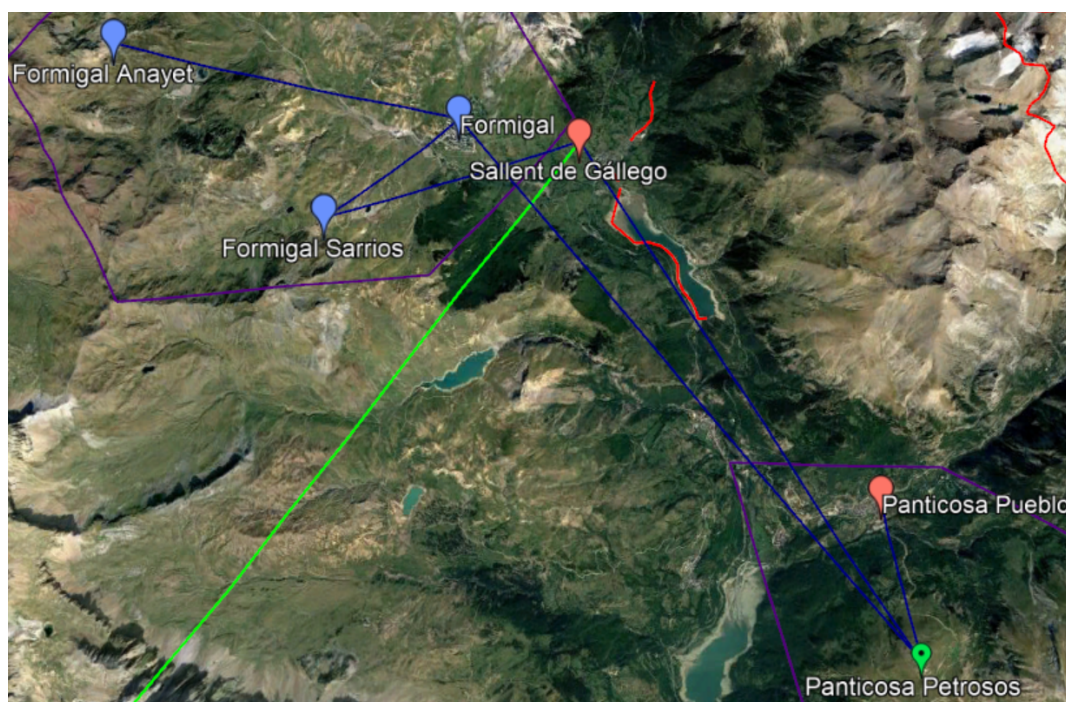
dos centros de salto tienen como función en la red conectar los centros de Biescas y Jaca de forma redundante. Además el centro de Arguís RTV abre el acceso a los radioenlaces de la llamada "Redundancia Sur"; la cuál consigue conectar los valles más alejados de la red.

Por último, se deja en configuración estrella el centro de Canfranc, anexo a la red mediante un radioenlace desde Jaca. Para comunicar la estación de Astún con el resto de la red, añadimos un enlace de Canfranc al centro de Astún; que obviamente también queda en estrella del anillo de Jaca. Estos últimos radioenlaces comentados no se aprecian en la imagen 4.2.

Los centros de Jaca y Sallent de Gállego, estarán conectados por la red troncal de fibra óptica del proyecto. Con este enlace conseguimos unir el Anillo de Jaca con el Anillo de Sallent de Gállego.

#### 4.2.2. Anillo de Sallent de Gállego

Este anillo se diseña para que los centros de la estación de esquí de Formigal, Sallent de Gállego y Panticosa Petrosos no pierdan conectividad. Debido a la importancia de ellos en la red se les aplican las redundancias que se observan en la imagen 4.3



**Figura 4.3: Detalle de los enlaces del anillo de Sallent de Gállego**

Como se observa en la imagen 4.3 los centros de Formigal (Telefónica), Formigal Sarrios (Telefónica), Sallent de Gállego (Vodafone) y Panticosa Petrosos forman un anillo que redunda la comunicación entre dichos centros, ubicados en el Valle de Tena.

Desde el centro de Sallent de Gállego queda en estrella el centro que da cobertura a la zona más remota de la estación de esquí de Formigal, Formigal Anayet.

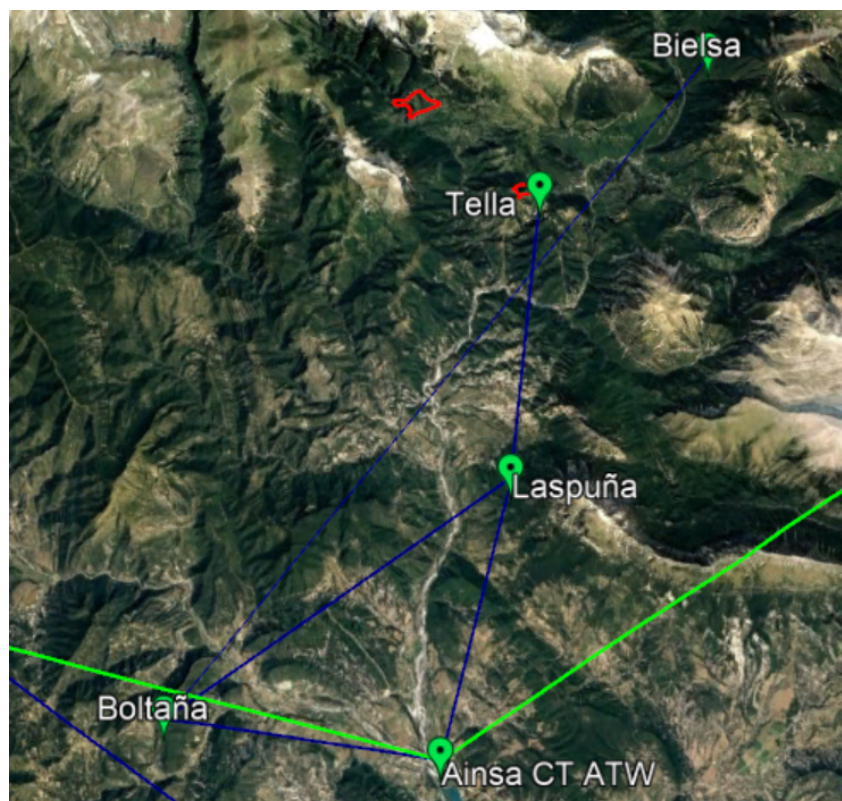
Desde el centro de Panticosa Petrosos queda en estrella el centro que da cobertura al pueblo de Panticosa. Este centro de Vodafone se nombra como: Panticosa Pueblo.



Finalmente en Sallent de Gállego se instala uno de los extremos de la red troncal de fibra óptica del proyecto.

### 4.2.3. Anillo de Aínsa

Este anillo se diseña para que los centros radiantes de Boltaña y Bielsa no pierdan conectividad. Debido a la importancia de ambos en la red se les aplican las redundancias que se observan en la imagen 4.4



**Figura 4.4: Detalle de los enlaces del anillo de Aínsa**

El nombre de este anillo viene dado por el centro de paso de conectividad de la red troncal de fibra óptica, ubicado en el centro Aínsa CT ATW, propiedad de Cellnex.

Desde este centro, tenemos un enlace de fibra que conecta por el este con el centro radiante situado en Sabiñanigo. Por el oeste, conecta con el otro valle importante de la red estudiada, con el centro de Benasque y también vía fibra óptica.

Sobre él también observamos dos radioenlaces más, necesarios para conectar más centros radiantes correspondientes a este anillo. Estos son:

- **Bielsa:** Para alcanzar el centro radiante de Bielsa se considera utilizar un centro de salto llamado, Boltaña, el cual tiene visibilidad directa tanto con Bielsa como con Aínsa CT ATW. Como se observa en la imagen 4.4 Bielsa queda en configuración de red de estrella; esto se debe a la dificultad que presenta la orografía del terreno en esta zona.



- **Tella:** Para alcanzar el centro radiante de Tella se considera utilizar un centro de salto llamado, Laspuña, el cual tiene visibilidad directa tanto con Tella como con Aínsa CT ATW. Como se observa en la imagen 4.4 Tella queda en configuración de red de estrella; esto se debe a la dificultad que presenta la orografía del terreno en esta zona.

#### 4.2.4. Anillo de Cerler

Este anillo se diseña para que los centros radiantes del valle de Benasque no pierdan conectividad. Debido a la importancia de todos estos en la red se les aplican las redundancias que se observan en la imagen 4.5 La imagen presentada es muy general, por lo que se estudiará por partes, centrándonos principalmente en el Anillo que se crea para los centros radiantes de la estación de esquí de Cerler; los cuales podemos observar en la imagen 4.6

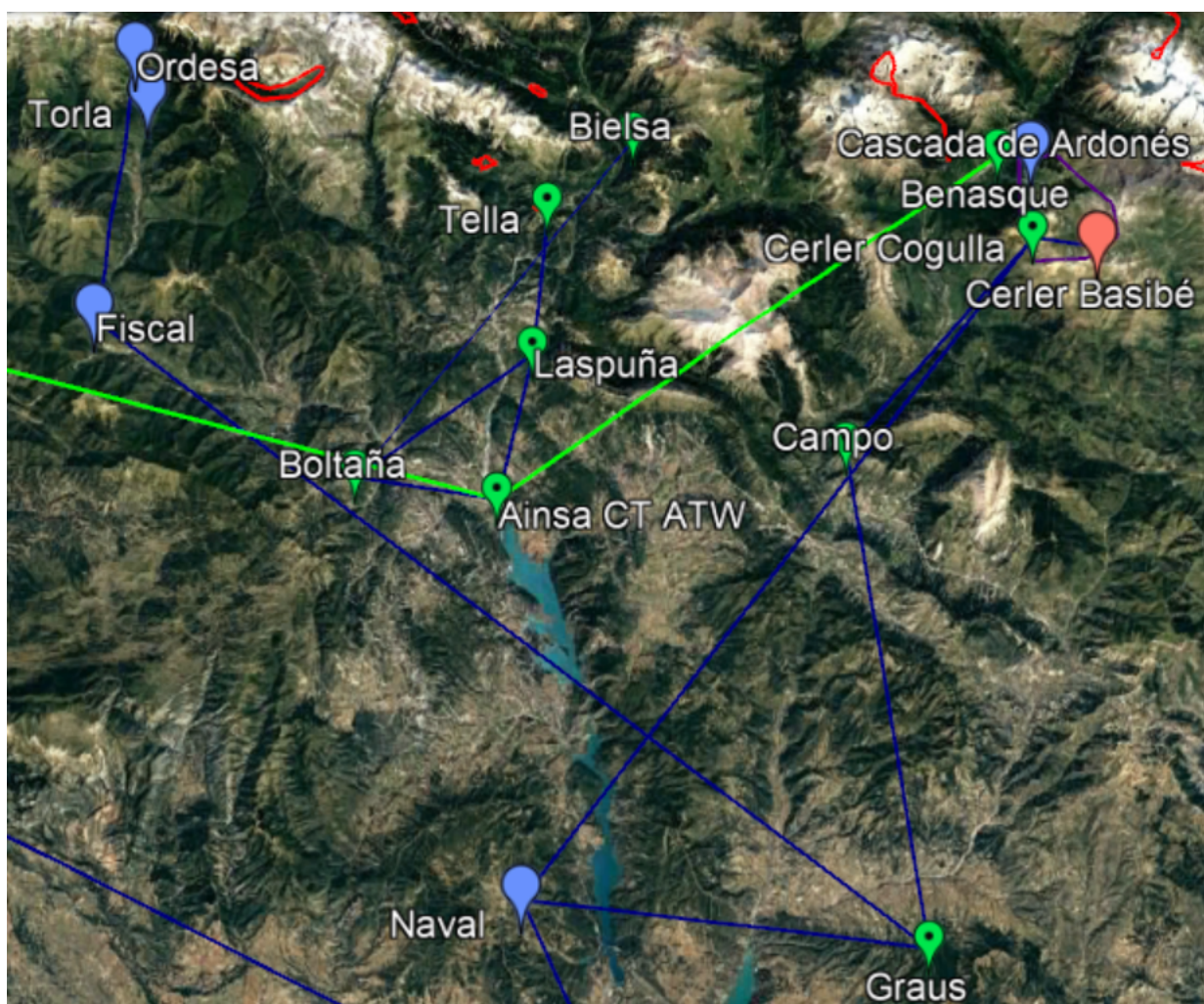
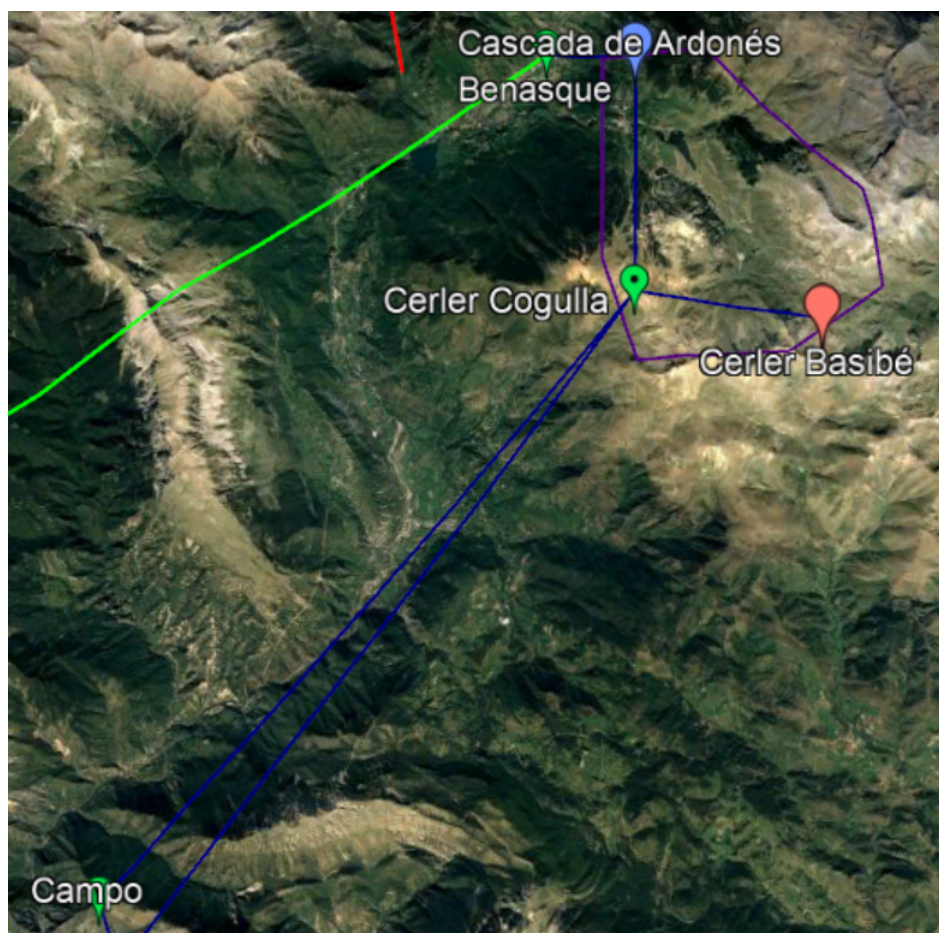


Figura 4.5: Detalle de los enlaces del anillo de Cerler

En la zona sur de este anillo podemos observar el centro de Telefónica, Naval. Este centro queda conectado con los centros de Sabiñanigo y Jaca mediante la redundancia sur. Cuenta con un

radioenlace directo hasta el pico donde se ubica el centro Cerler Cogulla y con otro radioenlace que une al centro emisor Graus a la red; completando la parte sur del anillo con el centro de apoyo Campo y finalmente llegando también al centro Cerler Cogulla. Todos ellos enlazados mediante tecnología radio.

En la imagen 4.6 podemos observar lo ocurre en el anillo en su zona norte.



**Figura 4.6: Detalle de los enlaces del anillo de Cerler - Detalle**

El centro Cerler Cogulla cierra la redundancia de la red llegando al centro Benasque. Para ello, nos apoyamos en el centro Cascada de Ardonés, propiedad de Telefónica. Este centro tiene visibilidad radioeléctrica con Benasque y con Cerler Cogulla, por lo que es idóneo para dotar de conectividad a ambos centros.

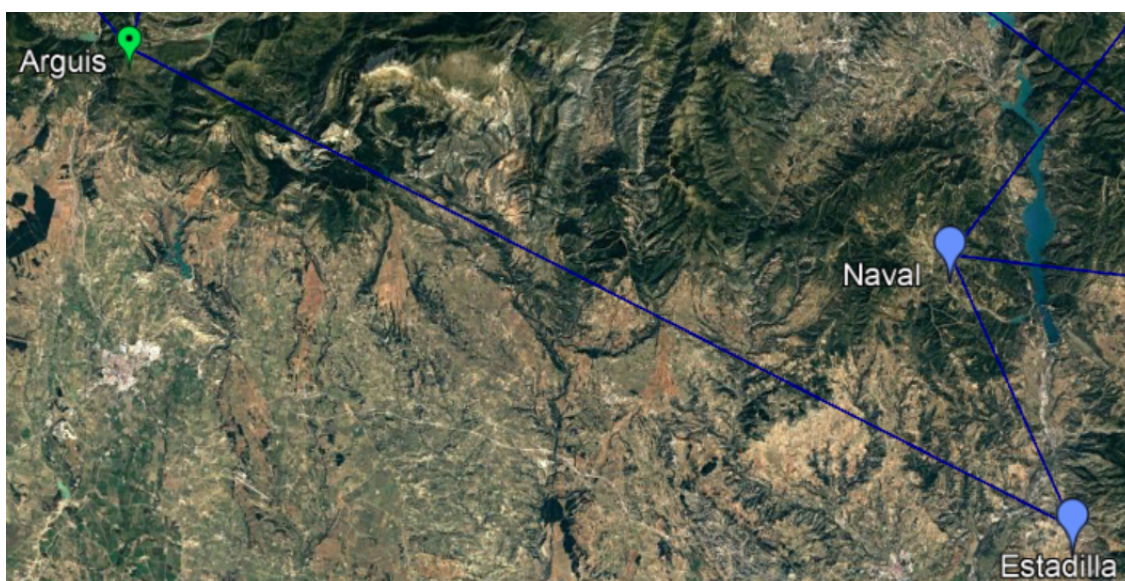
En la estación de esquí de Cerler, observamos que el panel emisor del centro Cerler Basibé queda en estrella, debido a los problemas que presenta la orografía del terreno.

Finalmente, y también en estrella quedan los centros de Ordesa y Torla, a los cuales se llega mediante un centro de salto situado en Fiscal, desde el centro de Graus. El radioenlace entre Fiscal y Graus, es el radioenlace más largo de la red, alcanzando los 63,4 kilómetros de distancia. El detalle de los radioenlaces comentados se observa en la imagen 4.5 en su parte izquierda (este).



#### 4.2.5. Redundancia sur

En este apartado se presentan una serie de centros de apoyo que generarán una redundancia sur en la red, para conectar el valle de Tena con el valle de Benasque. Con ella, conseguimos que la red sea más segura y autosuficiente, en caso de caída de cualquier centro radiante. Todos los centros de esta redundancia se conectan mediante radioenlaces, que se pueden observar esquemáticamente en la imagen 4.7



**Figura 4.7: Enlaces de la redundancia sur**

Esta redundancia es equivalente a la red troncal de fibra óptica del proyecto, sin pasar por el Anillo de Aínsa. Por lo que dará redundancia entre los valles de Tena y Benasque

#### 4.3. Parámetros de los radioenlaces

Los criterios principales considerados para diseñar estos radioenlaces son la capacidad de transmisión (network throughput) del enlace y la distancia.

Para retransmitir en directo un vídeo en 4k son necesarios 25 Mb/s. Esta será la opción de máxima capacidad individual para un enlace. Para tener un margen sobre el que trabajar bajo una estación en la que se registren múltiples usuarios, utilizaremos enlaces de 53 Mb/s capacidad.

Ateniendonos al equipo escogido para realizar este trabajo, *NEC iPasolink 200 Digital Radio System*, la canalización elegida será de 28 MHz, con modulación QPSK. De este modo, conseguimos implementar en los enlaces una modulación muy robusta, que es idónea para garantizar el servicio en redes de emergencia y redes críticas.

La tabla que se muestra en la imagen 4.8 es la asociada al datasheet del equipo mencionado previamente. Esta tabla considera la opción de que la modulación sea adaptativa en caso de ser necesaria, pero en nuestro caso no tendremos que utilizar esta tecnología, dado que la modulación escogida es QPSK y por tanto, no podremos tener constelaciones de mayor densidad de puntos.

CS* Modulation	Mode 1 7 MHz*	Mode 2 14 MHz*	Mode 3 28 MHz*	Mode 4 56 MHz*
QPSK	11 Mbps	26 Mbps	53 Mbps	110 Mbps
16 QAM	26 Mbps	53 Mbps	110 Mbps	220 Mbps
32 QAM	33 Mbps	66 Mbps	136 Mbps	273 Mbps
64 QAM	39 Mbps	79 Mbps	163 Mbps	327 Mbps
128 QAM	47 Mbps	94 Mbps	189 Mbps	388 Mbps
256 QAM	-	110 Mbps	220 Mbps	441 Mbps

**Figura 4.8: NEC iPasolink 200 - Specifications**

En este proyecto también se considera que la capacidad de 53 MB/s para la canalización de 28 MHz, es excesiva para los enlaces que únicamente transmitan información proveniente de coberturas TETRA. En estas zonas solo se podrán transmitir canales de audio y mensajes de estado.

Por tanto, para abaratar los costes del proyecto en estos casos se podría reducir la canalización a 7 MHz en QPSK, dado que 11 Mb/s nos serán más que suficientes para enlaces entre puntos con las coberturas mencionadas.

Aún así las simulaciones están todas ellas realizadas para canalización de 28 MHz. Las simulaciones de radioenlaces se realizan con esta canalización, debido a que en caso de que tengamos suficiente presupuesto, lo óptimo sería instalar todos los radioenlaces con canalización para poder transmitir información asociada a coberturas LTE. Con ello, conseguimos que la red en un futuro pueda migrar de forma más rápida a una totalidad de coberturas LTE.

Esta información se puede observar en la imagen 4.8

Considerando todos los datos anteriores, solo utilizaremos bandas de frecuencia para las canalizaciones de 28 Mhz. Según el ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, en su documento *Bandas y canalizaciones disponibles en el Servicio Fijo de Banda Ancha*, las bandas que podré utilizar serán:

- **Banda 5,9 - 6,4 GHz (UN-57):** 2 canales de 29,65 MHz de ancho de banda cada uno. La potencia máxima de transmisión que permite la radio digital seleccionada, "NEC iPasolink 200", es 29 dBm para este caso.
- **Banda 7,1 - 7,4 GHz (UN-58):** 20 canales de 7 MHz de ancho de banda cada uno. La potencia máxima de transmisión que permite la radio digital seleccionada, "NEC iPasolink 200", es 29 dBm para este caso.
- **Banda 7,4 - 7,7 GHz (UN-58):** 5 canales de 28 MHz de ancho de banda cada uno. La potencia máxima de transmisión que permite la radio digital seleccionada, "NEC iPasolink 200", es 29 dBm para este caso.
- **Banda 8,3 - 8,5 GHz (UN-59):** 12 canales de 7 MHz de ancho de banda cada uno. La potencia máxima de transmisión que permite la radio digital seleccionada, "NEC iPasolink 200", es 29 dBm para este caso.

- **Banda 10,5 - 10,7 GHz (UN-61):** 12 canales de 7 MHz de ancho de banda cada uno. La potencia máxima de transmisión que permite la radio digital seleccionada, "NEC iPasolink 200", es 25 dBm para este caso.
- **Banda 13 GHz (UN-64):** 4 canales de 28 MHz de ancho de banda cada uno. La potencia máxima de transmisión que permite la radio digital seleccionada, "NEC iPasolink 200", es 25 dBm para este caso.
- **Banda 15 GHz (UN-66):** 4 canales de 28 MHz de ancho de banda cada uno y 20 canales de 7 Mhz. La potencia máxima de transmisión que permite la radio digital seleccionada, "NEC iPasolink 200", es 25 dBm para este caso.
- **Banda 18 GHz (UN-69):** 24 canales de 27,5 MHz de ancho de banda cada uno y 5 canales de 7 Mhz. La potencia máxima de transmisión que permite la radio digital seleccionada, "NEC iPasolink 200", es 24 dBm para este caso.
- **Banda 23 GHz (UN-91):** 12 canales de 28 MHz de ancho de banda cada uno y 60 canales de 7 Mhz. La potencia máxima de transmisión que permite la radio digital seleccionada, "NEC iPasolink 200", es 24 dBm para este caso.

En este listado he añadido también las canalizaciones útiles de 7MHz, debido a que podrían ser útiles en caso de reconfiguración de algún radioenlace concreto, por falta de presupuesto.

Las bandas superiores a 23 Ghz no se consideraran en este trabajo, dado que el equipamiento necesario para trabajar en bandas superiores a la indicada, encarecería el proyecto sustancialmente.

Cabe destacar para la planificación de la red se ha tenido en cuenta que en cada centro habrá una única configuración de banda. Es decir, si la frecuencia transmitida es en semibanda alta, todos los radioenlaces del centro habrán de radiar en semibanda alta.

Conociendo estos datos, se solicitarán al ministerio 11 canales de radiofrecuencia para poder utilizar en el Pirineo Oscense. Desglosando por bandas, la propuesta al ministerio será la siguiente:

- **Banda 5,9 - 6,4 GHz (UN-57):** Canal 1/1'.
- **Banda 7,4 - 7,7 GHz (UN-58):** Canales 1/1' y 8/8'.
- **Banda 13 GHz (UN-64):** Canal 1/1'.
- **Banda 15 GHz (UN-66):** Canales 2/2', 4/4' y 9/9'.
- **Banda 18 GHz (UN-69):** Canales 1/1'', 2/2' y 3/3'.
- **Banda 23 GHz (UN-91):** Canal 1/1''.

En caso de que el ministerio nos denegase alguna de las frecuencias propuestas, nos asignará el canal más cercano dentro de la banda solicitada, por lo que no observáramos un cambio muy significativo en los cálculos de simulación realizados.

En caso de que el ministerio no pudiese asignarnos las bandas solicitadas para este proyecto, nos asignaría las bandas que le quedarán libres. Para este caso si que habría que recalcular los parámetros de cada uno de los radioenlaces afectados.

En función de la distancia de cada radioenlace y su canalización, se decide instalar una antena parabólica adecuada para alcanzar niveles de potencia recibida comprendidos entre -45 dBm y -55 dBm. Con estos valores garantizamos un margen dinámico de 32,5 dB; dado que el umbral de potencia recibida para conseguir una BER de 10<sup>-6</sup>, es de -87,5 dBm, según los parámetros definidos por el fabricante del equipo.

Las antenas parabólicas escogidas para el proyecto son de la marca Ericsson; su relación BandaDeFrecuencia/Ganancia se muestra en la imagen 4.9

Size [m]	Frequency [GHz]										
	6	7/8	10/11	13	15	18	23	24/26	28	32	38
0.2							30.8	32.9	33.8	35.2	37.3
							31.8	33.8	34.6	35.4	37.5
							32.8	34.4	34.8	35.6	37.7
0.3					31.7	33.9	35.6	36.4	37.5	38.7	40.3
					32.1	34.4	36.2	37.3	38.0	38.7	40.4
					32.8	35.2	36.6	37.8	38.5	39.5	40.5
0.6 HP		29.6	33.8	35.8	36.5	38.4	40.0	41.1	42.3	43.2	44.6
		31.1	34.5	36.0	36.8	38.9	40.5	41.6	42.6	43.5	45.2
		32.2	35.2	36.2	37.2	39.1	41.0	42.1	43.0	43.8	45.8
0.6 HPX		30.8	34.4	35.8	36.2	38.6	39.6	40.6	41.7	42.5	44.0
		31.8	35.2	36.0	36.6	39.2	40.0	41.5	42.4	42.8	44.3
		32.5	35.7	36.2	36.8	39.6	40.8	42.2	42.8	43.2	44.3
0.9	32.0	34.8	37.2	39.9	40.8	42.7	44.5	45.6	46.6	47.5	49.0
	33.0	35.5	38.4	40.0	41.1	43.5	44.8	45.8	47.0	48.0	49.4
	34.0	35.8	39.0	40.1	41.4	43.7	45.0	46.2	47.2	48.2	49.6
1.2	34.0	36.4	39.5	41.5	42.6	44.3	45.5	46.7			
	35.0	37.0	40.1	41.8	42.7	44.6	46.0	47.1			
	36.0	37.9	40.7	42.5	43.2	44.9	46.5	47.4			
1.8	38.5	40.1	43.1	45.1	46.1	48.0	49.1				
	39.3	41.0	43.7	45.3	46.4	48.5	49.5				
	40.0	41.7	44.2	45.6	46.6	48.9	50.0				
2.4	41.2	42.9	45.8	47.6	48.2						
	42.1	43.8	46.2	47.7	48.5						
	42.9	44.1	46.8	47.8	48.9						
3.0	42.7	44.2	47.5	49.2							
	43.5	45.0	47.9	49.4							
	44.2	45.8	48.6	49.5							
3.7	44.5	46.0									
	45.4	46.9									
	46.2	47.6									

Nominal gain (in dBi) at low-, mid- and high-band. Tolerance: ±1 dB.

**Figura 4.9: Antenas parabólicas Ericsson - Specifications**

#### 4.4. Simulación de los radioenlaces

En este apartado se presentan algunos de los resultados tras simular los radioenlaces más interesantes. El resto de radioenlaces se presentarán en el punto de ANEXOS

Se mostrarán dos simulaciones para cada radioenlace. Estas representarán las dos direcciones que tendrá el radioenlace. Las imágenes que aparezcan con fondo blanco representarán la banda alta del enlace y las imágenes que aparezcan con fondo negro, representarán la banda baja del enlace.

Los parámetros insertados en la herramienta de simulación son los indicados en el apartado 7.1.3. *Parámetros de radioenlaces*

En los siguientes subapartados, presentaré un radioenlace de cada banda de las elegidas para el trabajo. Como se observará en la tabla resumen, se tratará de utilizar radioenlaces en bandas más altas dado que son las que más oferta de canales exhiben y por tanto son las bandas más liberadas.

#### 4.4.1. Banda 5,9-7,4 GHz: Arguis RTV - Estadilla

Se trata del segundo radioenlace más largo de la red, con 60,4 km. Dada su distancia, necesitaremos de una frecuencia baja.

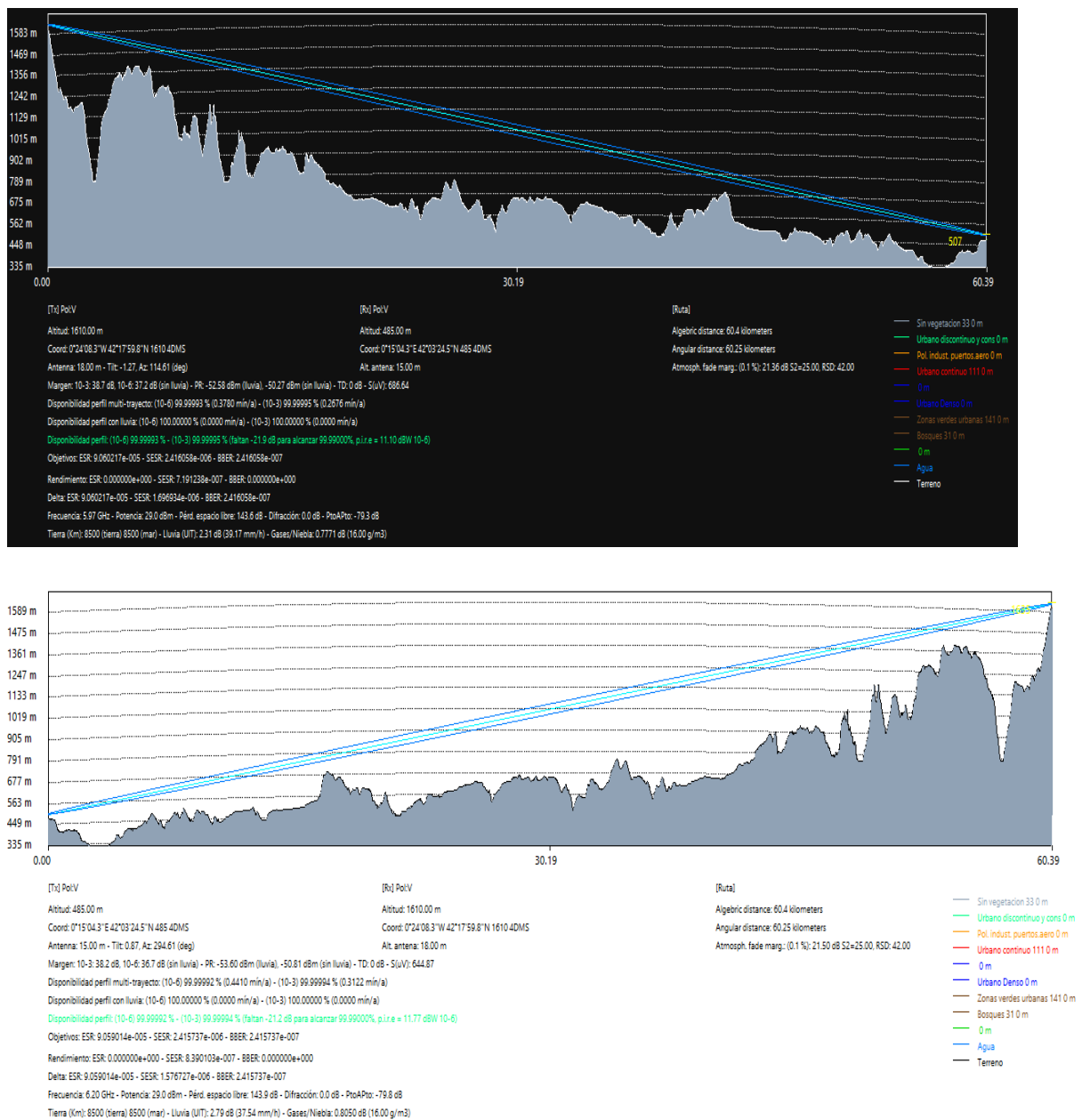


Figura 4.10: Radioenlace Arguis RTV - Estadilla

En las imágenes se muestran el enlaces en banda alta (blanco), con frecuencia 6,19724 GHz y el radioenlace en banda baja (negro), con frecuencia 5,94520 GHz. Este canal corresponde a la banda UN-57, selección 1/1'.

La parábolas simuladas para este radioenlace cuenta con un diámetro de 1,2 metros y una ganancia de 35 dB. En ambos centros la parábola se instalará mínimo 2 metros por debajo de la base de la antena de transmisión. En Arguis RTV a 18 metros del suelo y en Estadilla a 15 metros.

La potencia de transmisión configurada en este radioenlace queda registrada en 29 dBm. Esta es la potencia máxima que se puede configurar en radioenlaces NEC para la banda UN-57. Se selecciona la potencia más alta posible, para poder reducir costes de suministro e instalación de parábolas.

#### **4.4.2. Banda 7,4-7,7 GHz: Bielsa - Boltaña**

Se trata de un radioenlace que queda configurado en estrella. Tiene una longitud de 26,6 km. Dada su distancia, necesitaremos de una frecuencia baja.

Este radioenlace, queda sobredimensionado, debido a que la zona objetivo del centro ubicado en Bielsa, solo dispondrá de cobertura TETRA. Si se quisiera reducir el presupuesto del proyecto este enlace podría reducir su canalización a 7 MHz.



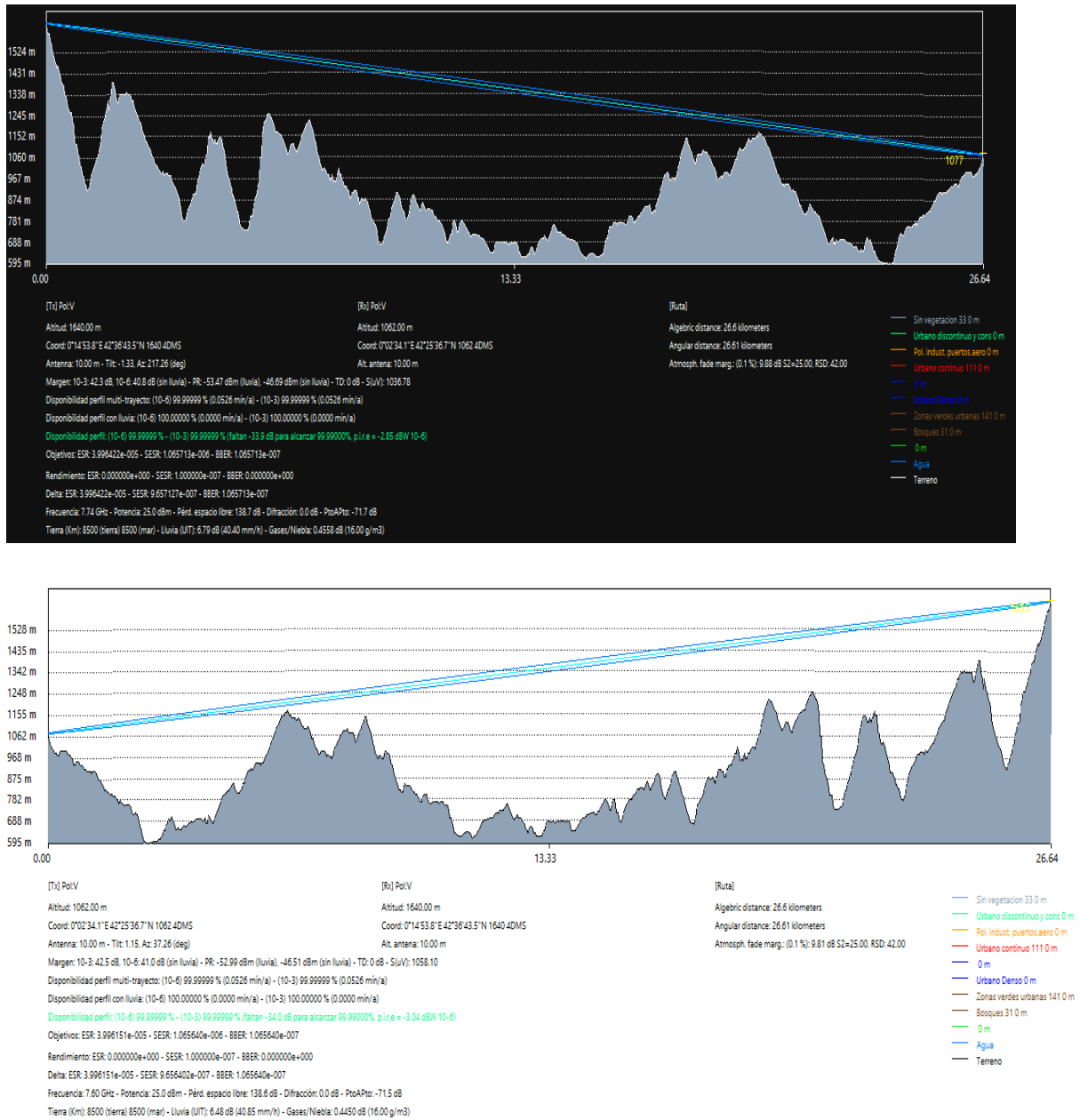


Figura 4.11: Radioenlace Bielsa - Boltaña

En las imágenes se muestran el enlaces en banda alta (blanco), con frecuencia 7,596 GHz y el radioenlace en banda baja (negro), con frecuencia 7,442 GHz. Este canal corresponde a la banda UN-58, selección 1/1'.

La parábolas simuladas para este radioenlace cuenta con un diámetro de 1,2 metros y una ganancia de 37 dB. En ambos centros la parábola se instalará mínimo 2 metros por debajo de la base de la antena de transmisión. Tanto en el centro de Bielsa como en en el centro de Boltaña, se instalarán a 10 metros del suelo.

La potencia de transmisión configurada en este radioenlace queda registrada en 27 dBm. Queda un margen de 2 dBm hasta la potencia máxima que se puede configurar en este radioenlace.

#### 4.4.3. Banda 15 GHz: Formigal - Panticosa Petrosos

Se trata de un radioenlace atribuido al anillo de Sallent de Gállego. Su longitud es de 10,7 km. Dada su distancia, necesitaremos de una frecuencia alta.

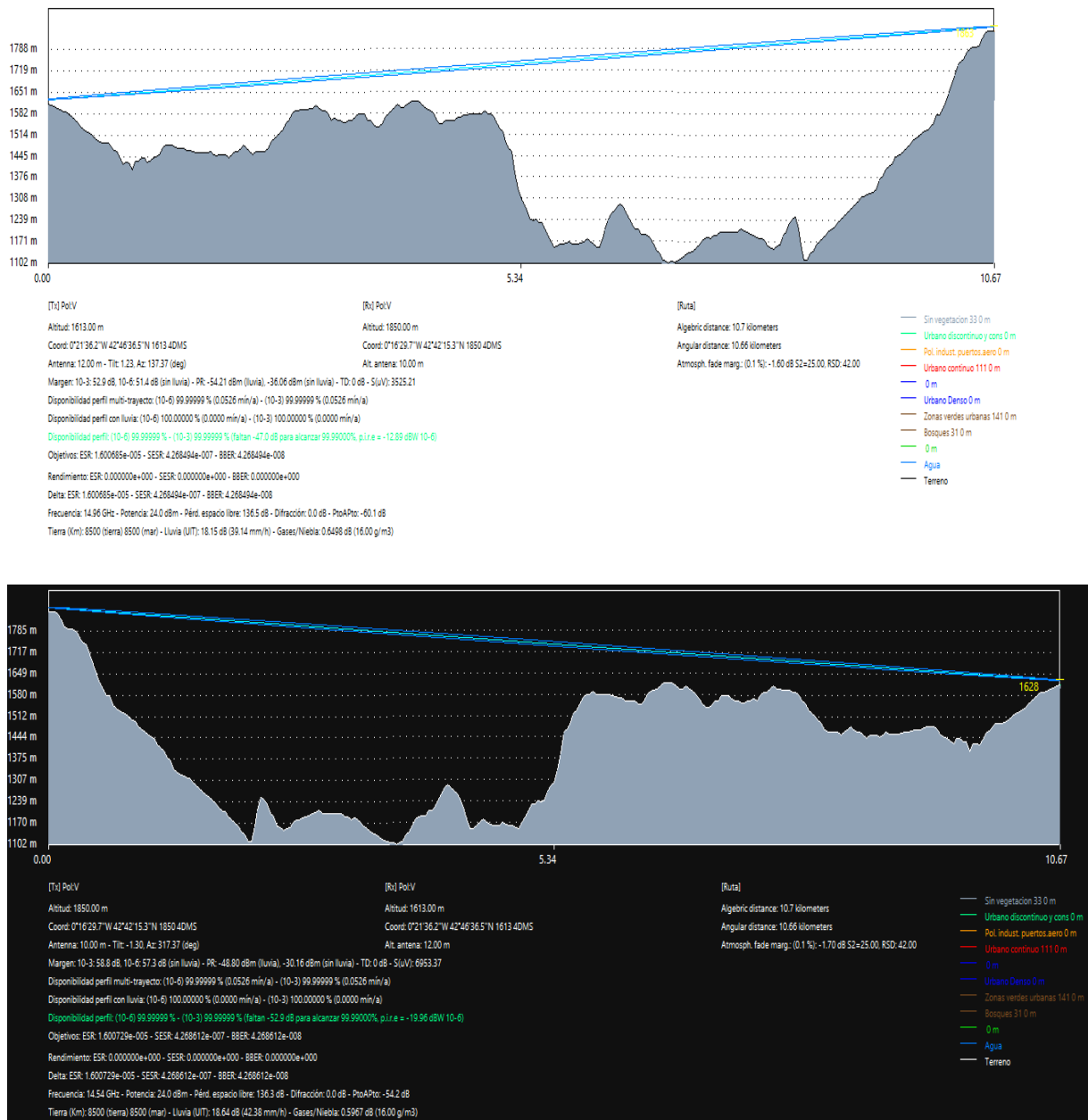


Figura 4.12: Radioenlace Formigal - Panticosa Petrosos

En las imágenes se muestran el enlaces en banda alta (blanco), con frecuencia 14,963 GHz y el radioenlace en banda baja (negro), con frecuencia 14,543 GHz. Este canal corresponde a la banda UN-66, selección 1/1'.

La parábolas simuladas para este radioenlace cuenta con un diámetro de 0,9 metros y una ganancia de 41,1 dB. En ambos centros la parábola se instalará mínimo 2 metros por debajo de la base de la antena de transmisión. En Formigal a 10 metros del suelo y en Panticosa Petrosos a 12 metros.

La potencia de transmisión configurada en este radioenlace queda registrada en 24 dBm. Esta es la potencia máxima que se puede configurar en radioenlaces NEC para la banda UN-66. Se selecciona la potencia más alta posible, para poder reducir costes de suministro e instalación de parábolas.

#### **4.4.4. Banda 18 GHz: Sallent de Gállego - Formigal Sarrios**

Se trata de un radioenlace importante dentro del anillo de Sallente de Gállego, dado que soporta el servicio de la red en las pistas de esquí de "Aramón Formigal". La longitud del enlace es de 4 km. Dada su distancia, necesitaremos de una frecuencia alta.

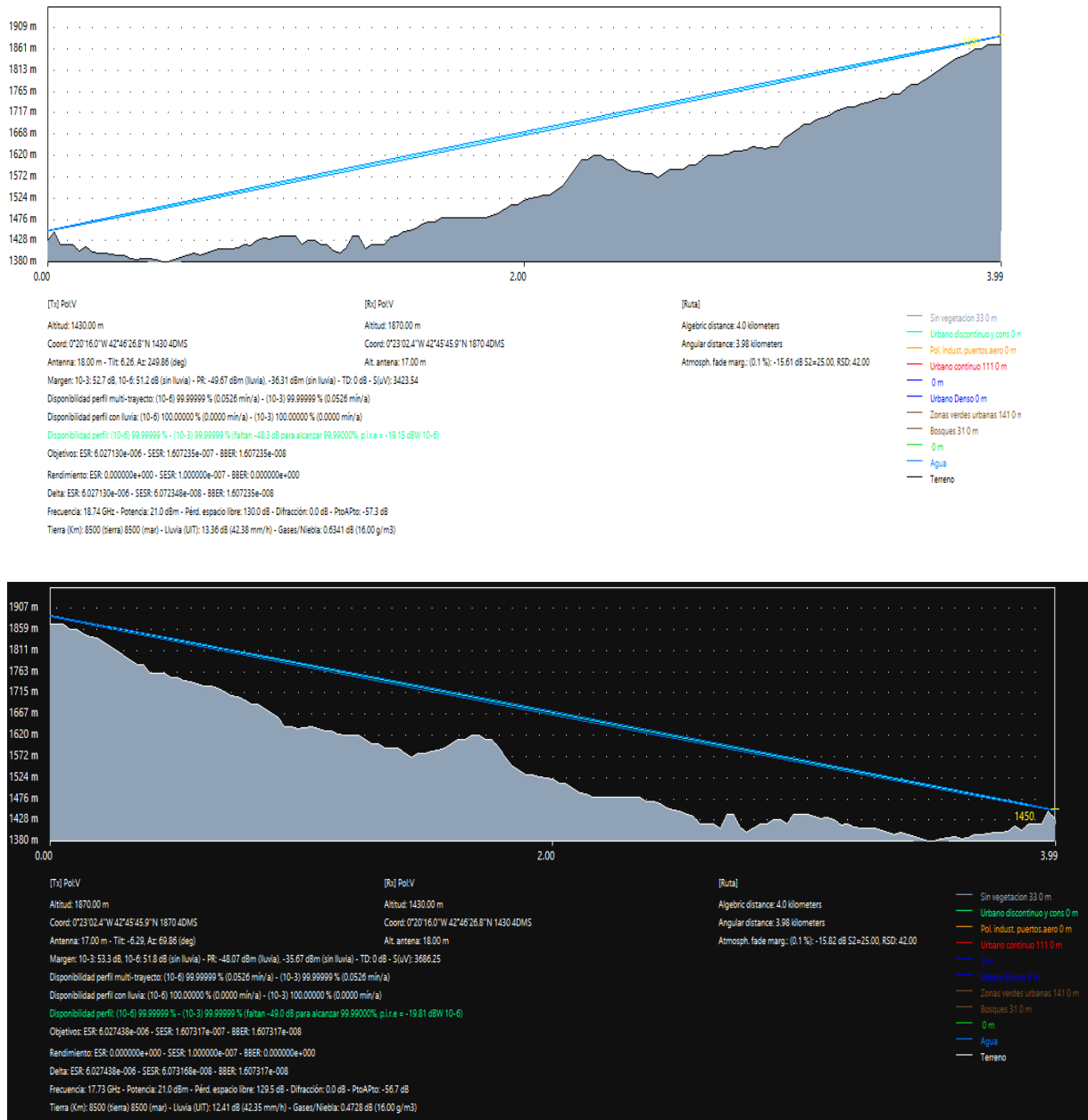


Figura 4.13: Radioenlace Sallent de Gállego - Formigal Sarrios

En las imágenes se muestran el enlaces en banda alta (blanco), con frecuencia 18,7375 GHz y el radioenlace en banda baja (negro), con frecuencia 17,7275 GHz. Este canal corresponde a la banda UN-69, selección 1/1'.

La parábolas simuladas para este radioenlace cuenta con un diámetro de 0,6 metros y una ganancia de 39,2 dB. En ambos centros la parábola se instalará mínimo 2 metros por debajo de la base de la antena de transmisión. En Sallent de Gállego a 18 metros del suelo y en Formigal Sarrios a 17 metros.

La potencia de transmisión configurada en este radioenlace queda registrada en 21 dBm. Queda un margen de 3 dBm hasta la potencia máxima que se puede configurar en este radioenlace.

#### 4.4.5. Banda 23 GHz: Cascada de Ardonés - Benasque

Se trata del radioenlace más corto de la red, con 2 km. Dada su distancia, necesitaremos de una frecuencia muy alta.

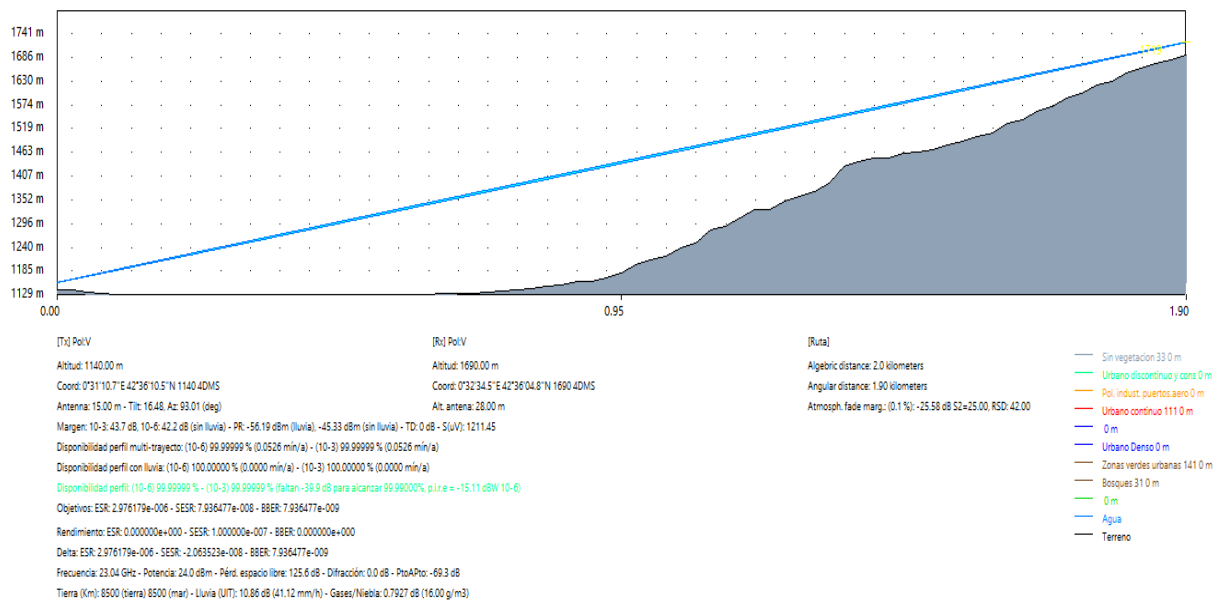
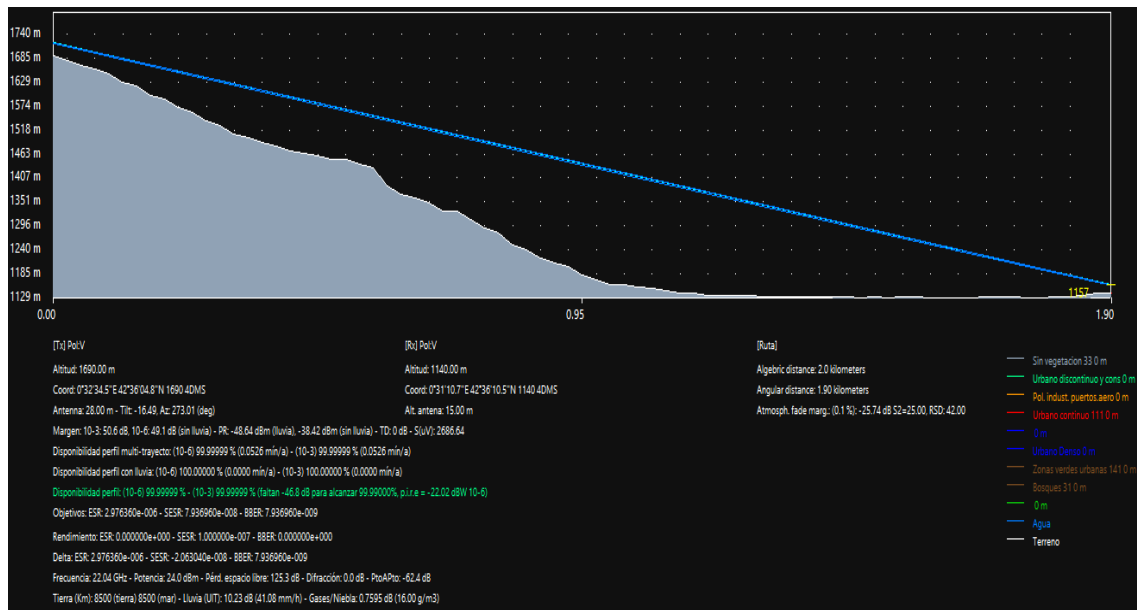


Figura 4.14: Radioenlace Cascada de Ardonés - Benasque

En las imágenes se muestran el enlaces en banda alta (blanco), con frecuencia 23,036 GHz y el radioenlace en banda baja (negro), con frecuencia 22,036 GHz. Este canal corresponde a la banda UN-91, selección 1/1’.

La parábolas simuladas para este radioenlace cuenta con un diámetro de 0,2 metros y una ganancia de 31,8 dB. En ambos centros la parábola se instalará mínimo 2 metros por debajo de la base de la antena de transmisión. En Cascada de Ardonés a 28 metros del suelo y en Estadilla a 15 metros.

La potencia de transmisión configurada en este radioenlace queda registrada en 24 dBm. Esta es la potencia máxima que se puede configurar en radioenlaces NEC para la banda UN-91. Se selecciona la potencia más alta posible, para poder reducir costes de suministro e instalación de parábolas.

### 4.5. Resumen general de radioenlaces simulados

En este apartado se presenta una tabla 4.15 con todos los parámetros asociados a los radioenlaces simulados, a modo de resumen.

Extremo A Centro	Extremo B Centro	Longitud (km)	Potencia TX (dBm)		Frecuencia (GHz)			Potencia recibida (dBm)		Parábola A		Parábola B	
			A-B	B-A	Banda	Canal A-B	Canal B-A	A-B	B-A	Ganancia (dB)	Diámetro (m)	Ganancia (dB)	Diámetro (m)
Jaca CT ATW	Canfranc	24,9	23	29	UN-58	7,442	7,596	-50,83	-49,85	35,5	0,9	35,5	0,9
Jaca CT ATW	Badaguás	7,1	25	25	UN-66	14,543	14,963	-51,76	-46,88	36,6	0,6	36,6	0,6
Badaguás	Sabiñanigo	11,7	25	25	UN-66	15,159	14,739	-53,51	-52,91	41,1	0,9	41,1	0,9
Sabiñanigo	Sabiñanigo TLF	2,79	23	23	UN-91	22,036	23,036	-50,47	-51,06	31,8	0,2	31,8	0,2
Sabiñanigo TLF	Biescas CT ATW	12	25	25	UN-66	15,019	14,599	-49,2	-47,09	36,6	0,6	36,6	0,6
Sallent de Gállego	Formigal Sarrios	4	21	21	UN-69	18,7375	17,7275	-49,67	-48,07	39,2	0,6	39,2	0,6
Sallent de Gállego	Panticosa Petrosos	9,32	23	23	UN-66	15,019	14,599	-52,17	-52,22	41,1	0,9	41,1	0,9
Panticosa Petrosos	Panticosa Pueblo	2,48	21	21	UN-91	22,036	23,036	-47,48	-52,62	36,2	0,3	36,2	0,3
Ordesa	Fiscal	16	24	24	UN-64	13,031	12,765	-52,56	-55,57	41,8	1,2	41,8	1,2
Biescas CT ATW	Arguis RTV	37,5	28	28	UN-58	7,708	7,554	-52,53	-53,55	37	1,2	37	1,2
Arguis RTV	Estadilla	60,4	29	29	UN-58	5,9452	6,19724	-52,58	-53,6	35	1,2	35	1,2
Estadilla	Naval	17	25	25	UN-64	13,031	12,765	-56,27	-53,35	36	0,6	36	0,6
Boltaña	Aínsa CT ATW	8,71	23	23	UN-66	15,019	14,599	-45,04	-51,09	41,1	0,9	41,1	0,9
Bielsa	Boltaña	26,6	25	25	UN-58	7,442	7,596	-53,47	-52,99	37	1,2	37	1,2
Aínsa CT ATW	Laspuña	9,1	24	21	UN-66	14,543	14,963	-50,03	-46,88	41,1	0,9	41,1	0,9
Laspuña	Tella	8,82	23	23	UN-66	15,019	14,599	-50,51	-51,05	41,1	0,9	41,1	0,9
Naval	Cerler Cogulla	50,4	27	27	UN-57	5,9452	6,19724	-45,28	-47,08	39,3	1,8	39,3	1,8
Naval	Graus	24,9	27	27	UN-58	7,442	7,596	-52,22	-52,69	35,5	0,9	35,5	0,9
Graus	Campo	30,6	28	28	UN-58	7,708	7,554	-51,69	-51,42	37	1,2	37	1,2
Campo	Cerler Cogulla	16,9	25	25	UN-64	12,765	13,031	-55,62	-55,15	41,8	1,2	41,8	1,2
Cerler Cogulla	Cascada de Ardonés	5,14	23	23	UN-69	18,765	17,755	-54,64	-52	39,2	0,6	39,2	0,6
Cascada de Ardonés	Benasque	2	24	24	UN-91	22,036	23,036	-48,64	-56,19	31,8	0,2	31,8	0,2
Cerler Cogulla	Collado Basibé	3,93	23	23	UN-69	18,7375	17,7275	-49,48	-47,87	39,2	0,6	39,2	0,6
Canfranc	Astún	2	24	24	UN-91	23,036	22,036	-56	-54,85	31,8	0,2	31,8	0,2
Jaca CT ATW	San Juan de la Peña	11,5	25	25	UN-66	14,739	15,159	-53,69	-48,36	41,1	0,9	41,1	0,9
San Juan de la Peña	Arguis RTV	31,8	23	29	UN-58	7,596	7,442	-51,28	-52,16	37	1,2	37	1,2
Fiscal	Graus	63,4	27	27	UN-57	5,9452	6,19724	-54,69	-54,25	35	1,2	35	1,2
Boltaña	Laspuña	13,1	25	25	UN-64	12,765	13,031	-50,57	-51,52	41,8	1,2	41,8	1,2
Formigal	Formigal Anayet	5,17	23	23	UN-69	18,7375	17,7275	-53,04	-45,61	39,2	0,6	39,2	0,6
Formigal	Formigal Sarrios	2,52	22	22	UN-91	23,036	22,036	-53,08	-46,27	36,2	0,3	36,2	0,3
Panticosa Petrosos	Formigal	10,7	24	24	UN-66	14,543	14,963	-48,8	-54,21	41,1	0,9	41,1	0,9

Figura 4.15: Tabla resumen de radioenlaces simulados

### 4.6. Parámetros de enlaces de fibra óptica

Para conseguir redundancia de red, se estudia la instalación de una red troncal entre las de poblaciones principales del pirineo Oscense: Sallent de Gállego, Jaca, Sabiñanigo, Aínsa y Benasque.

Para los enlaces de fibra óptica, se han tomado las siguientes consideraciones:

- Tras tomar la distancia exacta entre centros, le añadimos un 50 % más de distancia, para así aproximar a la distancia real. Esto es debido a que se considera que los cables de transporte de fibra habitualmente discurren por los postes de la luz o por zonas subterráneas, que no siguen un camino recto entre los centros estudiados.
- Se consideran pérdidas por empalmes de fibra cada 5 kilómetros.
- Cada enlace contará con dos módulos láser SFP.
- Cada enlace contará con dos enfrentadores.
- Se consideran 0,5 dB de pérdidas por conector.
- Se consideran 0,5 dB de pérdidas por enfrentador.
- Se consideran 0,02 dB de pérdidas por fusiones en las cajas de empalmes de fibra.
- Las restricciones utilizadas para la selección de fibras ópticas se rigen por las características de los módulos SFP empleados que tienen relación directa con la longitud del enlace. Esto se puede observar en la siguiente tabla:

Fibras empleadas			
Máxima Distancia (km)	Potencia transmitida (dBm)	Ventana (nm)	Pérdidas (dB/km)
10	-12	1310	0,38
40	0	1310	0,38
80	0	1550	0,25

**Tabla 4.1: Parámetros técnicos de las fibras empleadas**

No se han utilizado la totalidad de las opciones ofrecidas en la tabla anterior, debido a que no se diseñan enlaces menores a 10 kilómetros de distancia.

La limitación principal que se ha considerado para este trabajo ha sido la distancia. En la imagen 4.16 se pueden observar de forma más directa las restricciones aplicadas a cada uno de los enlaces de la red.

Extremo A	Extremo B	Distancia (km)	Distancia real (km)	Conectores SFP	Enfrentadores	Fusiones	Empalmes	Pérdidas conectores	Pérdidas enfrentadores	Pérdidas fibra (dB/km)	Pérdidas Fusiones	Pérdidas Empalmes
Jaca CT ATW	Sallent de Gállego	28,3	42,45	2	2	2	8	0,5	0,5	0,25	0,02	0,02
Jaca CT ATW	Sabiñanigo	16,4	24,6	2	2	2	4	0,5	0,5	0,38	0,02	0,02
Sabiñanigo	Aínsa CT ATW	43,4	65,1	2	2	2	13	0,5	0,5	0,25	0,02	0,02
Aínsa CT ATW	Benasque	37	55,5	2	2	2	11	0,5	0,5	0,25	0,02	0,02

**Figura 4.16: Parámetros de los enlaces de fibra óptica**

Como consecuencia de todas estas restricciones, en la figura 4.17 se presentan los datos de potencia recibida en cada enlace.

Extremo A	Extremo B	Distancia (km)	Distancia real (km)	Tipo de enlace	Potencia TX (dBm)	Longitud de onda (nm)		Potencia recibida (dBm)
						Canal A-B	Canal B-A	
Jaca CT ATW	Sallent de Gállego	28,3	42,45	Fibra óptica	0	1310	1310	-12,81
Jaca CT ATW	Sabiñanigo	16,4	24,6	Fibra óptica	0	1310	1310	-11,47
Sabiñanigo	Aínsa CT ATW	43,4	65,1	Fibra óptica	0	1550	1550	-18,58
Aínsa CT ATW	Benasque	37	55,5	Fibra óptica	0	1310	1310	-16,14

**Figura 4.17: Resultados de los cálculos de los enlaces de fibra óptica**

## Capítulo 5

# Equipamiento de telecomunicaciones empleado

### 5.1. HLR y Nodos Principales de la Red

El HLR es capaz de gestionar múltiples estaciones base de una red, en este caso, debido a que no dispondremos de una gran cantidad de centros, solo contaremos con único HLR en la ciudad de Jaca. Para redes más grandes en extensión y número de centros si que sería interesante instalar más de un HLR. En este caso se instalará un HLR con capacidad para 10.000 usuarios, llamado Netboss de la firma Airbus. Este será capaz de gestionar los DXTA que comprendan la red.

Este nodo también albergará la información de cada uno de los terminales que sean utilizados bajo la influencia de esta red.

Para este proyecto solo utilizaremos un DXTA, también de la firma Airbus, debido a que no tenemos un gran número de centros radiantes. El DXTA se encargará de enrutar todo el tráfico que cursen las TBSs de la red, sistemas de despachos radio que pueda tener la red y otras utilidades de red que se quieran implementar, como por ejemplo, un centro de control.

### 5.2. Estación Base

Para dotar de cobertura a todas las áreas geográficas recogidas en este proyecto se utilizan las estaciones base TETRA: TB3 y TB4; de la firma Airbus.

Las prestaciones básicas de los dos equipos son similares, pero la TB4 añade una importante mejora. Se trata de un equipo híbrido que incorpora sobre la misma plataforma hardware la capacidad de acceso a redes TETRA y a redes de acceso 4G/5G y esto la hace realmente novedosa. Además es totalmente compatible con la TB3 e incorpora capacidades de seguridad más avanzadas a sus características básicas.

La TB4 permite a sus usuarios beneficiarse del largo ciclo de vida de la tecnología TETRA y de su gradual evolución hacia la banda ancha móvil. Será el equipo que utilizaremos en todos los centros de telecomunicación que ofrezcan cobertura LTE.



Además, la compatibilidad entre los equipos TB3 y TB4 permitirá aplicar las mismas configuraciones para los sistemas radiantes, facilitando asimismo una transición más cómoda a las redes 4G/5G. Esto posibilitaría un importante ahorro de costes en la planificación e implementación de la red, de cara a futuro.

Ambos modelos de estaciones base comparten como sistema principal de comunicaciones, la TBCi; por ella pasa toda la información referente a la estación base. Es la tarjeta inteligente que es capaz de dirigir el funcionamiento de la TBS de forma autónoma. En caso de querer modificar cualquier parámetro de radiación en la estación habremos de acceder a este equipo.

En el siguiente punto entraremos a explicar más en profundidad las tarjetas de la TBS, relativas a la transmisión y recepción de la misma.

### 5.3. Sistemas radiantes - Configuración y equipamiento

En este apartado se explicarán las diferentes configuraciones de sistemas radiantes que se instalarán en los centros de la red. En función de la necesidad de cobertura que tenga un área geográfica, se instalarán soluciones omnidireccionales o soluciones tipo panel.

En cada una de las soluciones, encontraremos elementos comunes:

- **TTRX:** Los TTRX son las tarjetas de la TBS asociadas a la transmisión. Cada TTRX está asociado a un canal de frecuencia o portadora. Son independientes y como máximo puede haber 4. En el ejemplo de esta red, solo utilizaremos 2 TTRX, debido a que trabajaremos con 2 portadoras por centro. A pesar de que un hipotético estudio de tráfico nos indicaría que habríamos de instalar la mayoría de los centros con un único TTRX, instalaremos TBS con 2 portadoras en todos los centros para dar redundancia a cada uno de los centros emisores.
- **DRMC:** Tarjeta de recepción de la TBS. Cada DRMC cuenta con 3 puertos, uno para cada señal de RX. En el ejemplo de esta red, solo utilizaremos 2 antenas en recepción, es decir 2 de los 3 puertos.

#### 5.3.1. Sistema radiante omnidireccional

Con esta solución, conseguiremos cubrir de cobertura las zonas que se encuentran alrededor del centro transmisor, como se observa en la imagen 3.7

El elemento principal de esta solución es la antena omnidireccional, de la cuál contamos con dos tipos:

- **Kathrein Omnidireccional 7,5 dBi:** Con esta antena cubriremos zonas de valle en las que necesitemos alta potencia de recepción en distancias cercanas.
- **Procom Omnidireccional 8,2 dBi:** Esta antena cuenta con 5° de downtilt. La utilizaremos para zonas más despejadas. Considerando el downtilt que presenta esta antena, evitaremos con ella el solapamiento de huellas de cobertura en zonas lejanas al centro emisor.

Las antenas comentadas previamente, se utilizarán tanto para transmisión como para recepción.

Finalmente se presenta un esquema 5.1 donde se observa la configuración para este sistema radiante, con los elementos ya explicados.

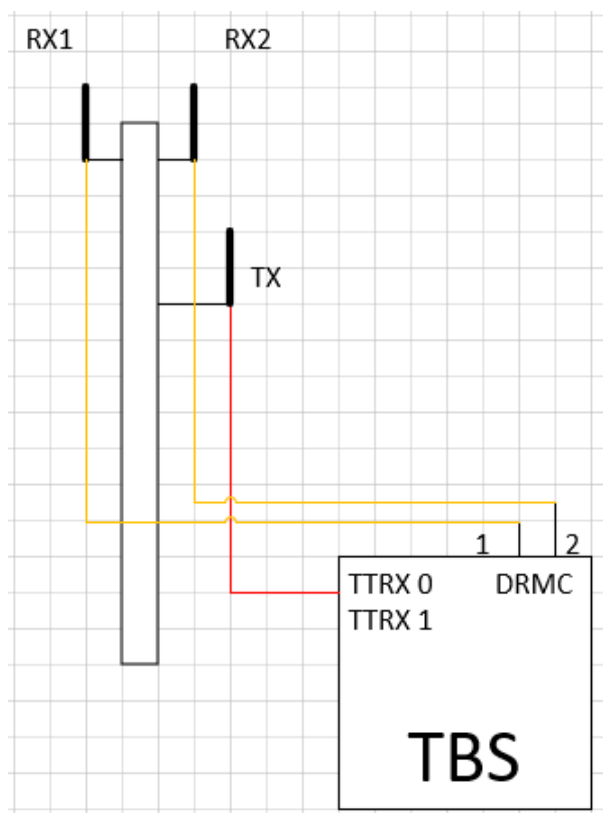


Figura 5.1: Sistema radiante Omnidireccional - Configuración

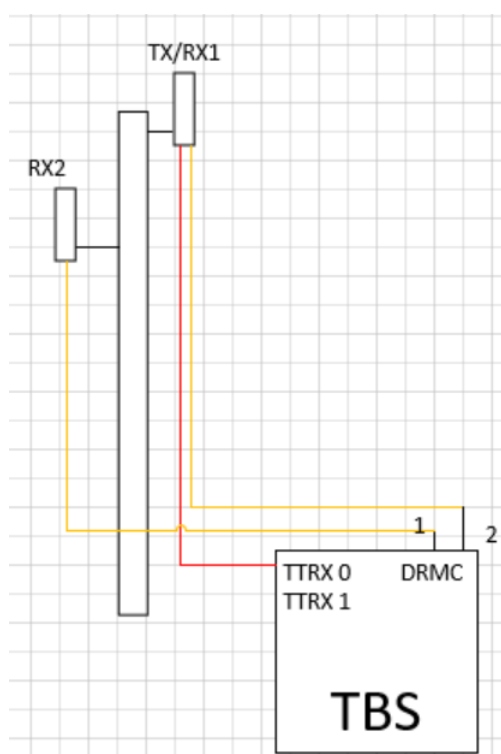
### 5.3.2. Sistema radiante tipo panel

Con esta solución, conseguiremos cubrir de cobertura zonas concretas de forma directiva, como se observa en la imagen 3.8

El elemento principal de esta solución es el panel, del cuál contamos con dos tipos:

- **Panel VPOL 11,5 dBi:** Este panel tiene una amplitud de 120°. Lo utilizaremos tan solo para un centro, Cerler Cogulla. Con ella enfocamos una ruta de ascenso a un pico a más de 3000 metros de altura.
- **Panel XPOL 13 dBi:** Este panel tiene una amplitud de radiación de 90°. Lo utilizaremos para cubrir de cobertura zonas sectorizadas, donde necesitemos una huella de cobertura más acotada.

Finalmente se presenta un esquema 5.2 donde se observa la configuración para este sistema radiante, con los elementos ya explicados.



**Figura 5.2: Sistema radiante tipo panel - Configuración**

Utilizaremos cable coaxial de 1/2" para conectar los TTRX o DRMC a las antenas.

#### 5.4. Equipos de conectividad punto a punto

El equipo empleado para enlazar los centros vía radio será "NEC iPasolink 200", este se encargará de emitir y recibir las comunicaciones punto a punto de la red. Para completar este sistema dispondremos de ODU's y de IDU's en cada uno de los centros de transporte de la red.

Las características técnicas de este equipo se especificarán de forma detallada en punto relacionado con la solución de conectividad de la red.

Las parábolas utilizadas en este trabajo serán de la firma *Ericcson*, cuyas características se especificarán de forma detallada en punto relacionado con la solución de conectividad de la red.

Los tramos de fibra óptica estudiados en el proyecto, serán alquilados al proveedor de servicios correspondiente. Este podría ser Lyntia o Telefónica, debido a que son proveedores que con seguridad dan servicio de fibra entre las poblaciones correspondientes a la red troncal de fibra óptica del proyecto.

#### 5.5. Equipos de recepción - Terminales móviles

Como equipos portátiles utilizaremos el dispositivo "Tactilon DABAT" de la firma Airbus. Se trata de un terminal TETRA y un teléfono Android inteligente seguro, integrado en un único

dispositivo.

Este equipo combina varias características y aplicaciones de banda ancha, específicamente diseñadas para ofrecer el mejor apoyo para las operaciones de los usuarios industriales o de seguridad pública. La gran ventaja que ofrece, es la posibilidad de conectar con redes TETRA convencionales, siendo capaz además de establecer comunicaciones con estaciones base 4G de banda ancha móvil, usando para ambos accesos el mismo terminal.

Es previsible que todos los servicios de emergencia migren en un futuro a tecnologías basadas en 4G(LTE)/5G, pero es importante considerar que la red TETRA utiliza frecuencias más bajas y por lo tanto se consigue con mayor facilidad una huella de cobertura más amplia.

Lo que es evidente es que el terminal “Tactilon Dabat”, al usar ambas tecnologías, permitiría un proceso de migración de las redes de emergencia de un modo más gradual.

Este terminal, podrá ser utilizado en cualquier punto donde se disponga del suficiente nivel de cobertura TETRA o LTE. Aún así, los lugares donde más rendimiento sacaremos al terminal es donde podamos recibir la huella de cobertura LTE, dado que sus prestaciones más resaltables se observarán bajo esta huella.

Para las flotas de usuarios que no vayan a tener la oportunidad de disponer de cobertura LTE, utilizaremos el terminal TH9 de la firma Airbus. Este terminal, nos permitirá conectarnos a la red TETRA sin ningún problema y con altos niveles de calidad de sonido (QoS). También incorporará compatibilidad con los sistemas de geolocalización: Europeo (Galileo), Ruso (Glonass) y Chino (Beidou).

Como es de esperar, ambos terminales presentan gran facilidad para cambiar entre modo TMO y DMO, de forma rápida.

Estos terminales son autosuficientes, por lo que no será necesario instalar radios móviles en coches o camiones de bomberos. Así podremos abaratar la solución prevista.

## **5.6. Resumen del equipamiento empleado en la red**

Conocidos todos los elementos principales que se utilizarán en la red, presento en la imagen 5.3 un resumen del equipamiento que necesitará ser instalado en cada uno de los centros.

El equipamiento que se prevee instalar en cada uno de los centros se explicará en los siguientes apartados.





## Capítulo 6

# Presupuesto

En este apartado se presentará un presupuesto aproximado para el proyecto. En el presupuesto solo se incluirán los elementos necesarios para el despliegue de la red principal. La red de ampliación propuesta no se considera en este presupuesto.

Las consideraciones principales para la realización de este presupuesto son:

- Los precios del equipo Netboss, DXTA, TB3 y TB4 son aproximados, debido a que están sujetos a modificaciones económicas dependiendo del solicitante y del número de elementos solicitados por tipo.
- La red de fibra se sobre dimensiona con un factor 1,2, considerando que la instalación de la fibra óptica no seguirá el camino que se expone en los planos aportados.
- Se consideran 15 metros de cable coaxial de media (1/2”) para cada insyalación de sistema radiante.
- Se consideran 15 metros de cable RG8, para la instalación de los equipos de la red de transporte.
- Las cantidades asociadas a cable de instalación o fibra óptica corresponden a unidades en metros.
- Las horas de trabajo se cuentan considerando que la instalación se lleva a cabo a la perfección.

En la tabla 6.1 se puede observar la tabla general de costes del proyecto. Dado su magnitud lo más interesentate sería abordarlo por plazos, para no sobrecargar el gasto del cliente desde una fase inicial.

ITEM	Cantidad	Precio unitario	Coste	Totales
<b>HLR y nodo principal y único de la red</b>				
HLR (Netboss Airbus)	1	20.000,00 €	20.000,00 €	
DXTA	1	84.000,00 €	84.000,00 €	
<b>Coste total: HLR y nodo principal y único de la red</b>				<b>104.000,00 €</b>
<b>Estaciones base</b>				
TETRA Base Station 3	7	30.000,00 €	210.000,00 €	
TETRA Base Station 4	10	52.000,00 €	520.000,00 €	
<b>Coste total: Estaciones base</b>				<b>730.000,00 €</b>
<b>Sistemas radiantes</b>				
Antena Ominidireccional Kathrein 0º TETRA	12	173,58 €	2.082,96 €	
Antena Ominidireccional Procom 0º TETRA	24	215,12 €	5.162,88 €	
Antena Ominidireccional Procom -8º TETRA	3	231,20 €	693,60 €	
Panel Directivo Procom 90º TETRA	6	307,00 €	1.842,00 €	
Panel Directivo Procom 120º TETRA	2	348,00 €	696,00 €	
Antena Ominidireccional Procom 0º LTE	27	194,32 €	5.246,64 €	
Panel Directivo Procom 90º LTE	2	372,00 €	744,00 €	
<b>Coste total: Sistemas radiantes</b>				<b>16.468,08 €</b>
<b>Equipos de radioenlace</b>				
Nec Paso Link (IDU+ODU)	30	1.439,50 €	43.185,00 €	
Parábola Ericsson 0,2m	6	50,21 €	301,26 €	
Parábola Ericsson 0,3m	4	70,58 €	282,32 €	
Parábola Ericsson 0,6m	13	111,47 €	1.449,11 €	
Parábola Ericsson 0,9m	16	264,60 €	4.233,60 €	
Parábola Ericsson 1,2m	17	413,25 €	7.025,25 €	
Parábola Ericsson 1,8m	2	556,76 €	1.113,52 €	
<b>Coste total: Equipos de radioenlace</b>				<b>57.590,06 €</b>
<b>Equipos de gestión de fibra</b>				
Equipo de gestión de fibra	5	-	- €	
Fibra óptica	150210	0,86 €	128.729,97 €	
Conectores SFP	10	4,75 €	47,50 €	
Enfrentador óptico	10	0,72 €	7,20 €	
<b>Coste total: Equipos de gestión de fibra</b>				<b>128.784,67 €</b>
<b>Material auxiliar</b>				
Cable de 1/2"	555	2,37 €	1.315,35 €	
Cable RG8	300	4,94 €	1.482,00 €	
<b>Coste total: Material auxiliar</b>				<b>2.797,35 €</b>
<b>Horas empleadas</b>				
Ingeniero de telecomunicaciones	170	58,33 €	9.916,67 €	
Técnico de telecomunicaciones	480	42,78 €	20.533,33 €	
Instalador	480	29,17 €	14.000,00 €	
Otro personal cualificado	170	58,33 €	9.916,67 €	
<b>Coste total: Horas empleadas</b>				<b>54.366,67 €</b>
<b>COSTE TOTAL DEL PROYECTO</b>				<b>1.094.006,83 €</b>

Figura 6.1: Presupuesto general del proyecto

## Capítulo 7

# Conclusiones y posibilidad de ampliación de red en el futuro

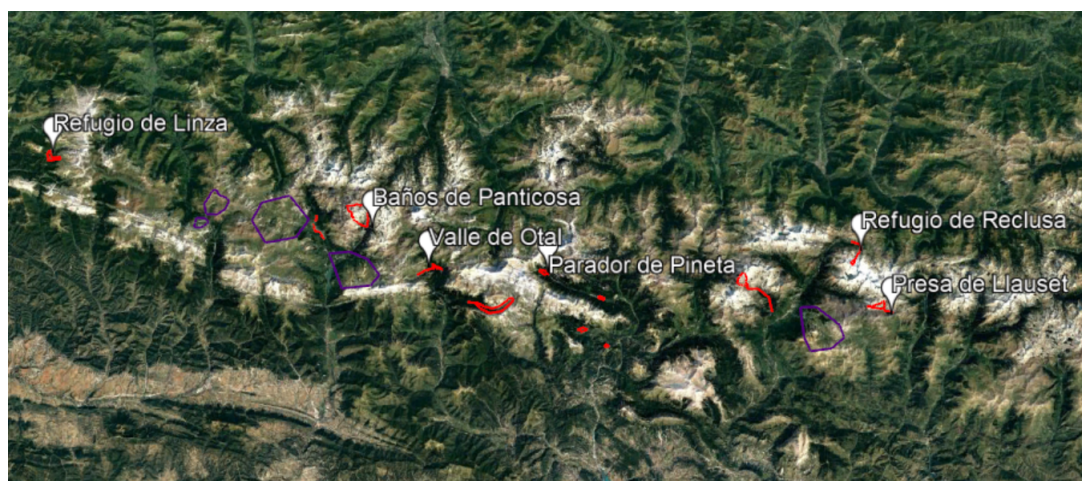
### 7.1. Mejoras propuestas para el aumentar alcance de la red

En este apartado se estudiará la instalación de una serie de centros para dar cobertura a las rutas de senderismo a las que no se podría dar cobertura con los centros que disponemos en la actualidad.

Para la implementación de estas soluciones habríamos de llevar suministro eléctrico a los centros donde se instalarán los equipos de telecomunicación. Hemos también de tener en cuenta que para dar acceso a la red de transporte a estos centros, en la mayoría de los casos habremos de necesitar instalar nuevos centros de apoyo.

Se presenta cada uno de los centros con su simulación de cobertura TETRA, de forma que se podrá entender porque las ubicaciones son las idóneas para ampliar la red. Con todas las TBSs propuestas podríamos obtener una cobertura completa en todas las zonas objetivo; rutas de senderismo y estaciones de esquí del pirineo oscense.

En la imagen 7.1 se presentan los centros geográficamente distribuidos. En esta misma imagen también se distinguen las rutas de senderismo en color rojo.



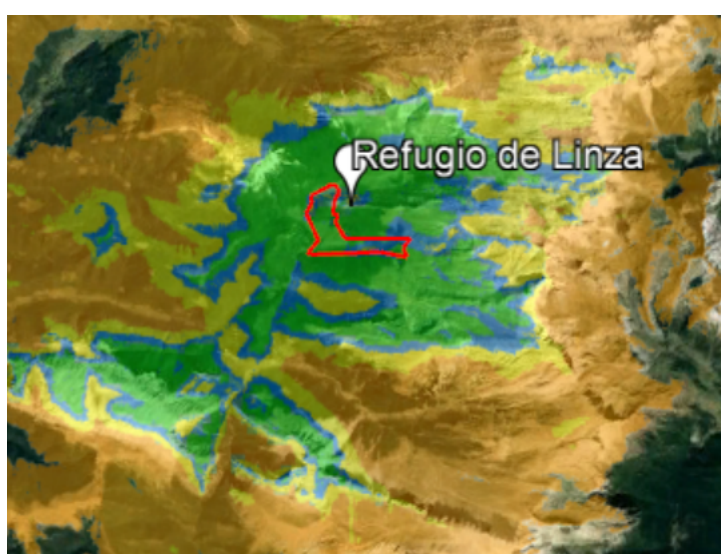
**Figura 7.1: Ubicación de los centros estudiados para la ampliación de red**

### 7.1.1. Refugio de Linza

La TBS Refugio de Linza, se encontrará muy separada geográficamente del resto de la red. Este centro se desplegará para dar cobertura a la ruta de senderismo que discurre por el valle de Ansó, donde se ubica el refugio de Linza y el Bosque de Gamueta. La ubicación escogida es una zona de altiplano dentro del valle con una visibilidad radioeléctrica dominante.

Para la instalación de este centro serán necesarios centros de apoyo que obligatoriamente habrán de ubicarse en la Comunidad Foral de Navarra, debido a la orografía del terreno. Con ellos podremos llegar a la TBS Refugio de Linza con nuestra red de transporte.

En el centro se instalará un sistema radiante omnidireccional, como se puede observar en la imagen 7.2



**Figura 7.2: Simulación de cobertura de la TBS Refugio de Linza**

### 7.1.2. Baños de Panticosa

La TBS Refugio de Baños de Panticosa, se encontrará muy próxima a los centros de Panticosa, Formigal y Sallent de Gállego geográficamente, pero no tendrá visibilidad radioeléctrica con ninguno de ellos. Este centro se desplegará para dar cobertura a la ruta de senderismo que discurre por la zona de valle donde se ubican los Baños de Panticosa. La ubicación escogida es una zona lateral del valle desde donde podremos dotar de cobertura TETRA a la zona sin problemas.

En el centro se instalará un sistema radiante omnidireccional, como se puede observar en la imagen 7.3

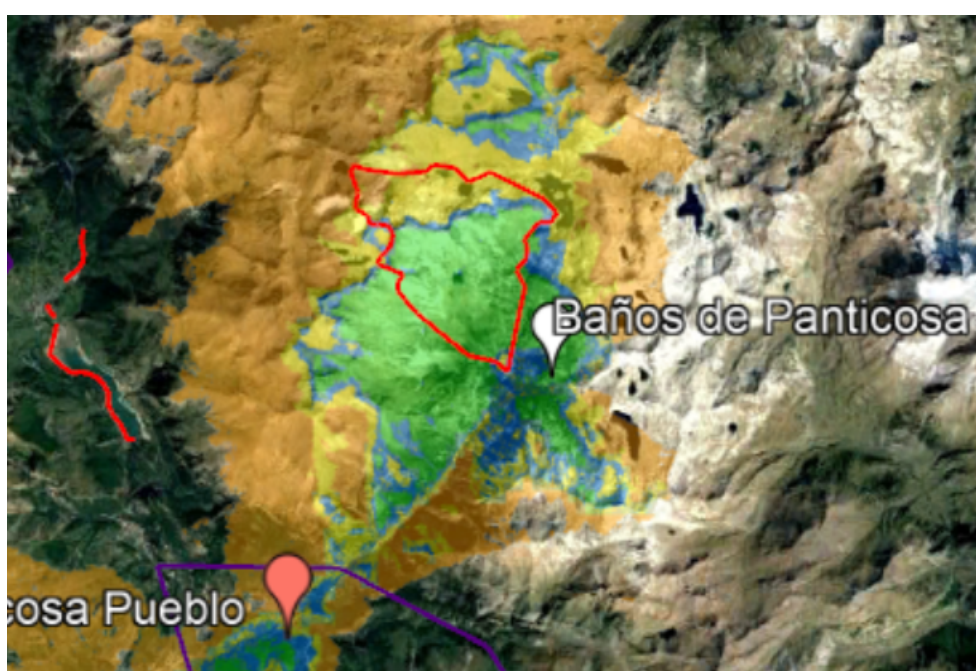


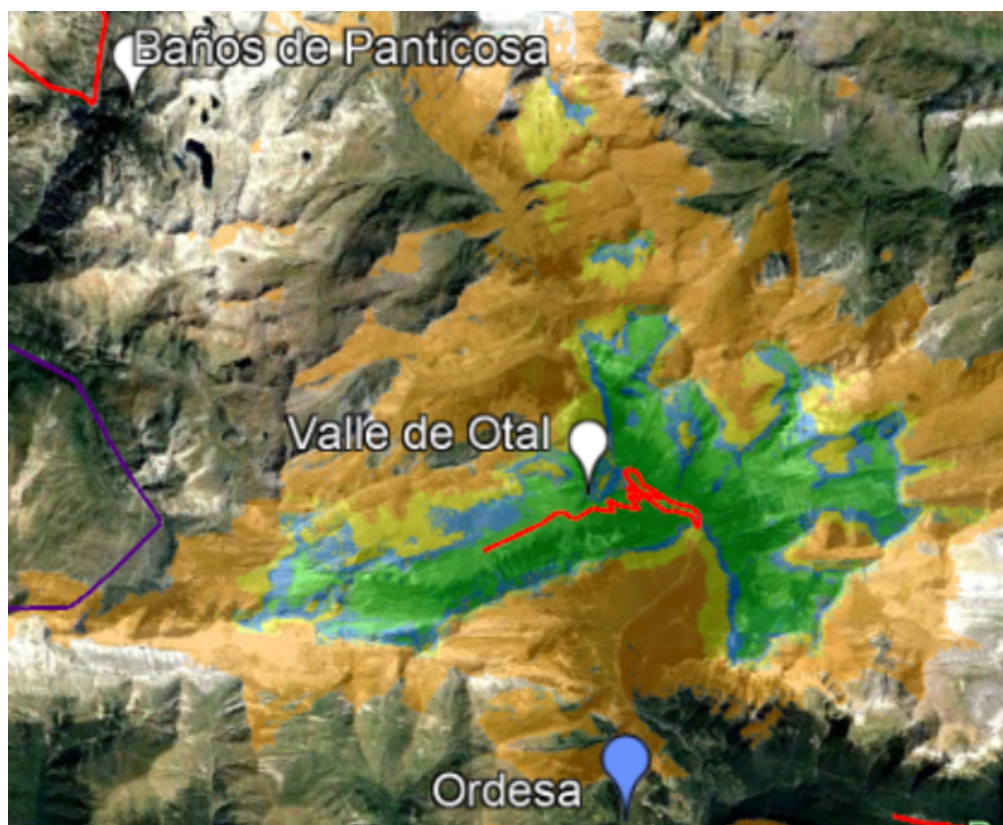
Figura 7.3: Simulación de cobertura de la TBS Baños de Panticosa

### 7.1.3. Valle de Otal

La TBS Valle de Otal, se encontrará muy próxima al centro de Ordesa geográficamente, pero no tendrá visibilidad radioeléctrica con él. Este centro se desplegará para dar cobertura a la ruta de senderismo que discurre por los valles de Otal y Bujaruelo. La ubicación escogida es una zona lateral del valle desde donde podremos dotar de cobertura TETRA a la zona sin problemas.

En el centro se instalará un sistema radiante omnidireccional, como se puede observar en la imagen 7.4





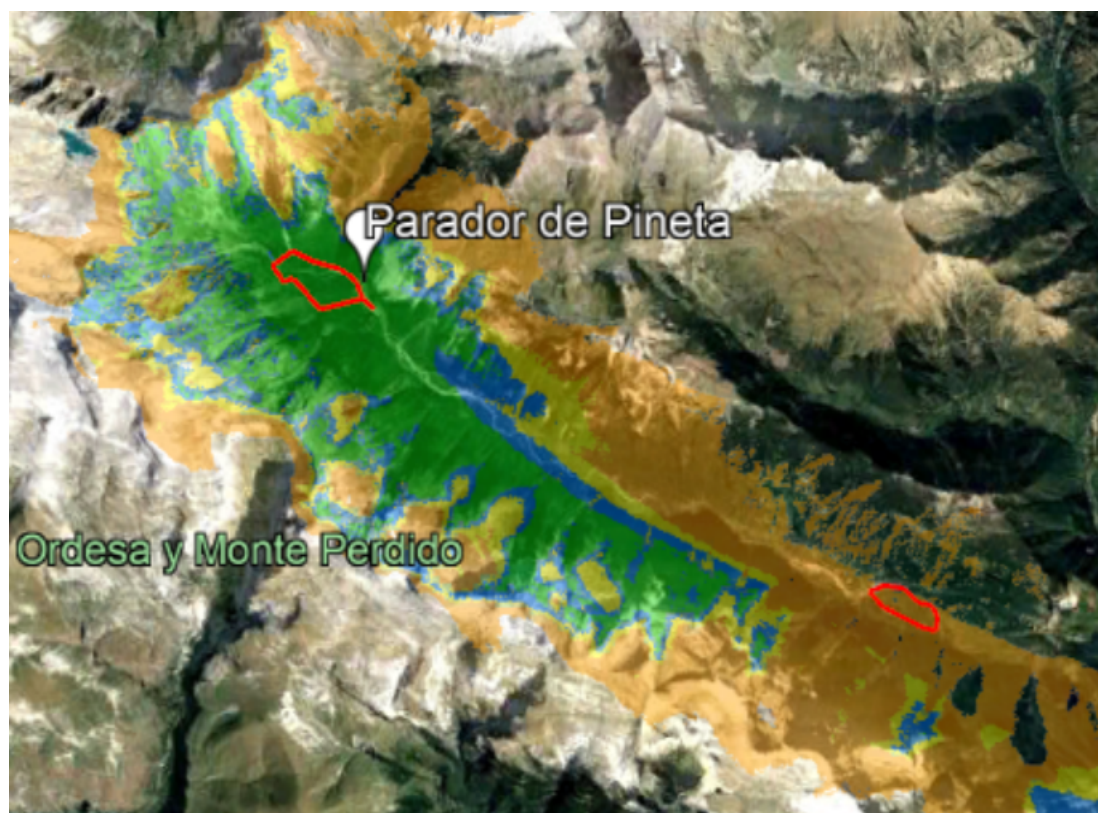
**Figura 7.4: Simulación de cobertura de la TBS Valle de Otal**

#### **7.1.4. Parador de Pineta**

La TBS Parador de Pineta, se encontrará muy próxima al centro de Bielsa geográficamente, pero no tendrá visibilidad radioeléctrica con él. Este centro se desplegará para dar cobertura a la ruta de senderismo que descubre zonas inhóspitas y vistas de Monte Perdido. La ubicación escogida es una zona lateral del valle desde donde podremos dotar de cobertura TETRA a la zona sin problemas. Concretamente en un centro de Telefónica, llamado Parador de Pineta.

Para este caso no necesitaríamos instalar una nueva torre ya que podríamos cobicarnos en el centro mencionado. El problema que aparece en esta ubicación es la instalación de un sistema de comunicación punto a punto en el centro de Telefónica, para así, incluir el centro en la red de transporte. No consigo obtener otro centro con visibilidad radioeléctrica.

En el centro se instalará un sistema radiante omnidireccional, como se puede observar en la imagen 7.4



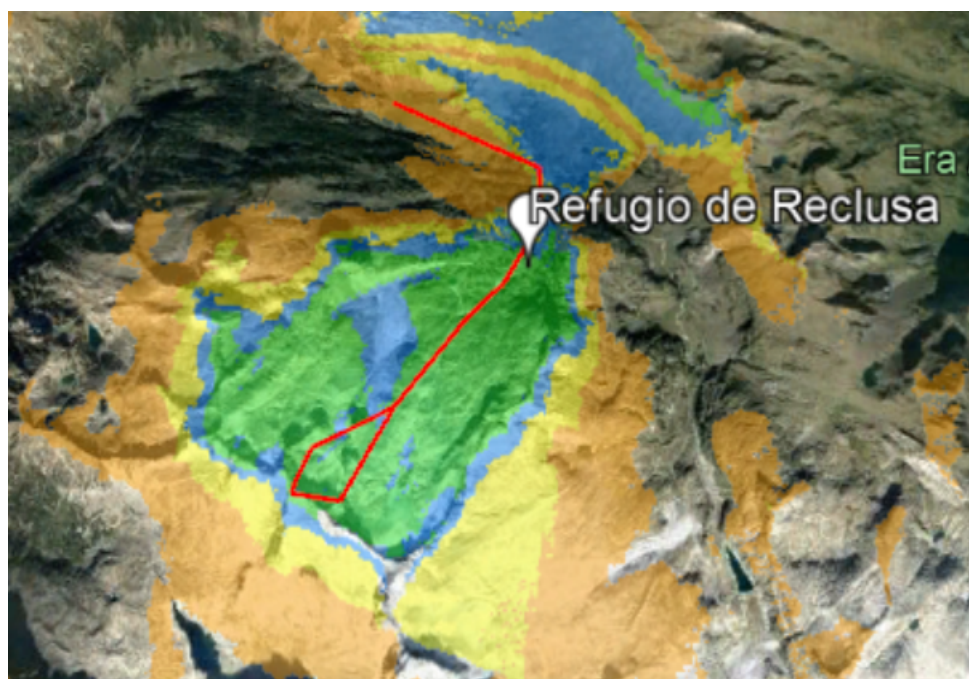
**Figura 7.5: Simulación de cobertura de la TBS Parador de Pineta**

#### **7.1.5. Refugio de Renclusa**

La TBS Refugio de Renclusa, se encontrará en una zona de difícil acceso radio, debido a que está en una zona de montaña. El centro se habrá de instalar en una de las laderas del pico de la Maladeta. Concretamentamente en la ladera contraria al valle de Benasque, es decir, en la cara norte de la montaña. Este centro se desplegará para dar cobertura a la ruta de senderismo que discurre por la ladera de la montaña mencionada. La ubicación escogida es un refugio de paso de la ruta de senderismo desde donde podremos dotar de cobertura TETRA a la zona sin problemas.

Para este caso necesitaríamos instalar una nueva torre ya que no existe un centro de telecomunicaciones en la zona. Con total seguridad necesitaremos algún centro extra para dar apoyo radio a esta centro emisor.

En el centro se instalará un sistema radiante omnidireccional, como se puede observar en la imagen 7.6



**Figura 7.6: Simulación de cobertura de la TBS Parador de Reclusa**

#### **7.1.6. Presa de Llauset**

La TBS Presa de Llauset, se encontrará en un embalse de difícil acceso radio, debido a que está en una zona de valle. El centro se habrá de instalar en la misma presa, sobre un depósito ya existente. Este centro se desplegará para dar cobertura a la ruta de senderismo que discurre por el embalse y parte del valle que alberga dicho embalse.

Para este caso necesitaríamos instalar una nueva torre ya que no existe un centro de telecomunicaciones en la zona. Con total seguridad necesitaremos algún centro extra para dar apoyo radio a esta centro emisor.

En el centro se instalará un sistema radiante omnidireccional, como se puede observar en la imagen 7.7





**Figura 7.7: Simulación de cobertura de la TBS Presa de LLauset**

## 7.2. Conclusiones

La conclusión principal del proyecto es que con la instalación de estos centros se consigue dotar de cobertura a todas las rutas de senderismo y las estaciones de esquí de cobertura TETRA.

Como ya se ha comentado en el objetivo del trabajo, la importancia de cubrir estas zonas con una red de emergencias es muy importante para poder dar seguridad a la multitud de alpinistas, esquiadores o senderistas que visitan el pirineo oscense en cualquier época del año. Pero tras analizar las ubicaciones de las rutas de senderismo estudiadas, se entiende que no es posible en un primer proyecto dar cobertura a todas ellas, debido a sus particularidades. Por tanto, se entiende que la propuesta de ampliación se podrá estudiar en un segundo proyecto más en profundidad; analizando en él si las ubicaciones de los centros propuestos disponen de suministro eléctrico cercano para poder llevar este suministro hasta los centros y poder instalar nuestros equipos. El coste de este despliegue masivo de centros desde un estudio inicial es algo aventurado, debido a que la inversión económica será muy elevada, por tanto los costes asociados a la instalación y despliegue de estos centros no quedan comprendidos en el presupuesto presentado, dado que se trata de una ampliación de la red, con vistas a futuro.

De forma secundaria concluyo que a pesar de la dificultad orográfica de la zona, la red de transporte por radioenlaces es viable en la zona. Además, una vez que esta red de comunicación punto a punto esté desplegada, el futuro crecimiento de la red será más sencillo, dado que ya contamos con redunda en los centros principales de la red.





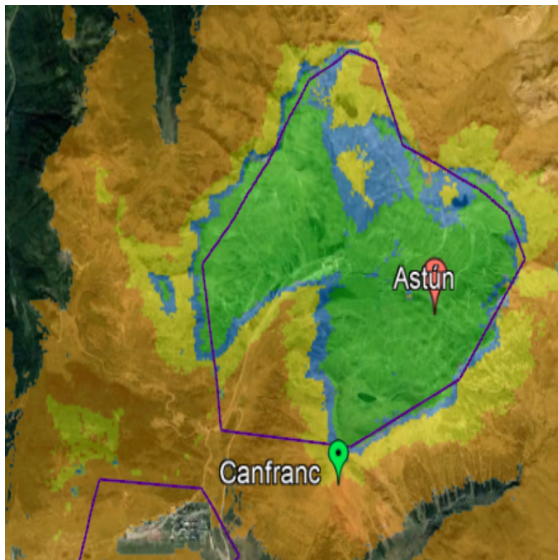
**Parte II**

**Anexos**

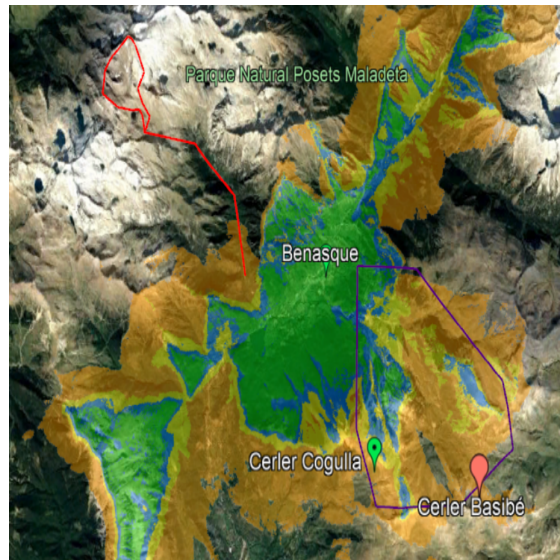


## **Capítulo 1**

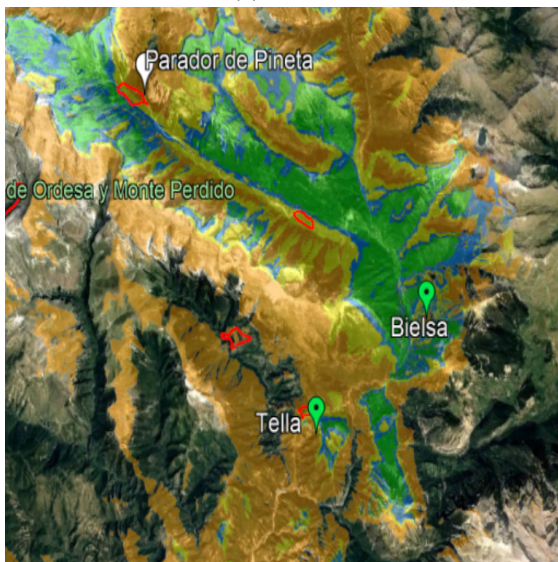
# **Simulaciones individuales de cobertura TETRA**



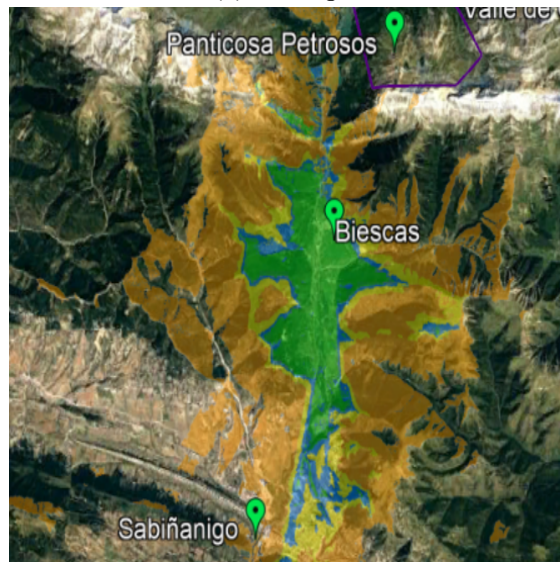
(a) Astun



(b) Benasque

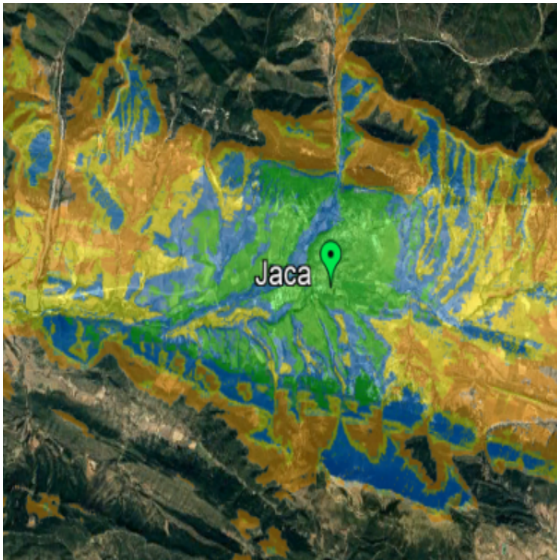


(c) Bielsa

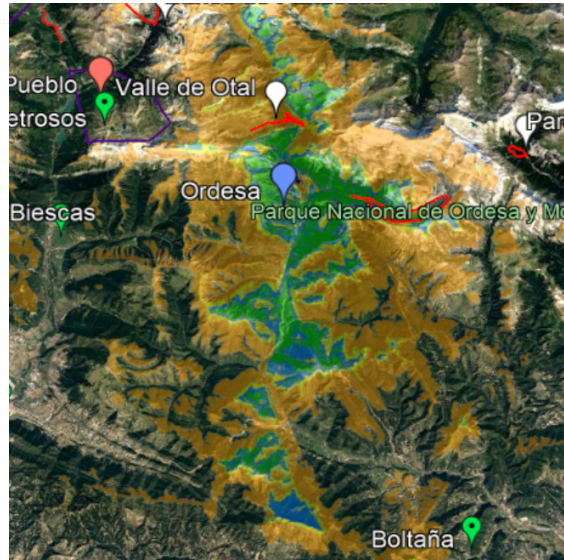


(d) Biescas

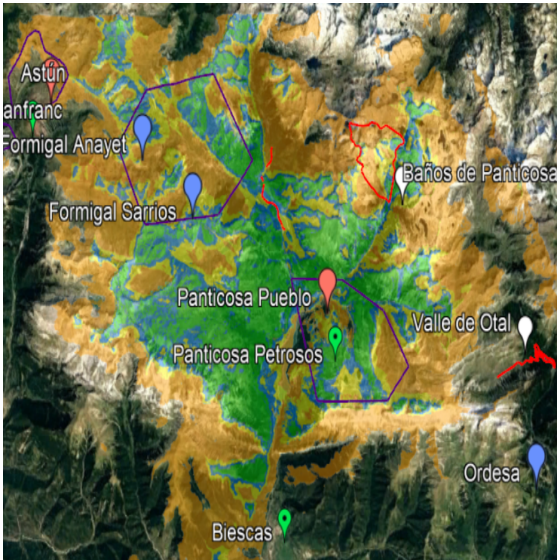




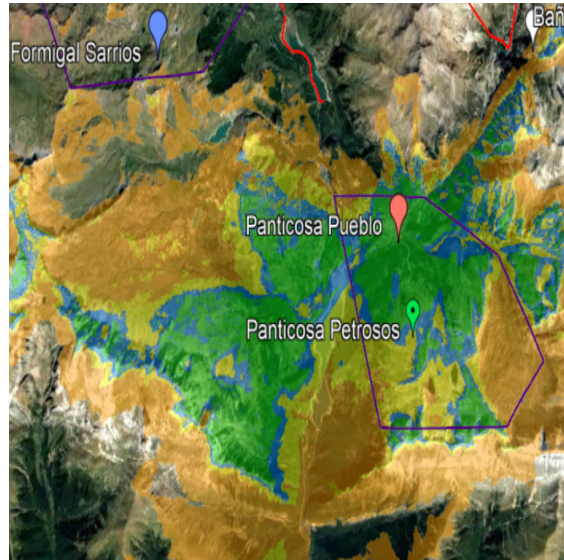
**(a) Jaca**



**(b) Ordesa**

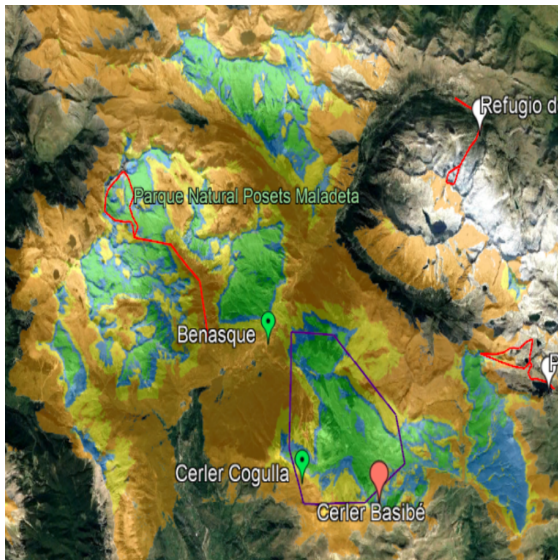


**(c) Panticosa Petrosos**

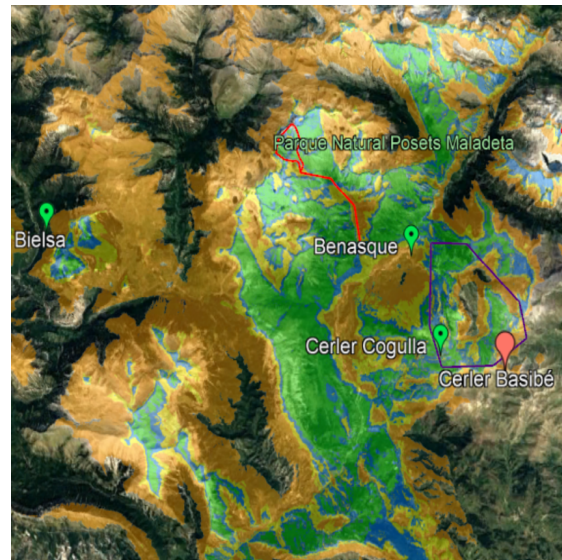


**(d) Panticosa Pueblo**

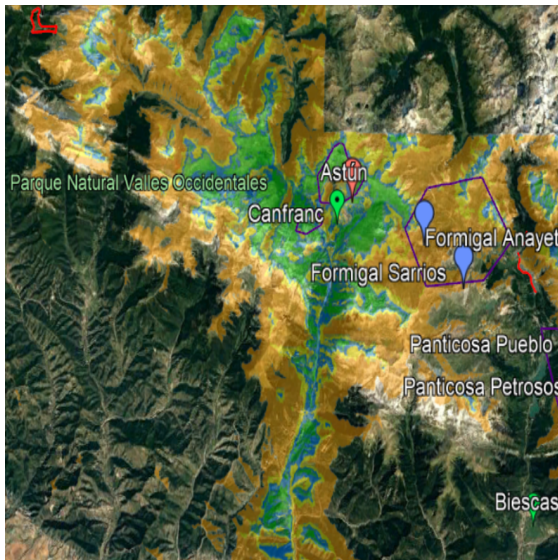




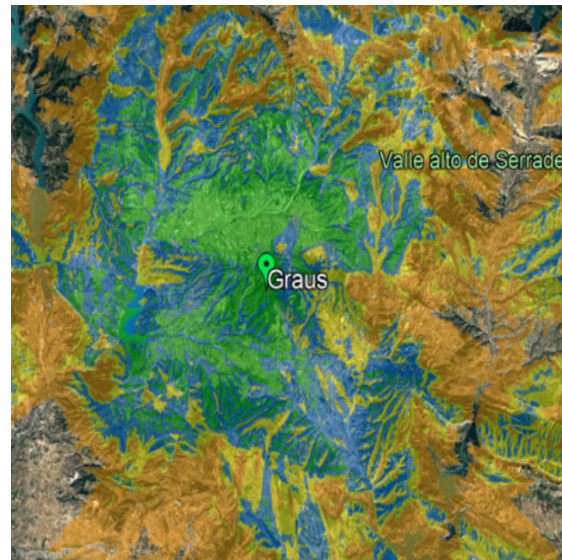
**(a) Cerler Basibé**



**(b) Cerler Cogulla**

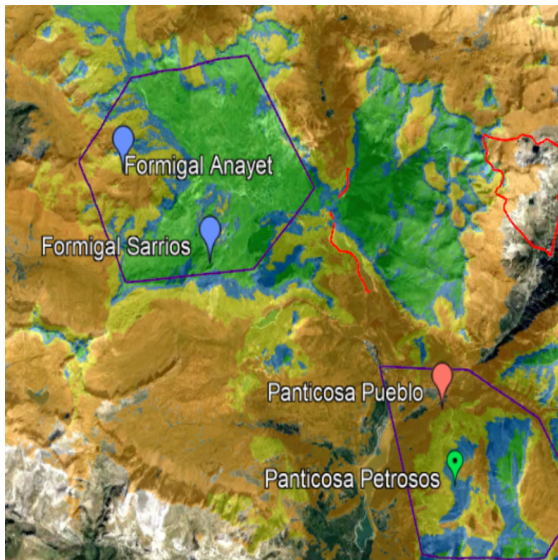


**(c) Canfranc**

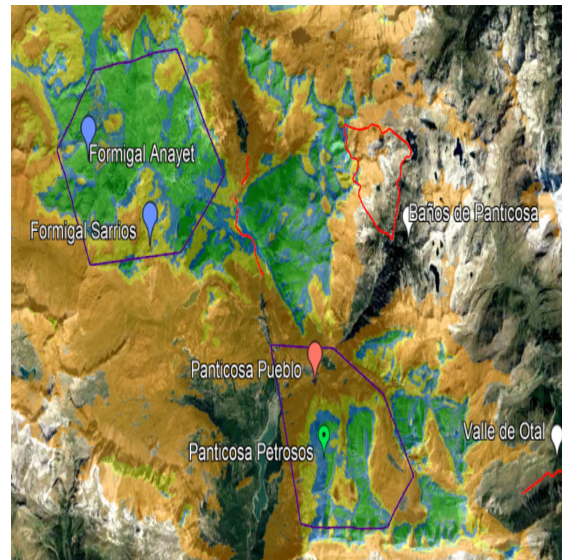


**(d) Graus**

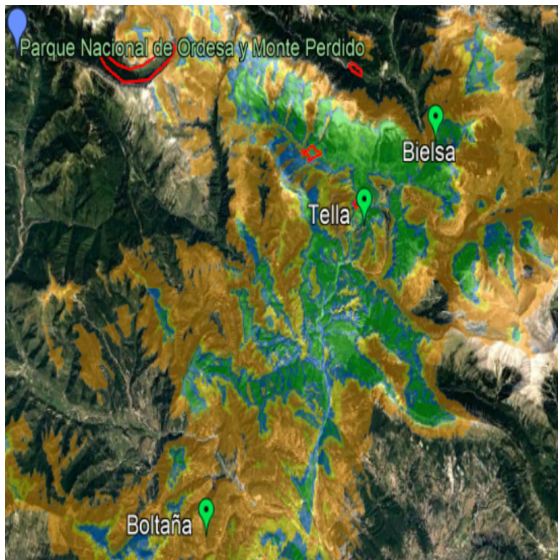




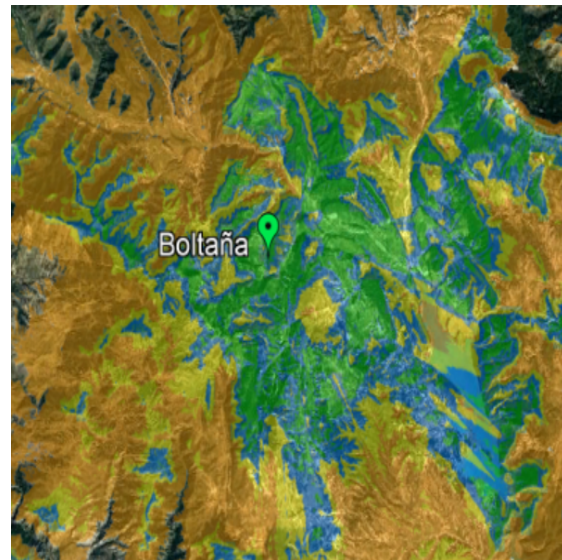
(a) Formigal Sarríos



(b) Formigal Anayet



(c) Tella



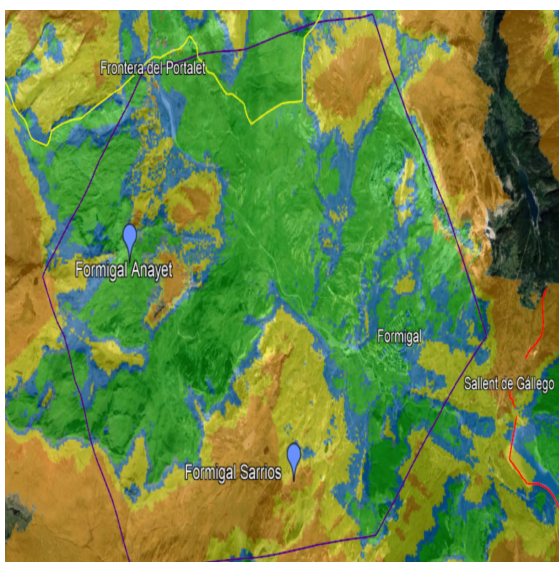
(d) Boltaña



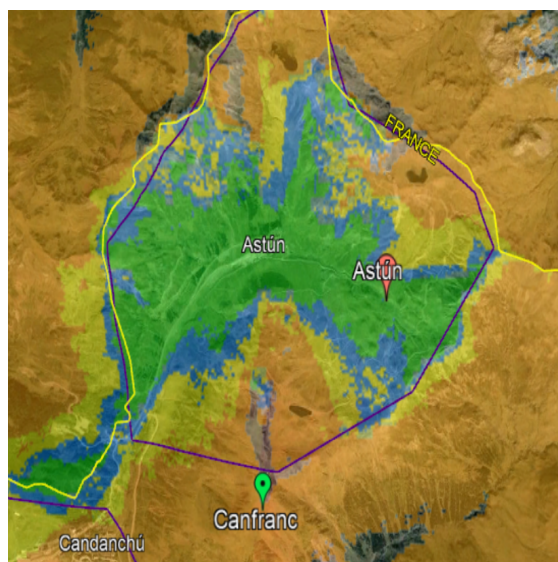
## **Capítulo 2**

# **Simulaciones individuales de cobertura LTE**

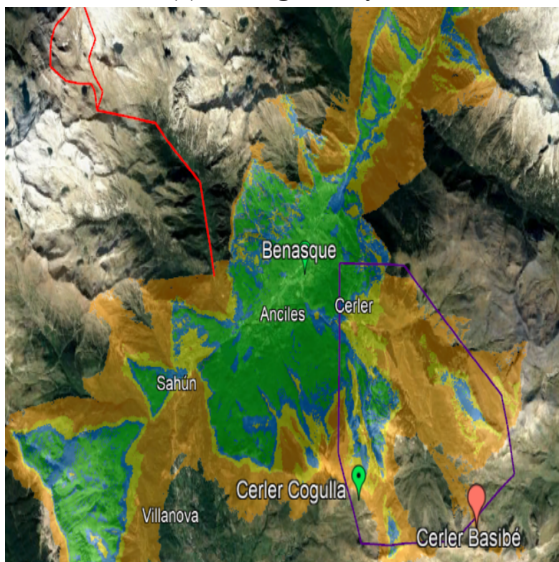




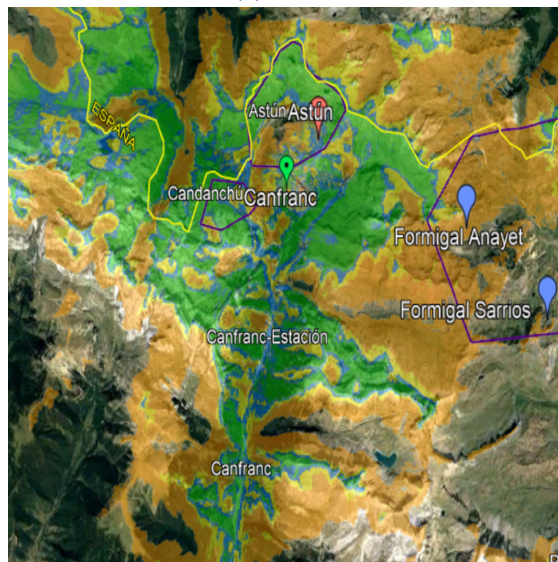
**(a) Formigal Anayet**



**(b) Astún**

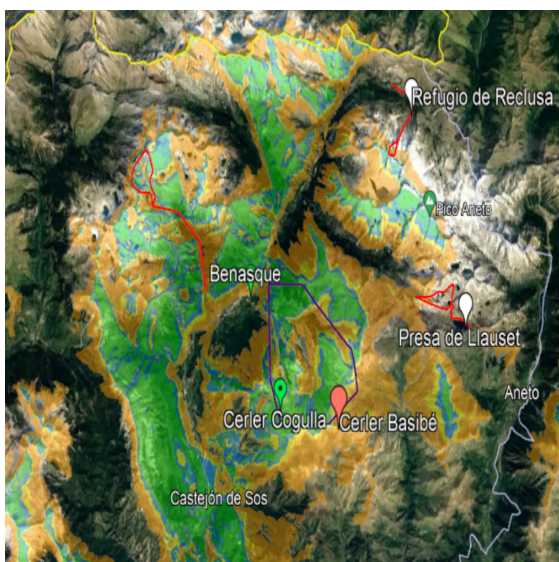


**(c) Benasque**

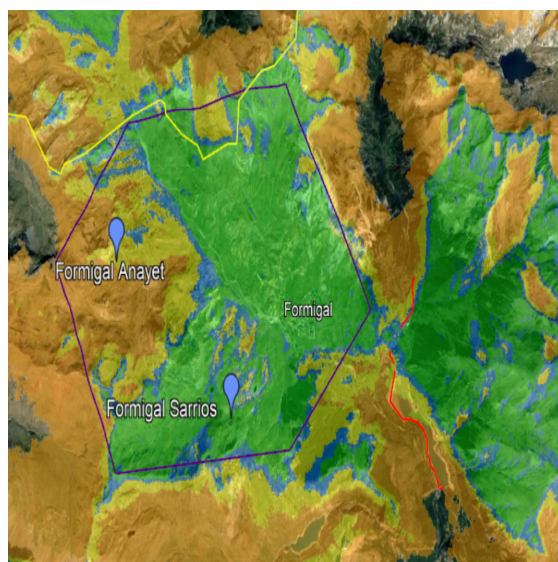


**(d) Canfranc**

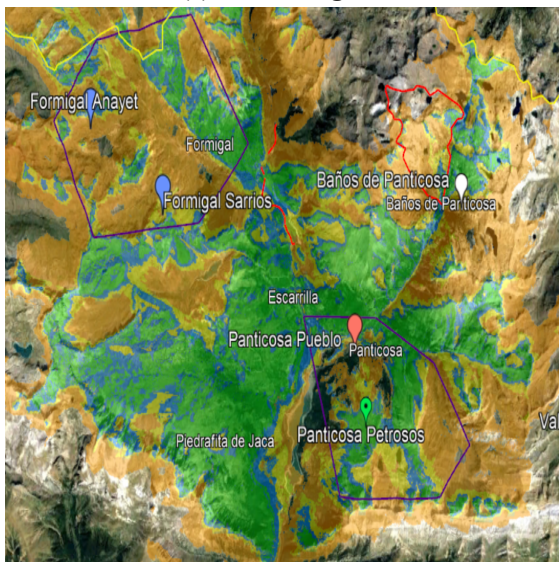




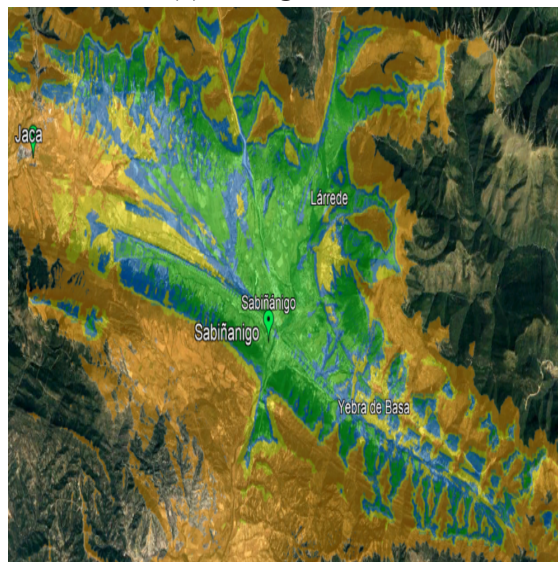
**(a) Cerler Cogulla**



**(b) Formigal Sarríos**



**(c) Panticosa Petrosos**



**(d) Sabiñanigo**



## Capítulo 3

# Simulaciones de radioenlaces

En este apartado se presentan todas las simulaciones de los radioenlaces de la red de transporte del proyecto.

Con fondo blanco veremos los radioenlaces en banda alta y con fondo negro veremos los radioenlaces en banda baja.

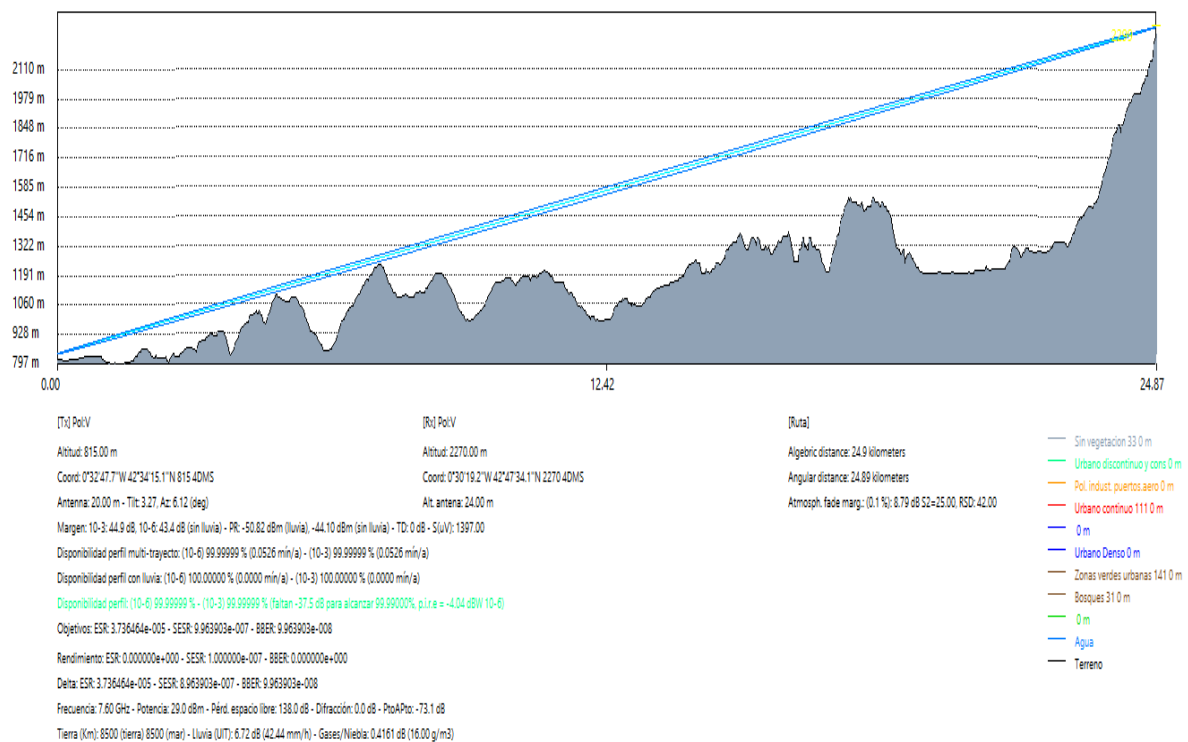
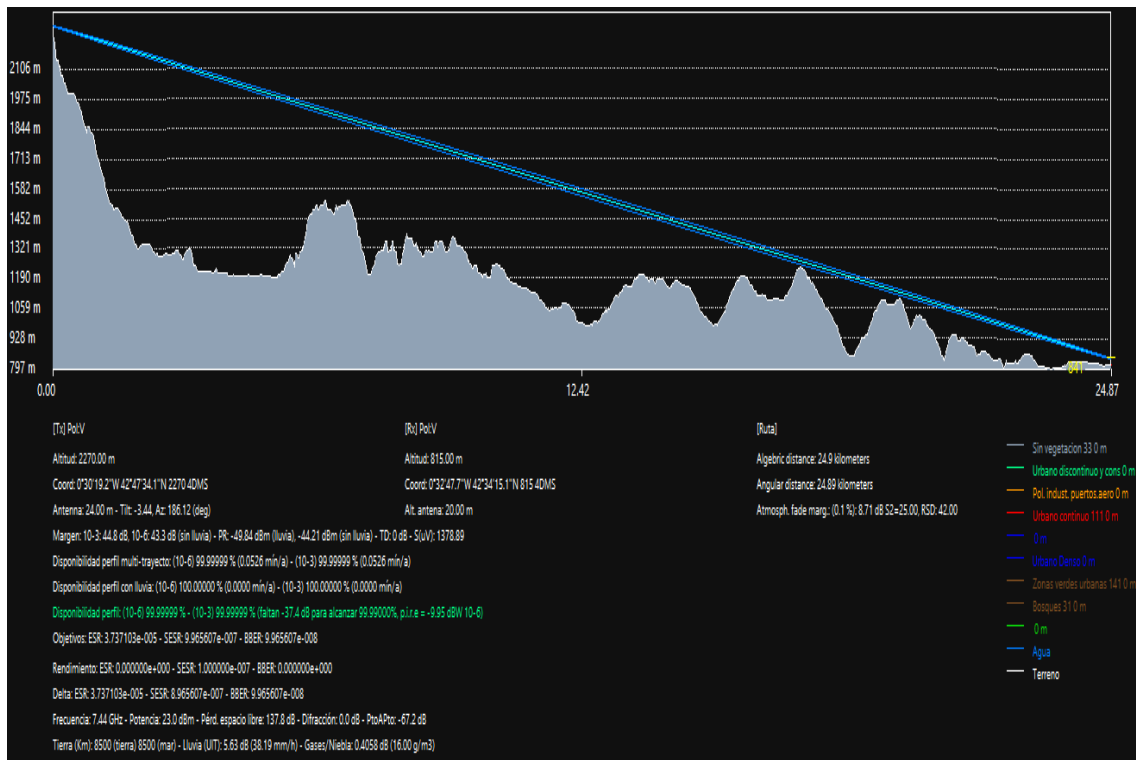


Figura 3.1: Radioenlace Canfranc - Jaca

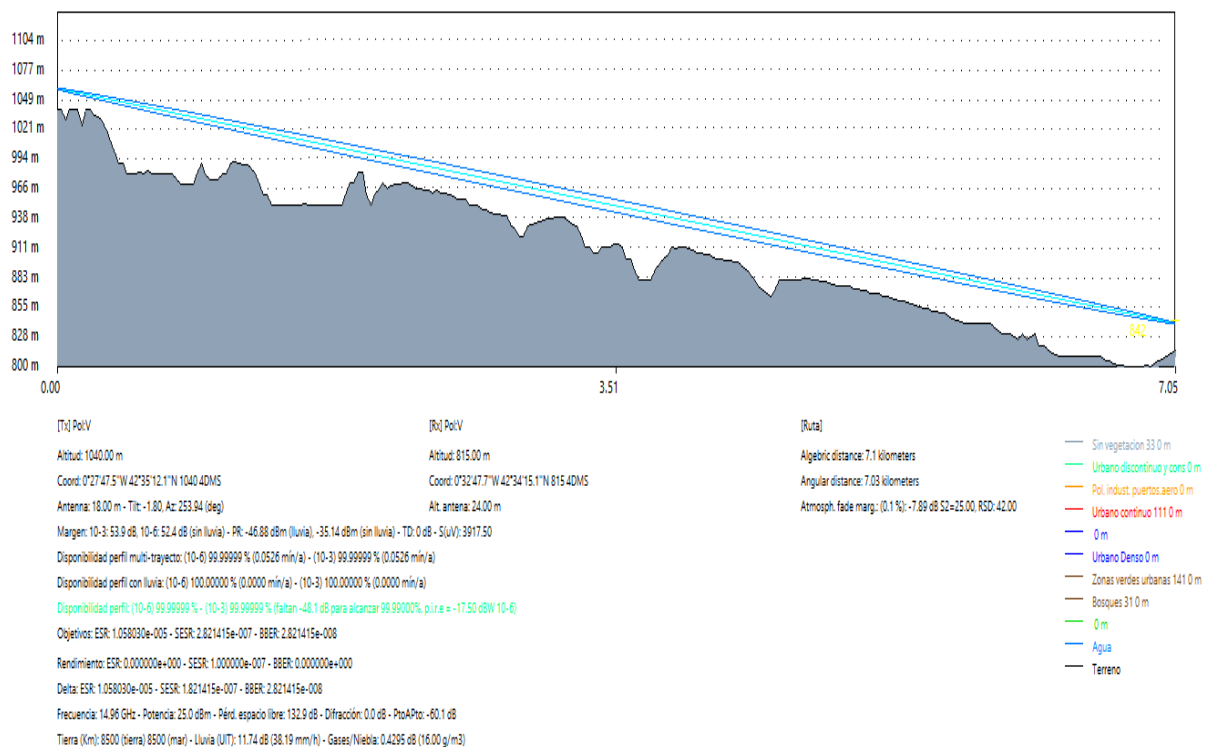
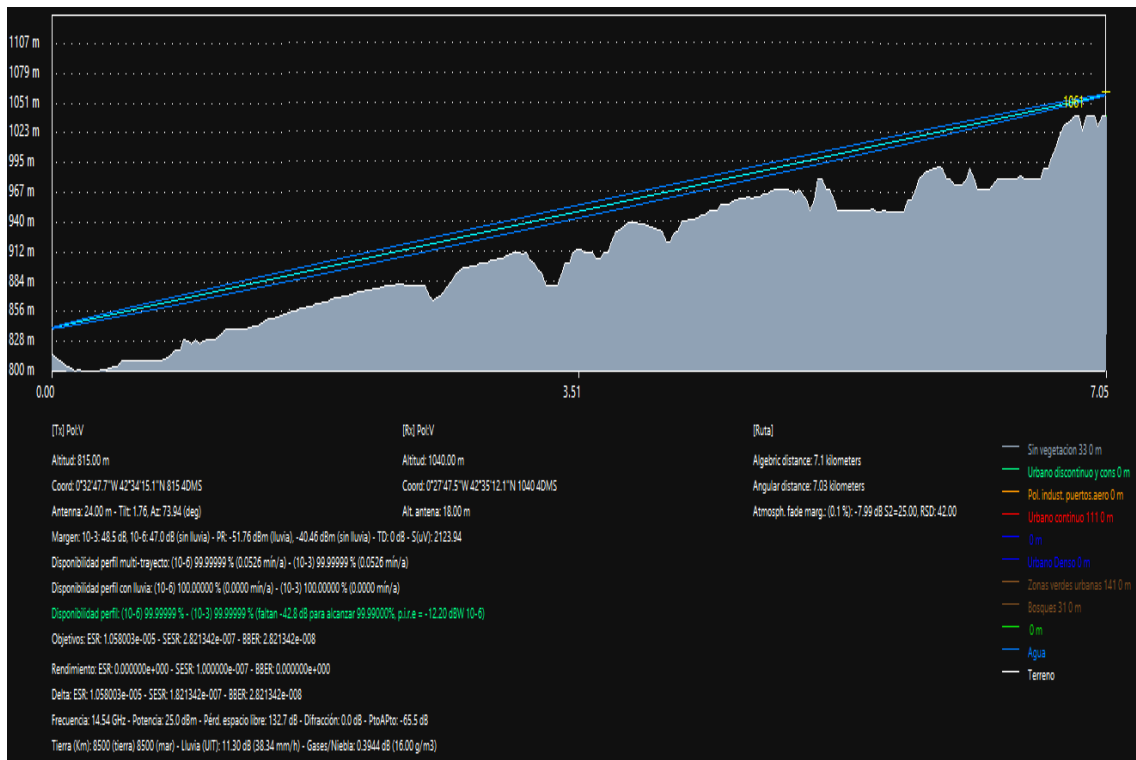


Figura 3.2: Radioenlace Jaca - Badaguás



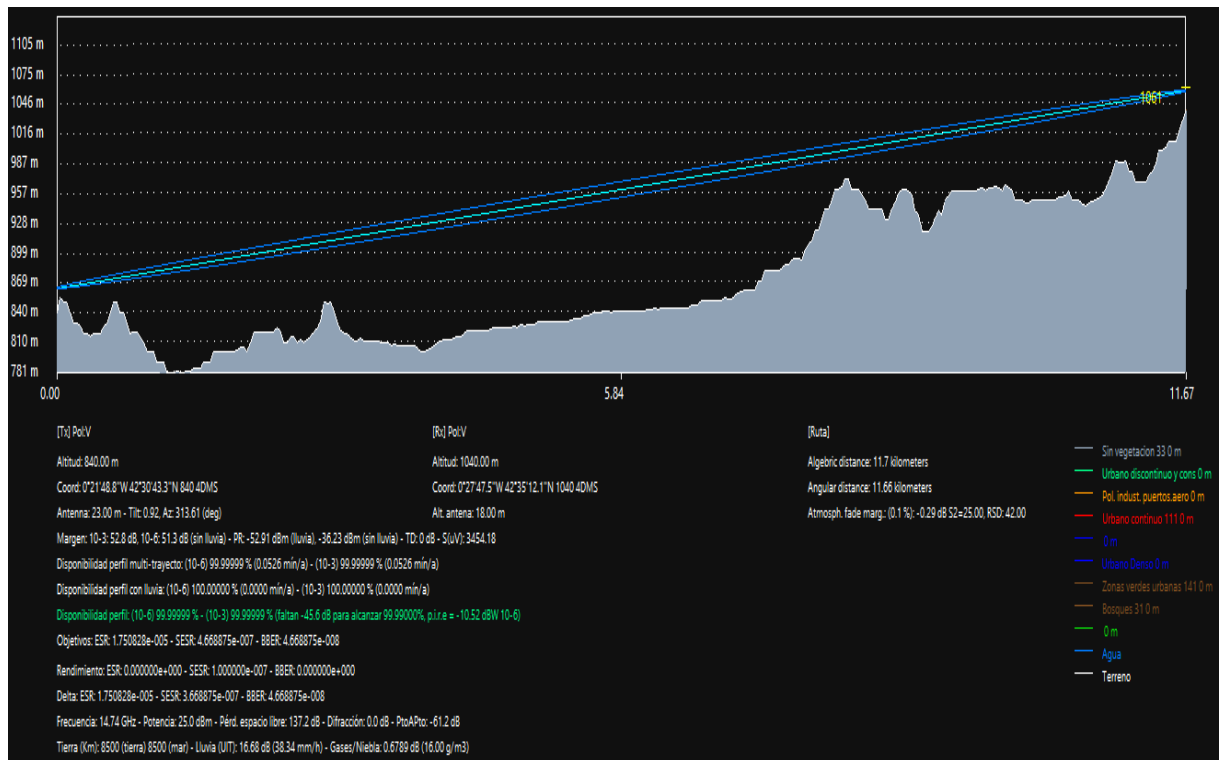
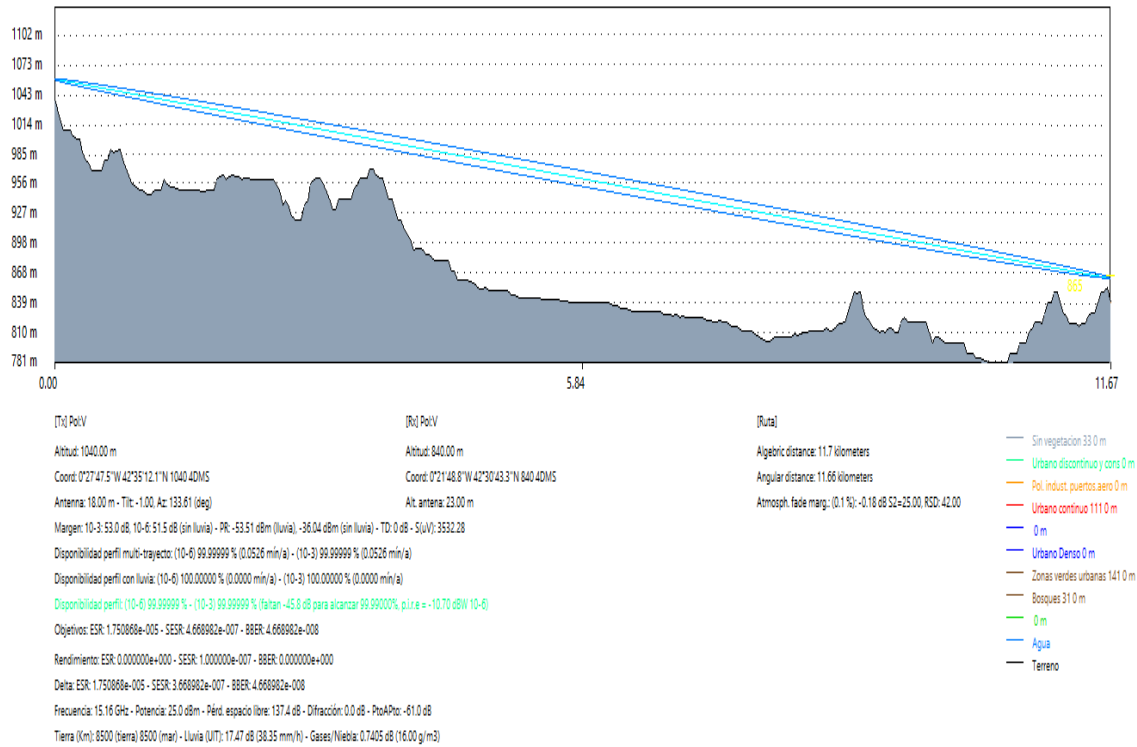


Figura 3.3: Radioenlace Badaguás - Sabiánigo

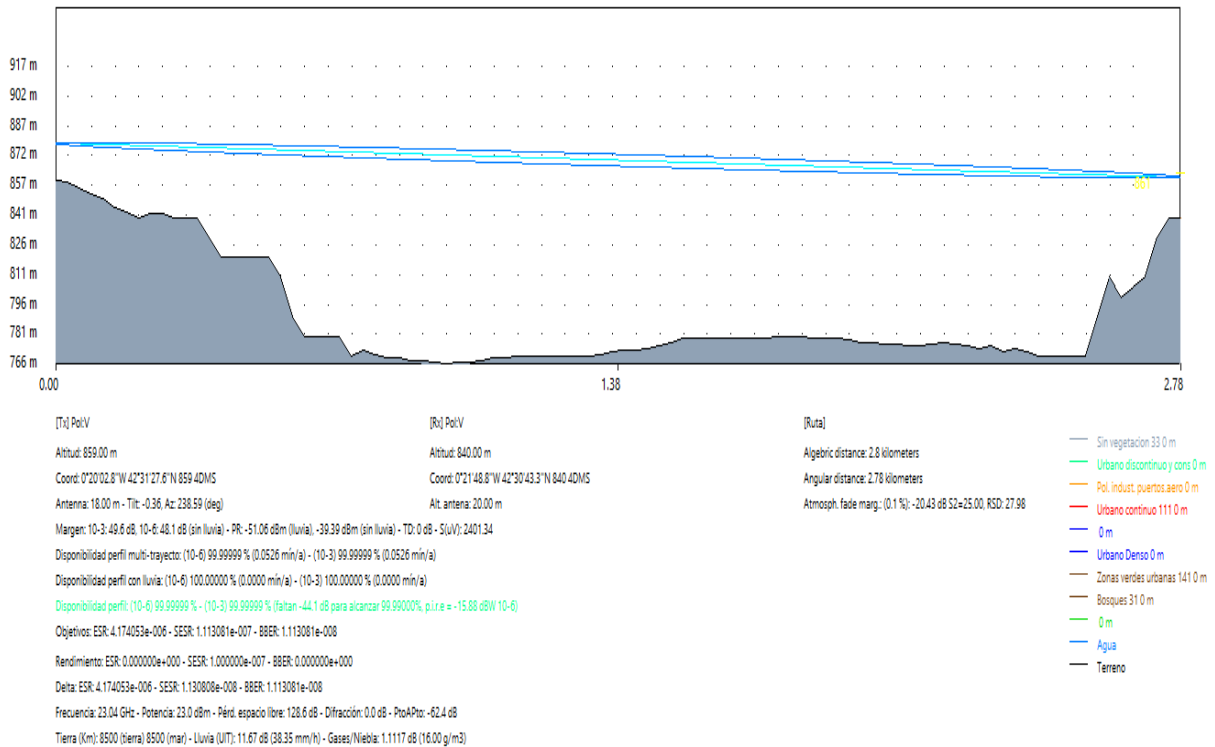
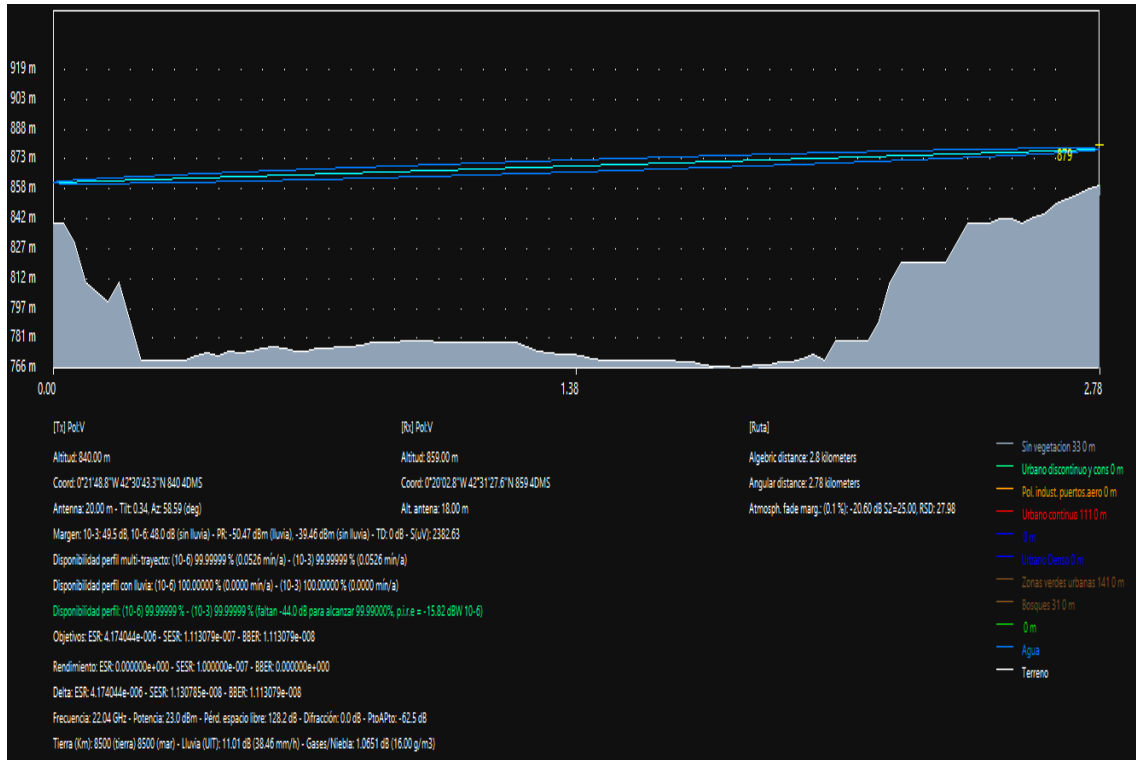


Figura 3.4: Radioenlace Sabiñanigo Telefónica - Sabiñánigo

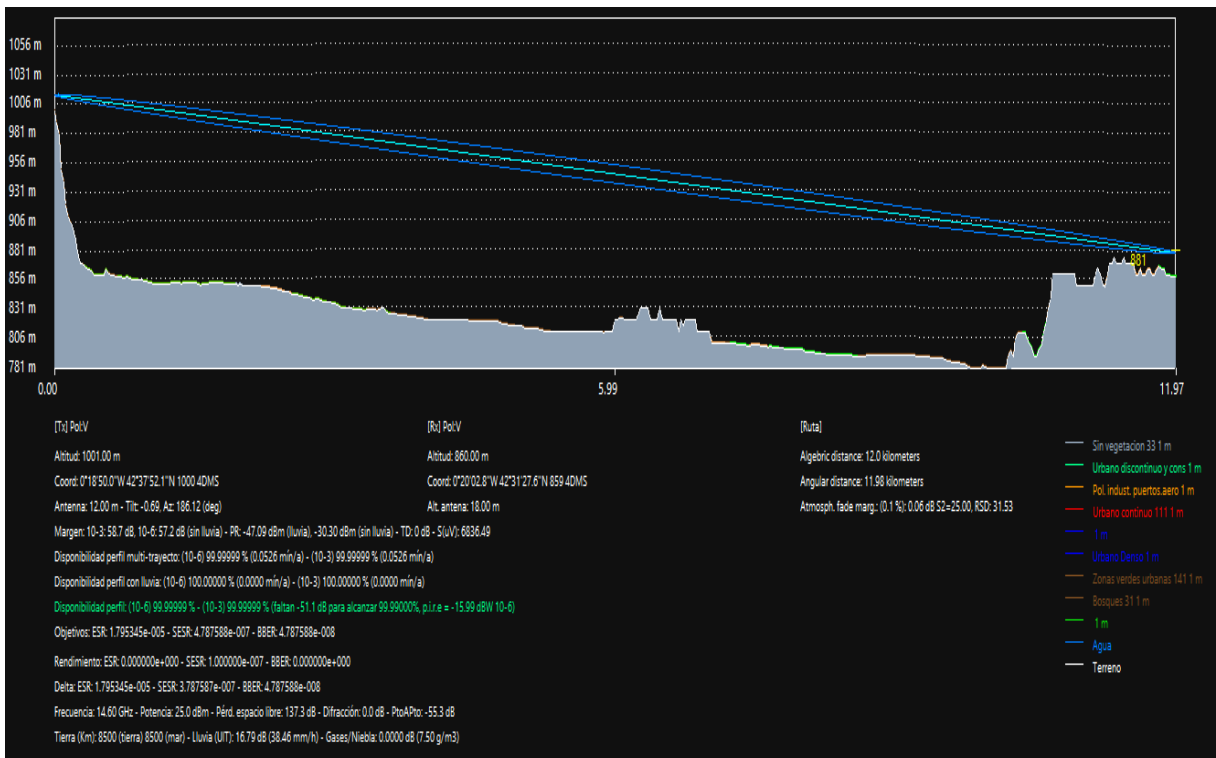
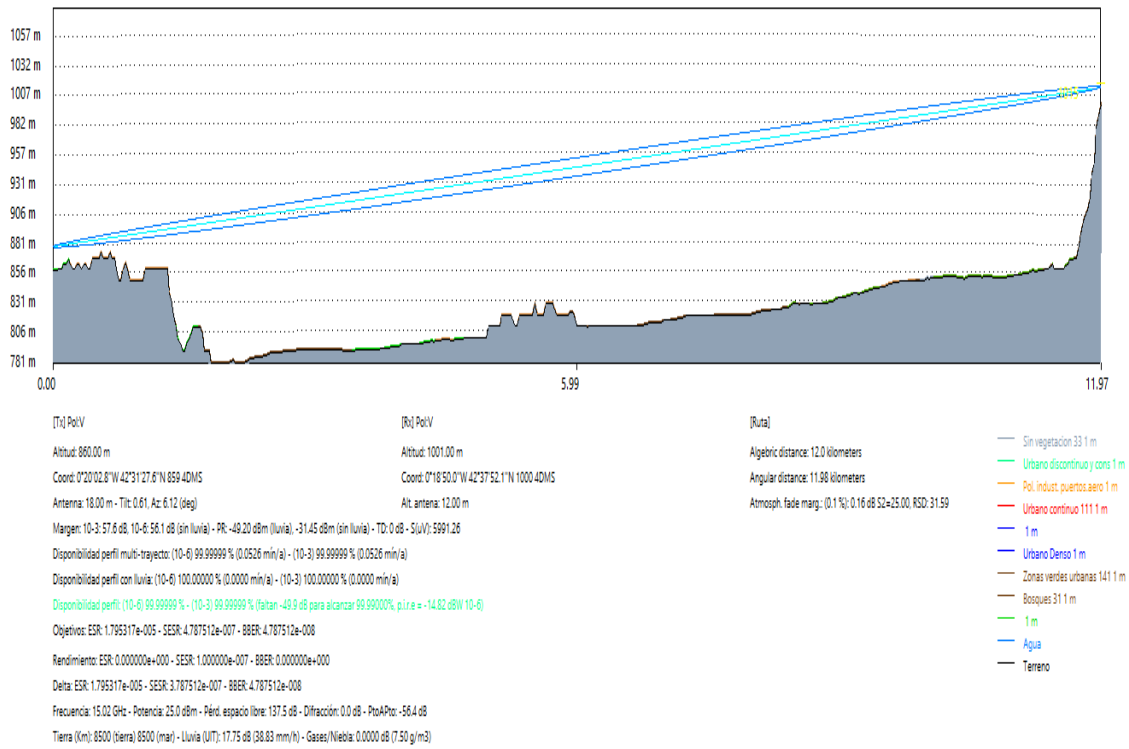


Figura 3.5: Radioenlace Sabiñanigo Telefónica - Biescas

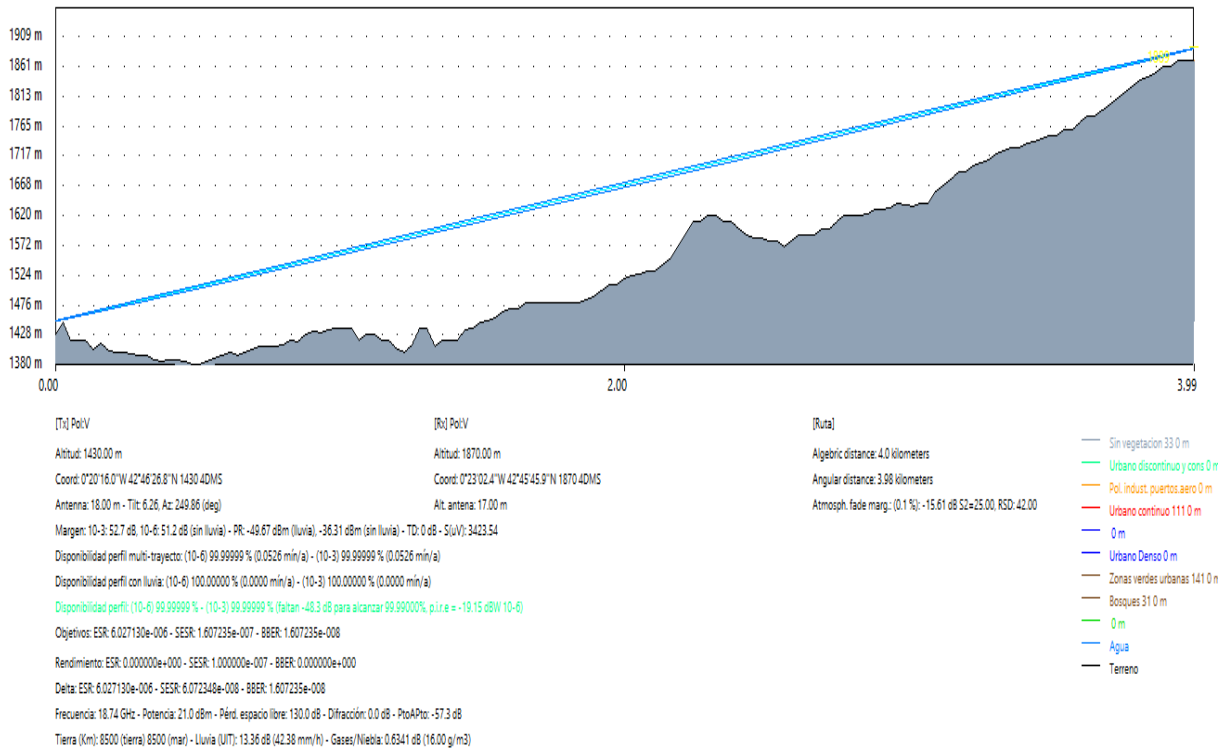
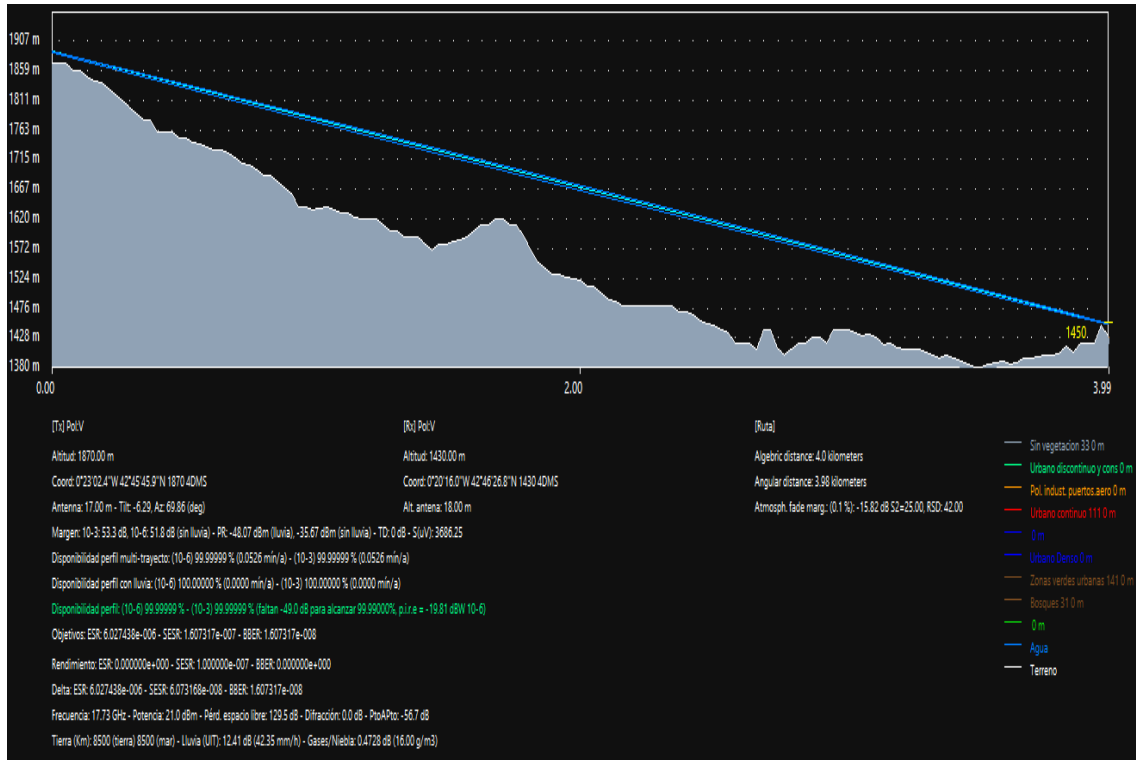


Figura 3.6: Radioenlace Salient de Gállego - Formigal Sarríos

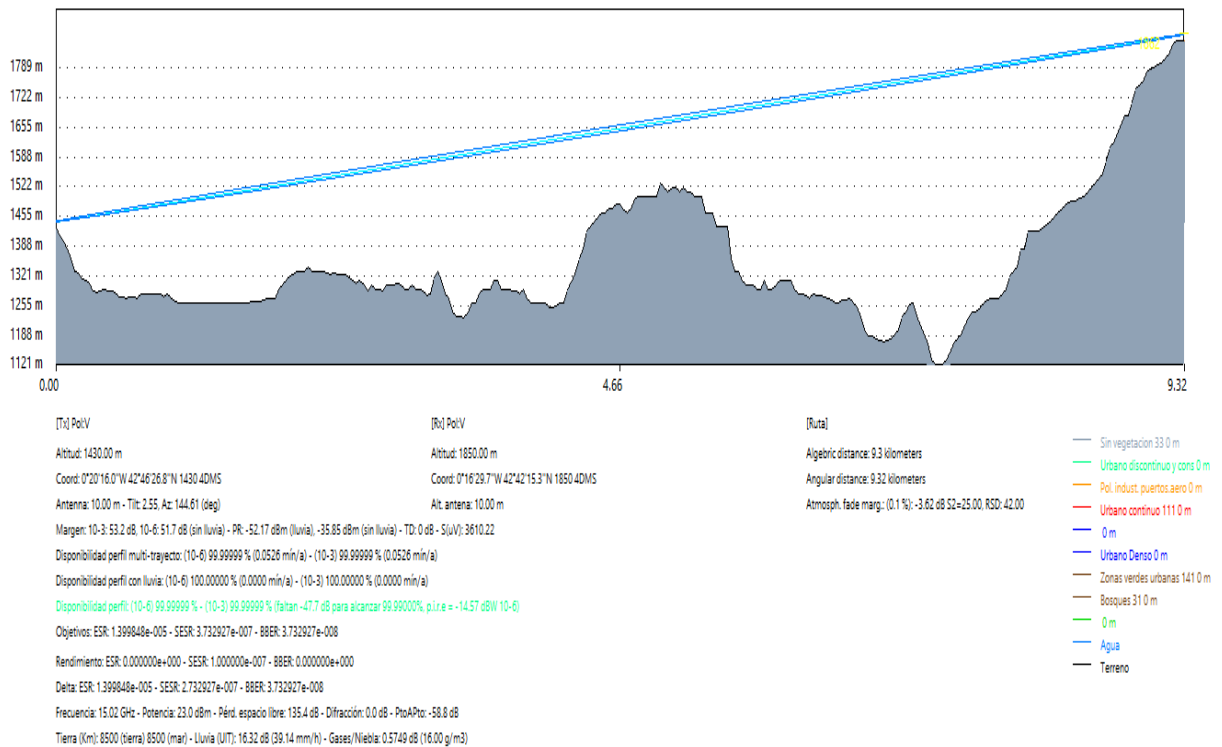
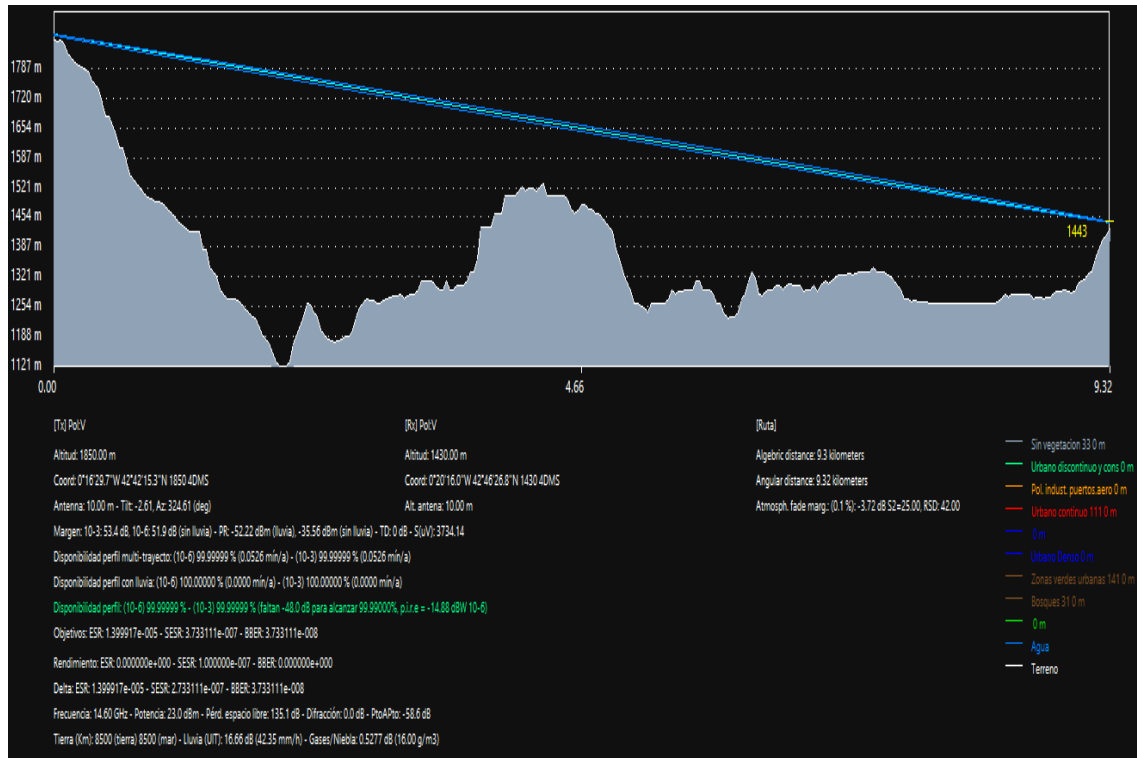


Figura 3.7: Radioenlace Salient de Gállego - Panticosa Petrosos



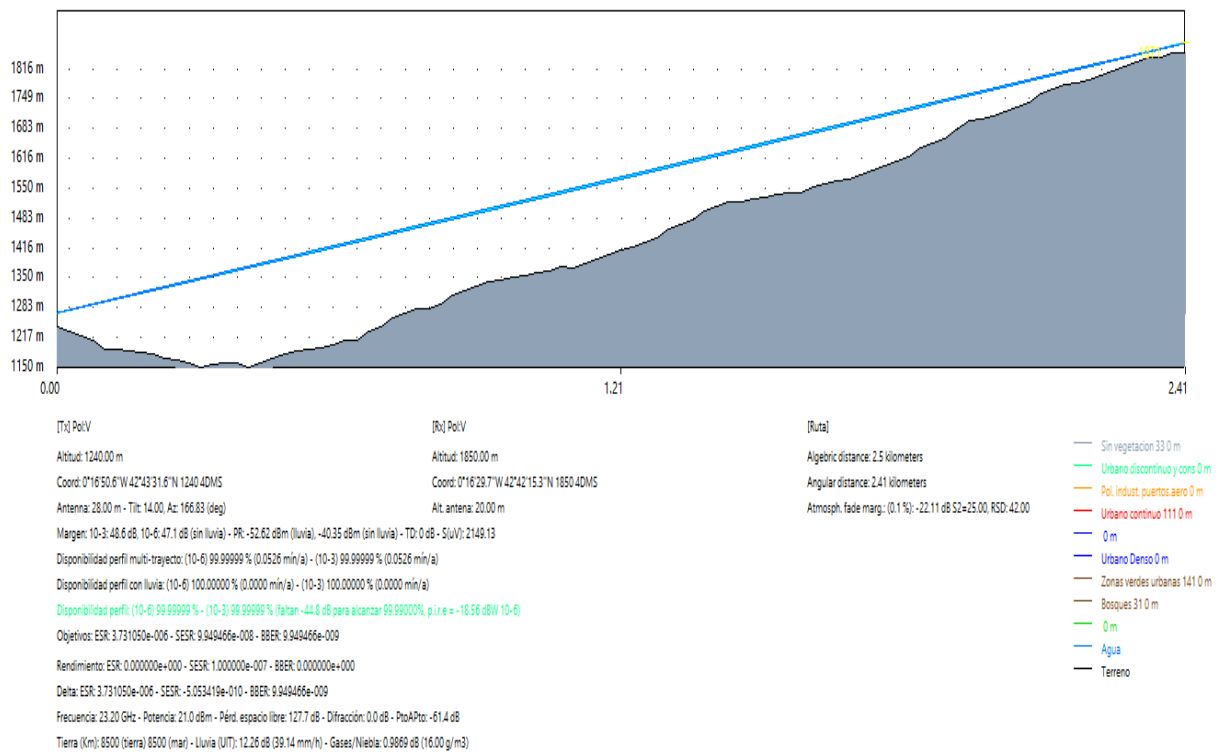
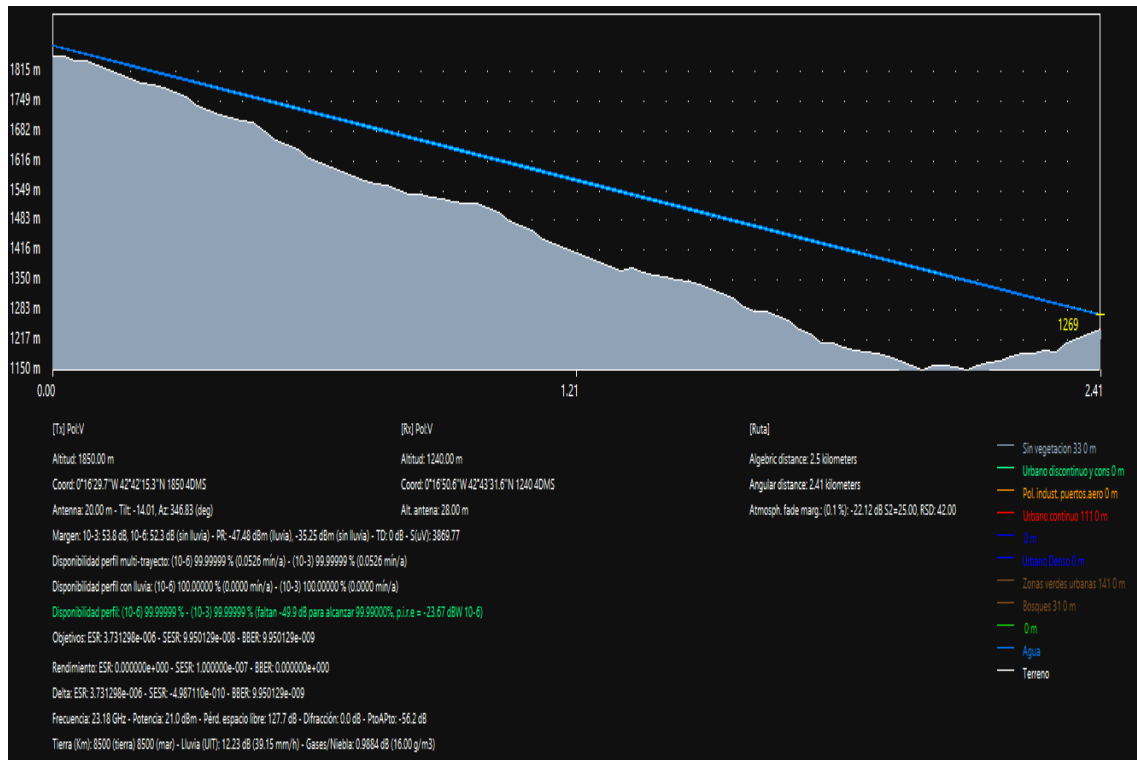


Figura 3.8: Radioenlace Panticosa Pueblo - Panticosa Petrosos

### CAPÍTULO 3. SIMULACIONES DE RADIOENLACES

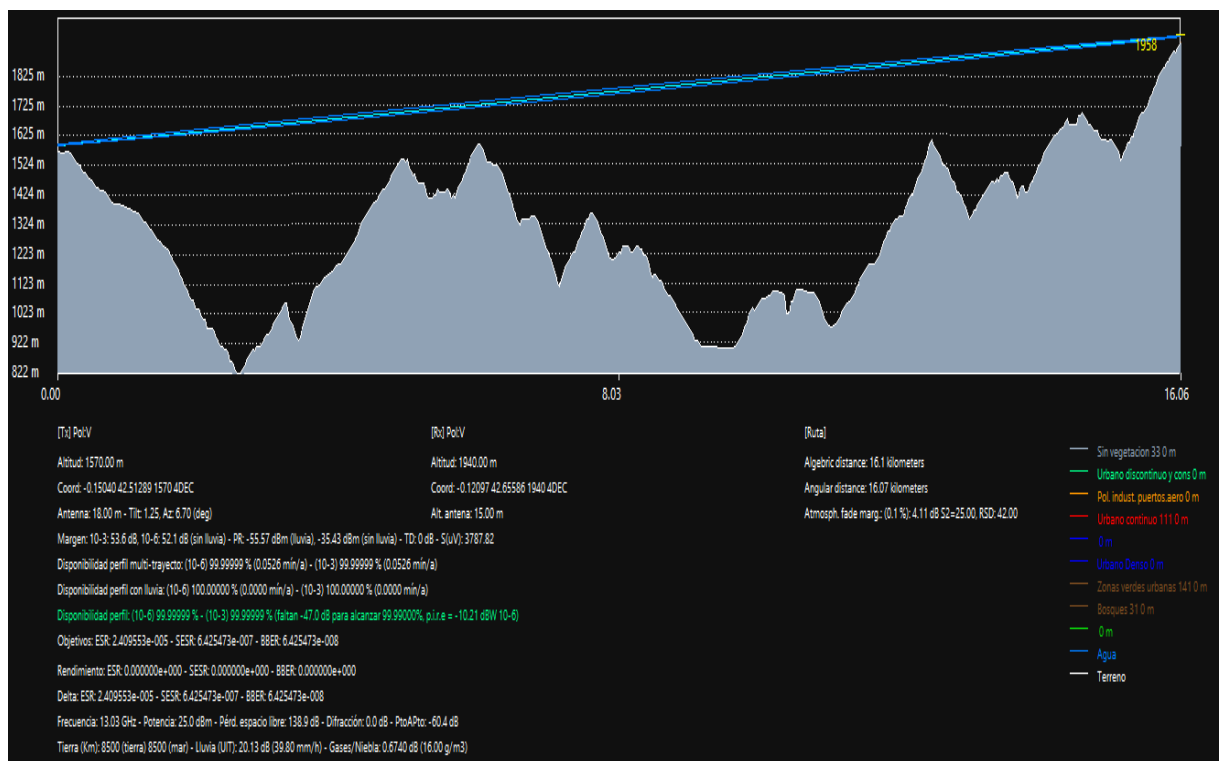
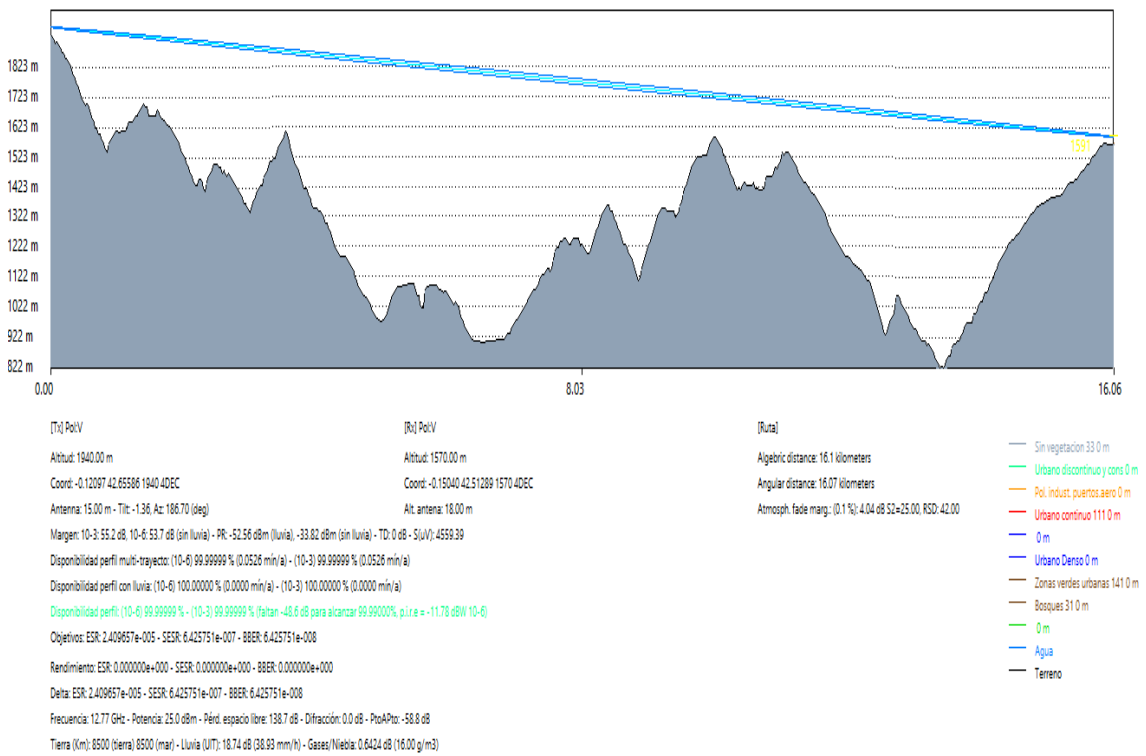


Figura 3.9: Radioenlace Ordesa - Fiscal Telefónica

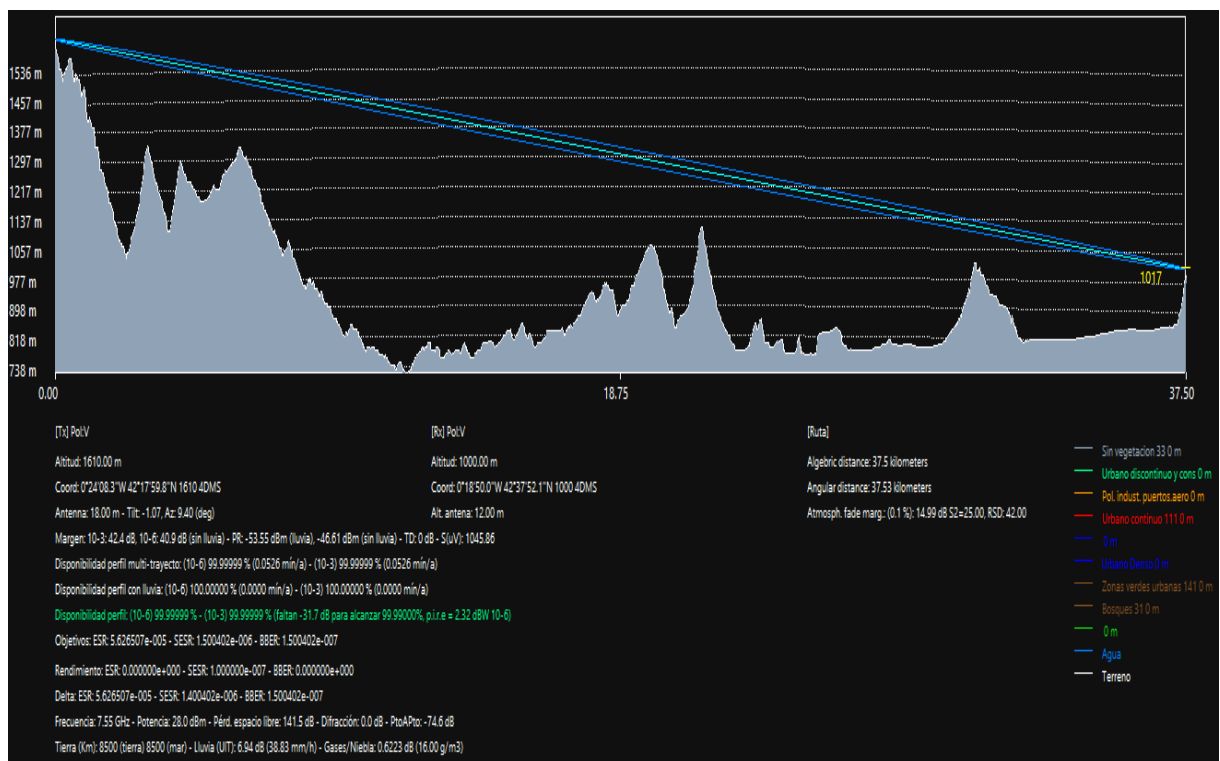
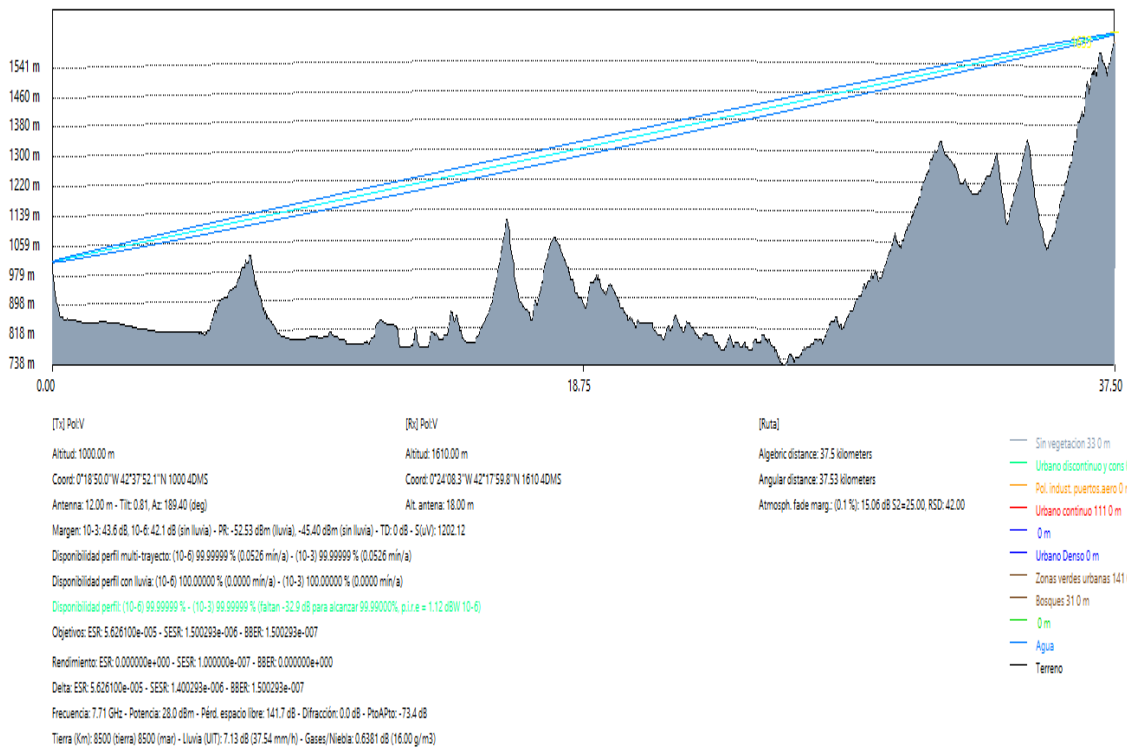


Figura 3.10: Radioenlace Arguís - Biescas

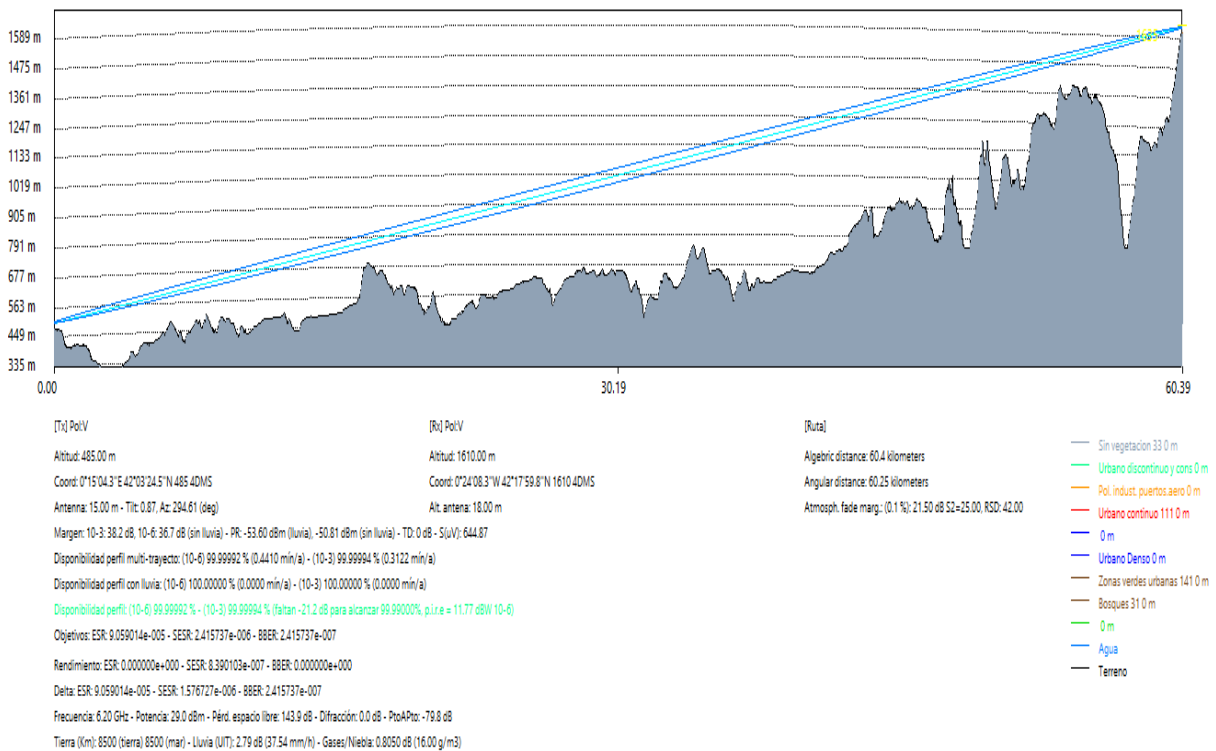
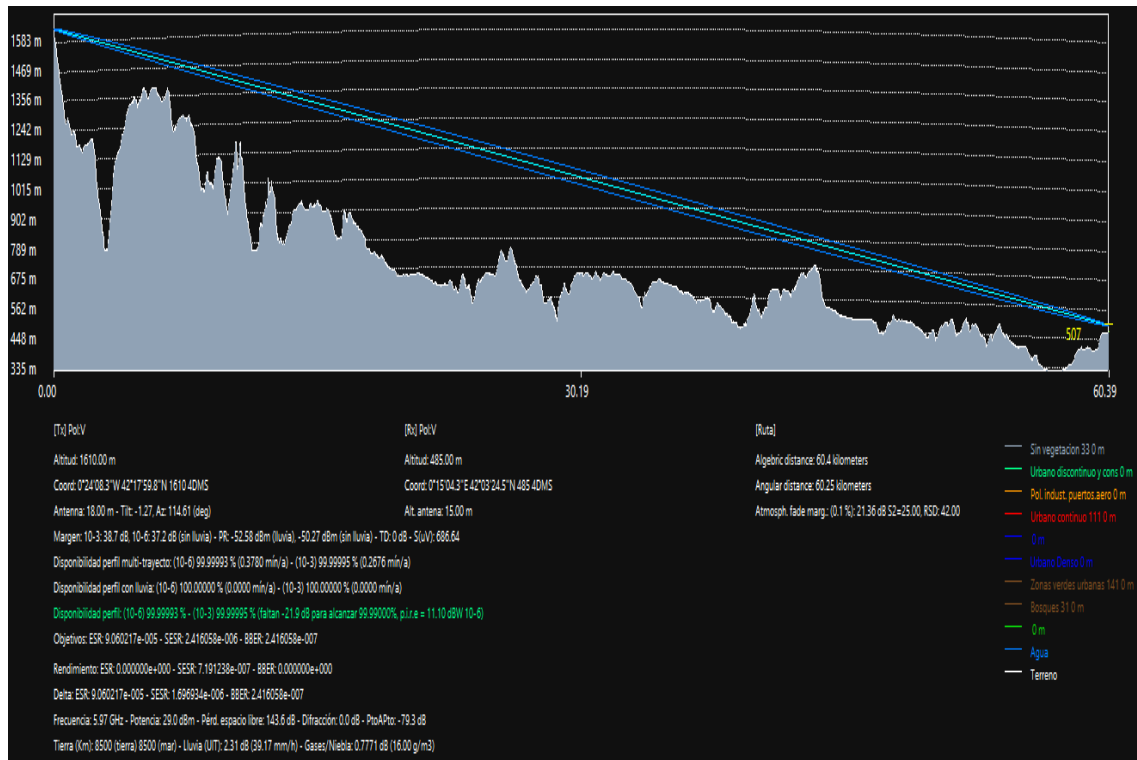
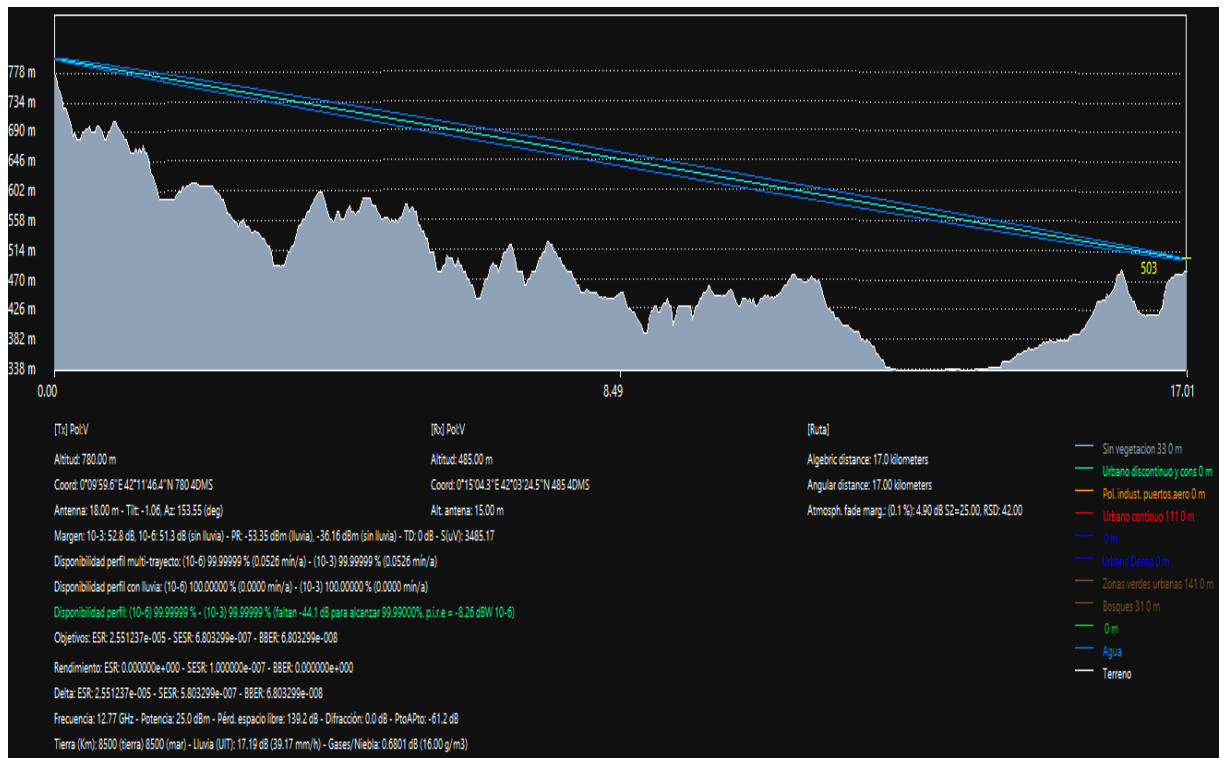
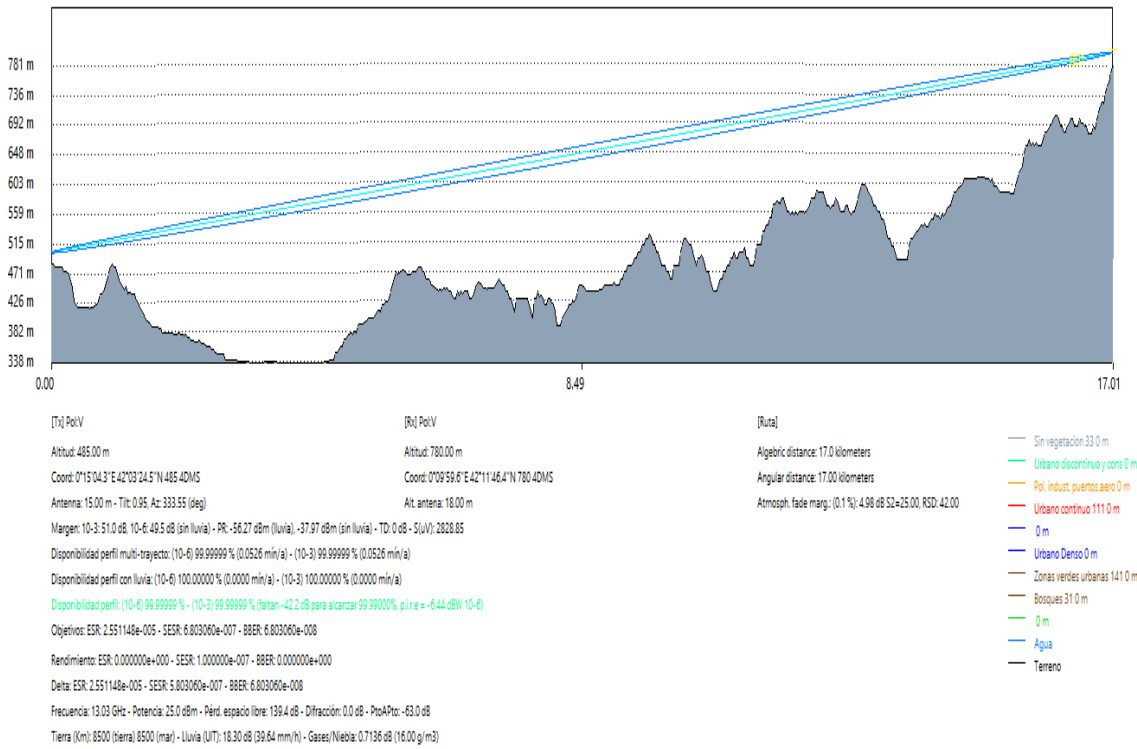


Figura 3.11: Radioenlace Arguís - Estadilla



### CAPÍTULO 3. SIMULACIONES DE RADIOENLACES



**Figura 3.12: Radioenlace Naval - Estadilla**

### CAPÍTULO 3. SIMULACIONES DE RADIOENLACES

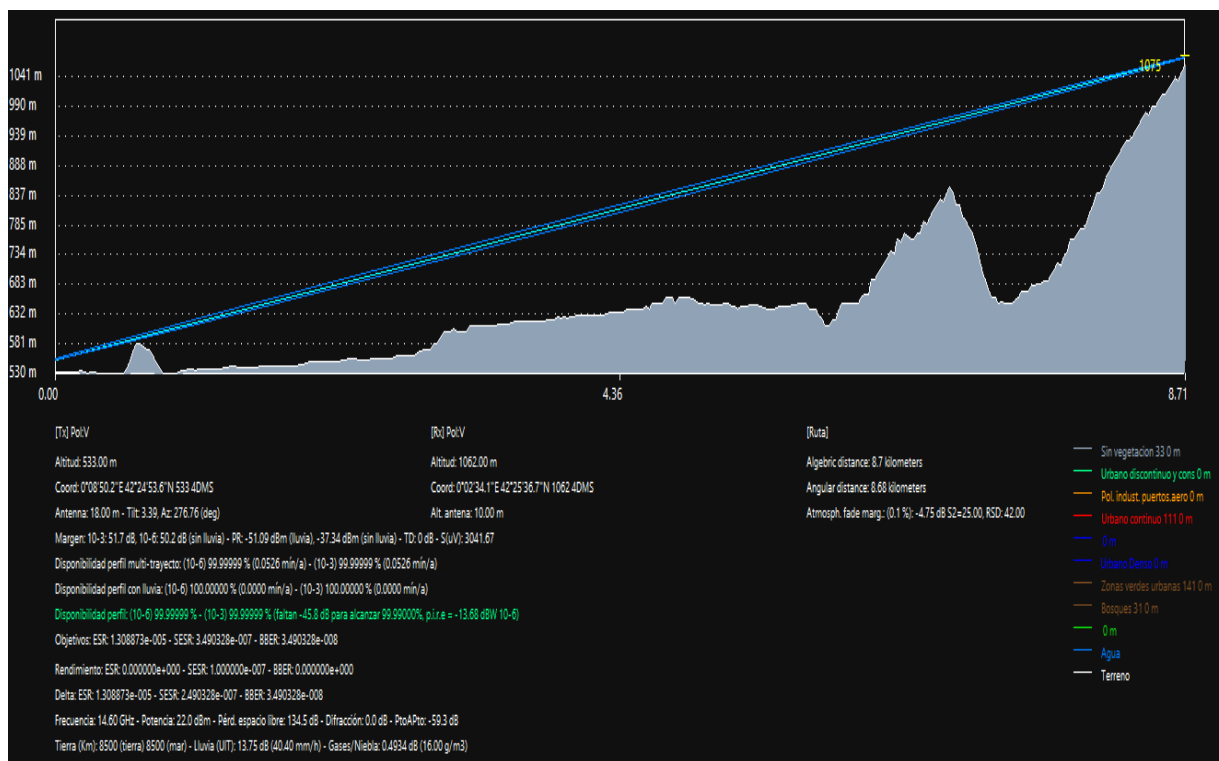
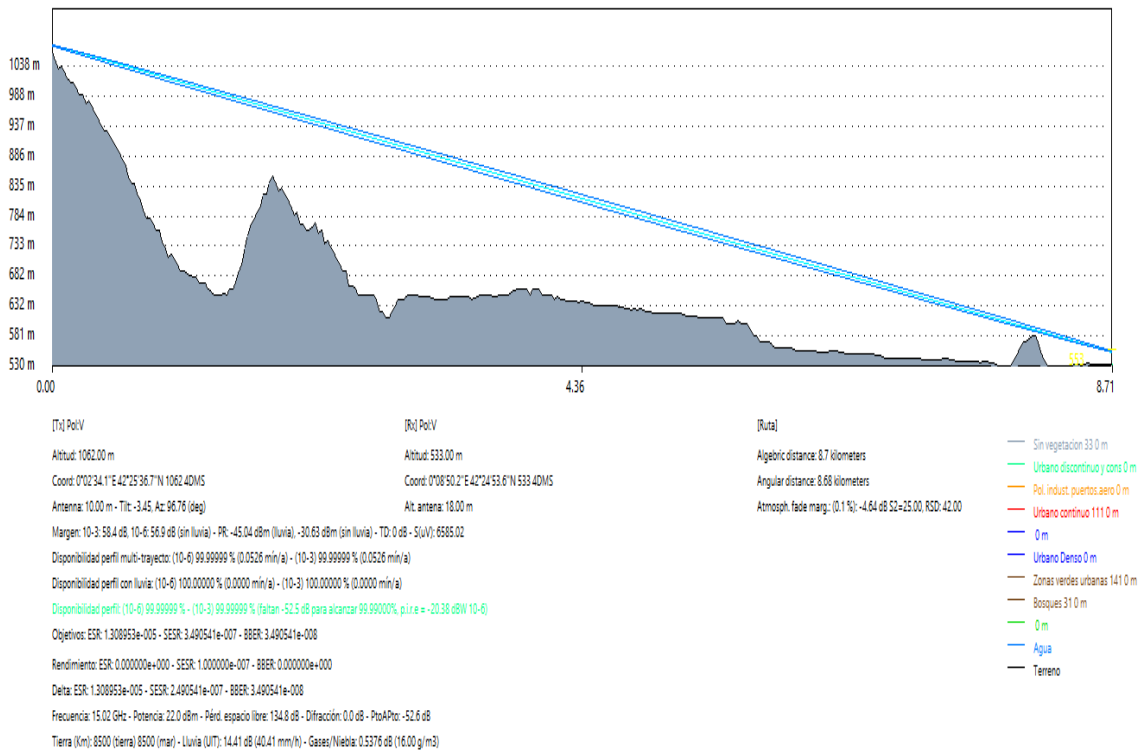


Figura 3.13: Radioenlace Boltaña - Aínsa

**Figura 3.14: Radioenlace Boltaña - Bielsa**

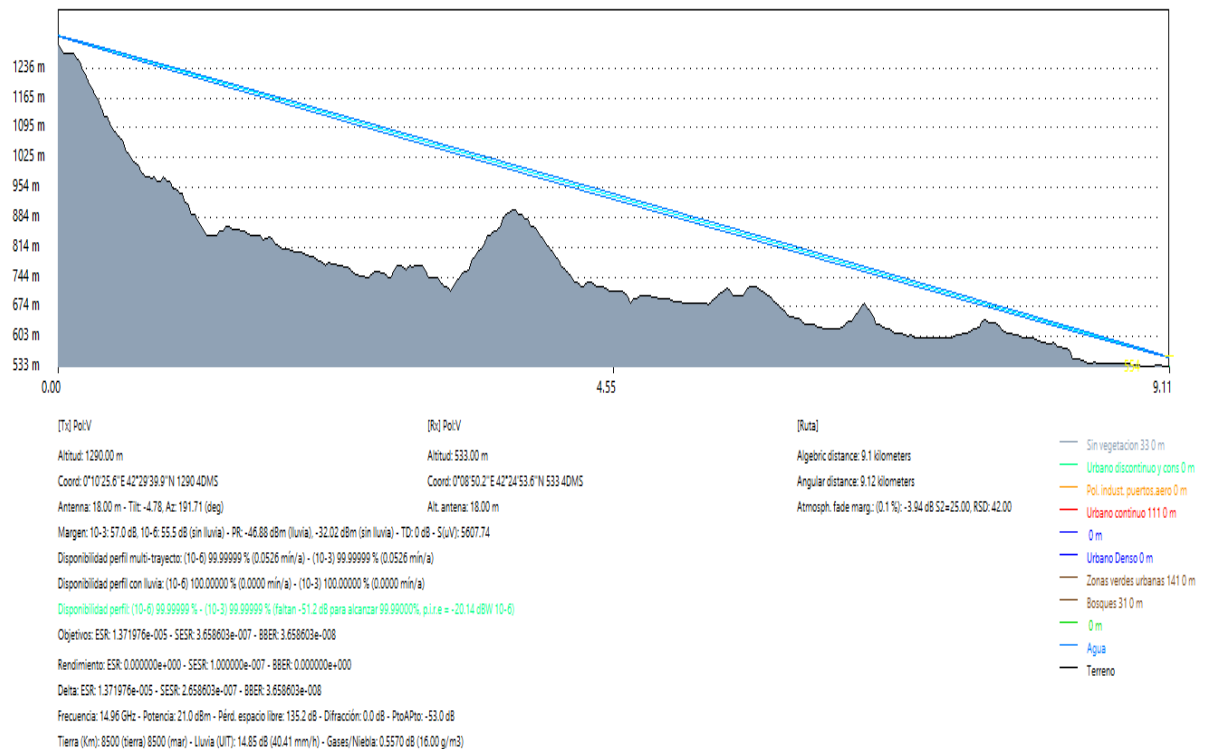
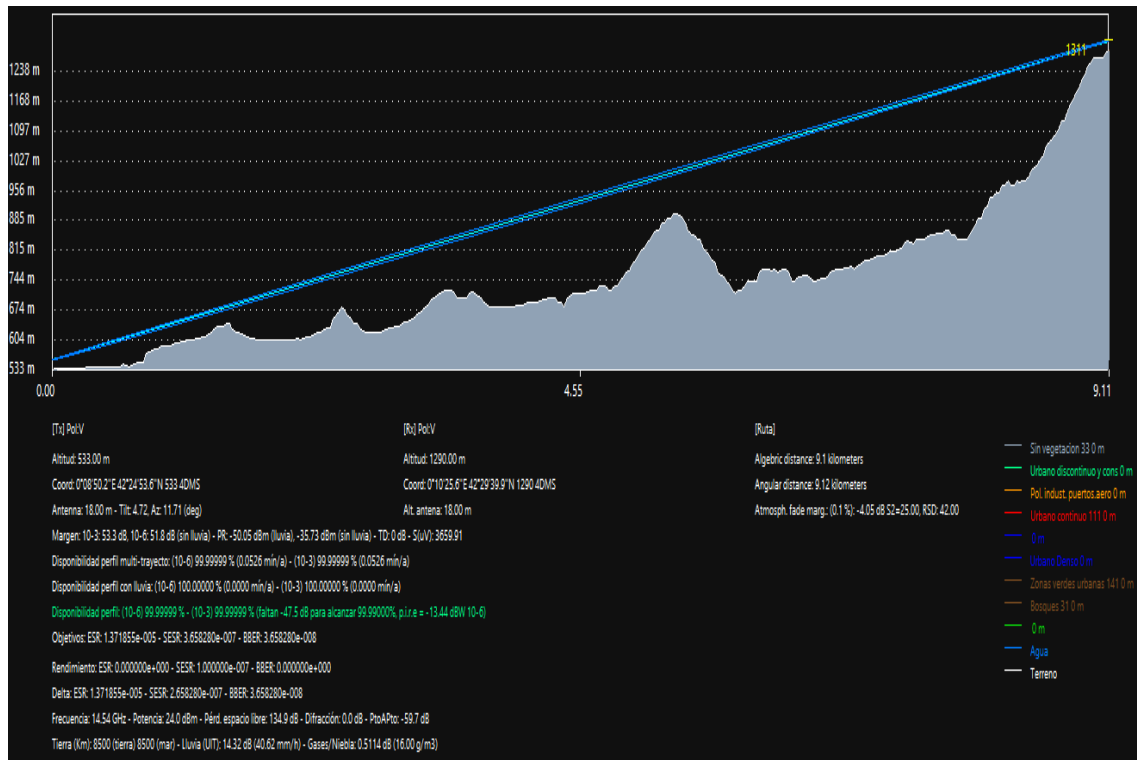


Figura 3.15: Radioenlace Ainsa - Laspuña

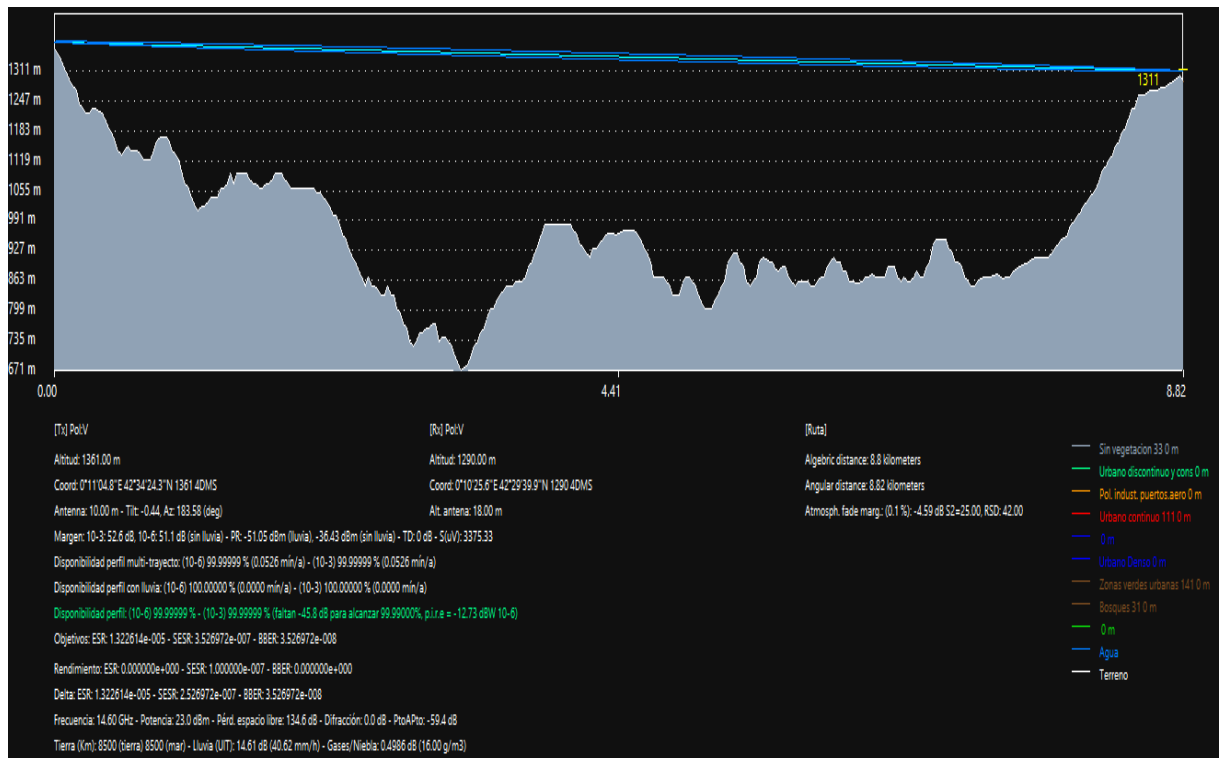
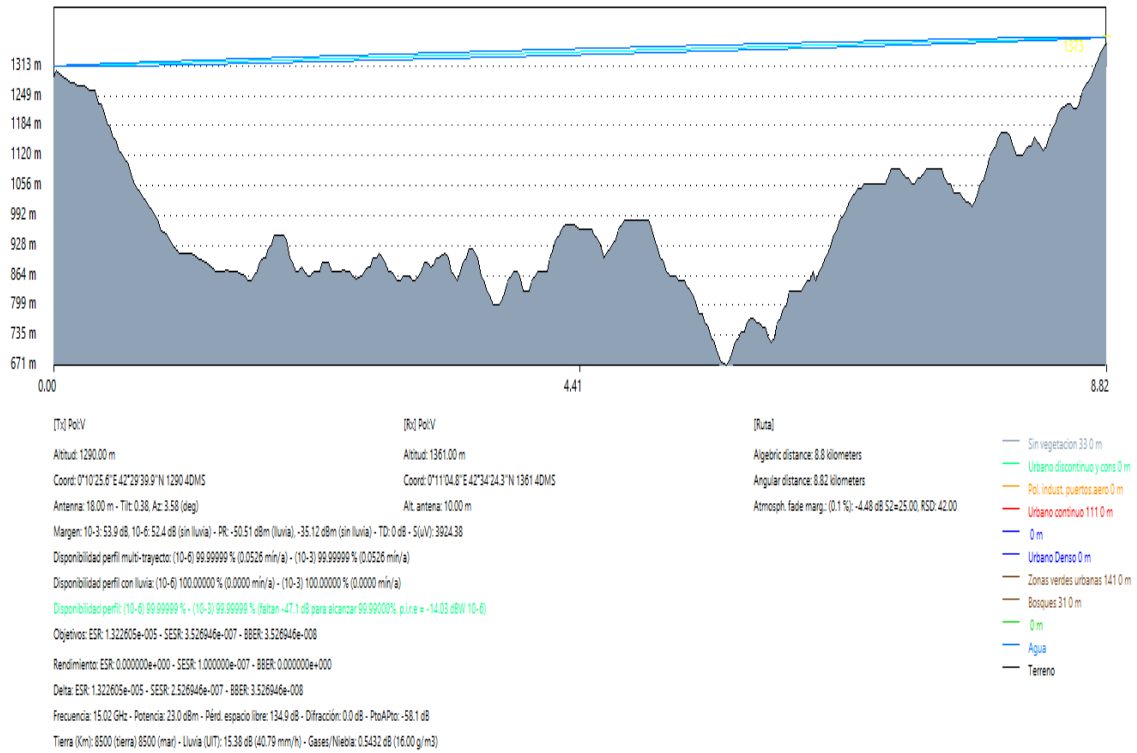


Figura 3.16: Radioenlace Laspuña - Tella



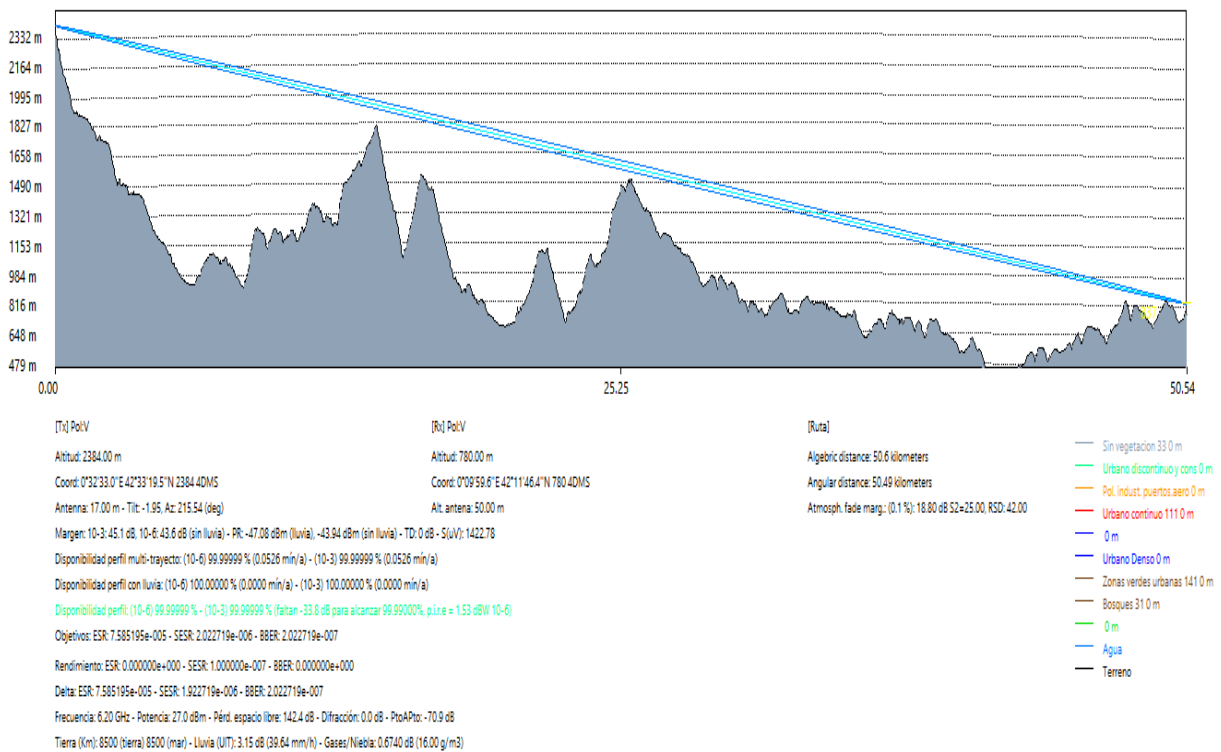
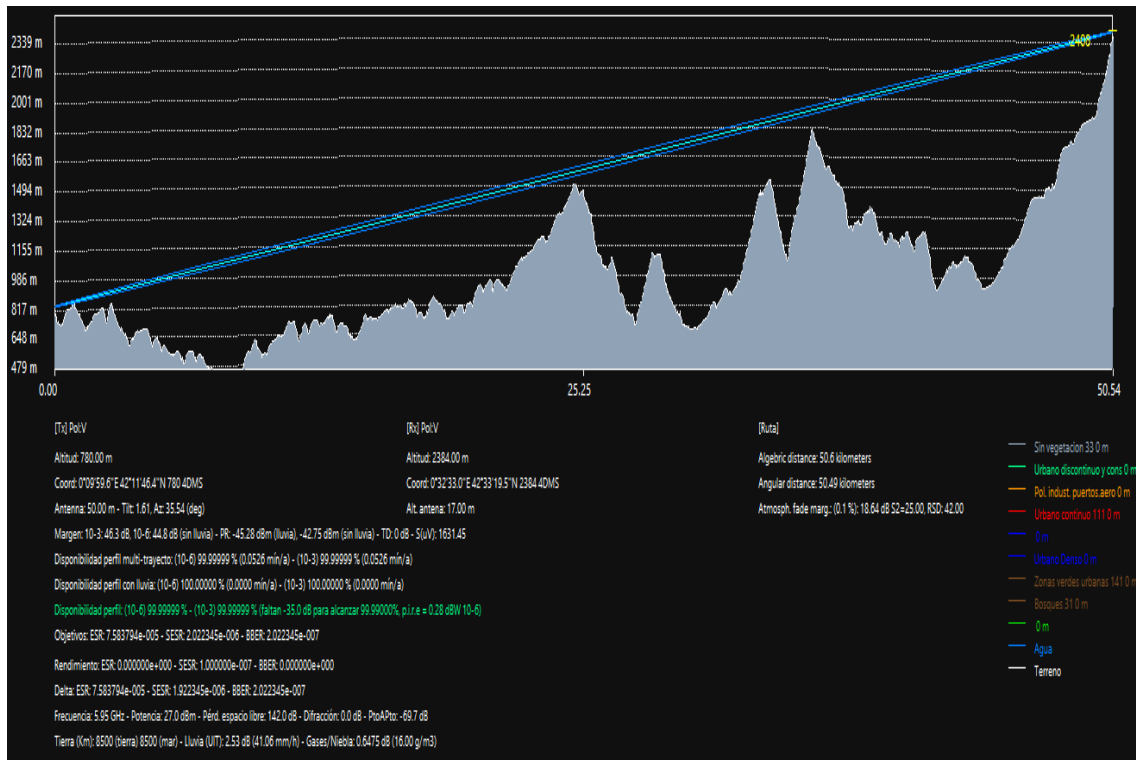


Figura 3.17: Radioenlace Naval - Cerler Cogulla

CAPÍTULO 3. SIMULACIONES DE RADIOENLACES

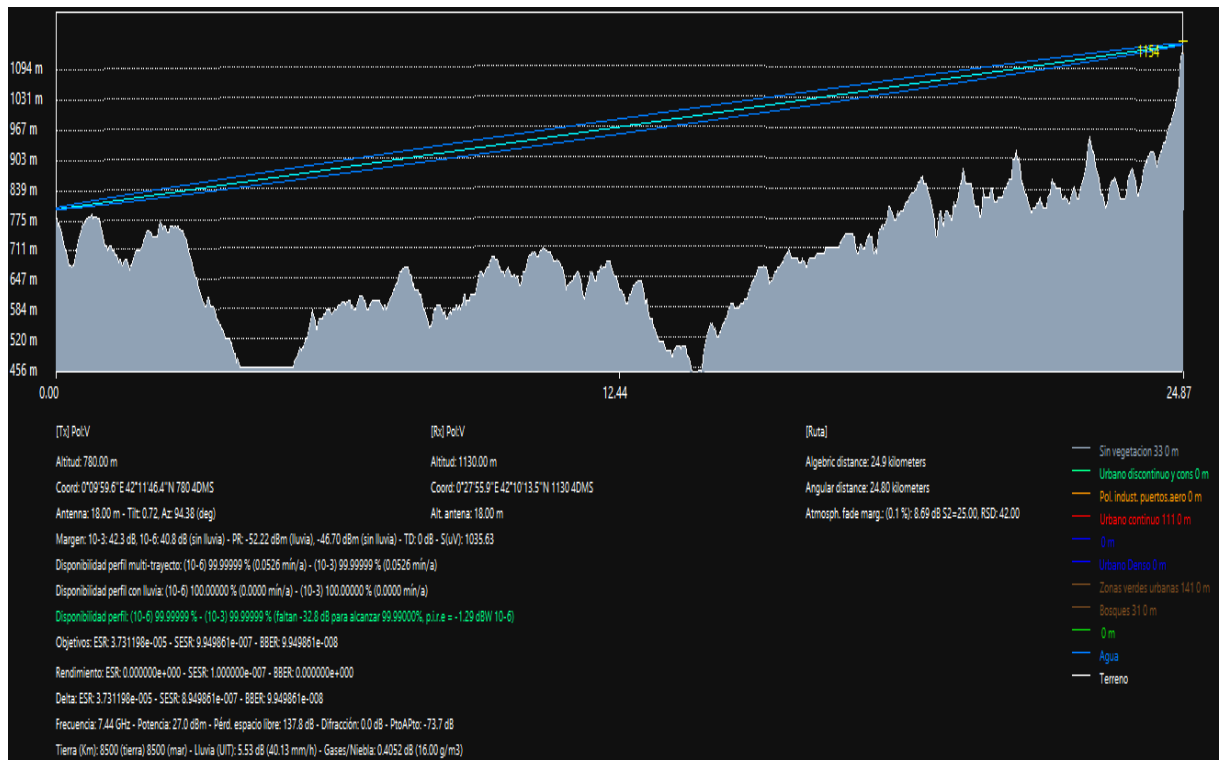
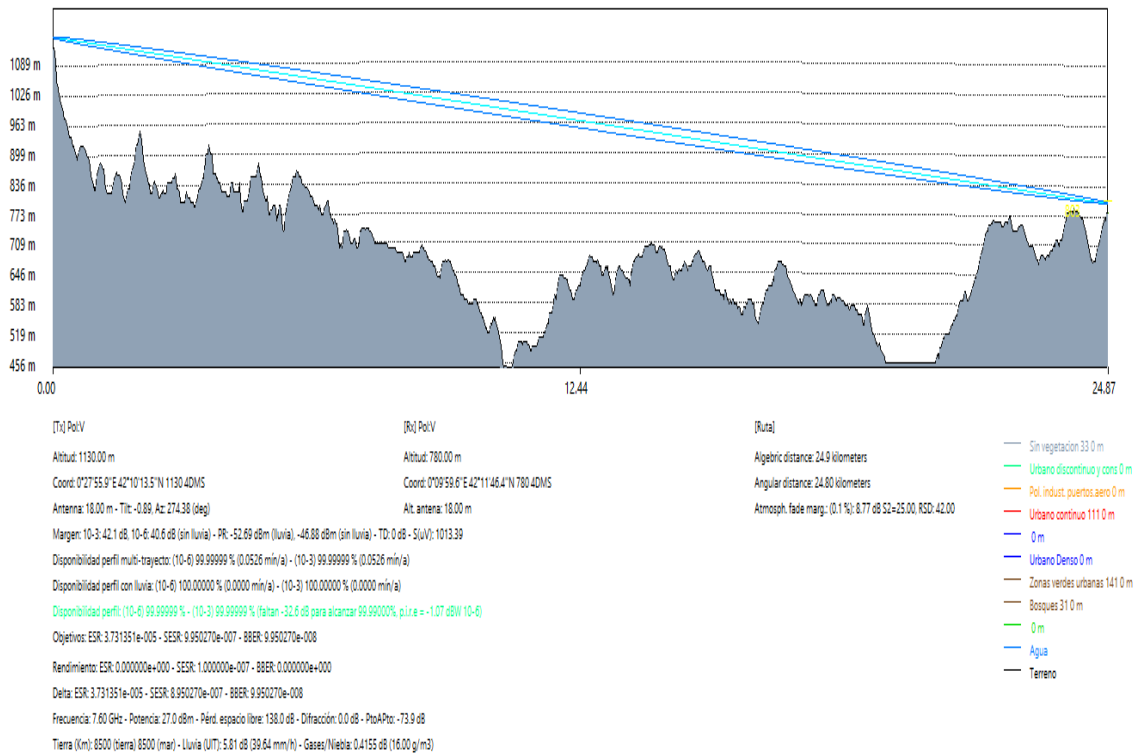


Figura 3.18: Radioenlace Naval - Graus

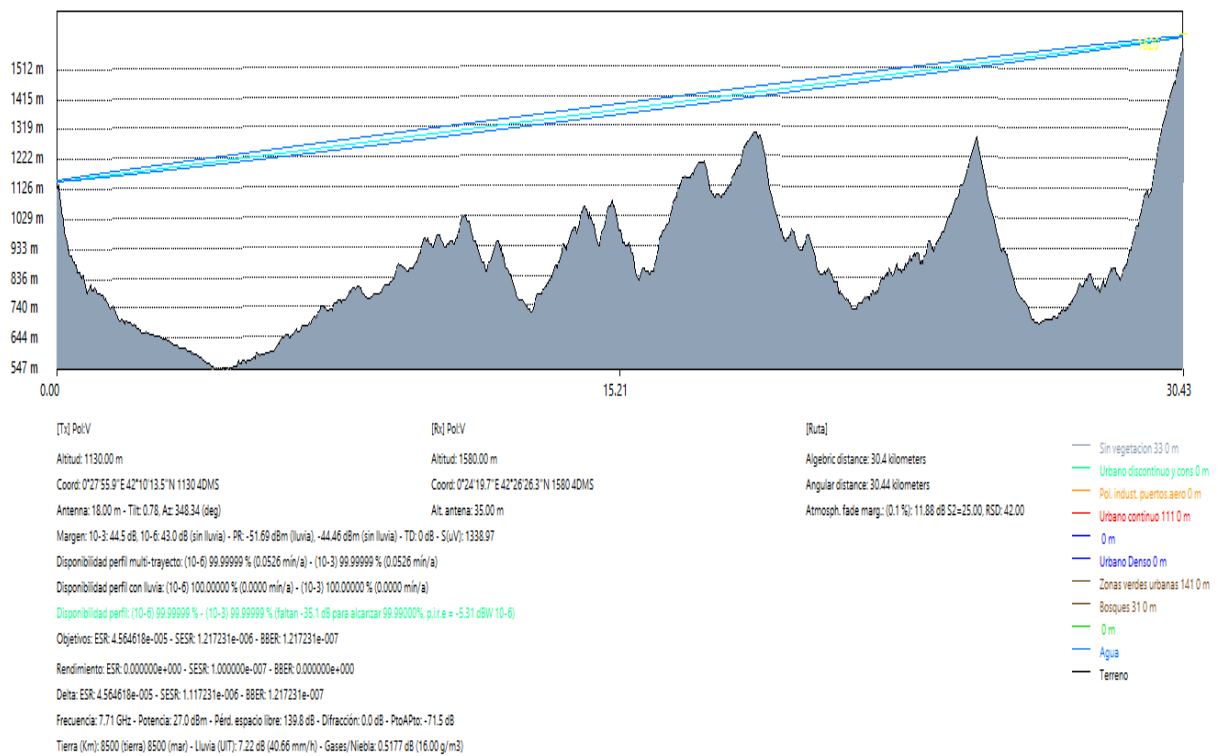
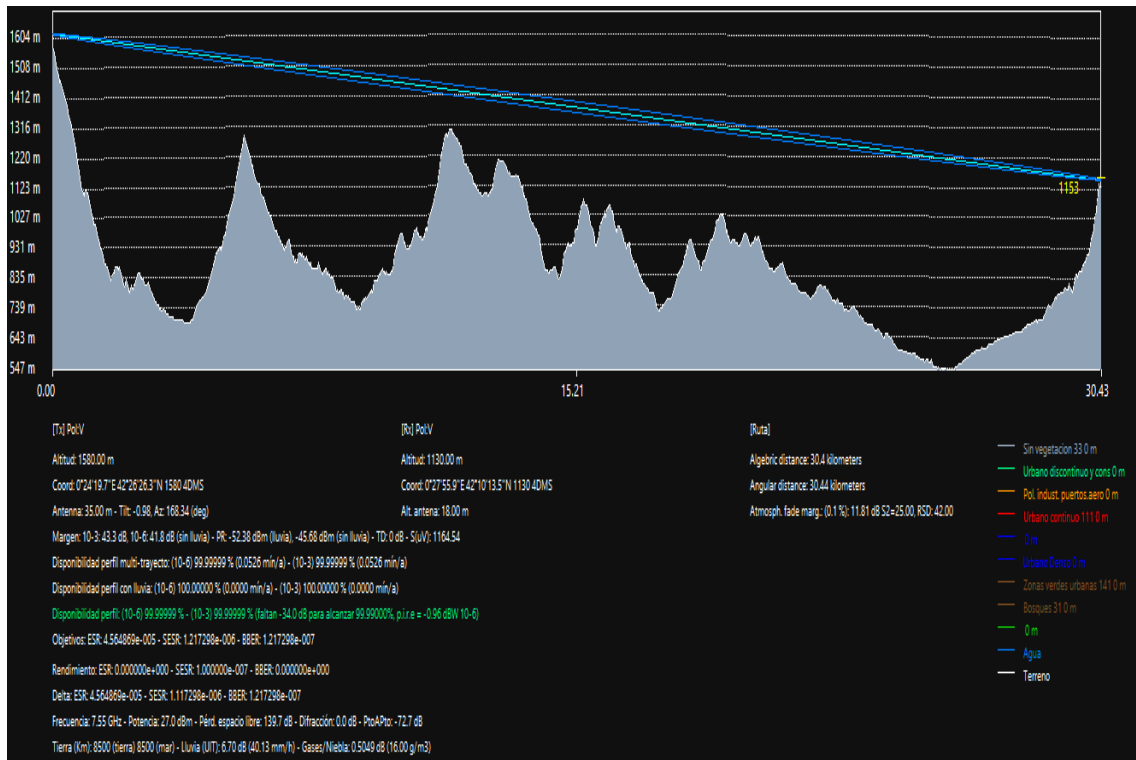


Figura 3.19: Radioenlace Graus - Campo

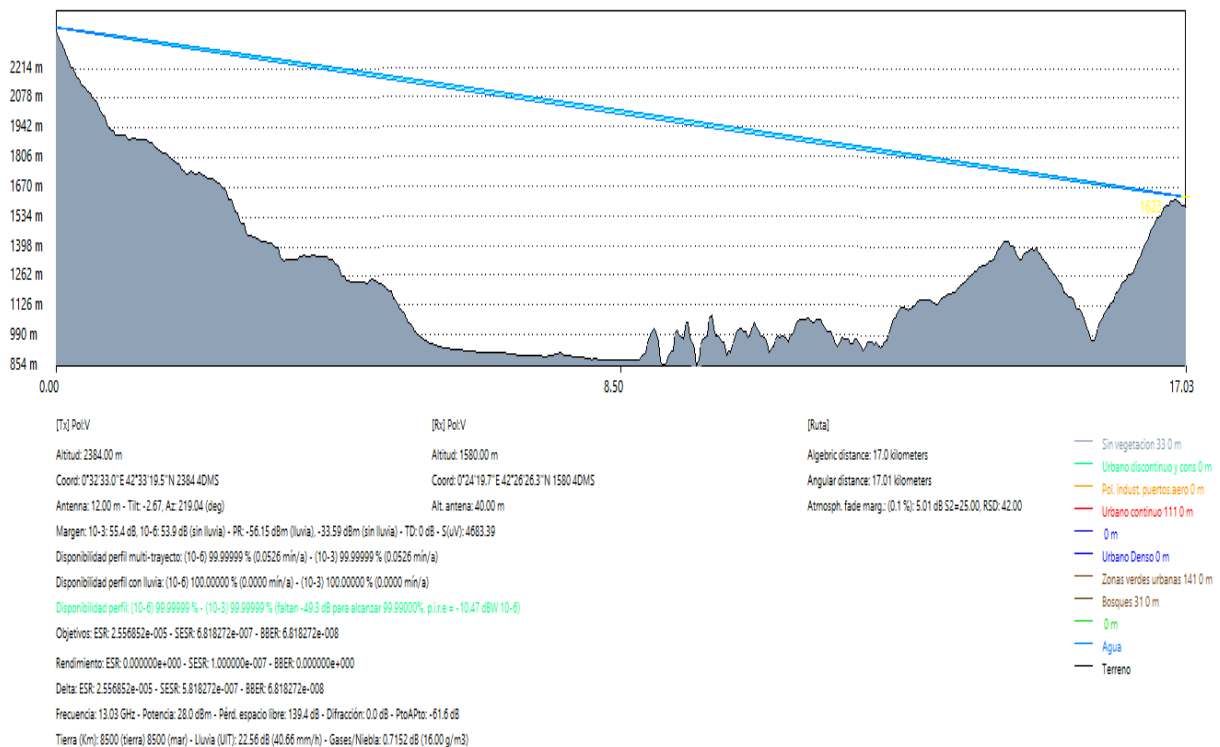
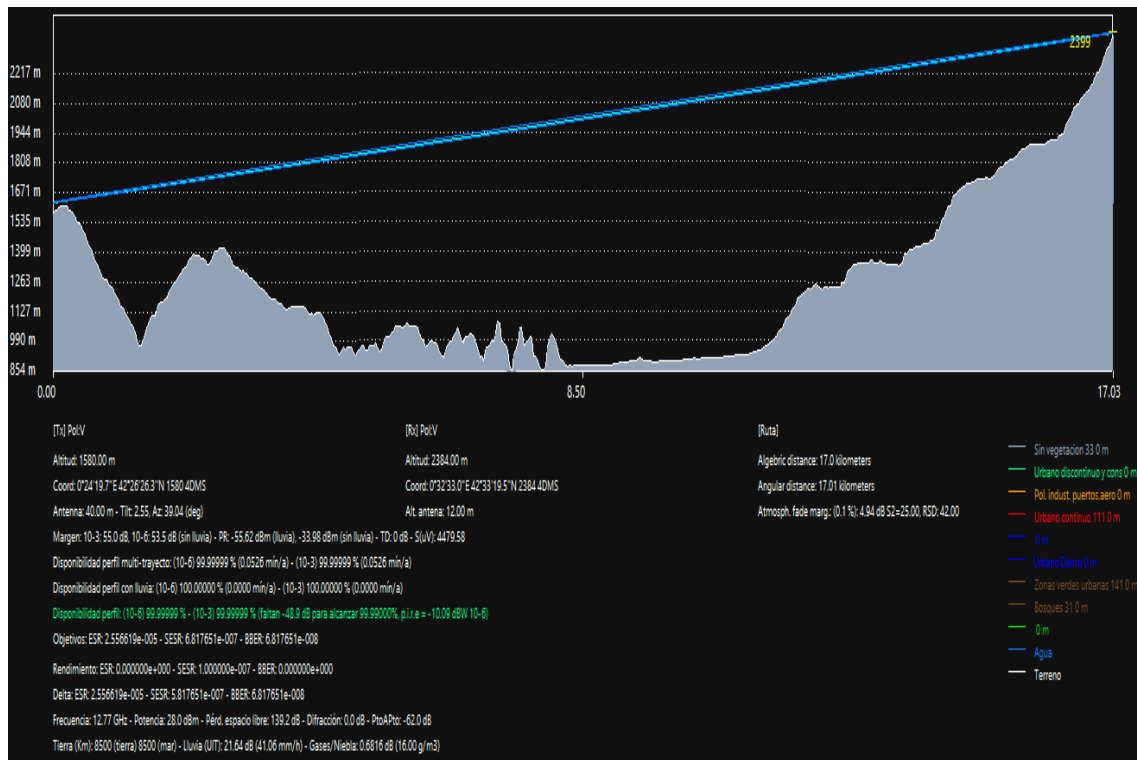


Figura 3.20: Radioenlace Cerler Cogulla - Campo

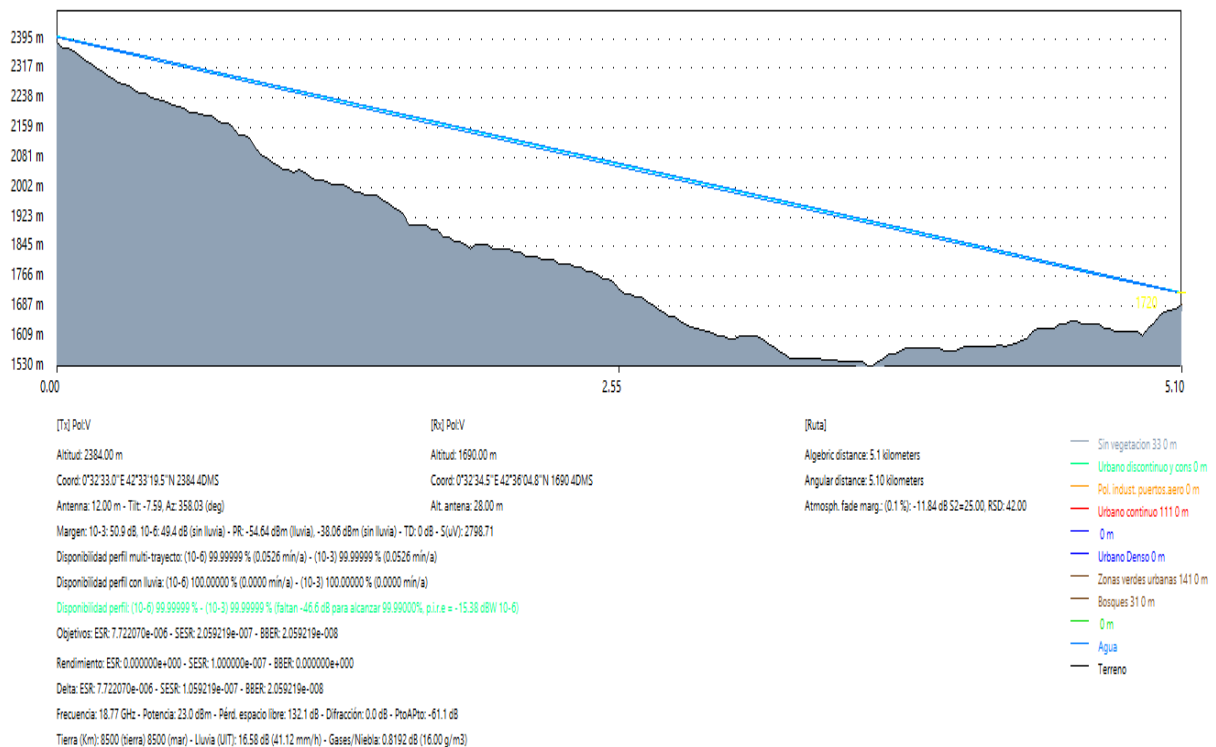
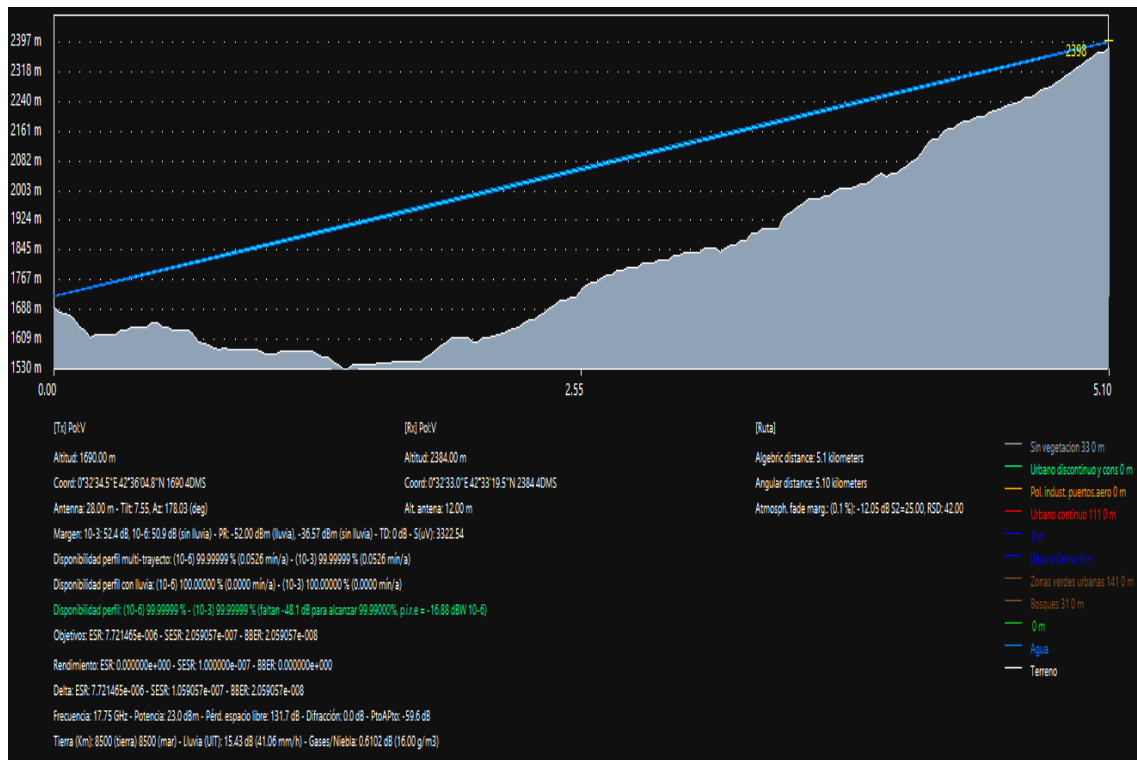


Figura 3.21: Radioenlace Cascada de Ardonés - Cerler Cogulla



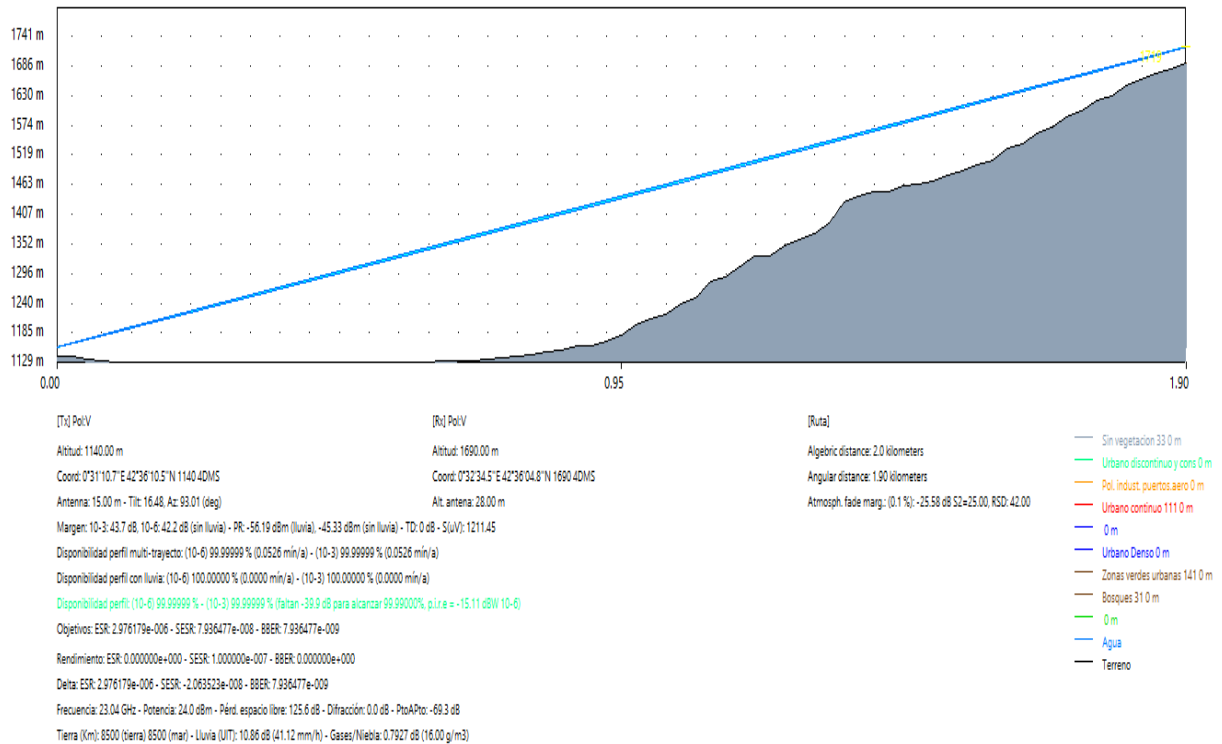
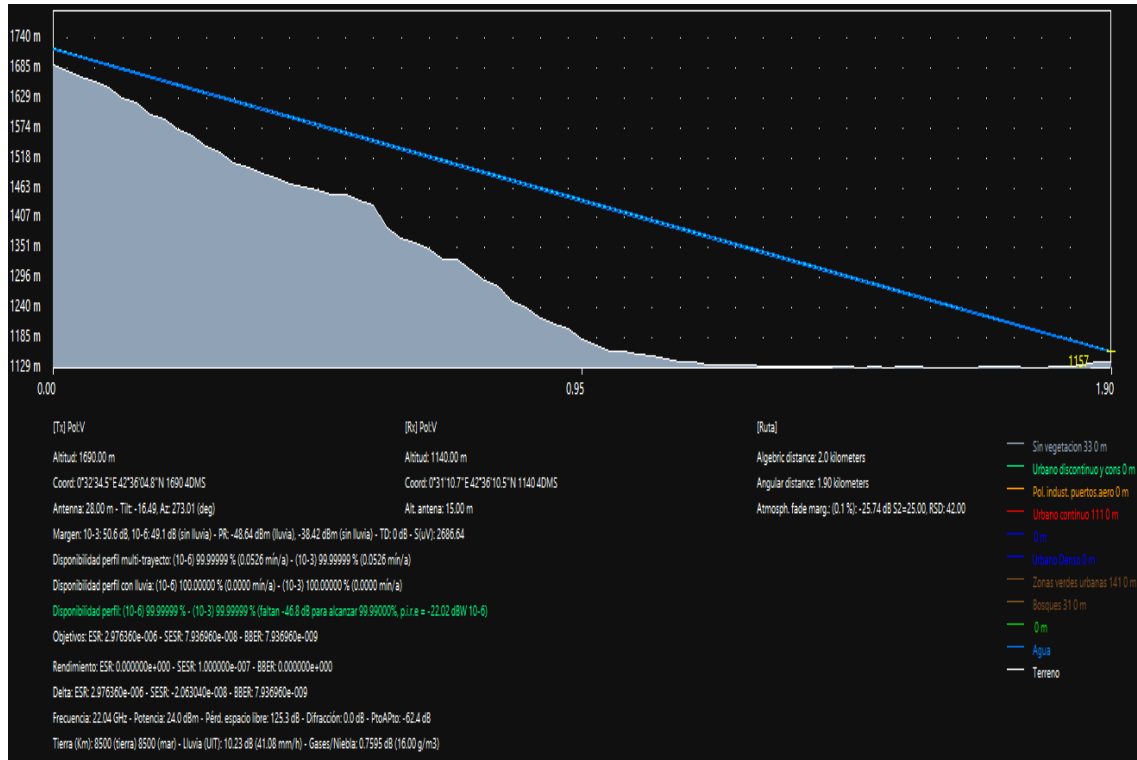


Figura 3.22: Radioenlace Cascada de Ardonés - Bensaque

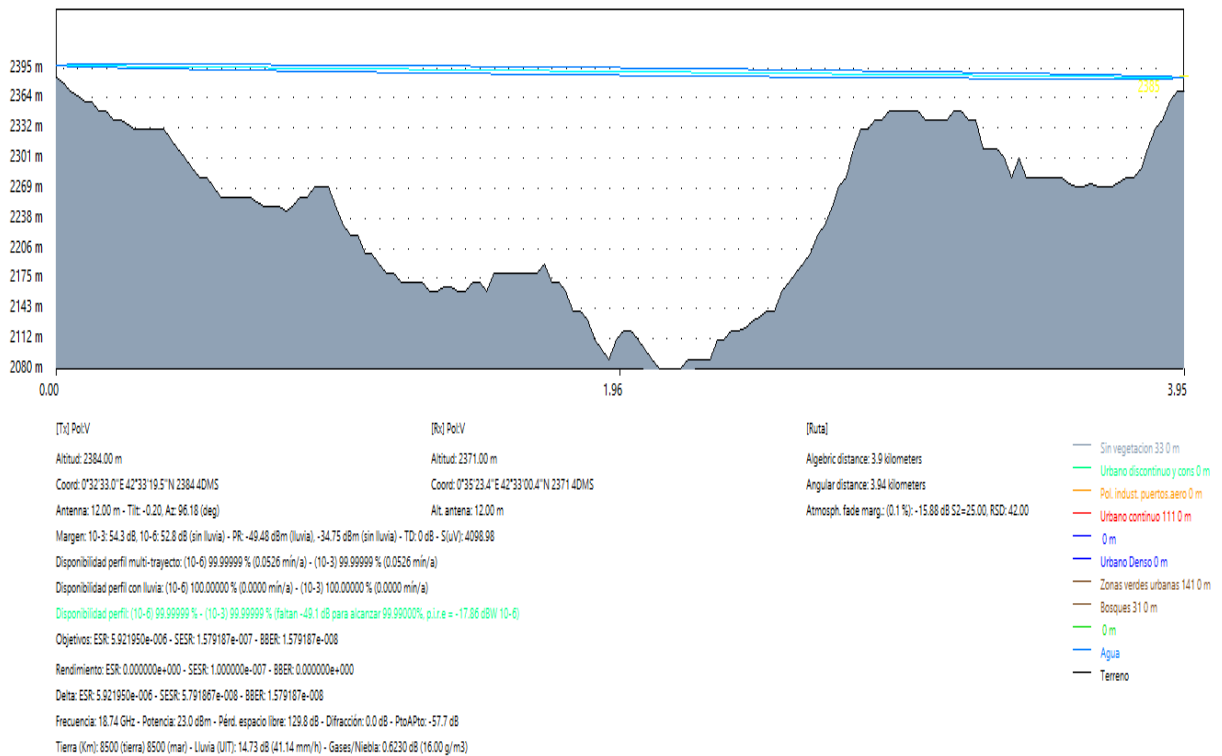


Figura 3.23: Radioenlace Cerler Cogulla - Cerler Collado Basibé

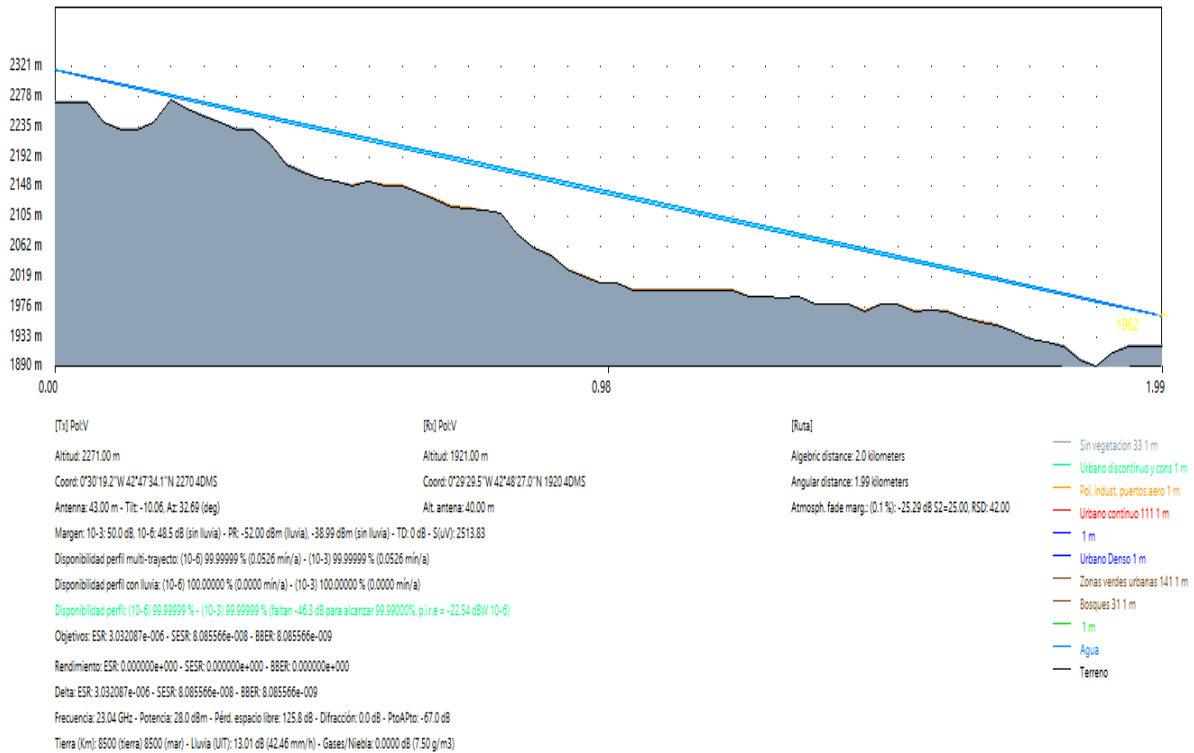
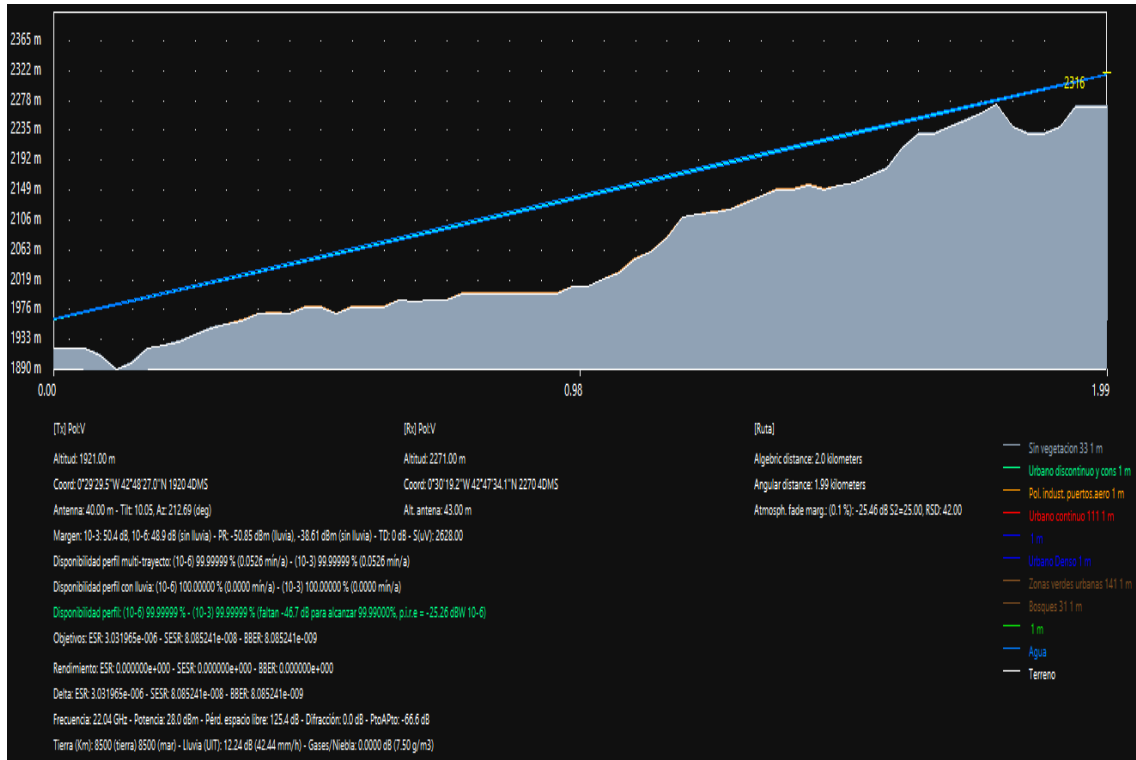


Figura 3.24: Radioenlace Canfranc - Astun

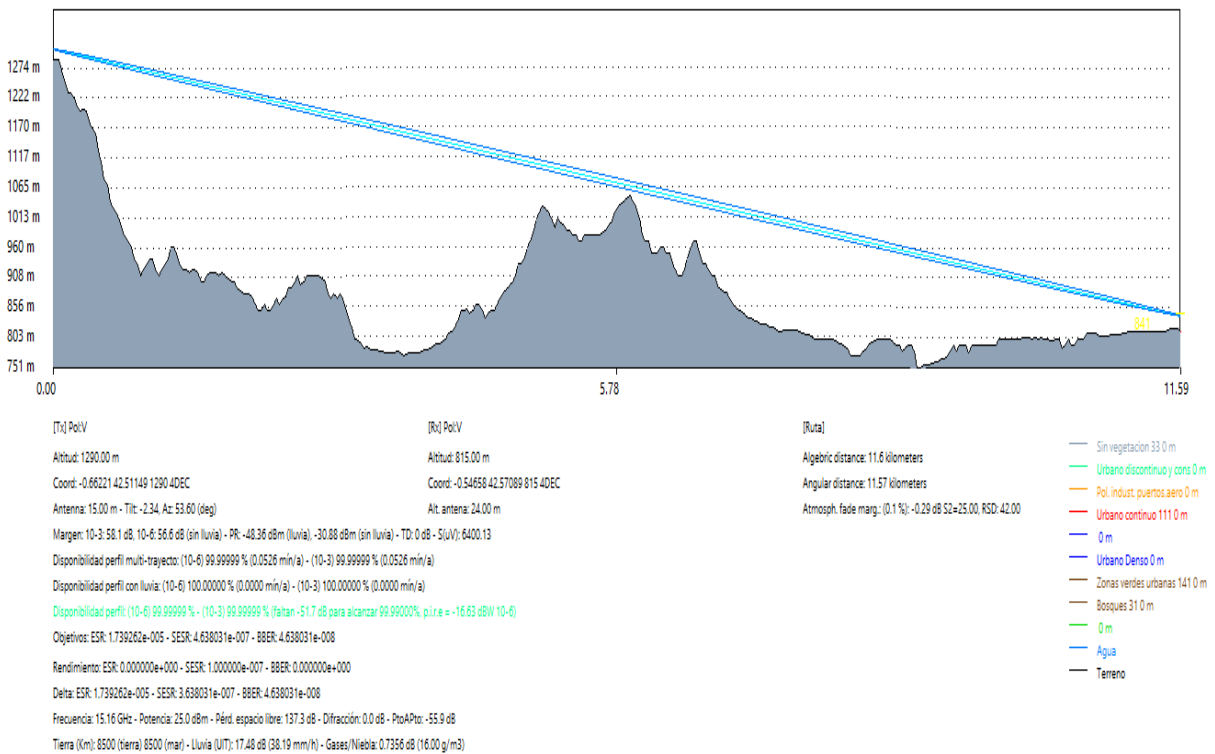
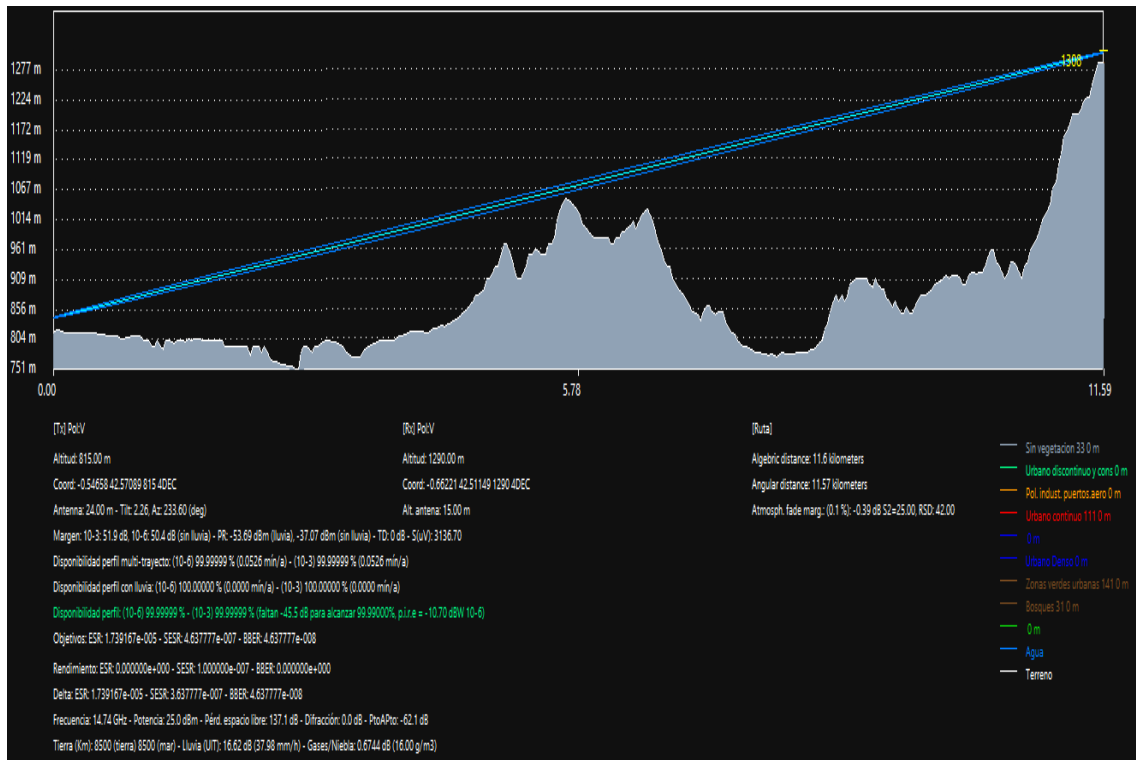


Figura 3.25: Radioenlace Jaca - San Juan de la Peña

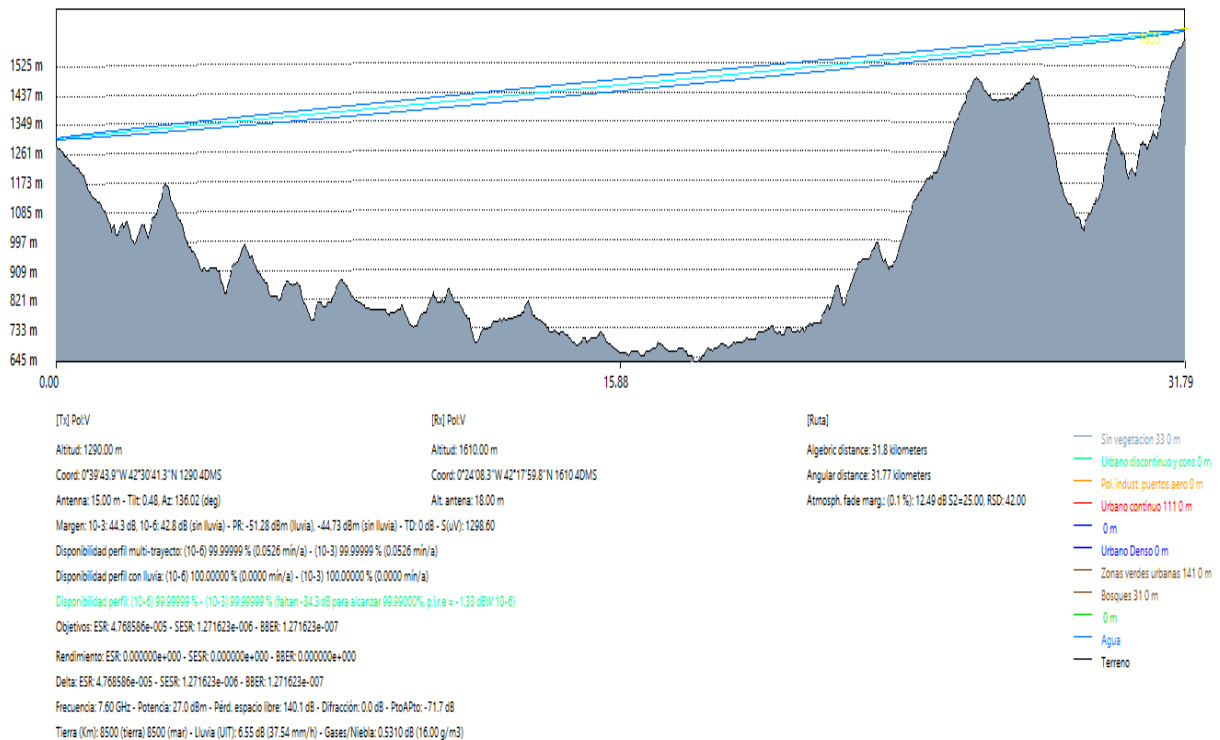
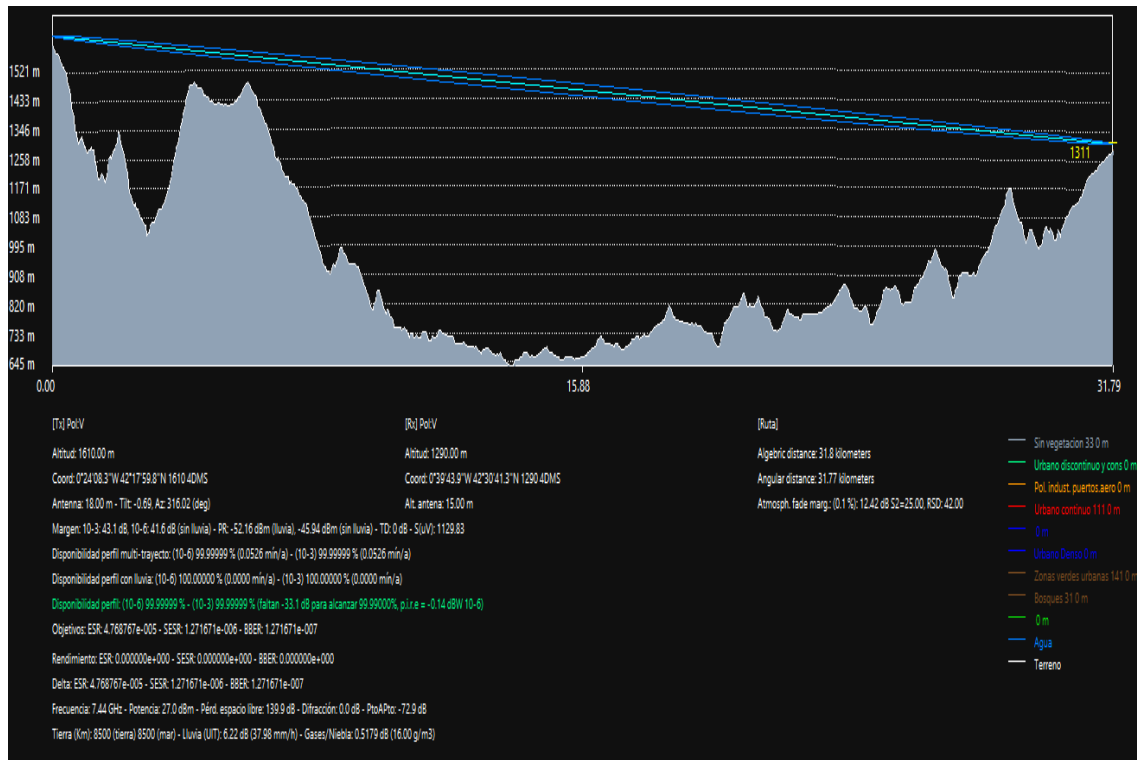


Figura 3.26: Radioenlace San Juan de la Peña - Arguís



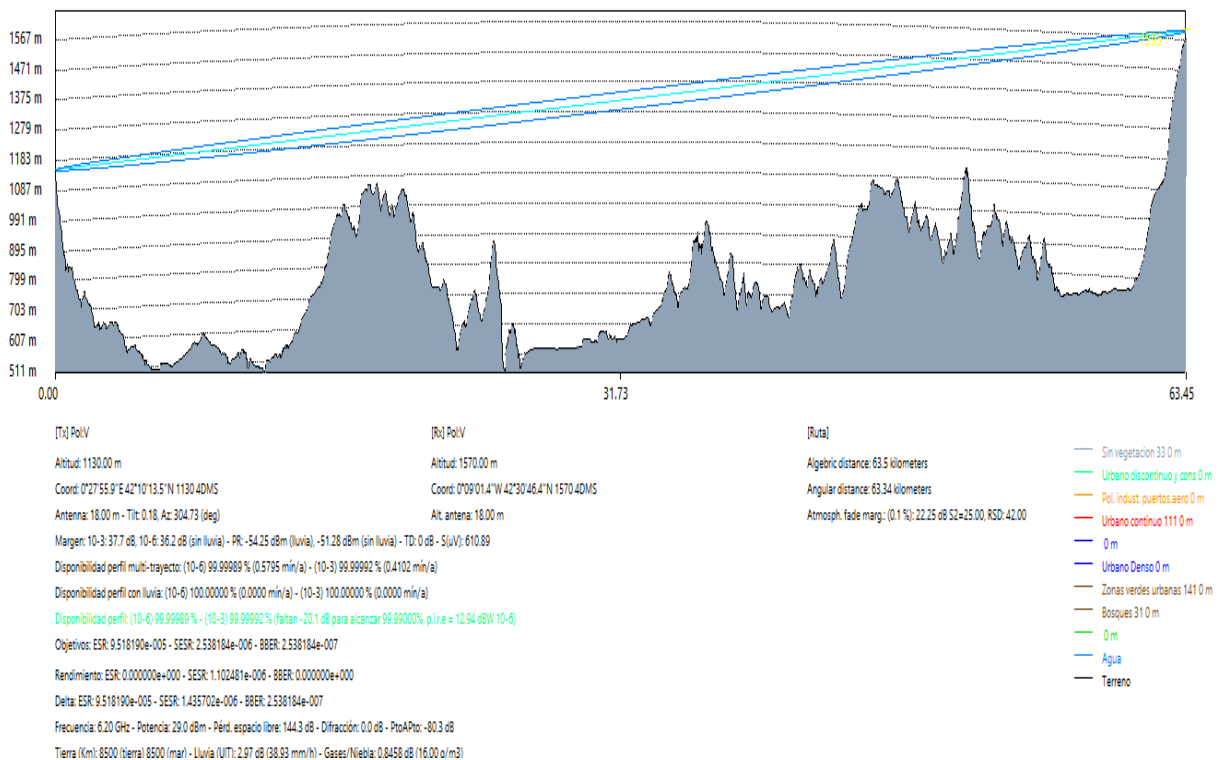
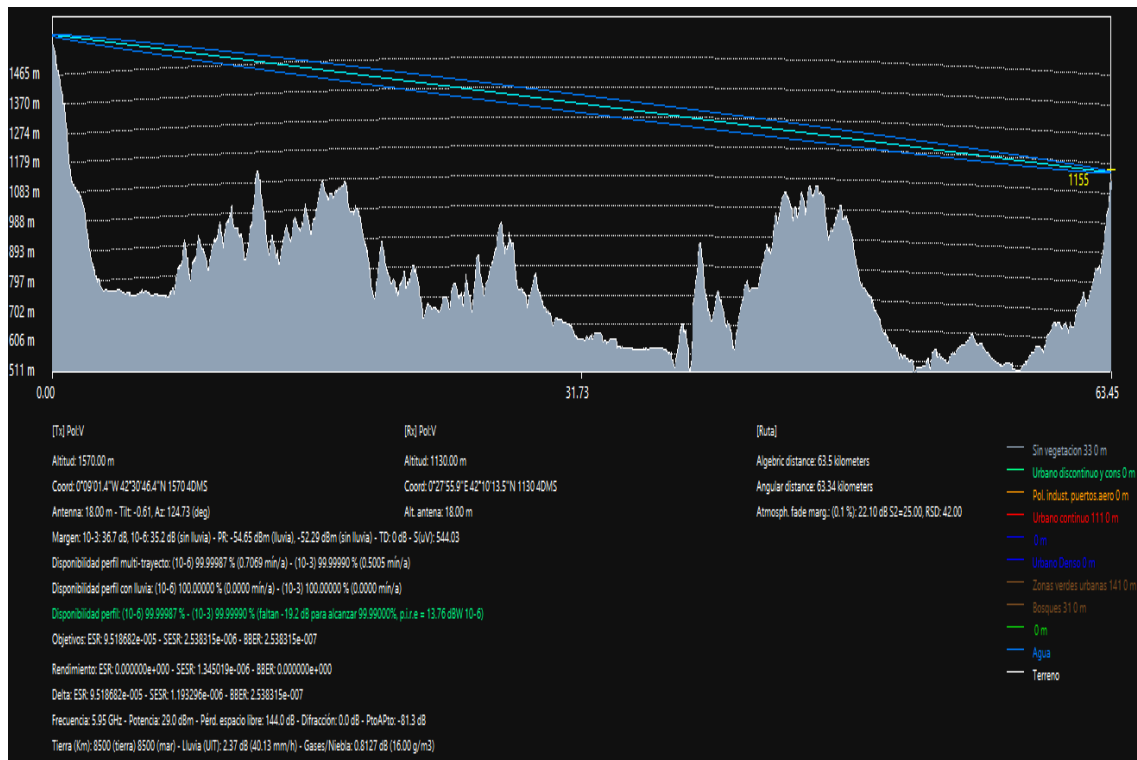


Figura 3.27: Radioenlace Fiscal Telefónica - Graus

CAPÍTULO 3. SIMULACIONES DE RADIOENLACES

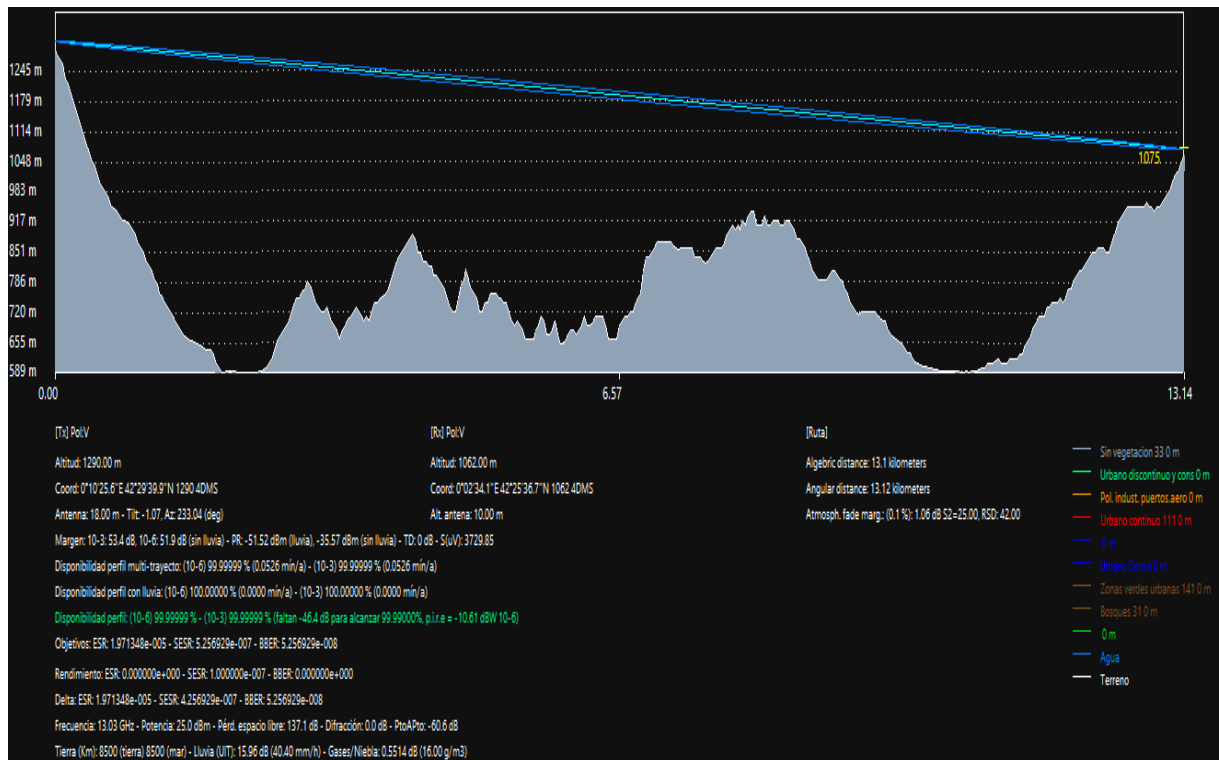
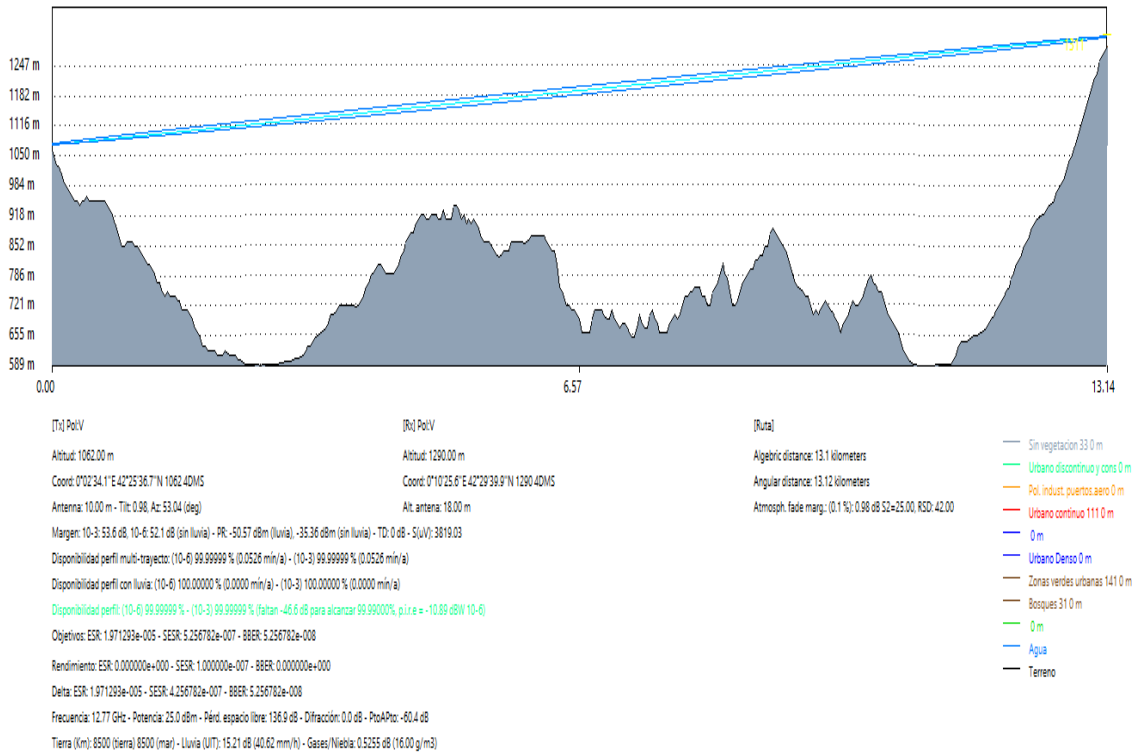


Figura 3.28: Radioenlace Boltaña - Laspuña

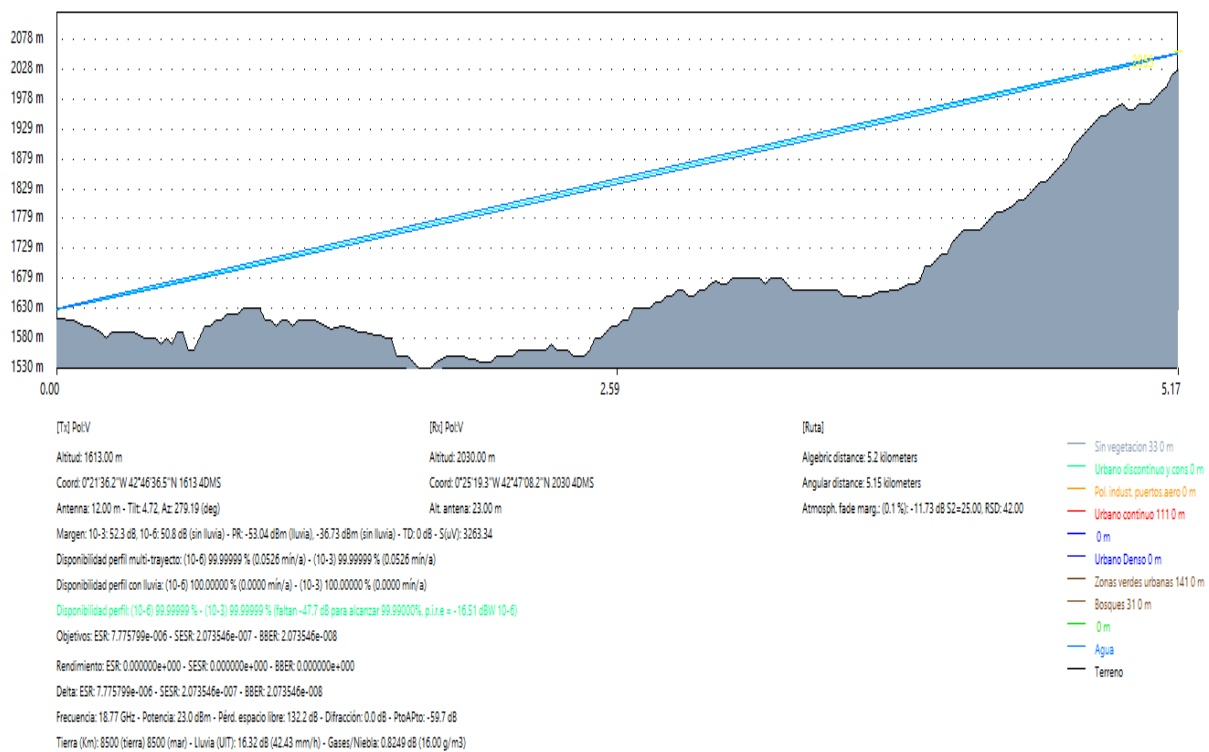
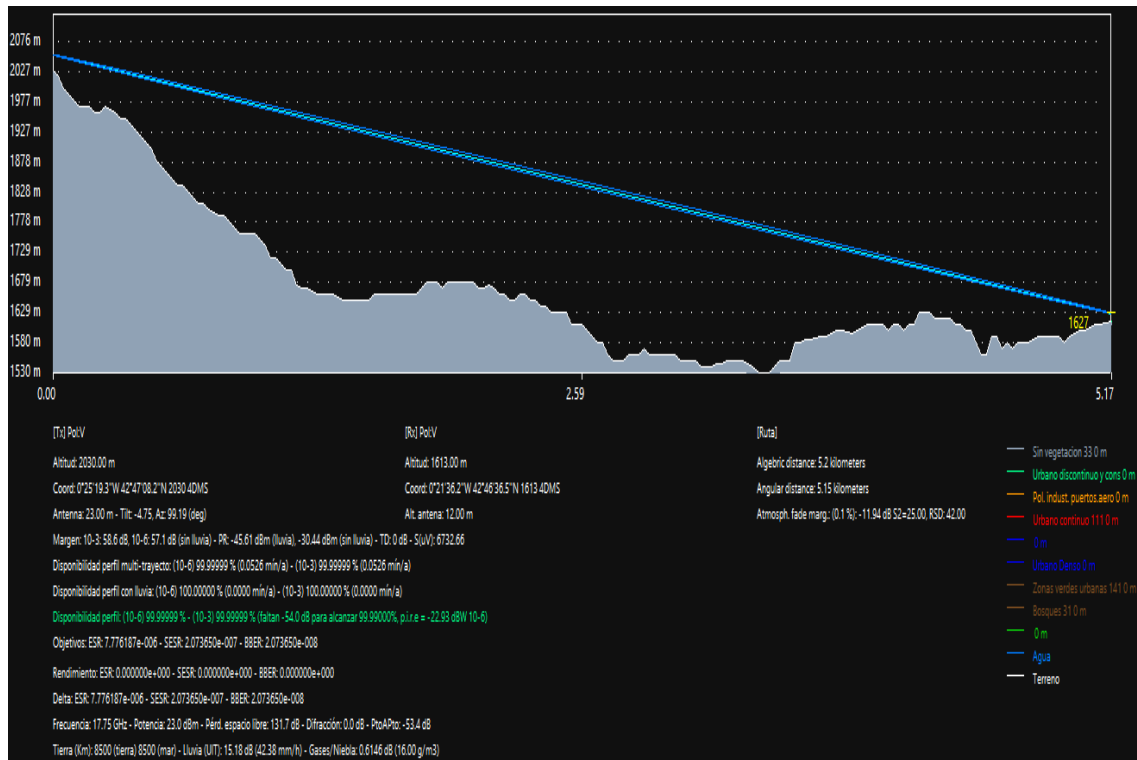


Figura 3.29: Radioenlace Formigal - Formigal Anayet

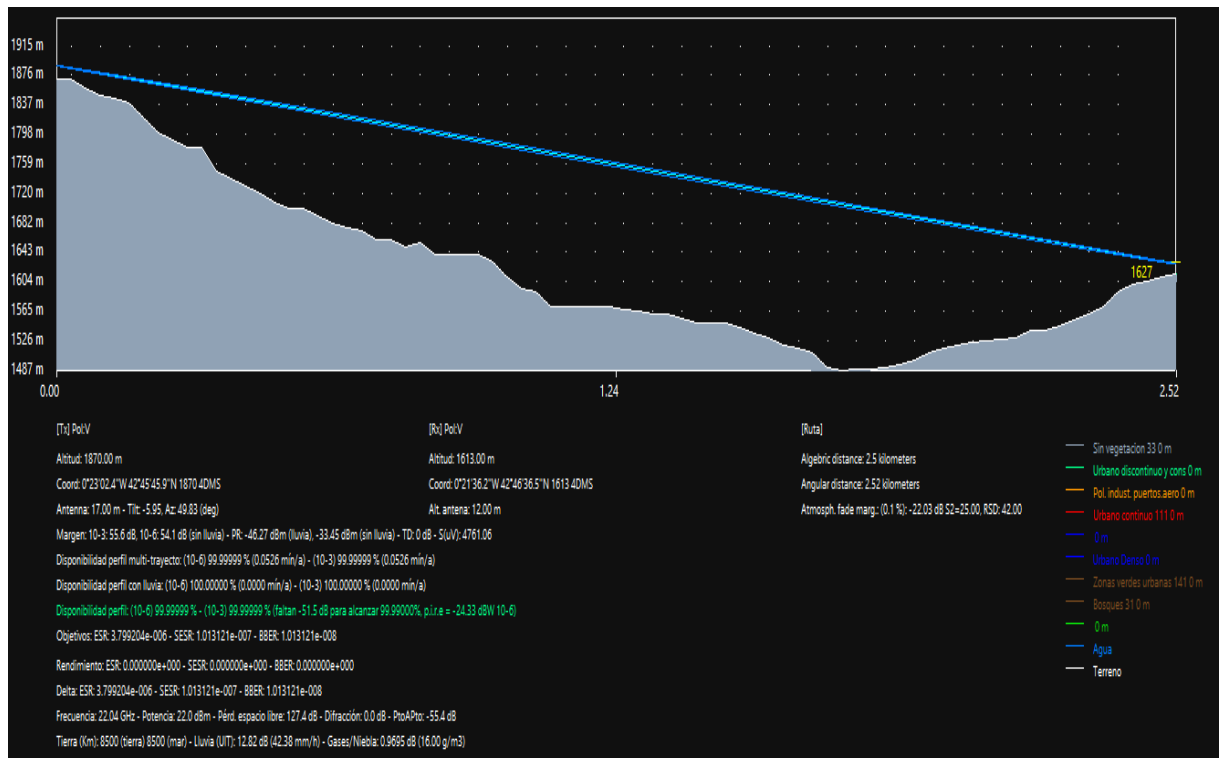
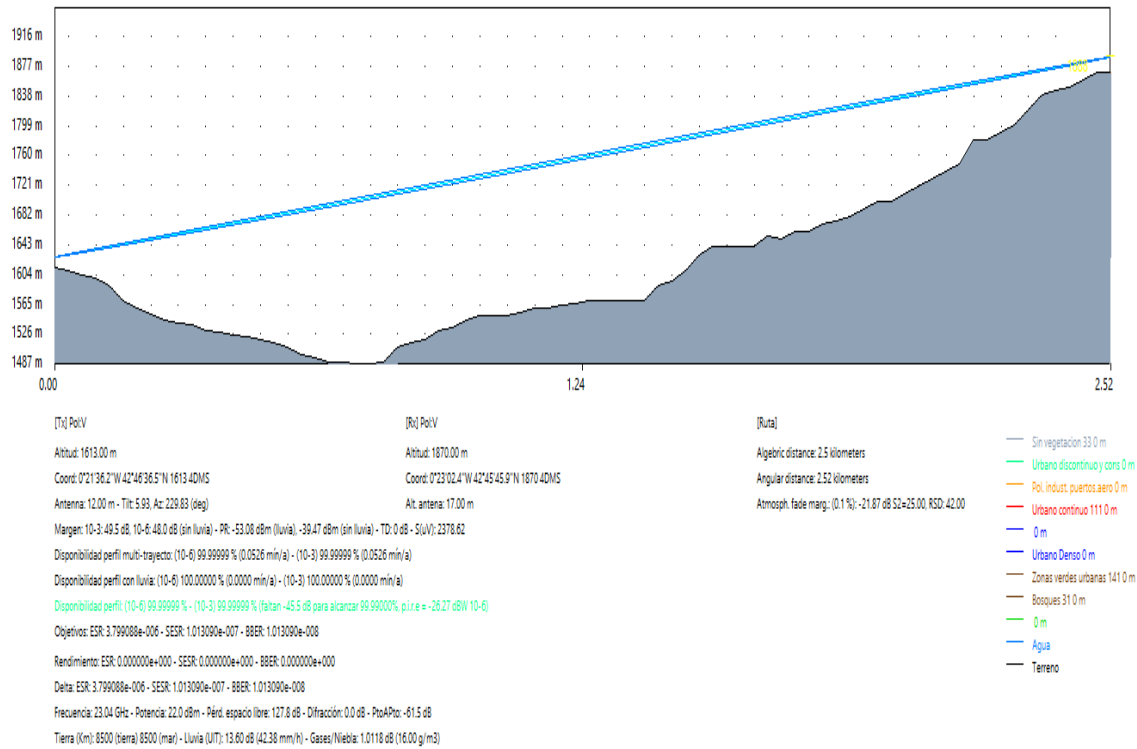
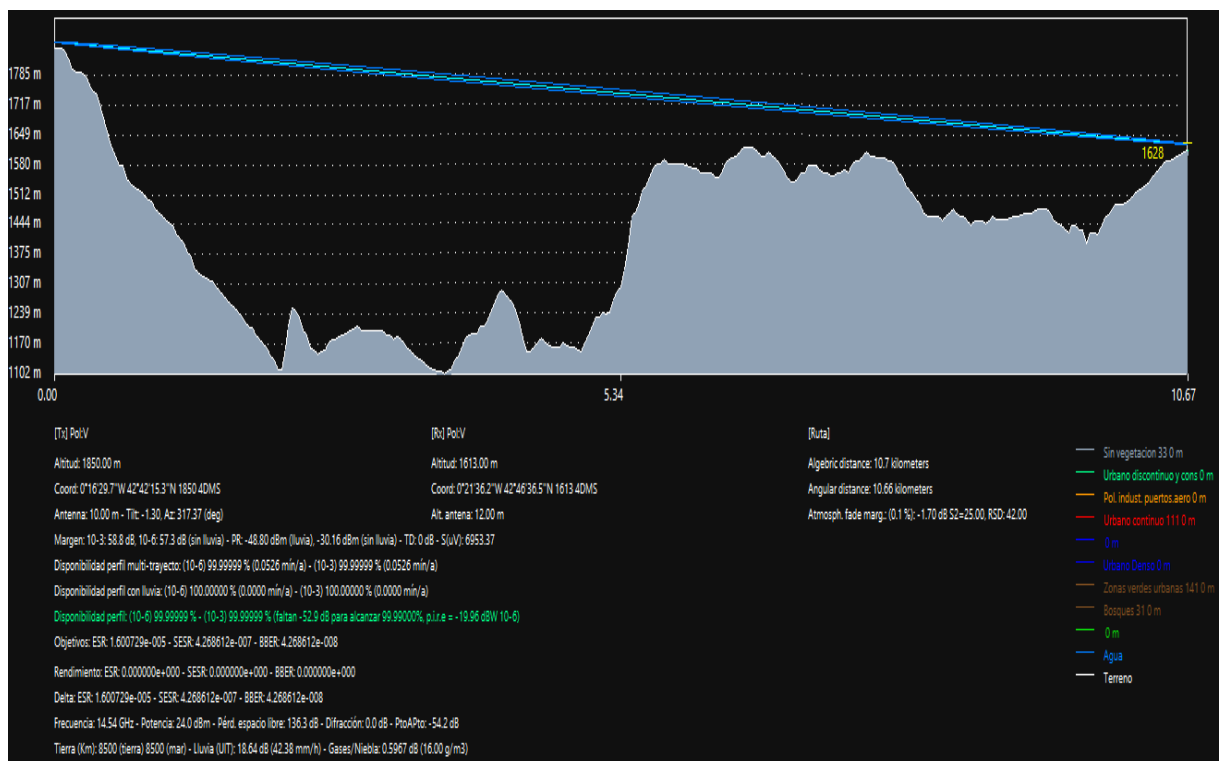
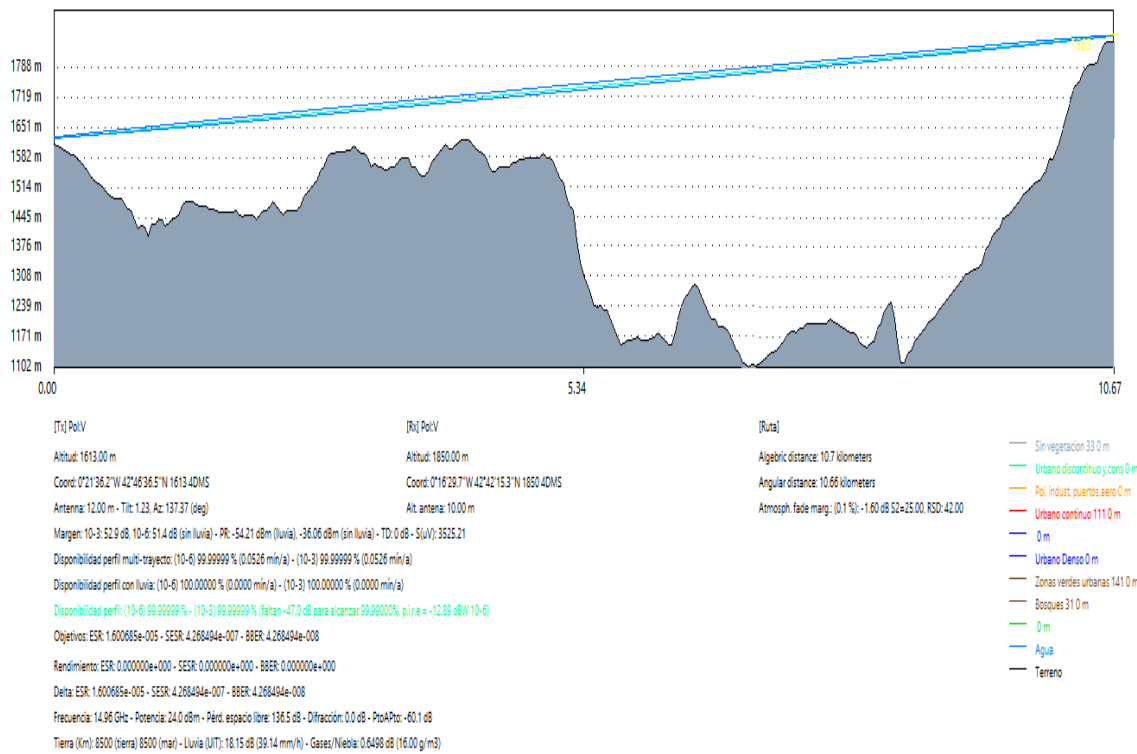


Figura 3.30: Radioenlace Formigal Sarríos - Formigal

### CAPÍTULO 3. SIMULACIONES DE RADIOENLACES



**Figura 3.31: Radioenlace Formigal - Panticosa Petrosos**