

**DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN DE RESPALDO PARA UN SISTEMA
DE COMUNICACIÓN SATELITAL ENTRE EL TIGRE-SAN JOSÉ Y ENTRE EL
TIGRE-CARIMAGUA EN LA AERONÁUTICA CIVIL REGIONAL META**

Autor

JHONATAN MILTON MURILLO BORJA

Director

EDWIN MAURICIO SEQUEDA ARENAS

Título académico

Ing. ELECTRÓNICO

**INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA, SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES (DEEST)
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, agosto de 2018

DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN DE RESPALDO PARA UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN SATELITAL ENTRE EL TIGRE-SAN JOSÉ Y ENTRE EL TIGRE-CARIMAGUA EN LA AERONÁUTICA CIVIL REGIONAL META

JHONATAN MILTON MURILLO BORJA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

Director: EDWIN MAURICIO SEQUEDA ARENAS

Ingeniero Electrónico

ingmsequeda@unipamplona.edu.co

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, ELÉCTRICA, SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES (DEEST)

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, agosto de 2018

Dedicatoria

A mi familia, especialmente a mi madre.

Jhonatan

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el constante apoyo.

A los profesores por sus enseñanzas y consejos.

A los compañeros y amigos que siempre estuvieron presentes.

A la Aeronáutica Civil y sus funcionarios por la oportunidad y la confianza.

Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1. PRELIMINARES.....	16
1.1. PROBLEMA	17
1.2. JUSTIFICACIÓN	18
1.3. DELIMITACIÓN	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.3.3. ACOTACIONES.....	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. CONCEPTOS	21
2.1.1. ONDAS DE RADIO.....	21
2.1.2. ANTENAS	21
2.1.2.1. ANTENAS DE HILO.....	21
2.1.2.2. ANTENAS DE APERTURA.	21
2.1.2.3. ANTENAS PLANAS.....	22
2.1.3. FRECUENCIA	22
2.1.4. ATENUACIÓN	22
2.1.4.1. ABSORCIÓN.	22
2.1.4.2. REFLEXIÓN.	22
2.1.4.3. DIFRACCIÓN.	23
2.1.4.4. REFRACCIÓN.....	23
2.1.4.5. INTERFERENCIA.	23
2.1.4.6. POLARIZACIÓN.....	23
2.1.5. MARGEN DE DESVANECIMIENTO	24
2.1.6. UMBRAL DE RECEPCIÓN	24
2.1.7. SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR	24
3. ESTADO DEL ARTE	26
3.1. ANTECEDENTES.....	27
3.1.1. A NIVEL MUNDIAL	27
3.1.2. A NIVEL CONTINENTAL.....	29

3.1.3. A NIVEL NACIONAL.....	34
4. ANÁLISIS MATEMÁTICO.....	37
4.1. DISEÑO 1.....	40
4.1.1. CMG-BTS SPA II.....	44
4.2. DISEÑO 2.....	50
5. SIMULACIONES.....	52
5.1. DISEÑO 1.....	53
5.1.1. LINK PLANNER.....	53
5.1.1.1 CMG-BTS SPA II.....	54
5.1.1.2. BTS SPA II-TGR.....	58
5.1.1.3. VOR SJG-TGR.....	62
5.1.2. RADIO MOBILE.....	65
5.1.2.1. CMG-BTS SPA II.....	68
5.1.2.2. BTS SPA II-TGR.....	70
5.1.1.3 VOR SJG-TGR.....	73
5.1.3. XIRIO ONLINE.....	76
5.1.3.1. CMG-BTS SPA II.....	80
5.1.3.2. BTS SPA II-TGR.....	85
5.1.3.3. VOR SJG-TGR.....	89
5.2. DISEÑO 2.....	94
5.2.1. LINK PLANNER.....	94
5.2.1.1. BTS SPA II-AN.....	94
5.2.1.2. AN-TGR.....	98
5.2.1.3. VOR SJG-CC.....	102
5.2.2. RADIO MOBILE.....	105
5.2.2.1. BTS SPA II-AN.....	105
5.2.2.2. AN-TGR.....	108
5.2.2.3. VOR SJG-CC.....	110
5.2.2.4. CC-TGR.....	113
5.2.3. XIRIO ONLINE.....	116
5.2.3.1. BTS SPA II-AN.....	117

5.2.3.2. AN-TGR.....	121
5.2.3.3. VOR SJG-CC	125
5.2.3.4. CC-TGR.....	129
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	134
7. PROPUESTA TÉCNICA Y ECONÓMICA	144
7.1. DISEÑO 1	148
7.1.1. PROPUESTA TÉCNICA	148
7.1.2. PROPUESTA ECONÓMICA.....	148
7.2. DISEÑO 2	151
7.2.1. PROPUESTA TÉCNICA	151
7.2.2. PROPUESTA ECONÓMICA.....	151

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Topología propuesta.....	40
Figura 2.	Taza de transferencia.....	41
Figura 3.	Potencia de transmisión.....	42
Figura 4.	Umbral de recepción	43
Figura 5.	Características de la antena.	44
Figura 6.	Distancia entre CMG-BTS SPA II	44
Figura 7.	Perfil de elevación CMG-BTS SPA II.....	46
Figura 8.	Topología propuesta.....	50
Figura 9.	Equipos	53
Figura 10.	Línea de visión CMG-BTS SPA II.....	54
Figura 11.	Configuración de extremos	55
Figura 12.	Resumen de desempeño (A).....	56
Figura 13.	Resumen de desempeño (B).....	56
Figura 14.	Detalles de desempeño (A).....	57
Figura 15.	Detalles de desempeño (B).....	58
Figura 16.	Línea de visión BTS SPA II-TGR	58
Figura 17.	Configuración de extremos	59
Figura 18.	Resumen de desempeño (A).....	60
Figura 19.	Resumen de desempeño (B).....	60
Figura 20.	Detalles de desempeño (A).....	61
Figura 21.	Detalles de desempeño (B).....	61
Figura 22.	Línea de visión VOR SJG-TGR	62
Figura 23.	Configuración de extremos	63
Figura 24.	Resumen de desempeño (A).....	63
Figura 25.	Resumen de desempeño (B).....	64
Figura 26.	Detalles de desempeño (A).....	64
Figura 27.	Detalles de desempeño (B).....	65
Figura 28.	Parámetros.....	66
Figura 29.	Topología	67

Figura 30.	Estilo.....	68
Figura 31.	AEI CMG-BTS SPA II.	69
Figura 32.	Resultados CMG-BTS SPA II. Rendimiento óptimo.	69
Figura 33.	Resultados CMG-BTS SPA II. Rendimiento crítico.	70
Figura 34.	AEI BTS SPA II-TGR.	71
Figura 35.	Resultados BTS SPA II-TGR. Rendimiento óptimo.	72
Figura 36.	Resultados BTS SPA II-TGR. Rendimiento crítico.	72
Figura 37.	AEI VOR SJG-TGR.	74
Figura 38.	Resultados VOR SJG-TGR. Rendimiento óptimo.....	75
Figura 39.	Resultados VOR SJG-TGR. Rendimiento crítico.	76
Figura 40.	Topología propuesta.....	77
Figura 41.	Propiedades de la banda de frecuencias.	78
Figura 42.	Propiedades de la antena.	79
Figura 43.	Propiedades del equipo.	80
Figura 44.	Propiedades de CMG	82
Figura 45.	Propiedades de BTS SPA II	83
Figura 46.	Perfil orográfico CMG-BTS SPA II.	84
Figura 47.	Resultados CMG-BTS SPA II.....	85
Figura 48.	Propiedades de BTS SPA II.....	86
Figura 49.	Propiedades del TGR	87
Figura 50.	Perfil orográfico BTS SPA II-TGR.....	88
Figura 51.	Resultados BTS SPA II-TGR.	89
Figura 52.	Propiedades de VOR SJG	90
Figura 53.	Propiedades TGR	91
Figura 54.	Perfil orográfico.	92
Figura 55.	Resultados VOR SJG-TGR.	93
Figura 56.	Línea de visión BTS SPA II-AN	94
Figura 57.	Configuración de extremos	95
Figura 58.	Resumen de desempeño (A).....	96
Figura 59.	Resumen de desempeño (B).....	96
Figura 60.	Detalles de desempeño (A).....	97

Figura 61.	Detalles de desempeño (B).....	97
Figura 62.	Línea de visión.....	98
Figura 63.	Configuración de extremos	99
Figura 64.	Resumen de desempeño (A).....	100
Figura 65.	Resumen de desempeño (B).....	100
Figura 66.	Detalles de desempeño (A).....	101
Figura 67.	Detalles de desempeño (B).....	101
Figura 68.	Línea de visión.....	102
Figura 69.	Configuración de extremos	103
Figura 70.	Resumen de desempeño (A).....	103
Figura 71.	Resumen de desempeño (B).....	104
Figura 72.	Detalles de desempeño (A).....	104
Figura 73.	Detalles de desempeño (B).....	105
Figura 74.	AEI BTS SPA II-AN.....	106
Figura 75.	Resultados BTS SPA II-AN. Rendimiento óptimo.	107
Figura 76.	Resultados BTS SPA II-AN. Rendimiento crítico.....	108
Figura 77.	AEI AN-TGR.....	109
Figura 78.	AN-TGR. Rendimiento óptimo.	109
Figura 79.	Resultados AN-TGR. Rendimiento crítico.....	110
Figura 80.	AEI VOR SJG-CC.	111
Figura 81.	Resultados VOR SJG-CC. Rendimiento óptimo.....	112
Figura 82.	Resultados VOR SJG-CC. Rendimiento crítico.	113
Figura 83.	AEI CC-TGR.....	114
Figura 84.	Resultados CC-TGR. Rendimiento óptimo.	115
Figura 85.	Resultados CC-TGR. Rendimiento crítico.....	116
Figura 86.	Topología propuesta.....	117
Figura 87.	Propiedades de BTS SPA II.....	118
Figura 88.	Propiedades de AN.....	119
Figura 89.	Perfil orográfico BTS SPA II-AN.....	120
Figura 90.	Resultados BTS SPA II-AN.	121
Figura 91.	Propiedades de AN.....	122

Figura 92.	Propiedades de TGR.....	123
Figura 93.	Perfil orográfico AN-TGR.....	124
Figura 94.	Resultados AN-TGR.....	125
Figura 95.	Propiedades de VOR SJG	126
Figura 96.	Propiedades CC.....	127
Figura 97.	Perfil orográfico.	128
Figura 98.	Resultados VOR SJG-CC.	129
Figura 99.	Propiedades de CC.....	130
Figura 100.	Propiedades TGR	131
Figura 101.	Perfil orográfico.	132
Figura 102.	Resultados CC-TGR.	133
Figura 103.	Descripción geográfica.	134
Figura 104.	Valor del dólar.	135
Figura 105.	Cotización FO.	136
Figura 106.	Precio Microondas.....	137
Figura 107.	PTP820G RFU-C (IDU).....	144
Figura 108.	PTP820-MC-ABC (ODU).....	144
Figura 109.	PTP820 6' SPDA 7-8GHz (Antena).....	145
Figura 110.	Cable coaxial trenzado	145
Figura 111.	Kit de instalación del cable coaxial	146
Figura 112.	Cuadro salarial para empleos públicos.....	147
Figura 113.	Características de la torre	149
Figura 114.	FibeAir IP-20G (IDU).....	151
Figura 115.	FibeAir IP-20S (ODU)	152
Figura 116.	VHLP6-7W (Antena).....	152

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Resumen de cálculos para el diseño 1	49
Tabla 2.	Resumen de cálculos para el diseño 2	51
Tabla 3.	Comparación de resultados diseño 1	140
Tabla 4.	Porcentaje de error diseño 1.....	141
Tabla 5.	Comparación de resultados diseño 2	141
Tabla 6.	Porcentajes de error del diseño 2.....	142
Tabla 7.	Comparación de los modelos de propagación.....	143
Tabla 8.	Cuadro económico del diseño 1.....	148
Tabla 9.	-Cuadro económico del diseño 2	153

RESUMEN

En este documento se muestran los diseños realizados para comunicar la Estación Radar Carimagua con el Cerro de Comunicaciones El Tigre, y el VOR San José Del Guaviare con el mismo Cerro de Comunicaciones por medio de enlaces microondas.

Los cálculos realizados se complementan y comparan con los resultados obtenidos en las simulaciones hechas usando los programas especializados Link Planner, Radio Mobile y Xirio-Online.

Se realiza la propuesta técnica y económica para los diseños planteados.

INTRODUCCIÓN

Este documento está compuesto por siete capítulos, que se describen a continuación:

El capítulo uno contiene las preliminares del trabajo que identifican el problema a solucionar, la justificación a cerca de por qué solucionarlo y las delimitaciones de este proyecto.

El capítulo dos está constituido por algunos conceptos elementales de las telecomunicaciones que tienen que ver directamente con los que se tratan en el documento presente.

El estado del arte constituye el punto de partida de este proyecto y se encuentra referido en el capítulo tres.

El análisis matemático y las simulaciones se describen en los capítulos cuatro y cinco, en los cuales se encuentran fundamentalmente el cálculo de la altura de las antenas, la potencia de recepción y el margen de desvanecimiento de la señal.

Más adelante, en el capítulo seis, se realiza la discusión de los resultados obtenidos en los dos capítulos anteriores.

El capítulo más esperado es aquel en el que se describe la propuesta técnica y económica, esto se logra en el capítulo siete.

Posteriormente también se incluyen conclusiones y recomendaciones sobre el trabajo desarrollado.

1. PRELIMINARES

1.1. PROBLEMA

La Aeronáutica Civil Regional Meta alberga en su jurisdicción varios aeropuertos y estaciones radar en las zonas más apartadas de Colombia: como lo son la *Estación Radar Carimagua* en Puerto Gaitán, ubicada a 257,47Km del aeropuerto Vanguardia de la ciudad de Villavicencio, encontrándose en las siguientes coordenadas N 4°34'15,58261" O 71°20'10,04791" con una altitud de 187,60m; y el aeropuerto de San José Del Guaviare *Capitán Jorge Enrique González Torres*, ubicado a 207,53Km del Vanguardia, encontrándose en las siguientes coordenadas N 2°34'54,1" O 72°38'20,7" con una altitud de 182,40m sobre el nivel del mar. El aeropuerto y la estación mencionados están presentando inconvenientes con el intercambio de información dado que están conectados al aeropuerto central (Vanguardia) a través de enlaces satelitales que operan en la banda C de frecuencias, por medio de los cuales se realizan comunicaciones *tierra-tierra* utilizadas para hacer líneas entre aeropuertos, y también comunicaciones *tierra-aire* en las cuales está contenida la *red de datos* (información que llega desde la aeronave para el control de vuelo) y los *ATS* (sistema de servicios aeroportuarios). En estas zonas existe mucha diversidad de climas y según la citación que le hacen a Moncada D. y Fermin J. en el artículo "Interconectividad de la Red Hidrometeorológica en la Provincia de Chimborazo-Ecuador" escrito por los autores Johanna E. Ayala, Celso G. Recalde, Daniel A. Sanaguano, en el que afirman que por la complejidad atmosférica y temporadas de alta pluviosidad se altera la propagación de la energía electromagnética interrumpiendo la transmisión (Ayala, Recalde, & Sanaguano, 2014), esto sin contar con los efectos producidos por las manchas solares sobre la capa de ozono, que ocasionan un agravante. En esta regional se podrían presentar situaciones de emergencia como quedar aislados de las comunicaciones dando lugar a desvío de rutas aéreas, inasistencia aeroportuaria y accidentes fatales. De acuerdo a lo expuesto anteriormente, ¿Qué sistema de comunicación de respaldo, en esta regional aeroportuaria, sería el más indicado para minimizar fallas que puedan generar situaciones de emergencia?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Se pretende integrar diversos sistemas de transmisión para lograr mayor tolerancia a fallos en la red. Los sistemas considerados para redundar la red son *Fibra Óptica* y *Enlaces Microondas*, de los cuales se debe seleccionar el más conveniente basándose en los costos de implementación (Albornoz) y en los tiempos de ejecución. La Aeronáutica Civil tiene ya establecido un enlace microondas de 20,66Km de recorrido entre el aeropuerto Vanguardia ubicado en las coordenadas N 4°9'50,57456" O 73°37'11,92318" con una altitud de 426,20m sobre el nivel del mar, y el Cerro de Comunicaciones Alto Del Tigre con coordenadas N 4°18'25" O 73°44'23" (MinTic) que presenta una altitud de 3257,1m sobre el nivel del mar. En este Cerro se bajan servicios provenientes de Bogotá, de Yopal y Villavicencio como son servicios de telefonía y canales para el manejo de los diferentes transmisores/receptores instalados en el Cerro. Se pretende aprovechar este recurso para centralizar las comunicaciones establecidas con el sistema de comunicación propuesto.

1.3. DELIMITACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular una red de comunicación de respaldo para un sistema de comunicación satelital entre El Tigre-San José y entre El Tigre-Carimagua, en la Aeronáutica Civil Regional Meta.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar el estado del arte relacionado con el sistema de respaldo más apropiado para la red de comunicaciones.
2. Realizar el análisis matemático para el balance de potencias del sistema de respaldo seleccionado.
3. Efectuar la simulación del sistema de respaldo.
4. Elaborar la propuesta técnico-económica que incluye cuadro de equipos y cuadro económico.

1.3.3. ACOTACIONES

El proyecto se desarrollará con apoyo logístico de la Aeronáutica Civil Regional Meta, el cual consistirá en el suministro de transporte y recursos necesarios para el diseño de la red como equipos de cómputo, software, acceso a internet y otros equipos.

Los lugares donde se puedan establecer los sistemas de respaldo, serán sitios con presencia operativa de la Aero-Civil, bien sean propios, por contrato de arrendamiento o cooperación, dado que no se cuenta con ningún tipo de recurso económico para la etapa de diseño. Según la estructura física con la que cuenta la Aeronáutica Civil, es factible realizar éstos diseños.

Además, el foco del proyecto es demostrar la viabilidad técnica y financiera. No se extiende a implementación dado que el presupuesto debe ser aprobado para su posterior ejecución.

2. MARCO TEÓRICO

Según *Juan Carlos Aldaz Rosas* y *Jorge Hernández Constante*, en su artículo "Calculo de radioenlace terrestre", un radioenlace terrestre es una interconexión entre terminales fijos o móviles efectuada por ondas de radio. (Aldaz R. & Hernández C., 2016) Dicha interconexión se logra por medio de antenas con características definidas según el tipo de enlace que se desee implementar y la capacidad del mismo.

Las ondas de radio se propagan a diferentes frecuencias y dependiendo de estas se realiza el diseño de los radioenlaces, razón por la cual se debe tener en cuenta el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias actualizado, según el cual, algunas de las frecuencias autorizadas para la Aeronáutica Civil en conformidad con las normas internacionales son: 117,975MHz-137MHz; 328,6MHz-335,4MHz; 2700MHz-2900MHz; 8750MHz-8850MHz. (ANE, 2018)

En el diseño y operación de un enlace de radio también se tienen en cuenta factores que atenúan la potencia de las señales transmitidas como lo son: la absorción, la reflexión, la difracción, la refracción, la interferencia, los tipos de antenas y su polarización, el margen de desvanecimiento, el umbral de recepción, y la sensibilidad del receptor. (López G. & Rey B., 2017)

2.1. CONCEPTOS

A continuación, se definen algunos conceptos relacionados con la teoría.

2.1.1. ONDAS DE RADIO

Las ondas de radio son oscilaciones que representan parte de la radiación electromagnética y están caracterizadas por su frecuencia (MateoGP, 2017), su longitud de onda y por su velocidad de propagación.

2.1.2. ANTENAS

Las antenas son dispositivos que permiten la recepción y el envío de ondas electromagnéticas hacia el espacio libre y están caracterizadas principalmente por la potencia a la cual pueden radiar, su diagrama de radiación, su directividad, su ganancia y la sensibilidad de recepción. (Acerca, 2018)

Existen diferentes tipos de antenas. Se definen los más básicos:

2.1.2.1. ANTENAS DE HILO.

Se distinguen porque sus elementos radiantes son conductores alámbricos que ostentan una parte despreciable en relación a la longitud de onda a la cual operan.

2.1.2.2. ANTENAS DE APERTURA.

Estas utilizan superficies cóncavas para dirigir el haz electromagnético, de manera que pueden concentrar tanto la emisión como la recepción de su sistema radiante en una sola dirección. Tal cual es el caso de las antenas de disco parabólico, utilizadas en enlaces de satélite y terrestres.

2.1.2.3. ANTENAS PLANAS.

Permiten un alcance considerable y se aplican principalmente en el uso de radares con despliegue de apertura sintética.

2.1.3. FRECUENCIA

La frecuencia es la cantidad de ciclos que se repiten en un intervalo de tiempo dado. Se conoce como el número de veces que se repite un mismo valor en una unidad de tiempo de una función periódica. (García A., 2016)

2.1.4. ATENUACIÓN

Es la pérdida de la potencia de la luz al propagarse de un lugar a otro y es función de una ley física que relaciona el cuadrado de la distancia recorrida con la potencia. (Mollá V., 2002) Este mismo principio es aplicado a las señales electromagnéticas.

Existen diferentes factores que influyen en la pérdida de potencia de las señales transmitidas; a definir:

2.1.4.1. ABSORCIÓN.

Hace parte de los procesos de desvanecimiento de las señales y es el resultado de la conversión de energía de radiofrecuencia a energía térmica dentro de una partícula atenuante, como una molécula de gas o una gota de lluvia. Esto es más evidente a bajas frecuencias, donde la caída es pequeña en comparación con la longitud de onda incidente, y la mayor parte de la atenuación se debe a la absorción. (Saunders & Aragón Z., 2007)

2.1.4.2. REFLEXIÓN.

Se presenta generalmente en las superficies lisas de paredes y colinas, refiriéndose a la porción de un rayo incidente que se mantiene en el mismo medio tras chocar con un plano que lo separa de otro medio con diferente índice.

2.1.4.3. DIFRACCIÓN.

Es un fenómeno físico inherente a la propia naturaleza ondulatoria de la luz, (Luipermom, 2010) que afecta también a las ondas electromagnéticas y que consiste en el ensanchamiento y desviación del haz después de chocar contra un filo o de atravesar un espacio muy estrecho de diámetro menor o igual que la longitud de onda.

2.1.4.4. REFRACCIÓN.

Es la porción de un rayo incidente que cambia a un medio con índice diferente tras haber chocado con un plano que lo separa de otro medio.

2.1.4.5. INTERFERENCIA.

Se produce cuando varias ondas coinciden en un mismo punto del medio por el que se propagan. (IES) En dicho punto la resultante es la suma de los productos por cada onda y determinan una interferencia constructiva o destructiva, a saber:

- **Interferencia constructiva.** Se presenta cuando la intensidad de las vibraciones resultantes es mayor que la intensidad de las vibraciones superpuestas.
- **Interferencia destructiva.** Se presenta cuando la intensidad de las vibraciones resultantes es menor que la intensidad de las vibraciones superpuestas.

2.1.4.6. POLARIZACIÓN.

La polarización de una onda radiada corresponde a la polarización de la antena que emite la radiación y se define como la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo, en una posición dada. (UPV)

La variación sinusoidal de las ondas determina el tipo de polarización según la figura que se forme debido a la relación axial. Estos tipos de polarización pueden ser: lineal, circular o elíptica.

- **Polarización lineal.** Se produce cuando las fases de dos componentes ortogonales del campo eléctrico difieren en un múltiplo entero de π radianes y la figura trazada resultante es una recta. Esta polarización puede ser vertical u horizontal.
- **Polarización circular.** Este tipo de polarización se puede dar a la izquierda o a la derecha y se produce cuando las amplitudes son iguales y la diferencia de fase entre las componentes es $\pi/2$ ó $3\pi/2$. En consecuencia, la figura que se dibuja es un círculo.
- **Polarización elíptica.** En cualquier caso diferente a los expuestos en la polarización lineal y en la polarización circular, la resultante va a ser una polarización elíptica. Básicamente corresponde a variaciones sinusoidales con valores de amplitud diferentes para cada eje axial.

2.1.5. MARGEN DE DESVANECIMIENTO

El margen de desvanecimiento, conocido en inglés como *fading margin (FM)*, es en las comunicaciones inalámbricas el aumento promedio en la potencia de la señal que se requiere para proporcionar el enlace correctamente. (Bastidas P., Ramírez M., & Muñoz R., 2005) Está relacionado con el transmisor, el receptor y la distancia que los separa.

2.1.6. UMBRAL DE RECEPCIÓN

El umbral de recepción es el valor mínimo de intensidad de potencia que debe llegar a la antena receptora para que se establezca la comunicación. Este parámetro depende de los procesos de fabricación y de diseño del dispositivo, por lo tanto es dado por los fabricantes.

2.1.7. SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR

Es un parámetro que determina fundamentalmente el alcance del sistema y es el mínimo valor de señal que se necesita para un correcto funcionamiento. (Ramos, 2011)

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. ANTECEDENTES

3.1.1. A NIVEL MUNDIAL

- Los enlaces microondas representan una solución importante en cuanto a comunicaciones de larga distancia, y aún más cuando se trata de comunicaciones inalámbricas. En la aviación civil, como en la aviación militar, es importante que estas comunicaciones no fallen, por lo cual se establecieron estándares que fueron acordados en el *Convenio sobre aviación civil internacional de Chicago* en diciembre 7 de 1944, donde se suscribieron gobiernos en proclama de principios y arreglos que permitieran el desarrollo de manera segura y ordenada de los servicios internacionales de transporte aéreo, (OACI, 1944) de donde nació el documento *Anexo 10: Telecomunicaciones aeronáuticas*, que contiene en su *Volumen III: Sistemas de comunicaciones – Parte I (Sistemas de comunicaciones de datos digitales)* las recomendaciones, las definiciones, las características y las disposiciones técnicas entorno a los sistemas de telecomunicaciones, permitiendo enfatizar en las comunicaciones terrestres inalámbricas, considerando la actualización hecha afectiva a partir del 22 de noviembre de 2007 que incorpora en su segunda edición todas las enmiendas adoptadas por el Consejo antes de febrero 27 de 2007. (OACI, Anexo 10, 2007)
- Cuando el ingeniero se está iniciando en el diseño de enlaces por radiofrecuencias y busca referencias de otros trabajos realizados, generalmente encuentra publicados un montón que se limitan al análisis del posicionamiento de las antenas en relación con la separación de los puntos de transmisión y recepción, su altura y las condiciones del terreno; pero, en pocos casos se encuentra un material que haga notar las características a tener en cuenta sobre los equipos que conforman la central donde se procesan las señales que circulan por el enlace diseñado. Aunque no se puede tener el control de estas características mencionadas, dado que las otorgan los fabricantes, si es valioso tenerlas en cuenta ya que determinan el comportamiento del sistema.

En el libro electrónico *Point-to-Point Radio Link Engineering* escrito por el italiano *Luigi Moreno* y publicado en diciembre de 2010 se presentan parámetros útiles para describir las salas de instalaciones de radio, incluyendo las antenas, los equipos de radio y subsistemas auxiliares. (Moreno, 2010) También se discuten los lóbulos de los repetidores, generando una idea de diseño alternativo que permitirá ahorrar el uso de una antena, valiéndose de la referencia de envolvente del patrón

de radiación, el ancho del haz horizontal y vertical, y la relación de adelante hacia atrás, reduciendo de esta manera el costo total que pudiera tener la implementación del proyecto y simplificando el diagrama de diseño.

Se usará entonces, la ecuación de la "potencia en el receptor":

$$P_R = P_T + G_{A1} + G_{A2} - L_{FS} - L_D \quad (1)$$

1.1.1. Donde,

- P_R , Es la potencia de recepción y se mide en decibel watt [dBW].
 - P_T , Es la potencia de transmisión y se mide en decibel watt [dBW].
 - G_{A1} , Es la ganancia de la antena transmisora y se mide en decibel isotrópico [dBi].
 - G_{A2} , Es la ganancia de la antena receptora y se mide en decibel isotrópico [dBi].
 - L_{FS} , Son las pérdidas debidas al espacio libre y se miden en decibelios [dB].
 - L_D , Son las pérdidas debidas a los elementos del enlace y se miden en decibelios [dB].
-
- Según un estudio realizado en India en 2014 por Mukesh C. Kestwal, Sumit Joshi y Lalit S. Garia el cual llamaron "Predicción de la atenuación debida a la lluvia y el impacto de la lluvia en la Propagación de ondas en frecuencias de microondas para Regiones tropicales (Uttarakhand, India)", discutían que la mayor afectación de atenuación debido a la lluvia para enlaces satelitales se genera en frecuencias superiores a los 10GHz, y además concluyen que, en cada lugar del mundo debería desarrollarse un mapa de lluvias regional que se albergue en una base de datos para permitir un diseño más preciso de los enlaces de radio. También afirman que las pérdidas por lluvias son menores en enlaces terrestres. (Mukesh C., Sumit, & Lalit S., 2014)

Se tomará como aporte importante del trabajo de Mukesh C. Kestwal, Sumit Joshi y Lalit S. Garia para mi proyecto la recomendación en cuanto a la selección de frecuencias por debajo de los 10GHz, y quedará abierta para otra línea de investigación, la propuesta del desarrollo del mapa de lluvias regional.

3.1.2. A NIVEL CONTINENTAL

- Históricamente supone un reto la distancia de los enlaces propuestos en este trabajo, dado que a nivel mundial y continental se ha estudiado la posibilidad de enlaces a grandes distancias, encontrando que los enlaces satelitales ofrecen mayor cobertura yendo desde los 25Km hasta los 6437Km. (Hernández S. & Parrao R., 2007) En el caso de los enlaces terrestres es común encontrarlos entre distancias de 20Km y 70Km (Albornoz), sin embargo se ha logrado distancias de hasta 382Km a bajas frecuencias con baja capacidad de transferencia utilizando instrumentos especiales para alinear correctamente las antenas siendo importante la línea de vista y el despeje de por lo menos el 60% de la primera zona de Fresnel. (Pietrosemoli, 2008)

En el trabajo de Hernández S. & Parrao R. se concluyó que una antena o transmisor no tiene una distancia específica o de radio alcance. Que los datos relevantes son la ganancia de la antena o la potencia de transmisión de un dispositivo de radio. Éstos, junto a las técnicas de modulación logran protocolos más robustos en ambientes de trayectoria múltiple y de mucha reflexión. Dichas conclusiones son importantes para este proyecto en desarrollo ya que se tendrán en cuenta para la selección de los equipos y previo a sugerir su configuración.

Consecuentemente, se complementa esta idea, al tener en cuenta el recorrido de la señal transmitida en enlaces de muy larga distancia dado que el tiempo de espera excesivo puede provocar fallas. El aporte de ésta conclusión es promover el uso de estaciones repetidoras siempre que sea posible, y ajustar el tiempo de espera o retraso en los equipos.

Ellos también concluyen que el uso de software especializado ahorra considerablemente el tiempo en la ejecución de los cálculos pertinentes al radioenlace, sin embargo, es primordial en este trabajo realizar los más significativos de manera manual para llevar a cabo la comparación entre estos métodos.

En estos trabajos fue necesario el uso de fórmulas que ayudaron en el análisis y diseños propuestos. Ahora se mencionaran las que sean útiles para la propuesta que se adelanta:

$$L_{FS} = 32.4 + 20\log_{10}(D) + 20\log_{10}(f) \quad (2)$$

La anterior es la fórmula de las "pérdidas por espacio libre" donde,

- L_{FS} Son las pérdidas por espacio libre en decibeles [dB].
- 32.4 Es la constante utilizada en caso de que se tome la frecuencia de operación en MHz.
- D Es la distancia que separa los puntos en kilómetros [Km].
- f Es la frecuencia de operación en mega Hertz [MHZ].

Otra fórmula empleada en estos trabajos es la del "margen de desvanecimiento":

$$Fm = 30\log_{10}(D) + 10\log_{10}(6ABf) - 10\log_{10}(1 - R) - 70 \quad (3)$$

Donde,

- Fm Es el margen de desvanecimiento en decibeles [dB].
- D Es la distancia en kilómetros [Km].
- A Es el factor de esperanza:
 $A=4$, sobre agua o un terreno muy liso.
 $A=1$, sobre terreno promedio.
 $A=0.25$, sobre un terreno áspero y montañoso.
- B Es el factor para convertir la probabilidad del peor de los meses en probabilidad anual:

B=1, para convertir una disponibilidad anual a la base del peor de los meses.

B=0.5, para áreas cálidas o húmedas.

B=0.25, para áreas continentales promedio.

B=0.125, para áreas secas y montañosas.

- *f Es la frecuencia en giga Hertz [GHz].*
- *R Es el factor de confiabilidad en decimales (99.9%=0.999).*
- *$30\log_{10}(D)$, representa el efecto de trayectoria múltiple.*
- *$10\log_{10}(6ABf)$, representa la sensibilidad del terreno.*
- *$10\log_{10}(1 - R)$, representan los objetivos de confiabilidad.*
- *70, constante.*

También se considera la relación portadora a ruido y el umbral de recepción:

$$C_{min} = C/N + N_{(dBm)} \quad (4)$$

Donde,

- *C_{min} , Es el mínimo nivel de potencia requerido en el receptor y se da en decibel mili volt [dBm].*
 - *C/N , Es la relación de señal portadora a ruido y se da en decibel [dB].*
 - *$N_{(dBm)}$, Es el nivel de ruido a la entrada del receptor y se da en dBm.*
- Otros trabajos complementarios al diseño e implementación de radioenlaces son los que se llevan a cabo en el área de instrumentación de los mismos, en la cual se enfocaron *Ricardo A. Cajo, Steve R. Zúñiga y Víctor M. Huilcapi* orientando, dirigiendo y desarrollando el trabajo de investigación "*Mecanismo de posicionamiento en azimut y elevación para la optimización de radioenlaces punto*

a punto basados en algoritmos de búsqueda espectral y técnicas de muestreo”, aceptado para publicación por la revista Maskana el 17 de octubre de 2014.

En el mencionado trabajo, se discute que este mecanismo ayuda a mejorar el posicionamiento en azimut y elevación de las antenas, aumentando el nivel de potencia en el receptor por medio de un apuntamiento más directo. (Cajo, Zúñiga, & Hilcapi, 2014) Ese progreso permite tener una opción más de sugerencias que se plantearán para ser tenidas en cuenta una vez se hayan aprobado los recursos y se decida realizar la implementación.

- El cálculo de las alturas de las antenas es importante para ofrecer una óptima línea de vista entre el punto origen y el punto destino en una comunicación por microondas. Así lo entendieron *Gabriela Leija Hernández, José Luís López Bonilla y Luís Alejandro Iturri Hinojosa*, quienes escribieron el artículo titulado "*Metodología para el cálculo adecuado de las alturas de antenas en un radioenlace de microondas en línea de vista*" que fue publicado en la revista de investigación de la Universidad De La Salle Bajío, *Nova Scientia* el 04 de septiembre de 2013.

En el trabajo mencionado anteriormente se concluye que, a partir del perfil de terreno y de la consideración de despeje de la primera zona de Fresnel, se calcula la posición en altura de las antenas para asegurar la adecuada recepción de la señal de radiofrecuencia que se propaga entre las terminales de ambos sitios. (Hernández, López B., & Iturri H., 2013) El aporte de esta conclusión es importante para este trabajo, debido a que permite entender que aunque los puntos a conectar sean tan distantes que no se puedan ver, existe la posibilidad de realizar un enfrentamiento de antenas óptimo por medio del estudio de perfil de terreno y de la consideración de despeje de la primera zona de Fresnel.

Entonces, se tomará en cuenta la siguiente fórmula, que se corresponde con el "*radio Fresnel*":

$$rF = 547\sqrt{\frac{d_1d_2}{fD}} \quad (5)$$

Donde,

- rF Es el radio Fresnel en metros [m].
 - 547 Es la constante utilizada en caso de que la frecuencia se tome en MHz.
 - $d1$ Es la distancia del punto fuente hasta el obstáculo más pronunciado.
 - $d2$ Es la distancia del obstáculo más pronunciado al punto destino.
 - f Es la frecuencia de operación en mega Hertz [MHz].
 - D Es la distancia en kilómetros [Km].
- Ibarra Hernández R., Flores Troncoso J., García Domínguez E., Gamboa Rosales H. y Soriano Equigua L. trabajaron en el proyecto "*Compresión LZW en un sistema de comunicaciones MIMO inalámbrico*" que fue publicado en la revista *DIFU100ci@* en agosto de 2013. En este trabajo presentaron un algoritmo para la compresión de símbolos modulados en QPSK con el objetivo de mejorar la rapidez en la transmisión de los datos sin limitarse debido a las características del canal de radio eléctrico, que es uno de los más importantes retos de la comunicación inalámbrica moderna. (Ibarra H., Flores T., & García D., 2013)

El aporte de esta publicación a este trabajo es la conciencia generada sobre la selección de equipos con capacidades de modulación que se encuentre acordes con el diseño, sin desmejorar la relación señal a ruido o la calidad de la información. En el caso de que los equipos seleccionados cuenten con algoritmos de compresión de símbolos, éstos deberían encontrarse implementados por hardware ya que su ejecución por software toma tiempos de cálculo mucho más amplios según las conclusiones presentadas por los autores.

- Al igual que en algunos otros trabajos, en "*Cálculo de elevación para un enlace vía microondas mediante el análisis de zonas de Fresnel*" Realizado por los investigadores Alejandro Padrón G., José A. Rosendo R., Alberto Herrera B., Rafael Prieto M. y V. Gerardo Calva O. del Grupo Académico de Modelado y Simulación de Procesos de la Universidad Autónoma de México, discuten el porcentaje de energía transmitida que debe llegar al receptor para que la comunicación sea confiable y el paso a seguir en caso de que esto no se dé, partiendo del análisis de la primera zona de Fresnel, luego de la segunda, y así sucesivamente hasta solucionar el problema.

En este trabajo se concluye que el parámetro más significativo para la medición del desempeño de un sistema de microondas es la disponibilidad de la señal. (Padrón G., Rosendo R., Herrera B., Prieto M., & Calva O., 2007) El impulso que ofrece la investigación en cuestión al desarrollo del trabajo en curso es el establecimiento de las alturas mínimas para el emplazamiento de las antenas, en la cual la operación del enlace sería óptima. También ofrece una visión más amplia sobre el concepto de desvanecimiento al describir el margen de desvanecimiento plano.

Se toma de este trabajo entonces, la ecuación:

$$FFm = P_R - C_{min} \quad (6)$$

Donde,

- *FFm Es el margen de desvanecimiento plano y se da en decibeles [dB].*
- *P_R Es la potencia en el receptor y se da en decibel mili volt [dBm].*
- *C_{min} Es el umbral de recepción en decibel mili volt [dBm].*

3.1.3. A NIVEL NACIONAL

- Francisco Javier Cortés Jaramillo en su pasantía en la empresa Towering S. A. S., para optar por el título de ingeniero electrónico de la Universidad De Nariño en Pasto en 2014, desarrollo el proyecto "*Diseño, instalación y gestión de radioenlaces para la empresa Towering S. A. S.*" asesorado por el ingeniero electrónico Andrés Jiménez. (Cortés J., 2014) En tal trabajo se discuten los estándares de transmisión, los componentes de los radioenlaces, los tipos de configuraciones de un radioenlace y los tipos de tráfico de radioenlaces.

Los factores mencionados anteriormente son importantes para el desarrollo del trabajo en curso dado que se tienen en cuenta las velocidades de transmisión, la capacidad de los canales, el tipo de sincronización, las características que deben

poseer los dispositivos y elementos que hagan parte del diseño, y las posibles configuraciones que se les pueden dar a éstos.

- En el proyecto "*Smart Grids Colombia Visión 2030 Parte IV Anexo 2. Contexto de las infraestructuras de comunicaciones en Colombia*" Realizado en abril de 2016 por un gran equipo de trabajo que incluyó entidades gubernamentales y del sector privado, y liderado por el Banco Interamericano de Desarrollo, se llevaron a cabo procesos estadísticos que permitieron conocer la penetración, no solo de las tecnologías de la información, sino también de la infraestructura desplegada a nivel nacional para uso de las mismas.

Se reveló en ese trabajo que la penetración de la banda ancha fija en el mercado colombiano era del 0,08% en diciembre del 2012 (en el cuarto trimestre de 2014 alcanzo el 10,6%), muy por debajo del promedio de la OCDE del 26,3%. (BID, 2016)

Aunque se han realizado esfuerzos para subsanar este inconveniente, es un hecho que Colombia está un tanto rezagada en lo que respecta a infraestructura fija y la solución parcial mediada por la Red Nacional De Fibra Óptica no ha sido suficiente. Es por esto que para dar cobertura a lugares donde no llegan redes cableadas, es factible el empleo de radioenlaces.

El trabajo que se acaba de mencionar aporta al proyecto en ejecución la decisión de establecer la red de respaldo basada en enlaces de microondas, dado que aún no existe un operador que posea infraestructura de red cerca de los lugares a los cuales se desea llegar. De insistirse en respaldar la red existente con fibra óptica, se debería tender muchos kilómetros por parte de la Aero Civil, lo que incurriría en gastos astronómicos.

- Otro aspecto importante en el diseño de enlaces por microondas es la curvatura de la tierra, tema discutido por Carlos Andrés Vásquez Caicedo en su trabajo de grado "*Análisis, diseño, simulación y presupuesto de un radioenlace entre Dosquebradas y las escuelas El Rincón, La Colonia y Las Delicias*", para optar por el título de ingeniero de sistemas y telecomunicaciones de la Universidad Católica De Pereira en 2014. Él asegura que la línea de visión entre los puntos a conectar

desaparece a los 25Kms de distancia debido a la curvatura de la tierra. (Vásquez C., 2014)

Es un dato muy significativo para el trabajo que se desarrolla, el que se acaba de mencionar debido a que los enlaces propuestos superan esta distancia. Se tomará, entonces de este trabajo la fórmula de "*altura añadida*":

$$Aa = D_M^2/8 \quad (7)$$

Donde,

- *Aa es la altura añadida y se da en pies [pi].*
- *D_M es la distancia de separación y se da en millas [Mi].*

Esta fórmula representa un aumento adicional a la altura calculada inicialmente, y se hace para compensar un poco el efecto provocado por la curvatura de la tierra.

4. ANÁLISIS MATEMÁTICO

En este capítulo se presenta el balance de potencias de los enlaces propuestos basados en la distancia entre los puntos, la frecuencia de operación. También se realizan cálculos sobre la altura a la cual deben emplazarse las antenas, así como también el nivel de ruido que soporta el enlace y su umbral de recepción.

Para un desarrollo más criterioso del balance mencionado en el párrafo anterior, se consideran los siguientes modelos de propagación:

PÉRDIDAS POR ESPACIO LIBRE

Este modelo de predicción está diseñado para cualquier distancia y cualquier frecuencia, aumentado 6dB por cada duplicación de éstas o 20dB/década, según escala logarítmica (R. Saunders & Aragón Zavala, 2007). El medio de propagación en este modelo es el espacio libre y sus pérdidas están definidas según la ecuación (2), mostrada en el capítulo anterior. Este modelo es apropiado para modelar sistemas de comunicación satelital y por microondas, y se considera un modelo determinístico.

PÉRDIDAS POR TIERRA PLANA

Este modelo considera un rayo directo y un rayo reflejado entre la antena transmisora y la receptora, las cuales se encontrarían ubicadas a diferentes alturas. En esta ocasión se debe tener en cuenta que las pérdidas aumentan más rápidamente que en el caso anterior y que dependen únicamente de la distancia, aumentando 12dB por duplicación de ésta o 40dB/década según escala logarítmica (R. Saunders & Aragón Zavala, 2007). Este método es apropiado para modelar sistemas de comunicaciones móviles con un formato probabilístico y sus pérdidas se definen en la siguiente ecuación:

$$L_{PEL} = 40 \log(r) - 20 \log(h_m) - 20 \log(h_b) \quad (8)$$

Donde,

- L_{PEL} Representa las pérdidas por tierra plana.
- r Es la distancia de separación dada en Km.
- hm Y hb son las alturas de la estación móvil y de la estación base respectivamente, dada en metros.

LONGLEY RICE (MTI MODELO DE TERRENO IRREGULAR)

Este modelo predice la propagación a media y larga distancia sobre terreno irregular. Fue diseñado para frecuencias entre los 20MHz y 20GHz, para longitudes de terreno entre 1Km y 2000Km (García Castellón, 2007). Considera alturas de antenas desde los 0.5m hasta los 3000m con polarización vertical y horizontal, funciona para enlaces punto a punto y área a área. Se compone por modelos predictivos más sencillos como el de *reflexión terrestre de dos rayos*, utilizado principalmente para conocer la potencia recibida dentro del horizonte (LOS); el modelo de *filo de cuchillo* de Fresnel-Kirchoff, utilizado para determinar las pérdidas por difracción por obstáculos aislados; usa la teoría *forward scatter* para considerar la dispersión troposférica; y el método *Van Der Pol-Bremmer* para estimar las pérdidas por difracción en el campo lejano. Este modelo mezcla los métodos determinístico y experimental. La fórmula más representativa de este modelo se describe a continuación:

$$P_L(dB) = 40 \log(d) - (10 \log(G_t) + 10 \log(G_r) + 20 \log(h_t) + 20 \log(h_r)) \quad (9)$$

Donde,

- $P_L(dB)$ Representa las pérdidas de la línea de transmisión.
- d Es la distancia de separación en metros.
- G_t, G_r Son las ganancias de las antenas transmisora y receptora respectivamente.
- h_t, h_r Son las alturas de las estaciones transmisora y receptora respectivamente.

MODELO DE LA FCC

El modelo propuesto por la Comisión Federal de Comunicaciones para el análisis de cobertura, usa una cantidad considerable de datos experimentales obtenidos a través de mediciones realizadas en Norte América, las cuales se basan en difusión sonora y de televisión; y se suman al método determinístico. Este modelo predice el nivel de señal esperado por medio de la siguiente fórmula:

$$NSE = PER + FCC(50:50) + C \quad (10)$$

Donde,

- *NSE* Es el nivel de señal esperado dado en dB.
- *PER* Es la potencia efectiva radiada dada en dBW.
- *FCC (50:50)* Es el nivel de señal que arrojan las curvas FCC en unidades de dBuV/m.
- *C* Representa una constante cuyo valor es de -30dB.

MODELO DE LA UIT (REC. UIT-R P.530-16)

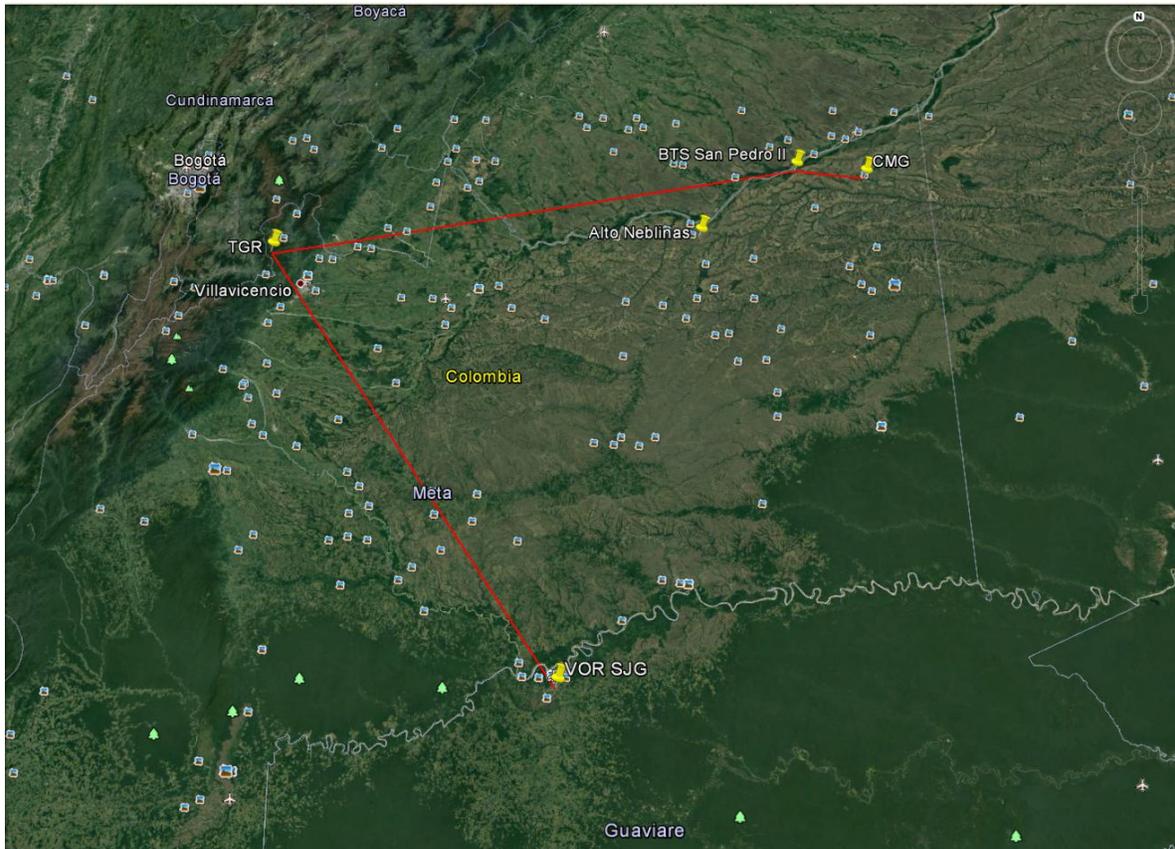
Este modelo de predicción congrega varios métodos simples que representan la predicción de varios factores que afectan las comunicaciones inalámbricas como:

- Atenuación debida a los gases atmosféricos;
- Desvanecimiento por difracción debido a la obstrucción parcial o total del trayecto;
- Desvanecimiento debido a la propagación por trayectos múltiples, la dispersión del haz y el centello;
- Atenuación debida a la variación de los ángulos de llegada y de salida;
- Atenuación debida a las precipitaciones;
- Atenuación debida a las tormentas de arena y polvo.

Se puede sintetizar, entonces, que este modelo usa los métodos probabilístico, experimental y determinístico.

4.1. DISEÑO 1

Figura 1. Topología propuesta



Fuente: Google Earth. Editada por el autor.

La topología propuesta está basada en la menor cantidad de puntos repetidores y en el cubrimiento de una distancia máxima demostrada de 245Km. El estudio se muestra en la figura 1r.

El análisis matemático de este diseño se realizará tramo a tramo. Se considera una tasa de transferencia de 32768Kbps que contemplan 16E1's, para la cual se puede usar una modulación QPSK, que permite una potencia de transmisión de 26dBm y un umbral de recepción de -88.5dBm para un ancho de canal de 28MHz con los equipos propuestos, de los cuales se resaltan las características más importantes en las siguientes figuras:

Figura 2. Taza de transferencia

Specifications

Modulation		Ethernet Throughput (Mbps)				Ethernet Throughput (Mbps)		
		No Compression	L2 Compression	Multi-Layer Compression		No Compression	L2 Compression	Multi-Layer Compression
QPSK	7 MHz	8	8-10	9-27	10 MHz	12	12-14	13-40
8 PSK		13	13-14	13-40		19	19-21	20-61
16 QAM		18	18-20	19-58		26	26-30	27-83
32 QAM		24	24-27	25-77		34	35-39	36-111
64 QAM		30	30-34	31-95		42	43-48	45-137
128 QAM		36	36-41	37-114		51	51-58	53-164
256 QAM		41	41-47	43-132		58	59-67	61-188
512 QAM		44	44-50	46-141		64	65-73	67-206
1024 QAM Strong		47	47-54	49-151		67	68-77	71-216
1024 QAM Light		50	51-57	53-161		72	72-82	75-230
2048 QAM		NA	NA	NA		NA	NA	NA
QPSK	14 MHz	19	19-22	20-62	20 MHz	27	28-31	29-88
8 PSK		29	29-33	30-93		41	41-47	43-132
16 QAM		40	40-45	42-128		56	57-64	59-180
32 QAM		53	53-60	55-169		74	75-85	78-238
64 QAM		65	65-74	68-208		91	92-104	96-293
128 QAM		78	79-89	82-251		110	111-126	116-354
256 QAM		89	90-102	94-287		125	126-142	131-401
512 QAM		98	99-112	103-316		136	137-156	143-438
1024 QAM Strong		104	105-119	109-335		145	146-165	152-466
1024 QAM Light		111	111-126	116-355		154	155-176	162-495
2048 QAM		NA	NA	NA		164	165-187	172-528
QPSK	28 MHz ACCP	40	40-45	42-127	30 MHz	41	41-47	43-132
8 PSK		59	60-68	62-191		61	62-70	65-197
16 QAM		81	82-93	85-261		84	85-96	88-270
32 QAM		107	108-122	112-344		111	111-126	116-355
64 QAM		132	133-150	138-424		136	137-155	143-437
128 QAM		159	160-181	166-509		164	166-188	173-528
256 QAM		181	182-206	190-580		188	190-215	198-604
512 QAM		199	201-227	209-640		209	211-238	220-672
1024 QAM Strong		212	214-242	223-681		222	224-253	233-714
1024 QAM Light		225	227-257	236-723		236	238-269	248-758
2048 QAM		NA	241	243-275		256	258-292	268-821

Fuente: Cambium Networks. Editada por el autor.

En la figura 2 se aprecia la capacidad de tráfico que puede soportar cada modulación según el ancho de banda del canal de transmisión, en la que se distingue un potencial de 40Mbps para una modulación QPSK sin compresión en un canal de 28MHz, que se

encuentra entre los parámetros para este diseño ya que sólo se requiere una capacidad de 33Mbps.

En la siguiente, figura 3, se muestran las potencias de transmisión de acuerdo a las modulaciones que soporta el equipo, en las que se evidencia un máximo de 26dBm para la modulación QPSK en la banda de 6GHz a 8GHz:

Figura 3. Potencia de transmisión

Specifications

PTP 820G SPECIFICATION SHEET

Transmit Power (dBm)	Frequency (GHZ)							Frequency (GHZ)						
	6-8	10-15	18-23	26	28	31	32-38	6-8	10-15	18-23	26	28	31	32-38
QPSK	26	24	22	21	14	16	18	26	24	22	21	14	16	18
8 PSK	26	24	22	21	14	16	18	26	24	22	21	14	16	18
16 QAM	25	23	21	20	14	15	17	25	23	21	20	14	15	17
32 QAM	24	22	20	19	14	14	16	24	22	20	19	14	14	16
64 QAM	24	22	20	19	14	14	16	24	22	20	19	14	14	16
128 QAM	24	22	20	19	14	14	16	24	22	20	19	14	14	16
256 QAM	22	20	18	17	12	12	14	22	20	18	17	12	12	14
512 QAM	22	20	18	17	9	12	14	22	20	18	17	9	12	14
1024 QAM	21	19	17	16	8	11	13	21	19	17	16	8	11	13

Fuente: Cambium Networks. Editada por el autor.

En la figura 4 se muestra un extracto de la hoja de especificaciones para la serie de equipos PTP 820G del fabricante Cambium Networks, en la que se aprecian los umbrales de recepción que el fabricante garantiza para los equipos de esta serie y que muestran una sensibilidad de -88.5dBm en la banda de 7GHz para la modulación QPSK con un espaciamiento entre portadoras de 28MHz.

El parámetro que se acaba de mencionar es importante para el cálculo del margen de desvanecimiento plano que indica la cantidad de señal que aún se puede perder en el nodo receptor. También se utiliza para calcular el valor del ruido que puede soportar el canal en el extremo que recibe la información durante la comunicación.

Figura 4. Umbral de recepción

Specifications

PTP 820G SPECIFICATION SHEET

MODULATION		6	7	8	11	13	15	18	23	26	28	31	32	36	38
QPSK	14 MHz ACC PC Channel Spacing	-92.0	-91.5	-91.5	-92.0	-92.0	-92.0	-91.0	-90.5	-89.5	-87.5	-88.5	-88.5	-88.5	-88.5
8 PSK		-86.0	-85.5	-85.5	-86.0	-86.0	-86.0	-85.0	-84.5	-83.5	-81.5	-82.5	-82.5	-82.5	-82.5
16 QAM		-85.0	-84.5	-84.5	-85.0	-85.0	-85.0	-84.0	-83.5	-82.5	-80.5	-81.5	-81.5	-81.5	-81.5
32 QAM		-82.0	-81.5	-81.5	-82.0	-82.0	-82.0	-81.0	-80.5	-79.5	-77.5	-78.5	-78.5	-78.5	-78.5
64 QAM		-79.0	-78.5	-78.5	-79.0	-79.0	-79.0	-78.0	-77.5	-76.5	-74.5	-75.5	-75.5	-75.5	-75.5
128 QAM		-75.5	-75.0	-75.0	-75.5	-75.5	-75.5	-74.5	-74.0	-73.0	-71.0	-72.0	-72.0	-72.0	-72.0
256 QAM		-73.0	-72.5	-72.5	-73.0	-73.0	-73.0	-72.0	-71.5	-70.5	-68.5	-69.5	-69.5	-69.5	-69.5
512 QAM		-70.0	-69.5	-69.5	-70.0	-70.0	-70.0	-69.0	-68.5	-67.5	-65.5	-66.5	-66.5	-66.5	-66.5
1024 QAM STRONG		-67.0	-66.5	-66.5	-67.0	-67.0	-67.0	-66.0	-65.5	-64.5	-62.5	-63.5	-63.5	-63.5	-63.5
1024 QAM LIGHT		-66.5	-66.0	-66.0	-66.5	-66.5	-66.5	-65.5	-65.0	-64.0	-62.0	-63.0	-63.0	-63.0	-63.0
QPSK	20 MHz Channel Spacing	-90.5	-90.0	-90.0	-90.5	-90.5	-90.5	-89.5	-89.0	-88.0	-86.0	-87.0	-87.0	-87.0	-87.0
8 PSK		-85.5	-85.0	-85.0	-85.5	-85.5	-85.5	-84.5	-84.0	-83.0	-81.0	-82.0	-82.0	-82.0	-82.0
16 QAM		-84.0	-83.5	-83.5	-84.0	-84.0	-84.0	-83.0	-82.5	-81.5	-79.5	-80.5	-80.5	-80.5	-80.5
32 QAM		-80.5	-80.0	-80.0	-80.5	-80.5	-80.5	-79.5	-79.0	-78.0	-76.0	-77.0	-77.0	-77.0	-77.0
64 QAM		-77.5	-77.0	-77.0	-77.5	-77.5	-77.5	-76.5	-76.0	-75.0	-73.0	-74.0	-74.0	-74.0	-74.0
128 QAM		-74.5	-74.0	-74.0	-74.5	-74.5	-74.5	-73.5	-73.0	-72.0	-70.0	-71.0	-71.0	-71.0	-71.0
256 QAM		-71.5	-71.0	-71.0	-71.5	-71.5	-71.5	-70.5	-70.0	-69.0	-67.0	-68.0	-68.0	-68.0	-68.0
512 QAM		-69.0	-68.5	-68.5	-69.0	-69.0	-69.0	-68.0	-67.5	-66.5	-64.5	-65.5	-65.5	-65.5	-65.5
1024 QAM STRONG		-66.0	-65.5	-65.5	-66.0	-66.0	-66.0	-65.0	-64.5	-63.5	-61.5	-62.5	-62.5	-62.5	-62.5
1024 QAM LIGHT		-65.0	-64.5	-64.5	-65.0	-65.0	-65.0	-64.0	-63.5	-62.5	-60.5	-61.5	-61.5	-61.5	-61.5
2048 QAM	-61.5	-61.0	-61.0	-61.5	-61.5	-61.5	-60.5	-60.0	-59.0	-57.0	-58.0	-58.0	-58.0	-58.0	
QPSK	28 MHz Channel Spacing	-89.0	-88.5	-88.5	-89.0	-89.0	-89.0	-88.0	-87.5	-86.5	-84.5	-85.5	-85.5	-85.5	-85.5
8 PSK		-84.5	-84.0	-84.0	-84.5	-84.5	-84.5	-83.5	-83.0	-82.0	-80.0	-81.0	-81.0	-81.0	-81.0
16 QAM		-82.5	-82.0	-82.0	-82.5	-82.5	-82.5	-81.5	-81.0	-80.0	-78.0	-79.0	-79.0	-79.0	-79.0
32 QAM		-79.0	-78.5	-78.5	-79.0	-79.0	-79.0	-78.0	-77.5	-76.5	-74.5	-75.5	-75.5	-75.5	-75.5
64 QAM		-76.0	-75.5	-75.5	-76.0	-76.0	-76.0	-75.0	-74.5	-73.5	-71.5	-72.5	-72.5	-72.5	-72.5
128 QAM		-72.5	-72.0	-72.0	-72.5	-72.5	-72.5	-71.5	-71.0	-70.0	-68.0	-69.5	-69.0	-69.0	-69.0
256 QAM		-69.5	-69.0	-69.0	-69.5	-69.5	-69.5	-68.5	-68.0	-67.0	-65.0	-66.5	-66.0	-66.0	-66.0
512 QAM		-67.5	-67.0	-67.0	-67.5	-67.5	-67.5	-66.5	-66.0	-65.0	-63.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0
1024 QAM STRONG		-64.5	-64.0	-64.0	-64.5	-64.5	-64.5	-63.5	-63.0	-62.0	-60.0	-61.0	-61.0	-61.0	-61.0
1024 QAM LIGHT		-63.5	-63.0	-63.0	-63.5	-63.5	-63.5	-62.5	-62.0	-61.0	-59.0	-60.0	-60.0	-60.0	-60.0
2048 QAM	-60.0	-59.5	-59.5	-60.0	-60.0	-60.0	-59.0	-58.5	-57.5	-55.5	-56.5	-56.5	-56.5	-56.5	

Fuente: Cambium Networks. Editada por el autor.

En la siguiente, figura 5, se muestran los rangos de frecuencia de operación de las antenas y las ganancias de acuerdo a estos. En este diseño la antena opera en la zona media de frecuencias (7583.33MHz-8041.67MHz), por lo tanto se tiene en cuenta la ganancia media que corresponde a 40.5dBi:

Figura 5. Características de la antena.

Electrical

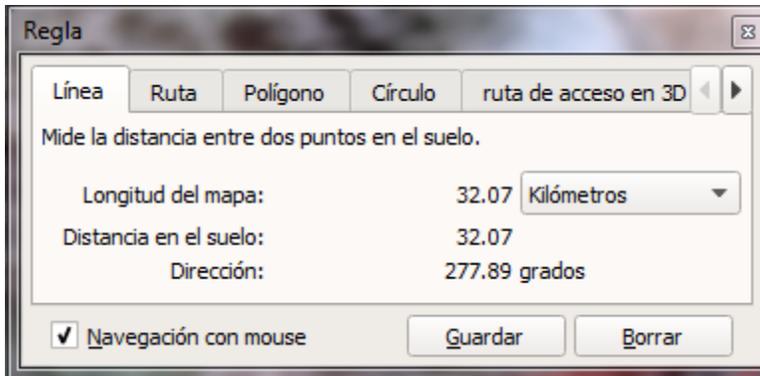
Operating Frequency Band	7.125 - 8.5 GHz	Gain, Low Frequency	39.7 dBi
Half Power Beamwidth, Horizontal	1.5 degrees	Gain, Mid Frequency	40.5 dBi
Half Power Beamwidth, Vertical	1.5 degrees	Gain, High Frequency	40.9 dBi
Cross-Polarization Discrimination	30 dB	VSWR	1.37:1
Front to Back Ratio (F/B)	49 dB	Return Loss	-16.1 dB

Fuente: RadioWaves. Editada por el autor.

Las antenas que se seleccionaron para este diseño fueron de la serie SP6-7.7 de RadioWaves con un diámetro de platón de 1.8m.

4.1.1. CMG-BTS SPA II

Figura 6. Distancia entre CMG-BTS SPA II



Fuente: Google Earth. Editada por el autor.

A continuación, es conveniente determinar la altura mínima recomendada para las antenas. En esta oportunidad se usarán las ecuaciones (5) y (7), y además se estipulará $d1$ y $d2$ a partir del mínimo despeje Fresnel mostrado en la figura 7 y la distancia de separación mostrada en la figura 6.

$$rF = 547\sqrt{\frac{d1d2}{fD}}$$

- $d1=16.035Km$
- $d2=16.035Km$
- $f=7842.5MHz$
- $D=32.07Km$

$$rF = 547\sqrt{\frac{(16.035) * (16.035)}{(7842.5) * (32.07)}}$$

$$rF = 17.48958671m$$

$$Aa = D_M^2/8$$

$$1Mi \longrightarrow 1.6Km$$

$$D_M \longrightarrow 32.07Km$$

$$D_M = \frac{32.07Km * 1Mi}{1.6Km}$$

$$D_M = 20.04375Mi$$

$$Aa = (20.04375)^2/8$$

$$Aa = 5.0109375pi$$

$$1pi \longrightarrow 0.3048m$$

$$5pi \longrightarrow Aa$$

$$Aa = \frac{5pi * 0.3048m}{1pi}$$

$$Aa = 1.52733375m$$

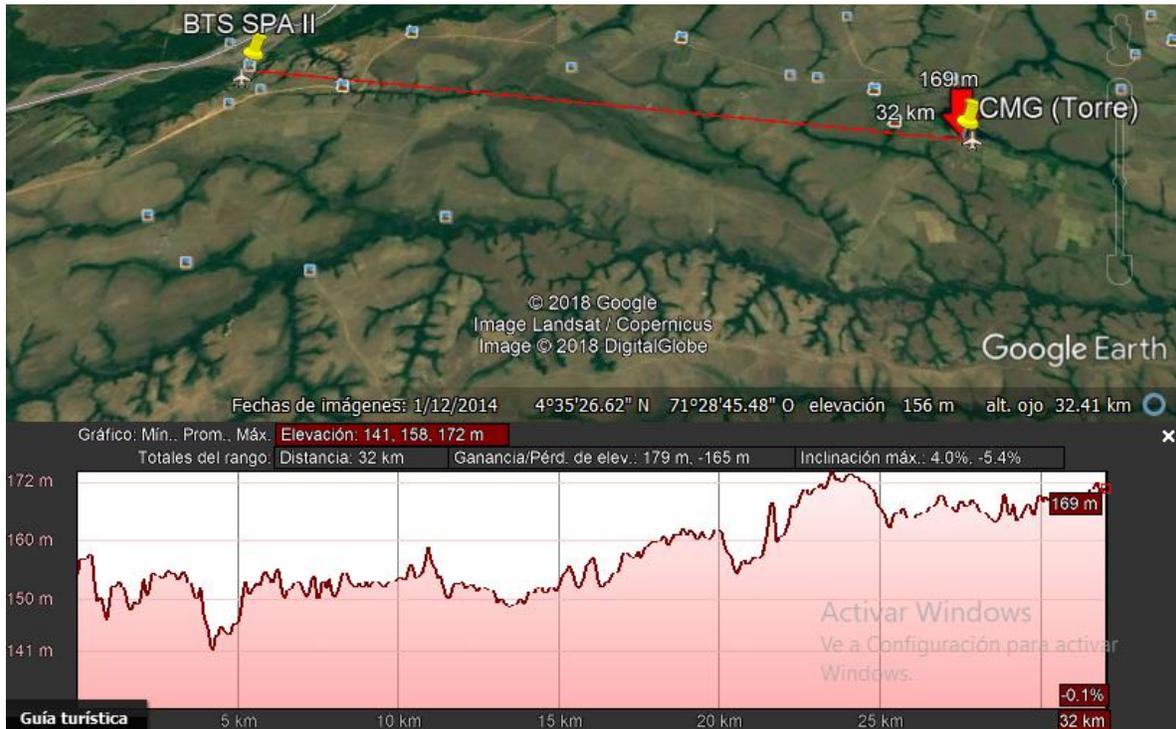
$$h_{min} = rF + Aa$$

$$h_{min} = 17.49m + 1.53m$$

$$h_{min} = 19.01692046m$$

$$h_{min} = 20m$$

Figura 7. Perfil de elevación CMG-BTS SPA II



Fuente: Google Earth. Editada por el autor.

En la figura 7 se muestra el perfil de elevación entre CMG y BTS SPA II, el cual es útil para determinar las distancias de despeje que se emplean en el cálculo de las alturas de antenas entre estos dos puntos.

Usando la distancia mostrada en la figura 6 y sabiendo que la frecuencia de operación se seleccionó a 7842.5MHz, se calculan las pérdidas por espacio libre usando la ecuación (2), así

$$L_{FS} = 32.4 + 20\log_{10}(D) + 20\log_{10}(f)$$

$$L_{FS} = 32.4 + 20\log_{10}(32.07) + 20\log_{10}(7842.5)$$

$$L_{FS} = 140.4110697\text{dB}$$

Ahora, se calcula la potencia de recepción usando la ecuación (1) y el resultado encontrado para las pérdidas por espacio libre. Se asume un nivel de pérdidas por

elementos igual a 5.705dB, una potencia de transmisión de 0.3981W y la ganancia de cada antena igual a 40.5dBi, entonces

$$P_{[dBW]} = 10 \log_{10} \left(\frac{0.3981W}{1W} \right) \quad (8)$$

$$P_{[dBW]} = -4.000078224dBW$$

$$P_R = P_T + G_{A1} + G_{A2} - L_{FS} - L_D$$

$$P_R = -4dBW + 40.5dBi + 40.5dBi - 140.41dB - 5.705dB$$

$$P_R = -69.12dBW$$

Se sigue con el cálculo del margen de desvanecimiento. Para ello se usa la fórmula (3) y se selecciona el factor de esperanza para un terreno muy áspero y montañoso ($A=0.25$), también se selecciona el factor para convertir la probabilidad del peor de los meses en probabilidad anual según áreas cálidas y húmedas ($B=0.5$). Se selecciona un factor de confiabilidad del 99.9%, como sigue

$$Fm = 30 \log_{10}(D) + 10 \log_{10}(6ABf) - 10 \log_{10}(1 - R) - 70$$

$$Fm = 30 \log_{10}(32.07) + 10 \log_{10}(6 * 0.25 * 0.5 * 7.8) - 10 \log_{10}(1 - 0.999) - 70$$

$$Fm = 12.85452746dB$$

La jerarquía de red que se pretende es SDH con una modulación QPSK. La distribución de frecuencias se encuentra regulada en el estándar R-REC F.385-10 (ITU, 2001) para la banda de frecuencias de 7GHz. Una sensibilidad típica para equipos que usan esta modulación es de -88.5dBm, según el estándar ETSI 302 217-2 (ETSI, 2016). Usando este dato y expresando la potencia de recepción en dBm se puede calcular el margen de desvanecimiento plano con ayuda de la fórmula (6),

$$P_{dBm} = P_{dBW} + 30 \quad (9)$$

$$P_{dBm} = -69.12 + 30$$

$$P_{dBm} = -39.12dBm$$

$$FFm = P_R - C_{min}$$

$$FFm = -39.12dBm - (-88.5dBm)$$

$$FFm = 49.38dB$$

Se sigue, calculando el nivel de ruido que llega al receptor. Para ello se usa un concepto basado en el estándar que se mencionó anteriormente, el cual manifiesta que la relación mínima de señal portadora a ruido puede ser de 24dB para una modulación QPSK.

En esta ocasión es válido usar la ecuación (4),

$$C_{min} = C/N + N_{(dBm)}$$

Acomodándola, queda

$$N_{(dBm)} = C_{min} - C/N \quad (10)$$

$$N_{(dBm)} = -88.5dBm - 24dB$$

$$N_{(dBm)} = -112.5dBm$$

A continuación se resume el procedimiento para los otros tramos del diseño mostrando los resultados en la siguiente, tabla 1, en la que se encuentran la altura mínima calculada para cada tramo (Hmin) que se da en metros, las pérdidas por espacio libre (Lfs) dada en decibelios, el umbral de recepción (Pr) dado en milidecibelios, el margen de desvanecimiento de la señal (Fm) dado en decibelios, el margen de desvanecimiento plano de la señal (FFm) dado en decibelios, el ruido soportado por el canal de transmisión (N) dado en milidecibelios y la distancia de separación entre los puntos del vano (D) dada en kilómetros:

Tabla 1. Resumen de cálculos para el diseño 1

DISEÑO 1			
/	CMG-BTS SPA II	BTS SPA II-TGR	VOR SJG-TGR
Hmin [m]	20	60	58
Lfs [dB]	140.41	157.88	157.56
Pr [dBm]	-39.12	-62.19	-65.5
Fm [dB]	12.86	39.06	38.58
FFm [dB]	49.38	26.31	23
N [dBm]	-112.5	-112.5	-112.5
D [Km]	32.07	239.73	230.91

Fuente y edición: Autor.

4.2. DISEÑO 2

Figura 8. Topología propuesta



Fuente: Google Earth. Editada por el autor.

En la figura 8 se muestra la topología propuesta para el segundo diseño en la cual se incluyen los puntos a interconectar y los puntos que estarán dispuestos como repetidores. En este estudio se busca que la distancia entre los puntos a interconectar se encuentre por debajo de los 200Km con el fin de que los vanos cumplan la garantía de cubrimiento según los fabricantes de los equipos seleccionados.

El análisis matemático para este diseño es análogo al que se desarrolló en el primer diseño e incluye los mismos valores para el tramo CMG-BTS SPA II, ya que no hay ninguna distinción en este vano entre los diseños propuestos. Dicho lo anterior, se muestra una tabla 2 a continuación con el resumen de los resultados obtenidos en los cálculos:

Tabla 2. Resumen de cálculos para el diseño 2

DISEÑO 2					
/	CMG-BTS SPA	BTS SPA-AN	AN-TGR	VOR SJG-CC	CC-TGR
Hmin [m]	20	26	52	31	47
Lfs [dB]	140.41	145.24	155.95	147.77	154.24
Pr [dBm]	-39.12	-43.71	-60.26	-50.88	-58.55
Fm [dB]	12.86	20.09	36.16	23.89	33.6
FFm [dB]	49.38	44.79	28.24	37.62	29.95
N [dBm]	-112.5	-112.5	-112.5	-112.5	-112.5
D [Km]	32.07	55.9	191.82	74.78	157.62

Fuente y edición: Autor.

5. SIMULACIONES

En este capítulo se muestran las simulaciones de los enlaces propuestos, utilizando diferentes programas especializados.

Los diseños se encuentran basados en la selección de equipos Cambium Networks y RadioWaves, los cuales fueron referenciados en el capítulo anterior. Estos equipos tienen un cubrimiento garantizado de 200Km dependiendo del arreglo implementado (Commscope, 2017), adicionalmente han realizado pruebas en las cuales demuestran conexión a 245.8Km de distancia (Cambium Networks, 2016).

5.1. DISEÑO 1

5.1.1. LINK PLANNER

La configuración de los equipos en LINKPlanner es la misma en todos los vanos y en ambos diseños, por lo tanto a continuación se muestra una figura 9 con estos parámetros:

Figura 9. Equipos

Equipment									
Region and Equipment Selection									
Band	Product	Regulation	Link Type	Remote Mount					
7 GHz	PTP07820G with RFU-C	ETSI	1+1 Hot Standby	None					
PTP07820G with RFU-C Configuration									
T/R Spacing	Bandwidth	Modulation Mode	Maximum Mod Mode	Minimum Mod Mode	Polarization	ATPC	Hi		
245 MHz	28 MHz	Adaptive	10 - 2048QAM	0 - QPSK	Horizontal	Disabled	CMG (Torre)		
TDM Configuration									
TDM Type	E1s								
E1	16								

Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La figura 9 anterior muestra la selección de equipo disponible según la banda de frecuencia de operación, así como el estándar que afecta la separación de canales, la configuración del tipo de enlace y el montaje. Más abajo se encuentran las casillas para seleccionar el espaciamiento entre el canal de transmisión y el canal de recepción, el ancho de banda de canal, el tipo de modulación, la polarización, activar o desactivar el control de potencia de transmisión automático, y la fuente del canal alto. Todo esto está seguido de la configuración de la multiplexación, la cual se escogió para 16E1's.

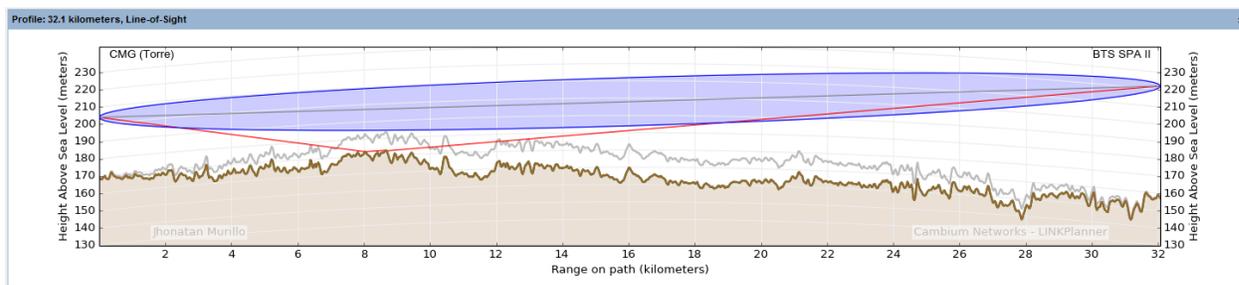
La banda de frecuencias se seleccionó a 7GHz debido a la autorización por parte de la ANE para que la Aeronáutica Civil opere en este rango. Se configura el equipo PTP07820G con RFU-C no sólo por la interfaz para conectarlo a la antena, sino también porque permite disponer del uso de 16 portadoras a través de la configuración de multiplexaje. Se pretende que el montaje se haga de manera directa, razón por la que no se activa el montaje remoto. El espaciamiento de 154MHz permite operar canales cuyos anchos de banda superan los 28MHz, dando la posibilidad para estos equipos de trabajar hasta 56MHz de ancho de banda de canal, sin embargo, en esta oportunidad se requiere un espaciamiento de 245MHz, permitiendo canales con un ancho de 28MHz suficientes para

una capacidad de 33Mbps. La modulación adaptativa permite al equipo regular automáticamente en qué nivel de modulación operar de acuerdo a las exigencias de rendimiento. En cuanto a la polarización se seleccionó la horizontal para evitar la interferencia con otras comunicaciones en bandas cercanas que podrían encontrarse en polarización vertical. Se inhabilita el control de potencia de transmisión automática basándose en la criticidad de los enlaces, para permitir que siempre estén operando a la máxima potencia posible. Por convención se determina que el canal alto sea el canal de transmisión y el canal bajo se use para recibir.

5.1.1.1 CMG-BTS SPA II

La siguiente figura 10 muestra la línea de visión entre los puntos a conectar que incluye su altitud, el perfil de terreno resaltando la curvatura de la tierra, la distancia de separación entre los puntos, el rayo directo con su zona de Fresnel y el rayo reflejado.

Figura 10. Línea de visión CMG-BTS SPA II



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

Las alturas de las antenas se configuraron por encima del valor calculado en el capítulo anterior debido a las dificultades topográficas y a la extensión de los enlaces que evidencian la notoria incidencia de la curvatura terrestre.

Este vano del diseño es el más corto y ofrece condiciones favorables, de manera que no es necesario el uso de diversidad espacial para alcanzar la disponibilidad esperada de 99.9%, a cambio se usa una configuración en las antenas de acoplamiento simétrico. Las antenas seleccionadas están disponibles para la venta a nivel mundial por medio de los distribuidores autorizados por el fabricante.

Figura 11. Configuración de extremos

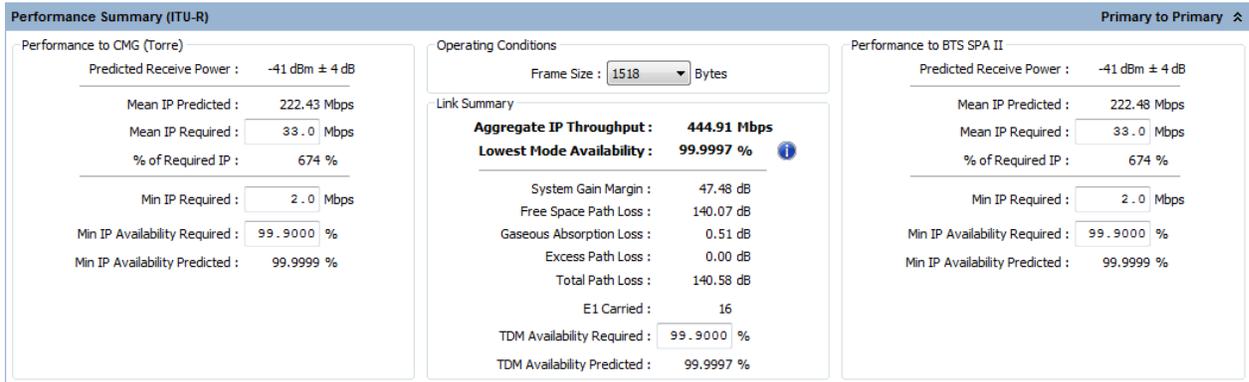
The screenshot displays the 'Configuration at Each End' window in Link Planner. It is divided into two panels: 'CMG (Torre)' on the left and 'BTS SPA II' on the right. Both panels share the same antenna configuration: 'Common Antenna - Symmetric Coupling' and 'Cambium Networks 6ft Single Pol (Global) N070082D288 - Direct (40.5dBi)'. The CMG (Torre) panel shows an antenna height of 35 meters (with a max height of 35.0 m) and a Tx Frequency of 7842.500 MHz. The BTS SPA II panel shows an antenna height of 65 meters (with a max height of 75.0 m) and a Tx Frequency of 7597.500 MHz. Both panels have a Feeder Loss of 3.8 dB, Maximum EIRP of 63.0 dBm (CMG) or 62.8 dBm (BTS SPA II), and Maximum Power of 25.0 dBm. There are checkboxes for 'User limit' and 'Interference', and a 'MAC Address' input field for each end.

Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La figura 11 anterior muestra la configuración en ambos extremos la cual incluye la selección y configuración de la antena, la altura a la cual se emplazará y la frecuencia del canal de transmisión en ambos puntos. Esta sección del simulador ofrece la posibilidad de limitar la potencia de transmisión y la potencia radiada isotrópica efectiva, así como también la posibilidad de simular interferencias y configurar la dirección MAC del equipo a utilizar.

En la siguiente figura 12 se puede apreciar un resumen sobre el desempeño del vano desde el primario del punto transmisor hasta el primario del punto receptor, el cual predice la potencia recibida, la disponibilidad de la conexión y de las portadoras. Esta sección nos da la opción de configurar el tráfico requerido y la disponibilidad requerida para indicar en tiempo real la viabilidad del diseño. En esta etapa tan sólo es necesario seleccionar la condición de operación que se limita al tamaño de la trama:

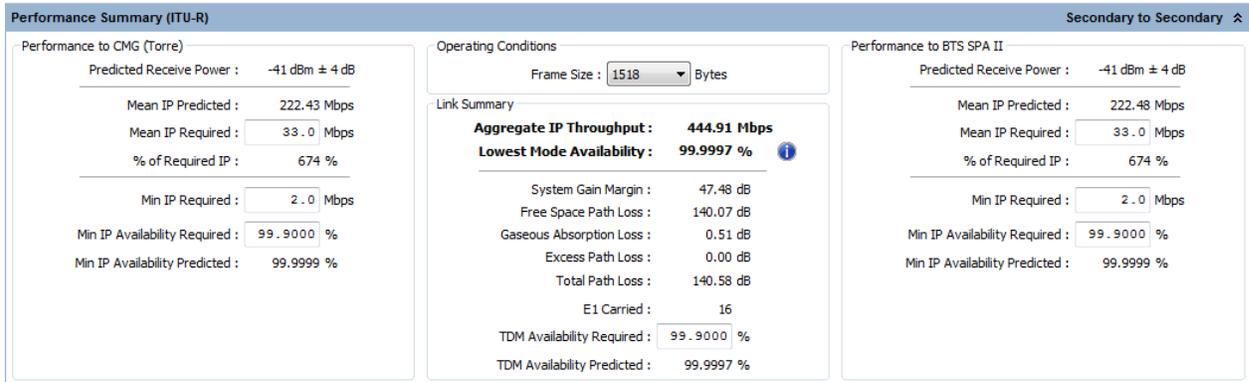
Figura 12. Resumen de desempeño (A)



Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

En la siguiente figura 13 se muestra un resumen sobre el desempeño del vano desde el secundario del nodo transmisor hasta el secundario del nodo receptor:

Figura 13. Resumen de desempeño (B)



Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

La Aeronáutica Civil exige un requerimiento de disponibilidad del 99.9% para la interconexión de sus comunicaciones, dado que incorpora datos de radar que representan un alto porcentaje en la facturación de la entidad. Si solamente fuera necesario transmitir datos de operación, la disponibilidad requerida sería del 50%, motivo de la configuración del primer valor en el simulador.

La siguiente figura 14 muestra los detalles de rendimientos del arreglo, entre los que se pueden identificar la máxima tasa de transferencia para cada modulación, el margen de desvanecimiento y el porcentaje de disponibilidad:

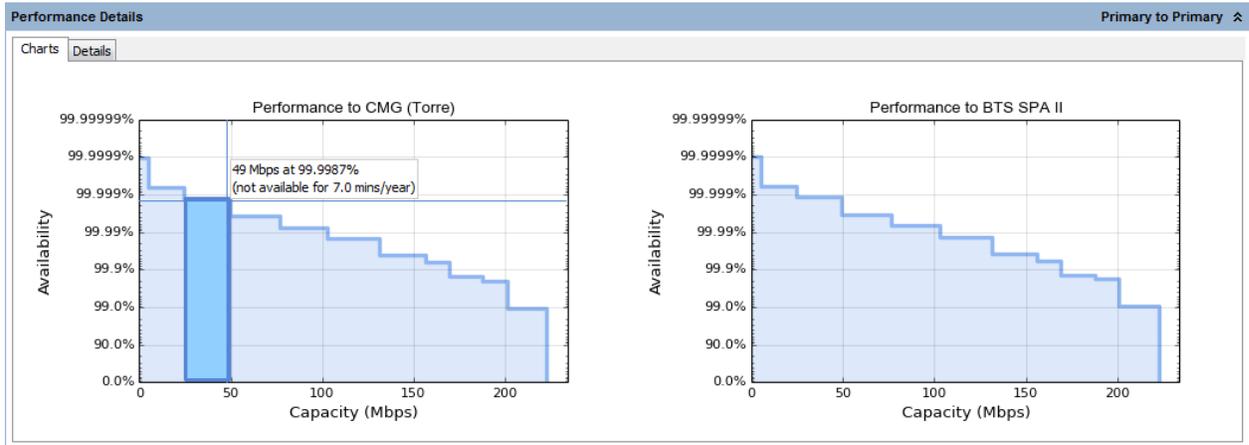
Figura 14. Detalles de desempeño (A)

Performance Details											
Common details											
Mode:	2048QAM	1024QAM	1024QAM	512QAM	256QAM	128QAM	64QAM	32QAM	16QAM	8PSK	QPSK
Profile:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	445.49	402.11	375.58	338.28	312.74	282.48	205.63	153.16	98.71	48.84	10.54
E1 Carried:	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Performance to CMG (Torre)											
Max IP Throughput (Mbps):	222.75	201.05	187.79	169.14	156.37	131.24	102.81	76.58	49.35	24.42	5.27
Fade Margin (dB):	6.73	12.73	13.73	17.73	19.73	24.73	27.73	30.73	35.23	38.23	47.48
Mode Availability (%):	98.9243	99.8043	99.8449	99.9359	99.9581	99.9853	99.9925	99.9982	99.9987	99.9993	99.9999
Receive Time in Mode (%):	98.9243	0.8800	0.0406	0.0910	0.0223	0.0272	0.0071	0.0038	0.0024	0.0007	0.0008
Performance to BTS SPA II											
Max IP Throughput (Mbps):	222.75	201.05	187.79	169.14	156.37	131.24	102.81	76.58	49.35	24.42	5.27
Fade Margin (dB):	7.19	13.19	14.19	18.19	20.19	25.19	28.19	31.19	35.69	38.69	47.94
Mode Availability (%):	99.0869	99.8243	99.8803	99.9419	99.9620	99.9867	99.9932	99.9988	99.9988	99.9994	99.9999
Receive Time in Mode (%):	99.0869	0.7373	0.0360	0.0816	0.0201	0.0247	0.0066	0.0034	0.0022	0.0006	0.0005

Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

La siguiente figura 15 muestra la misma información de manera más gráfica, en la que se evidencia que siempre va a permanecer un E1 con la disponibilidad más alta, y que el segmento que llega hasta los 33Mbps de capacidad del canal, mantiene una disponibilidad menor pero sin bajar del valor de disponibilidad requerido de 99.9%. Adicionalmente se observa que la indisponibilidad tan solo alcanza los siete minutos por cada año de operación:

Figura 15. Detalles de desempeño (B)

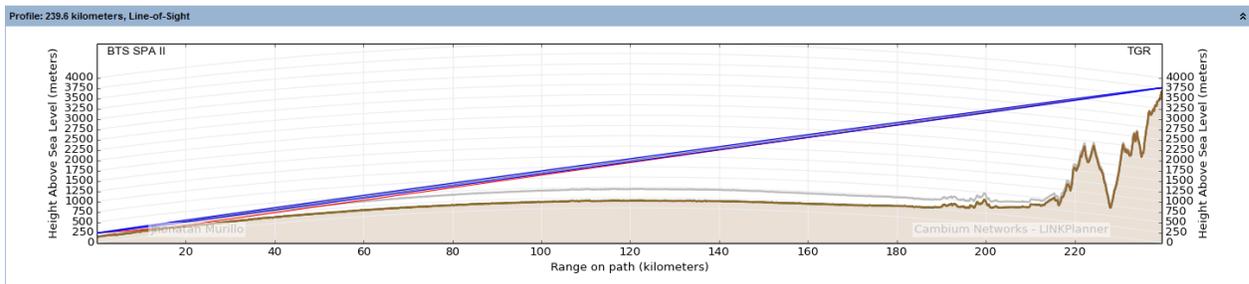


Fuente: Link Planer: Editada por el autor.

5.1.1.2. *BTS SPA II-TGR*

La siguiente figura 16 muestra la línea de visión entre los puntos a conectar que incluye su altitud, el perfil de terreno resaltando la curvatura de la tierra, la distancia de separación entre los puntos, el rayo directo con su zona de Fresnel y el rayo reflejado.

Figura 16. Línea de visión BTS SPA II-TGR



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

Las alturas de las antenas se configuraron por encima del valor calculado en el capítulo anterior debido a las dificultades topográficas y a la extensión de los enlaces que evidencian la notoria incidencia de la curvatura terrestre.

Este vano del diseño supera los 200Km de separación entre nodos, de manera que es necesario el uso de diversidad espacial para alcanzar la disponibilidad esperada de 99.9%. Las antenas seleccionadas están disponibles para la venta a nivel mundial por medio de los distribuidores autorizados por el fabricante.

Figura 17. Configuración de extremos

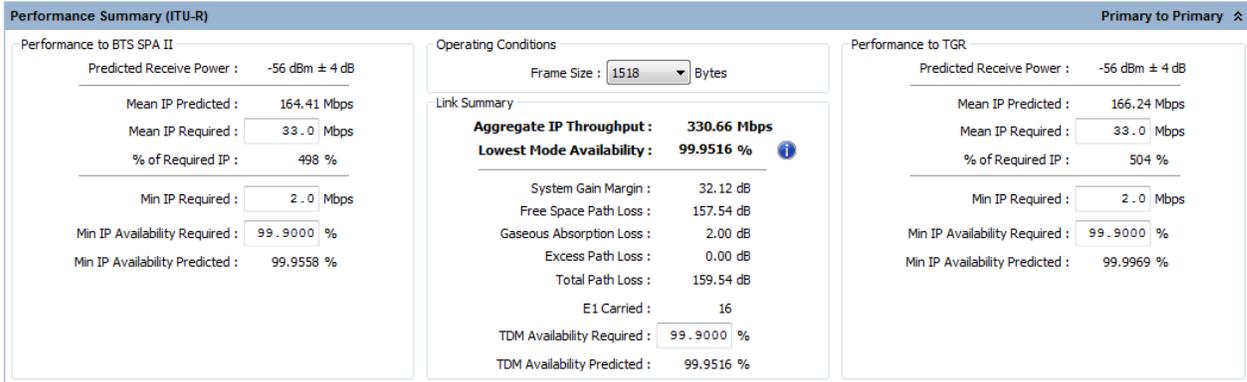
The screenshot displays the 'Configuration at Each End' window in the Link Planner software. It is divided into two panels: 'BTS SPA II' on the left and 'TGR' on the right. Both panels have a 'Primary to Primary' label in the top right corner. The 'BTS SPA II' panel shows an antenna configuration of 'Common Antenna - Symmetric Coupling' with a height of 75 meters and a feeder loss of 3.8 dB. The 'TGR' panel shows an antenna configuration of 'Spatial Diversity' with a height of 80 meters and a feeder loss of 0.2 dB. Both panels include fields for Maximum EIRP, Maximum Power, Tx Frequency, and MAC Address, with checkboxes for 'User limit' and 'Interference'.

Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La figura 17 anterior muestra la configuración en ambos extremos la cual incluye la selección y configuración de la antena, la altura a la cual se emplazará y la frecuencia del canal de transmisión en ambos puntos. Esta sección del simulador ofrece la posibilidad de limitar la potencia de transmisión y la potencia radiada isotrópica efectiva, así como también la posibilidad de simular interferencias y configurar la dirección MAC del equipo a utilizar.

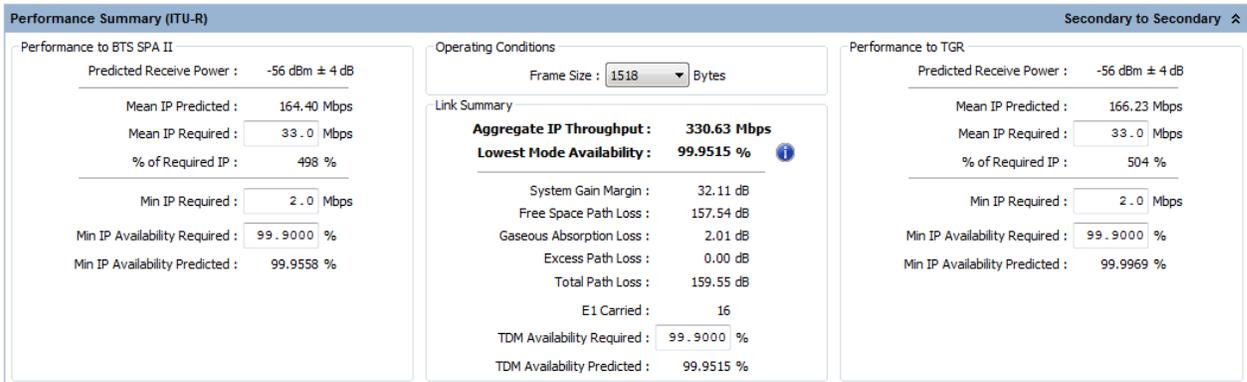
En las siguientes figuras 18 y 19 se puede apreciar un resumen sobre el desempeño del vano, el cual predice la potencia recibida, la disponibilidad de la conexión y de las portadoras. Esta sección nos da la opción de configurar el tráfico requerido y la disponibilidad requerida para indicar en tiempo real la viabilidad del diseño. En esta etapa tan sólo es necesario seleccionar la condición de operación que se limita al tamaño de la trama. Las imágenes diferencian entre las conexiones primario a primario, y secundario a secundario:

Figura 18. Resumen de desempeño (A)



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

Figura 19. Resumen de desempeño (B)



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La Aeronáutica Civil exige un requerimiento de disponibilidad del 99.9% para la interconexión de sus comunicaciones, dado que incorpora datos de radar que representan un alto porcentaje en la facturación de la entidad. Si solamente fuera necesario transmitir datos de operación, la disponibilidad requerida sería del 50%, motivo de la configuración del primer valor en el simulador.

La siguiente figura 20 muestra los detalles de rendimientos del arreglo, entre los que se pueden identificar la máxima tasa de transferencia para cada modulación, el margen de desvanecimiento y el porcentaje de disponibilidad:

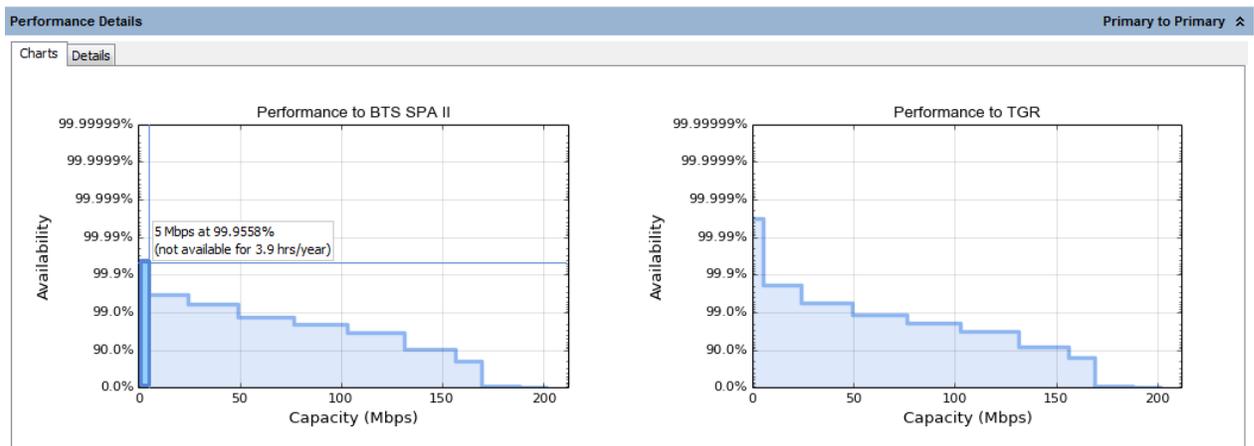
Figura 20. Detalles de desempeño (A)

Performance Details										
Common details										
Mode:	1024QAM	1024QAM	512QAM	256QAM	128QAM	64QAM	32QAM	16QAM	8PSK	QPSK
Profile:	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	402.11	375.58	338.28	312.74	282.48	205.63	153.16	98.71	48.84	10.54
E1 Carried:	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Performance to BTS SPA II										
Max IP Throughput (Mbps):	201.05	187.79	169.14	156.37	131.24	102.81	76.58	49.35	24.42	5.27
Fade Margin (dB):	-2.63	-1.63	2.37	4.37	9.37	12.37	15.37	19.87	22.87	32.12
Mode Availability (%):	4.2582	8.6392	80.6641	90.5238	96.6774	97.9262	98.7127	99.4120	99.6683	99.9558
Receive Time in Mode (%):	4.2582	4.3810	72.0250	9.8596	6.1536	1.2488	0.7885	0.6993	0.2563	0.2875
Performance to TGR										
Max IP Throughput (Mbps):	201.05	187.79	169.14	156.37	131.24	102.81	76.58	49.35	24.42	5.27
Fade Margin (dB):	-2.17	-1.17	2.83	4.83	9.83	12.83	15.83	20.33	23.33	32.58
Mode Availability (%):	5.7819	12.6278	83.9894	91.6738	96.9139	98.0684	98.8061	99.4596	99.8082	99.9969
Receive Time in Mode (%):	5.7819	6.8458	71.3617	7.6844	5.2401	1.1545	0.7377	0.6535	0.3486	0.1886

Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

La siguiente figura 21 muestra la misma información de manera más gráfica:

Figura 21. Detalles de desempeño (B)

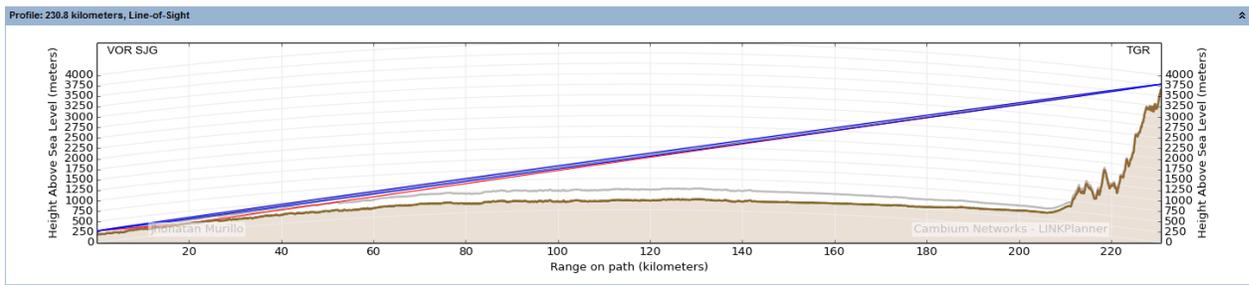


Fuente: Link Planer: Editada por el autor.

5.1.1.3. VOR SJG-TGR

La siguiente figura 22 muestra la línea de visión entre los puntos a conectar que incluye su altitud, el perfil de terreno resaltando la curvatura de la tierra, la distancia de separación entre los puntos, el rayo directo con su zona de Fresnel y el rayo reflejado.

Figura 22. Línea de visión VOR SJG-TGR



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

Las alturas de las antenas se configuraron por encima del valor calculado en el capítulo anterior debido a las dificultades topográficas y a la extensión de los enlaces que evidencian la notoria incidencia de la curvatura terrestre.

Este vano del diseño supera los 200Km de separación entre nodos, de manera que es necesario el uso de diversidad espacial para alcanzar la disponibilidad esperada de 99.9%. Las antenas seleccionadas están disponibles para la venta a nivel mundial por medio de los distribuidores autorizados por el fabricante.

La figura 23 siguiente muestra la configuración en ambos extremos la cual incluye la selección y configuración de la antena, la altura a la cual se emplazará y la frecuencia del canal de transmisión en ambos puntos. Esta sección del simulador ofrece la posibilidad de limitar la potencia de transmisión y la potencia radiada isotrópica efectiva, así como también la posibilidad de simular interferencias y configurar la dirección MAC del equipo a utilizar.

Se puede apreciar cómo se usa diversidad espacial solamente en uno de los extremos, permitiendo alcanzar la disponibilidad requerida del 99.9% y reduciendo costos al evitar esta técnica en el otro extremo.

Figura 23. Configuración de extremos

The screenshot displays the 'Configuration at Each End' window in Link Planner. It is divided into two panels: 'VOR SJG' on the left and 'TGR' on the right. Both panels show antenna configuration (Common Antenna - Symmetric Coupling for VOR SJG and Spatial Diversity for TGR), antenna height, feeder loss, maximum EIRP, maximum power, and transmission frequency. There are also checkboxes for 'User limit' and 'Interference'.

Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

En las siguientes figuras 24 se puede apreciar un resumen sobre el desempeño del vano, el cual predice la potencia recibida, la disponibilidad de la conexión y de las portadoras. Esta sección nos da la opción de configurar el tráfico requerido y la disponibilidad requerida para indicar en tiempo real la viabilidad del diseño. En esta etapa tan sólo es necesario seleccionar la condición de operación que se limita al tamaño de la trama:

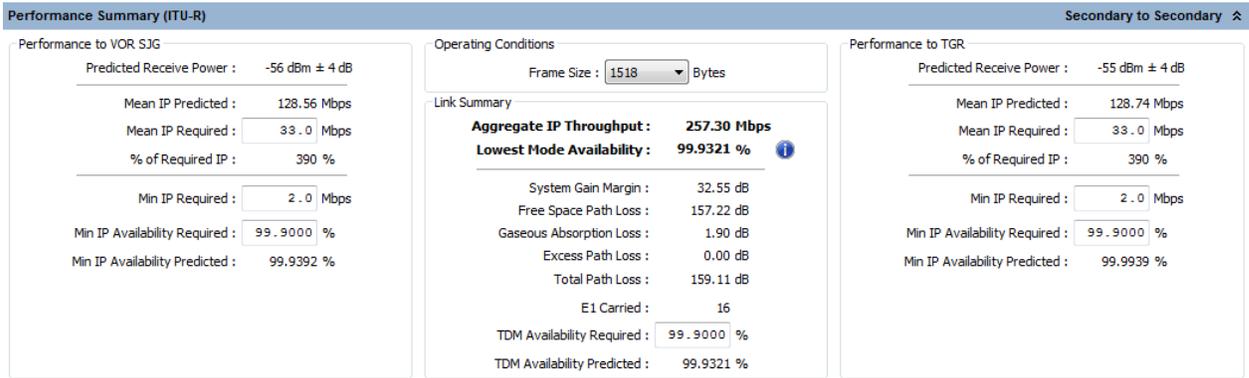
Figura 24. Resumen de desempeño (A)

The screenshot shows the 'Performance Summary (ITU-R)' window. It is divided into three main sections: 'Performance to VOR SJG', 'Operating Conditions', and 'Performance to TGR'. The 'Performance to VOR SJG' and 'Performance to TGR' sections show predicted receive power, mean IP predicted, mean IP required, and percentage of required IP. The 'Operating Conditions' section shows frame size (1518 Bytes) and a link summary with aggregate IP throughput (257.31 Mbps) and lowest mode availability (99.9322%).

Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La Aeronáutica Civil exige un requerimiento de disponibilidad del 99.9% para la interconexión de sus comunicaciones, dado que incorpora datos de radar que representan un alto porcentaje en la facturación de la entidad. Si solamente fuera necesario transmitir datos de operación, la disponibilidad requerida sería del 50%, motivo de la configuración del primer valor en el simulador.

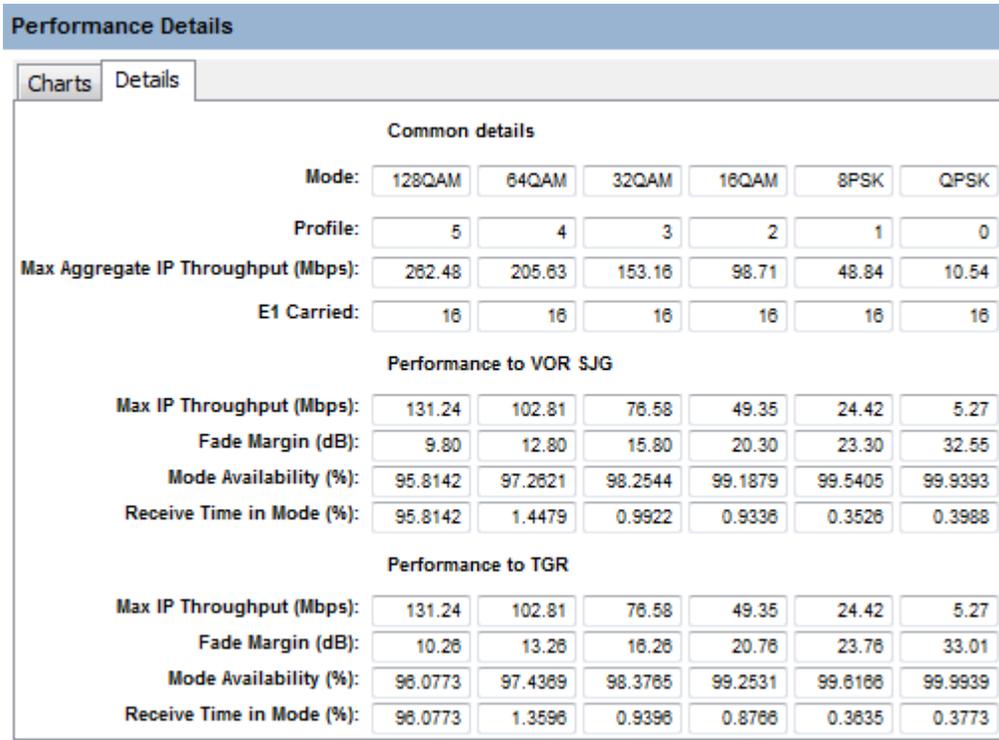
Figura 25. Resumen de desempeño (B)



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La siguiente figura 26 muestra los detalles de rendimientos del arreglo, entre los que se pueden identificar la máxima tasa de transferencia para cada modulación, el margen de desvanecimiento y el porcentaje de disponibilidad:

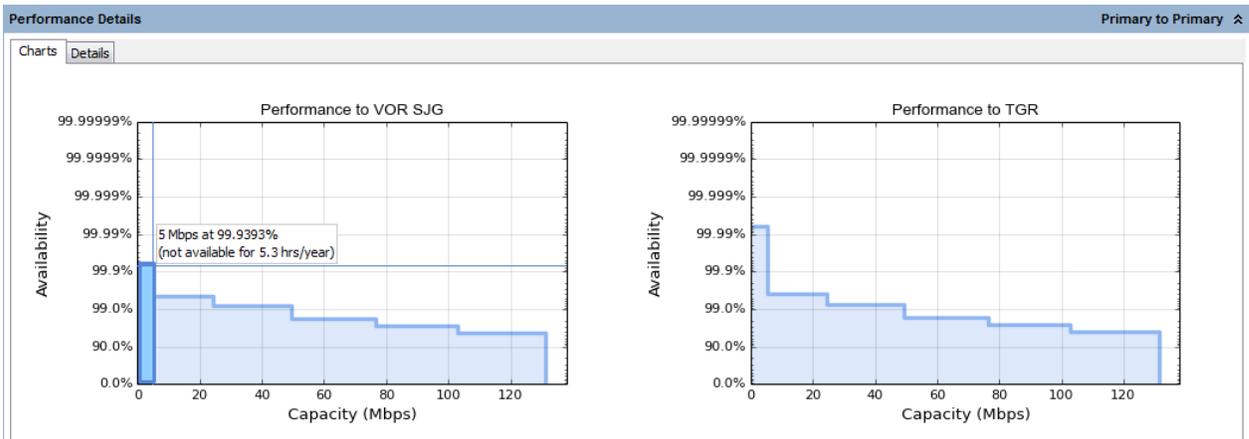
Figura 26. Detalles de desempeño (A)



Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

La siguiente figura 27 muestra la misma información de manera más gráfica:

Figura 27. Detalles de desempeño (B)



Fuente: Link Planer: Editada por el autor.

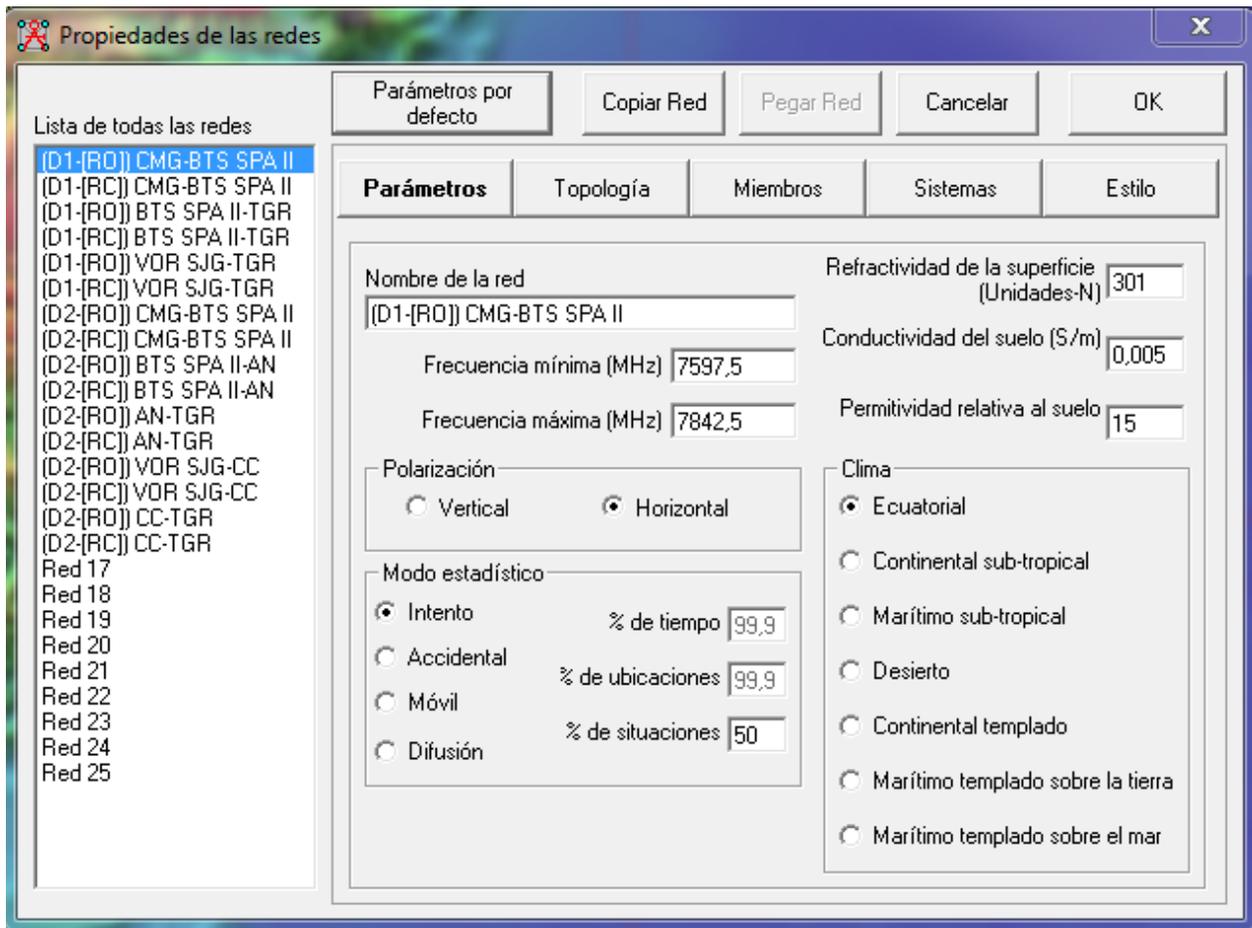
5.1.2. RADIO MOBILE

Los parámetros, la topología y el estilo son los mismos para la simulación en todos los diseños. Estos se presentan en las siguientes figuras:

En la imagen siguiente, figura 28, se muestran los parámetros de las redes, que contiene: lista de todas las redes, nombre de la red actual que se configura, valores de frecuencias entre los que se comprende el enlace, tipo de polarización, modo estadístico, refractividad de la superficie, conductividad del suelo, permitividad relativa al suelo y tipo de clima.

En el nombre de la red se destaca los puntos a interconectar en el vano. Las frecuencias mínimas y máximas se corresponden con los rangos de operación de los equipos seleccionados y con la asignación de frecuencias por parte de la ANE a la Aeronáutica Civil. Se configura la polarización horizontal para reducir las posibles interferencias con servicios en frecuencias cercanas que se encuentren operando en modo de polarización horizontal. El modo estadístico se deja por defecto debido a que determina la manera en que el software realiza el cálculo de las pérdidas, igual que los valores de permitividad relativa al suelo, conductividad del suelo y refractividad de la superficie. El tipo de clima se selecciona para zona ecuatorial debido a la posición geográfica en la cual se implementarían estos diseños.

Figura 28. Parámetros

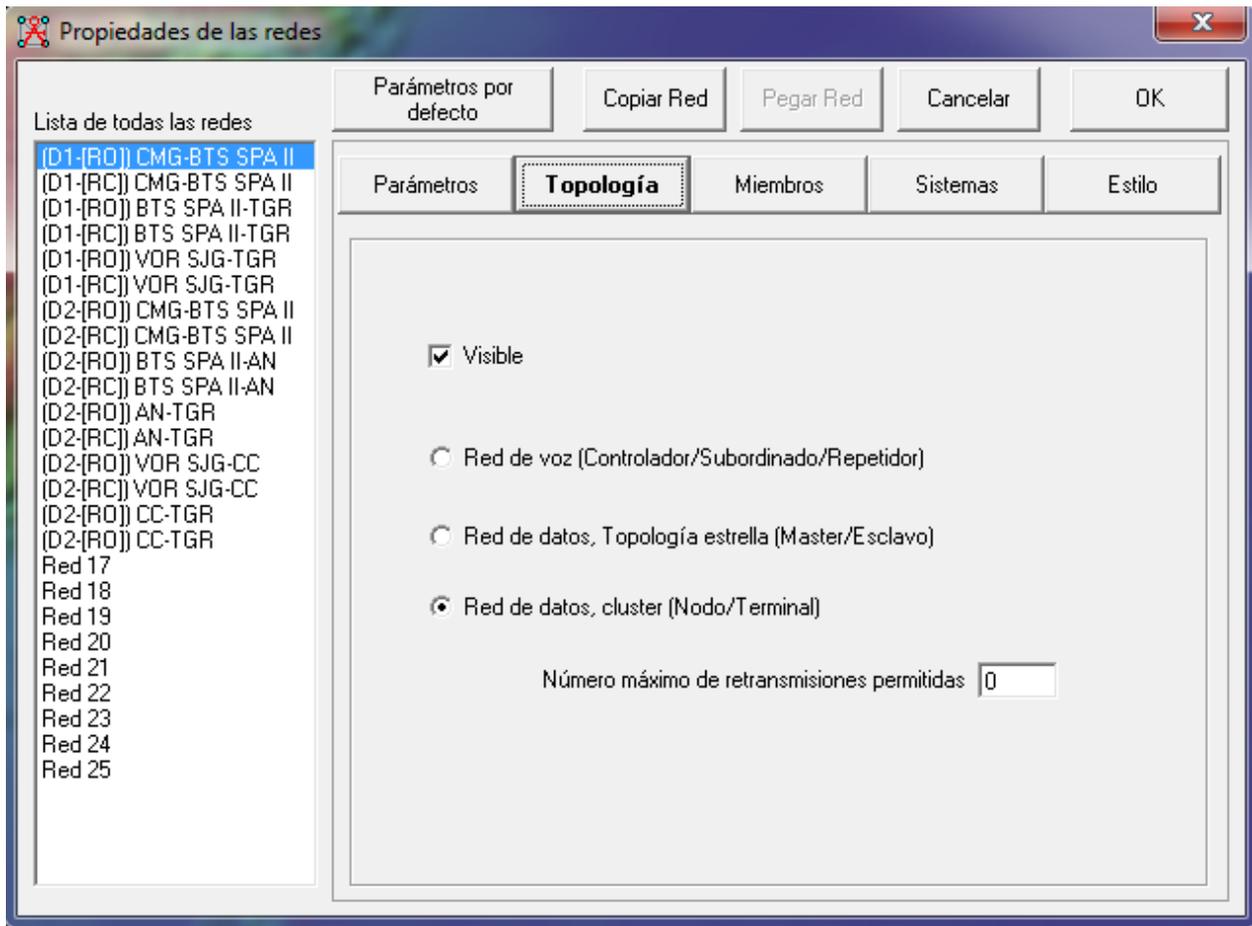


Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la imagen siguiente, figura 29, se muestra la topología, en la que se configuran la visibilidad del vano y el tipo de red. En este caso se seleccionó una red de datos tipo nodo/terminal, que permite hacer simulaciones de enlaces punto a punto como los que se piensan diseñar.

En esta imagen también se aprecia la lista de todas las redes en el costado izquierdo. En la parte superior se muestran los botones que abren otros submenús de configuración como los relacionados con el estilo, los sistemas implementados y los miembros que hacen parte de cada sistema. Existe un botón de confirmación, uno de cancelación, otro de restauración de parámetros por defecto, y dos más para copiar y pegar las redes.

Figura 29. Topología

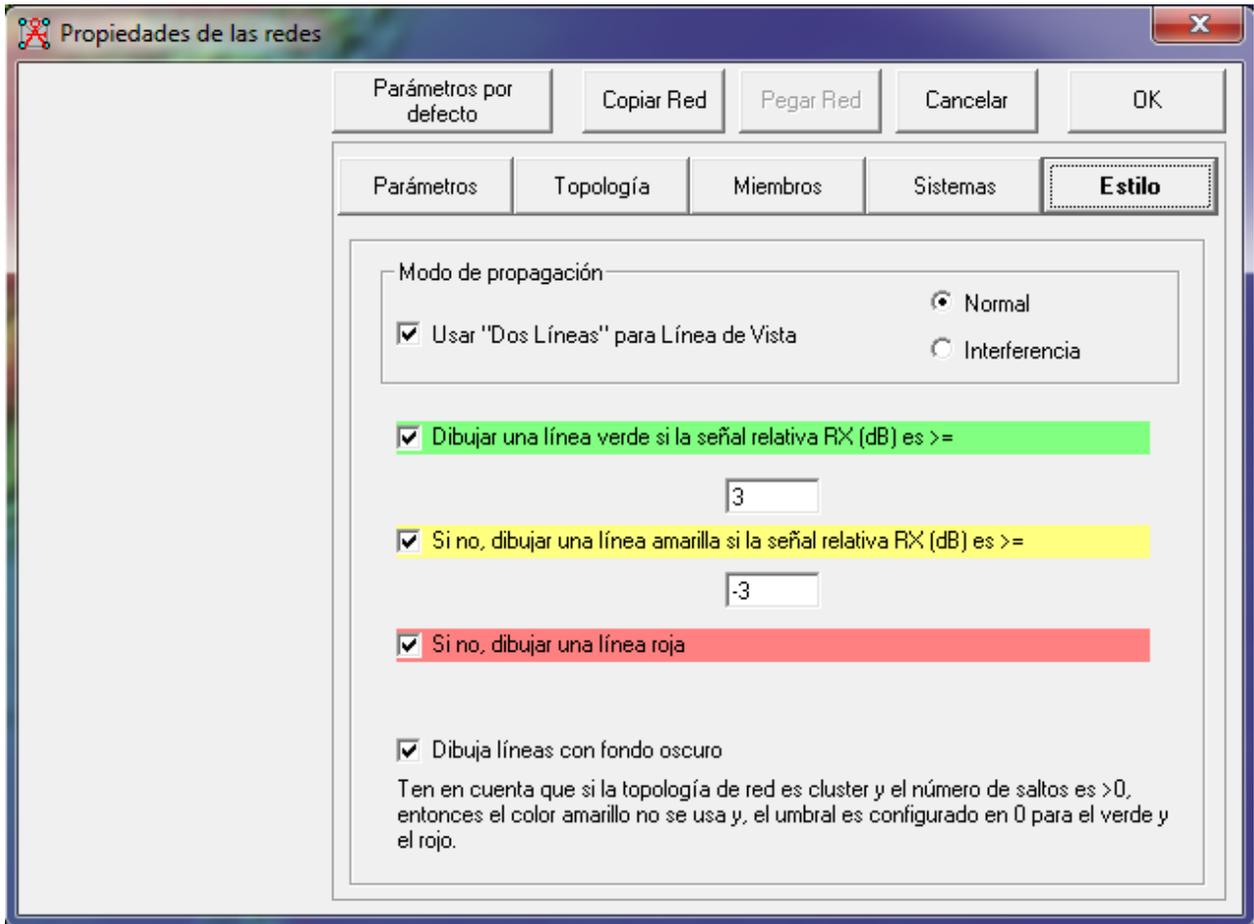


Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la imagen siguiente, figura 30, se muestra la selección del modo de propagación como normal, se elige representar la línea de vista por medio de dos líneas con fondo oscuro y con colores que representan diferentes situaciones de las conexiones como verde para un nivel de recepción superior o igual a 3dB del umbral, amarillo entre -3dB y 3dB y rojo si es inferior a -3dB.

Este valor de 3dB es típico en comunicaciones y representa una concentración del patrón de radiación de las señales de al menos el 70%. En la señal relativa, representa el valor mínimo del margen de desvanecimiento plano en el nodo receptor para una comunicación aceptable.

Figura 30. Estilo



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

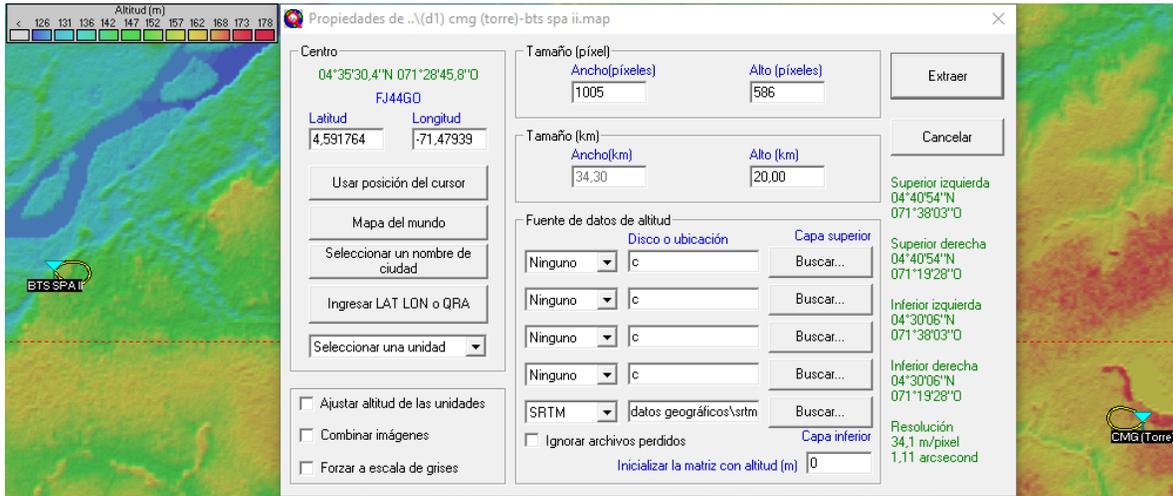
5.1.2.1. CMG-BTS SPA II

Se presentan a continuación la altura de extracción de la imagen, los resultados de la simulación con un rendimiento óptimo y con un rendimiento crítico del enlace CMG-BTS SPA II.

En la figura 31 siguiente se observan las coordenadas del centro de la imagen, las coordenadas de las esquinas de la imagen, la fuente de los datos de altitud y la altura a la cual se realiza la extracción de la imagen. Y en las subsiguientes figuras se aprecian el direccionamiento de las antenas, las pérdidas del vano, los niveles de recepción, la distancia de separación. En la parte inferior de la imagen se muestran los miembros y su

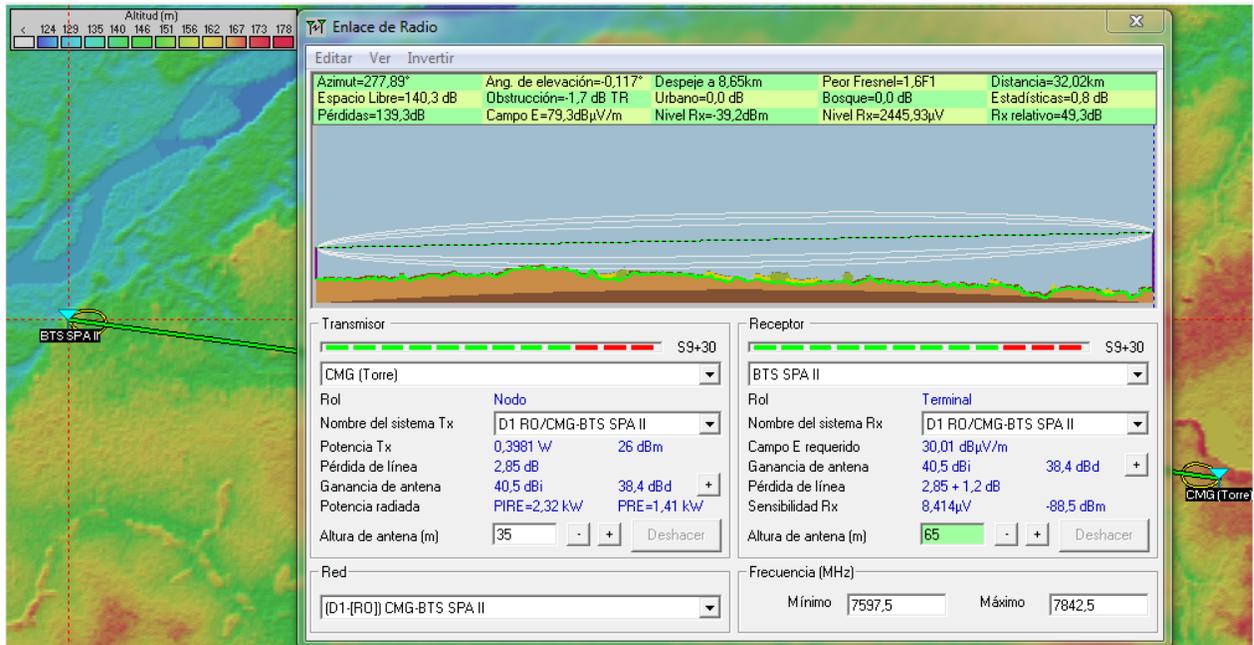
rol, y además, la configuración usada para cada uno de ellos como: potencia de transmisión, ganancia de las antenas, altura de las antenas y sensibilidad en el receptor.

Figura 31. AEI CMG-BTS SPA II.



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

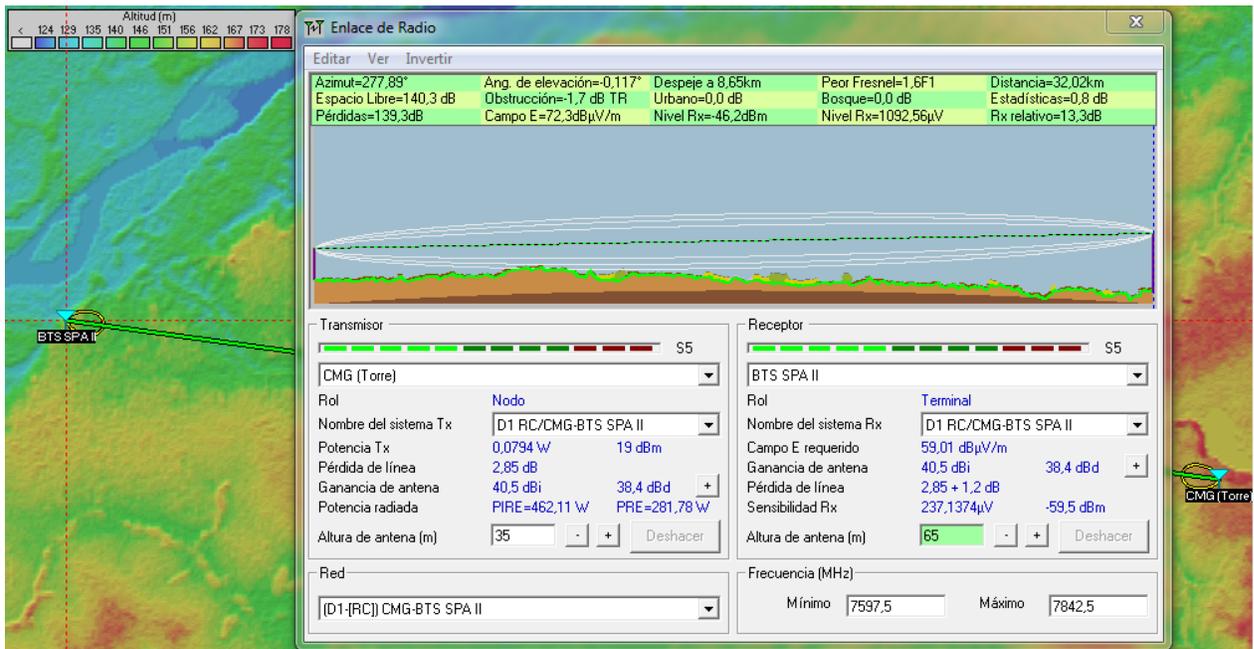
Figura 32. Resultados CMG-BTS SPA II. Rendimiento óptimo.



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la figura 32 anterior se muestran los resultados de la simulación para el tramo CMG-BTS SPA II con un rendimiento óptimo, el cual hace referencia a la mayor potencia de transmisión y al nivel más bajo de modulación (mod. 0). Esta imagen contrasta con la siguiente, en la cual se muestran los resultados para el nivel más alto de modulación permitido en este vano (mod. 10), y con el nivel de potencia que soportan los equipos para dicha modulación.

Figura 33. Resultados CMG-BTS SPA II. Rendimiento crítico.



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En las gráficas anteriores, figuras 32 y 33, se puede observar como el nivel "Rx relativo" cae de 49.3dB a 13.3dB, indicando un margen de desvanecimiento plano de 36dB para alcanzar la mayor modulación con esta configuración del vano. Al lograrlo se puede observar que el rendimiento del enlace sigue siendo bueno, al encontrarse el "Rx relativo" por encima de 3dB.

5.1.2.2. BTS SPA II-TGR

Se presentan a continuación la altura de extracción de la imagen, los resultados de la simulación con un rendimiento óptimo y con un rendimiento crítico del enlace BTS SPA II-TGR.

Figura 34. AEI BTS SPA II-TGR.



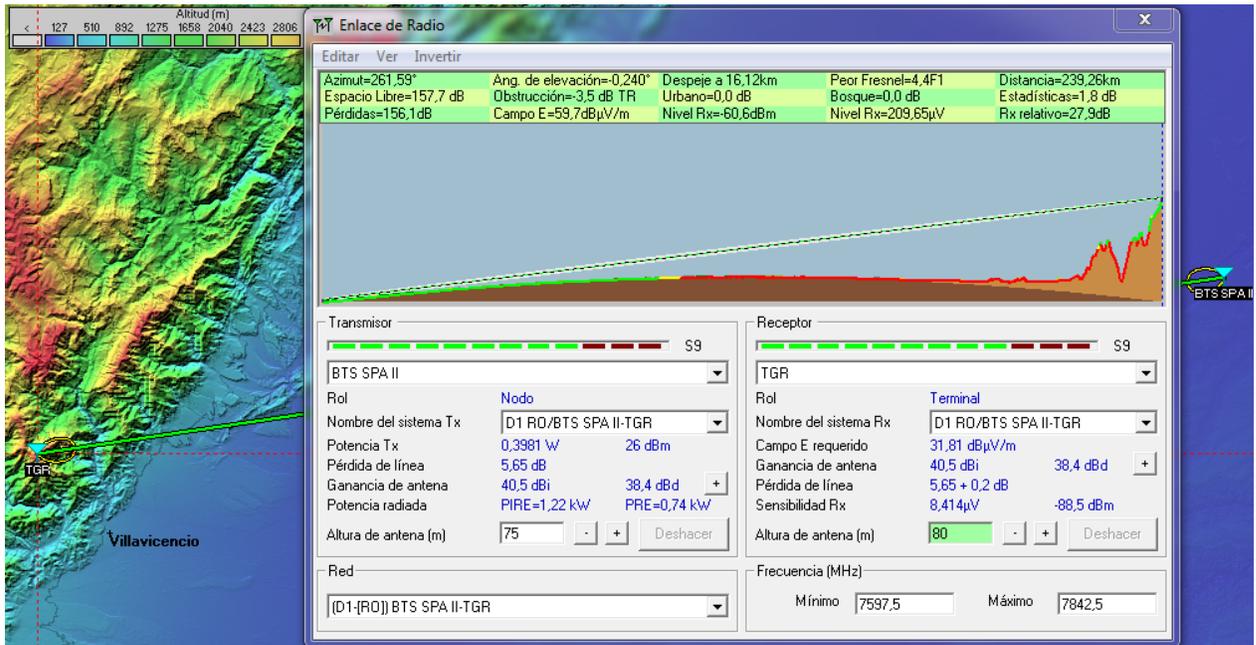
Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la figura 34 anterior se observan las coordenadas del centro de la imagen, las coordenadas de las esquinas de la imagen, la fuente de los datos de altitud y la altura a la cual se realiza la extracción de la imagen. En las siguientes figuras se aprecian el direccionamiento de las antenas, las pérdidas del vano, los niveles de recepción, la distancia de separación. En la parte inferior de la imagen se muestran los miembros y su rol, y además, la configuración usada para cada uno de ellos como: potencia de transmisión, ganancia de las antenas, altura de las antenas y sensibilidad en el receptor.

En la figura 35 siguiente se muestran los resultados de la simulación para el tramo BTS SPA II-TGR con un rendimiento óptimo, el cual hace referencia a la mayor potencia de transmisión y al nivel más bajo de modulación (mod. 0). Esta imagen contrasta con la subsiguiente, en la cual se muestran los resultados para el nivel más alto de modulación permitido en este vano (mod. 9), y con el nivel de potencia que soportan los equipos para dicha modulación.

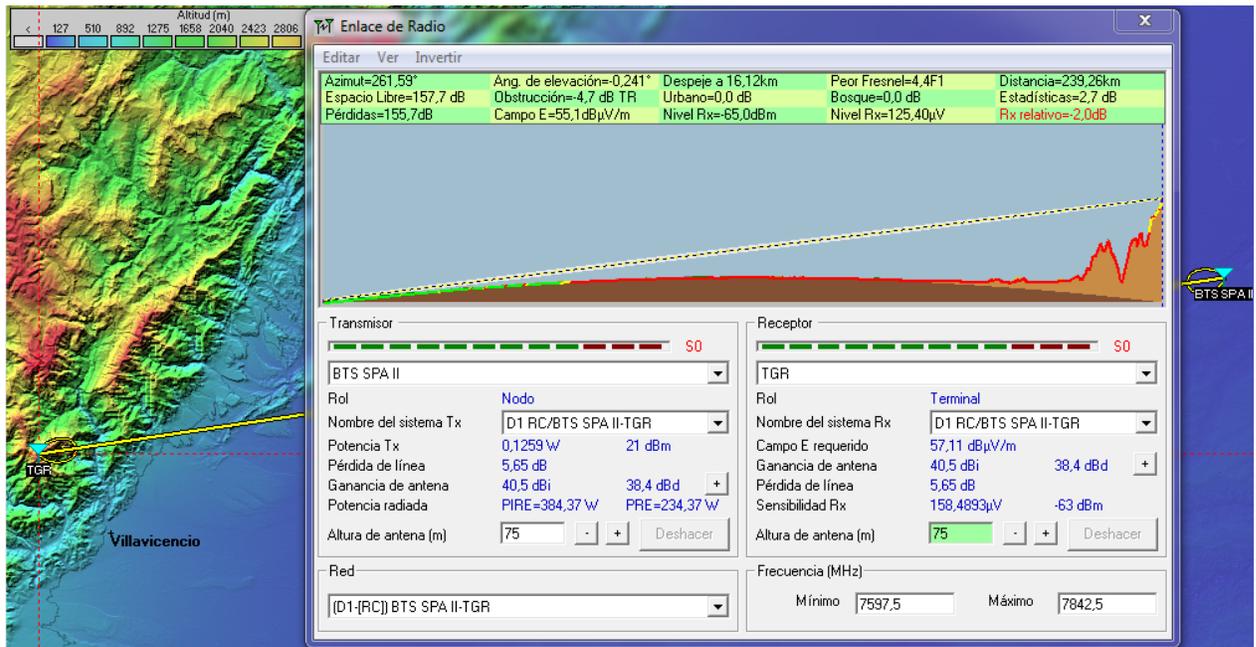
En estas figuras se observa que hay un margen de desvanecimiento plano de 29.9dB para alcanzar la modulación más alta que permite el vano con esta configuración de equipos, logrando 1024QAM (light). Esto se logró usando diversidad espacial de 5m en el extremo receptor.

Figura 35. Resultados BTS SPA II-TGR. Rendimiento óptimo.



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

Figura 36. Resultados BTS SPA II-TGR. Rendimiento crítico.



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En las gráficas anteriores, figuras 35 y 36, se puede observar como el nivel "Rx relativo" cae por debajo de lo permitido, haciendo que el rendimiento de la comunicación sea realmente crítico. Esto describe un desvanecimiento top de la señal en el nodo receptor que implicaría la posible no inteligibilidad del 100% de los datos transmitidos (pérdida o modificación de algunos bits) e indicando al mismo tiempo que esta es la modulación más alta que puede alcanzar este vano del arreglo de comunicación.

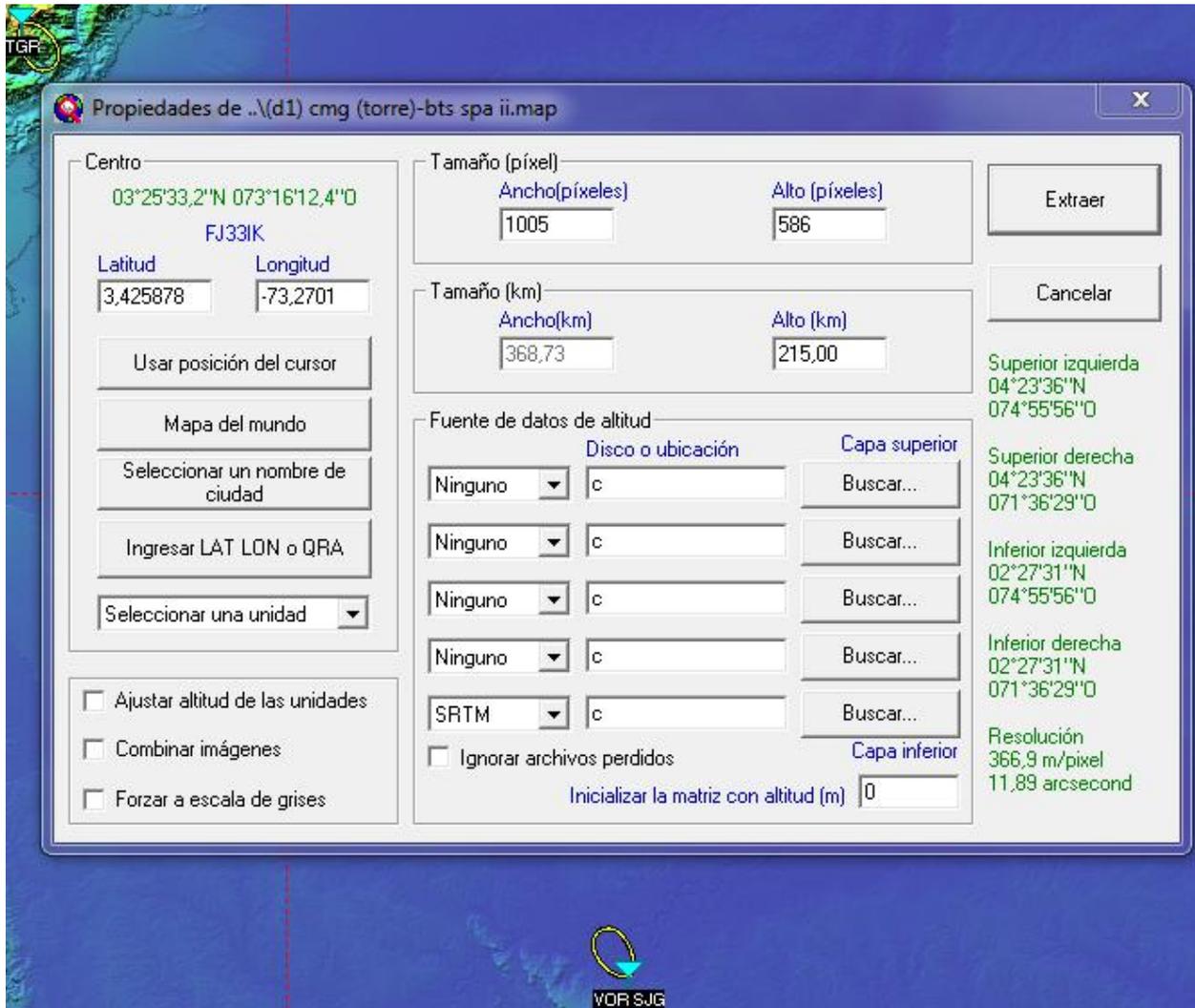
5.1.1.3 VOR SJG-TGR

Se presentan a continuación la altura de extracción de la imagen, los resultados de la simulación con un rendimiento óptimo y con un rendimiento crítico del enlace VOR SJG-TGR.

En la figura 37 siguiente se observan las coordenadas del centro de la imagen, las coordenadas de las esquinas de la imagen, la fuente de los datos de altitud y la altura a la cual se realiza la extracción de la imagen. En las subsiguientes figuras se aprecian el direccionamiento de las antenas, las pérdidas del vano, los niveles de recepción, la distancia de separación. En la parte inferior de la imagen se muestran los miembros y su rol, y además, la configuración usada para cada uno de ellos como: potencia de transmisión, ganancia de las antenas, altura de las antenas y sensibilidad en el receptor.

Esta extracción de la imagen tan ajustada a la pantalla, donde los extremos quedan justo en las orillas, permite mayor precisión en los cálculos realizados por el software dado que se presenta una mejor y más detallada referencia geográfica al aumentar la resolución de captura de la imagen satelital. Es así como se obtiene mayor fidelidad en los resultados que muestra el programa.

Figura 37. AEI VOR SJG-TGR.

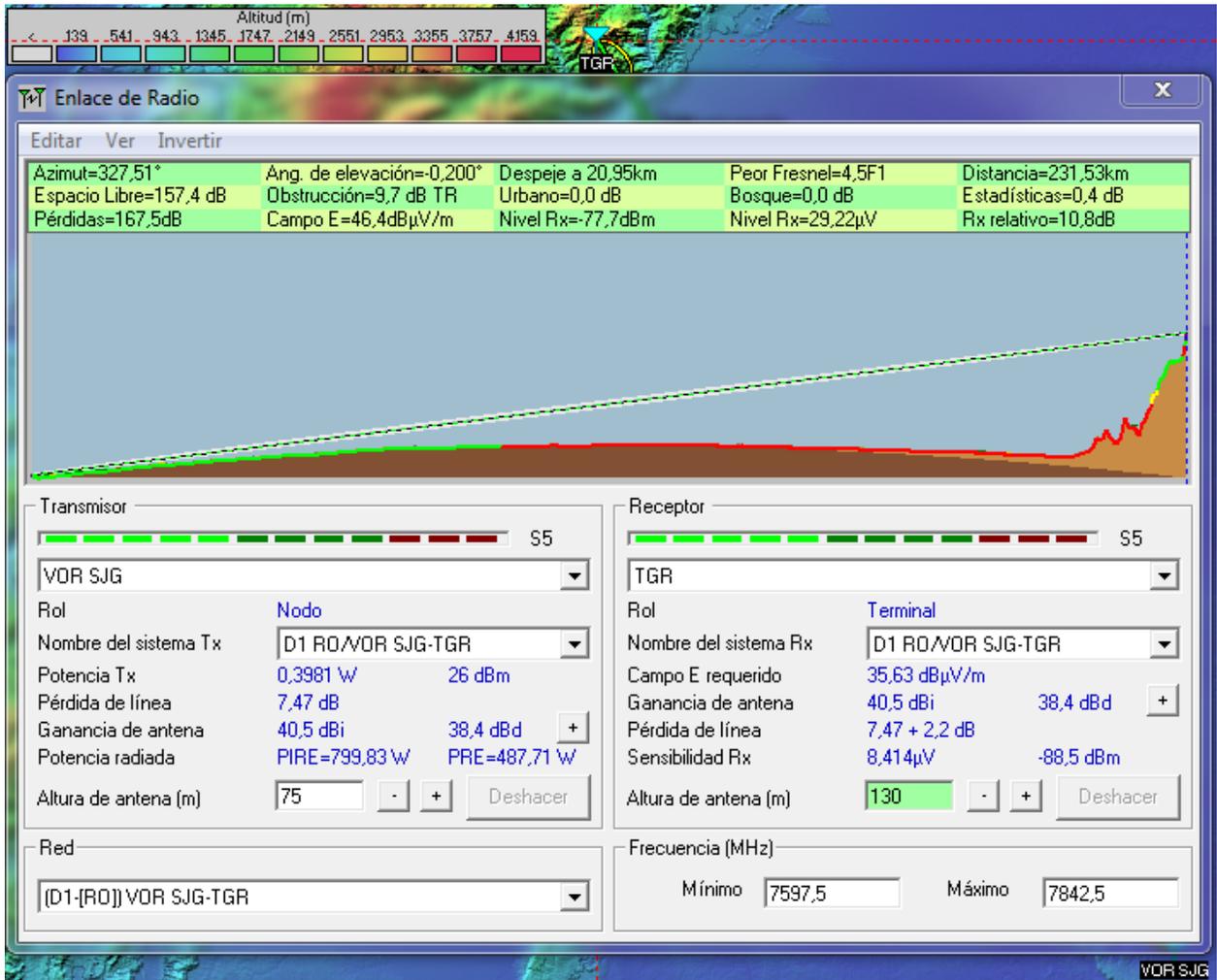


Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la figura 38 siguiente se muestran los resultados de la simulación para el tramo VOR SJG-TGR con un rendimiento óptimo, el cual hace referencia a la mayor potencia de transmisión y al nivel más bajo de modulación (mod. 0). Esta imagen contrasta con la subsiguiente, en la cual se muestran los resultados para el nivel más alto de modulación permitido en este vano (mod. 1), y con el nivel de potencia que soportan los equipos para dicha modulación.

Alcanzando tan sólo 8PSK al desvanecerse la señal plana en 11.8dB y con una configuración de diversidad espacial en el extremo receptor de 5m.

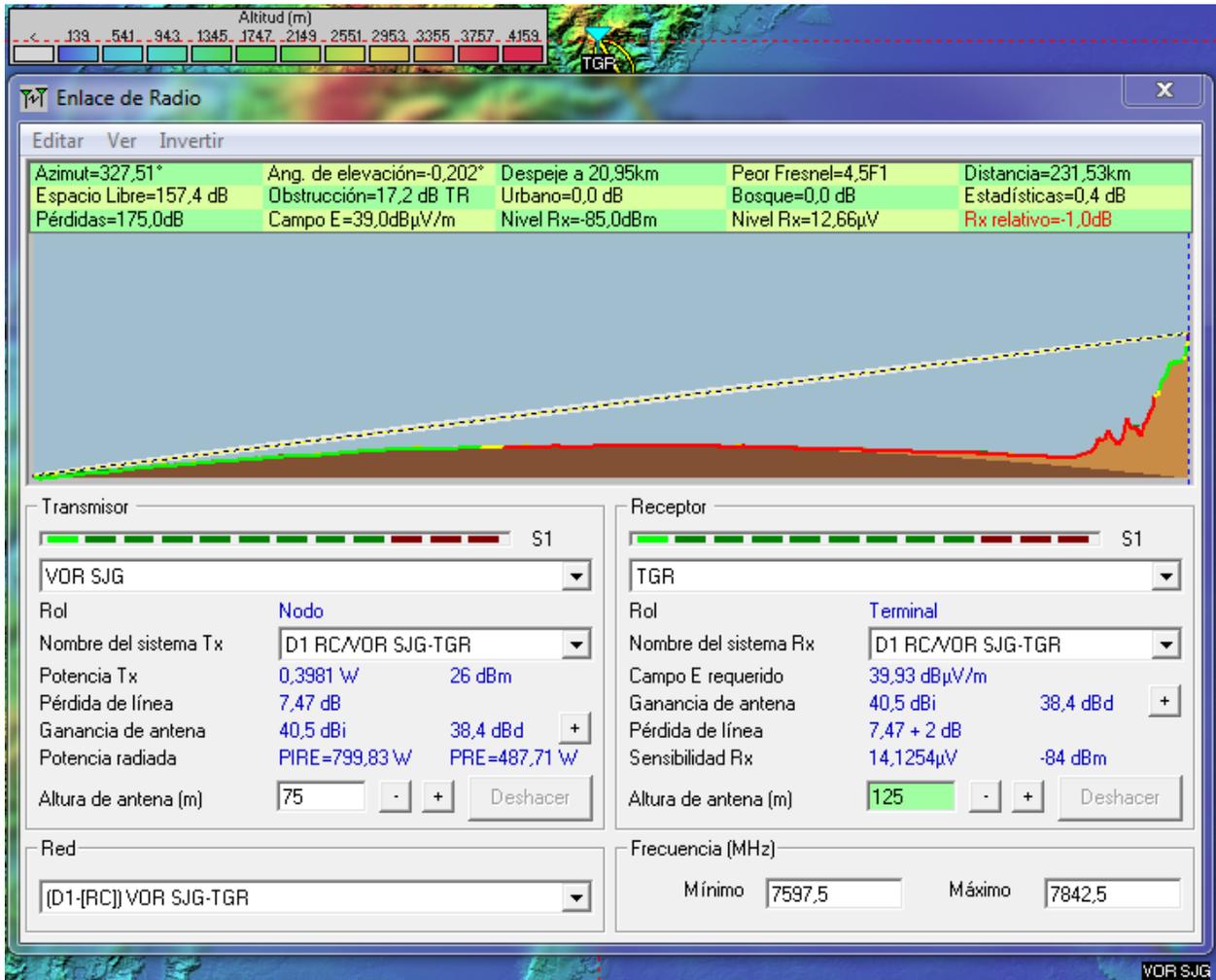
Figura 38. Resultados VOR SJG-TGR. Rendimiento óptimo.



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la gráfica siguiente, figura 39, se puede observar como el nivel "Rx relativo" cae a un nivel por debajo del permitido, haciendo que el rendimiento de la comunicación sea realmente crítico, y que el margen de desvanecimiento plano de la señal se encuentre reducido en el nodo receptor a -1.0dB. Esto indica que esta es la modulación más alta que puede alcanzar este vano del arreglo de comunicación.

Figura 39. Resultados VOR SJG-TGR. Rendimiento crítico.

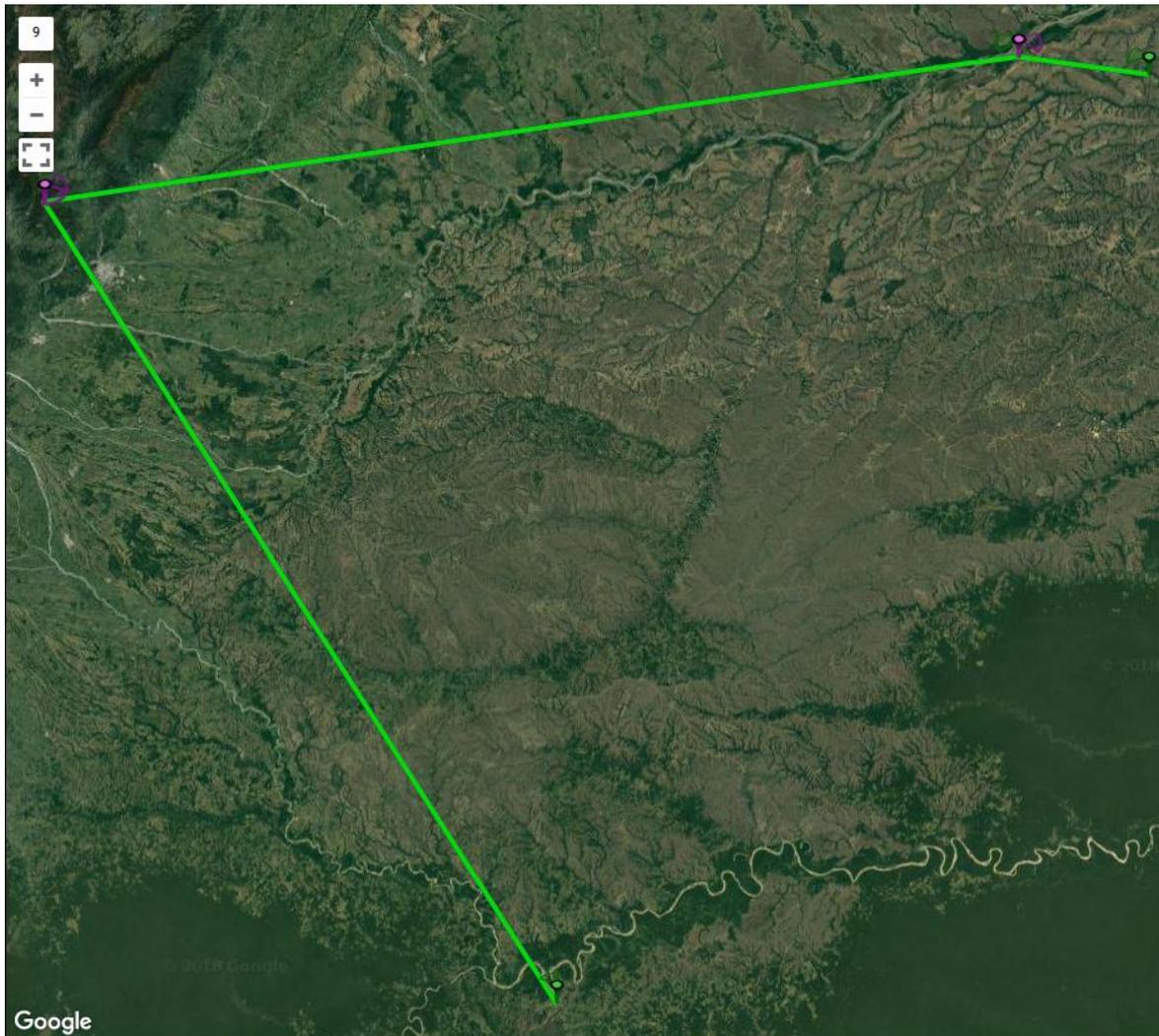


Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

5.1.3. XIRIO ONLINE

En la figura 40 siguiente se aprecia la topología propuesta para la solución de la red de comunicaciones de respaldo. En esta resalta el uso de una estación repetidora en uno de los enlaces.

Figura 40. Topología propuesta.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En la siguiente figura 41 se muestran las propiedades de la banda de frecuencias, cuya ventana de configuración deja ver como campos importantes la separación entre frecuencias; la frecuencia inicial, la frecuencia final y la frecuencia de la primera portadora de los tramos inferior y superior.

La separación entre portadoras es equivalente a lo que en Link Planner se distingue como ancho de banda y en este simulador se encarga de designar el salto de frecuencias entre canal y canal.

Figura 41. Propiedades de la banda de frecuencias.

Banda

Nombre:

Descripción 1:

Descripción 2:

Parámetros de la Banda

Banda reservada

Número de expediente:

Separación entre portadoras: **MHz** ▼

Ordinal del primer canal:

Tramo inferior:

Frecuencia inicial: **MHz** ▼

Frecuencia final: **MHz** ▼

Frecuencia primera portadora: **MHz** ▼

Tramo superior:

Frecuencia inicial: **MHz** ▼

Frecuencia final: **MHz** ▼

Frecuencia primera portadora: **MHz** ▼

Canales prohibidos:

Canales prioritarios:

 Introduzca una lista de canales separados por comas y/o intervalos de canales (Ejemplo: 2, 2', 5-7, 12'-21').

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

El nombre que se le dio a la banda de frecuencias está relacionado con el rango que cubre. La separación entre portadoras hace referencia al ancho de banda de canal y se configuró a 28MHz debido a que es el primer ancho de banda de canal por encima del

calculado (16384MHz) que permite ser configurado en los equipos seleccionados y que supera el tráfico requerido (33MHz) para el diseño, alcanzando un tráfico máximo de 40Mbps, según el estándar ITU-R F.385-10 anexo 4. Las frecuencias configuradas en el tramo inferior y superior han sido seleccionadas de acuerdo al estándar mencionado.

Figura 42. Propiedades de la antena.

Frec. inicial	Frec. final	Pol.	Tipo
7125.00 MHz	8500.00 MHz	Horizontal	Copolar

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En la figura 42 anterior se observan las propiedades de la antena, en la que se puede apreciar el tipo de polarización, el intervalo de frecuencias, el peso y el diámetro. Salvo la polarización, todas las casillas han sido configuradas según la hoja de características de la antena seleccionada.

En la siguiente figura 43 se muestra el ancho de banda, las modulaciones, los umbrales y la relación portadora/interferencia, así como las frecuencias inicial y final, y el nivel de potencia de saturación.

El ancho de banda está estandarizado a 245MHz. Este tramo del diseño soporta diez modulaciones. Los umbrales configurados corresponden a las especificaciones técnicas del equipo seleccionado y concuerdan con el tipo de modulación específica, al igual que

las potencias de transmisión. Las frecuencias y el C/I se configuraron según el estándar ITU-R. F.385-10 Anexo 4. El MTBF se calculó de acuerdo a la disponibilidad exigida.

Figura 43. Propiedades del equipo.

Equipo MW

Nombre:

Descripción:

Tecnología:

Servicio: Punto-Punto definido por usuario

Banda: Banda definida por usuario

Ancho de banda: MHz

Potencia de saturación: dBm

Denominación de emisión:

MTBF: h

Frecuencia inicial: MHz

Frecuencia final: Hz

Modulaciones

Nombre	Modulación	Velocidad	Potencia	Umbral	C/I	
QPSK	QPSK	32.77 Mbps	26.00 dBm	-88.50 dBm	24.00 dB	
8PSK	PSK-8	32.77 Mbps	26.00 dBm	-84.00 dBm	24.00 dB	
16QAM	QAM-16	32.77 Mbps	25.00 dBm	-82.00 dBm	24.00 dB	
32QAM	QAM-32	32.77 Mbps	24.00 dBm	-78.50 dBm	24.00 dB	
64QAM	QAM-64	32.77 Mbps	24.00 dBm	-75.50 dBm	24.00 dB	
128QAM	QAM-128	32.77 Mbps	24.00 dBm	-72.00 dBm	24.00 dB	
1024QAM STRONG	QAM-1024	32.77 Mbps	21.00 dBm	-64.00 dBm	24.00 dB	
1024QAM LIGHT	QAM-1024	32.77 Mbps	21.00 dBm	-63.00 dBm	24.00 dB	
256QAM	QAM-256	32.77 Mbps	22.00 dBm	-69.00 dBm	24.00 dB	
512QAM	QAM-512	32.77 Mbps	22.00 dBm	-67.00 dBm	24.00 dB	
2048QAM	QAM-2048	32.77 Mbps	21.00 dBm	-59.50 dBm	24.00 dB	

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

5.1.3.1. CMG-BTS SPA II

En las siguientes figuras 44 y 45 se muestran las propiedades de los extremos, las cuales contienen el nombre del nodo; las características del emplazamiento como coordenadas y alturas; las coordenadas de la antena, que deben coincidir con las del emplazamiento; el tipo de antena; la altura; el apuntamiento; la frecuencia de transmisión; las características del alimentador; las pérdidas por pasivos; y el tiempo medio para reparar.

En estas figuras no se evidencia la configuración de antena auxiliar debido a que en este vano no se utiliza la diversidad de espacio. De la misma manera, no se tienen datos del alimentador según hojas de datos. El valor dado a las pérdidas por alimentador se obtuvo del simulador del fabricante de los dispositivos seleccionados para el diseño.

Figura 44. Propiedades de CMG

Extremo 1

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:   

Coordenadas     

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio  

Antena Principal:   

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar:  

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión 

Frecuencias	Canal	Polarización	
7842.500 MHz	1'	Horizontal	

Feeder:  

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 

Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 45. Propiedades de BTS SPA II

Extremo 2

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento: 📄 ✖️ ?

Coordenadas 📍 🗺️ 📏 🌐 📱

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio ⬆️ ⬆️

Antena Principal: 📄 ✖️ ?

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar: ➕ ?

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión: ➕

Frecuencias	Canal	Polarización	
7597.500 MHz	1	Horizontal	📄 ✖️

Feeder: ➕ ?

Longitud del feeder: m

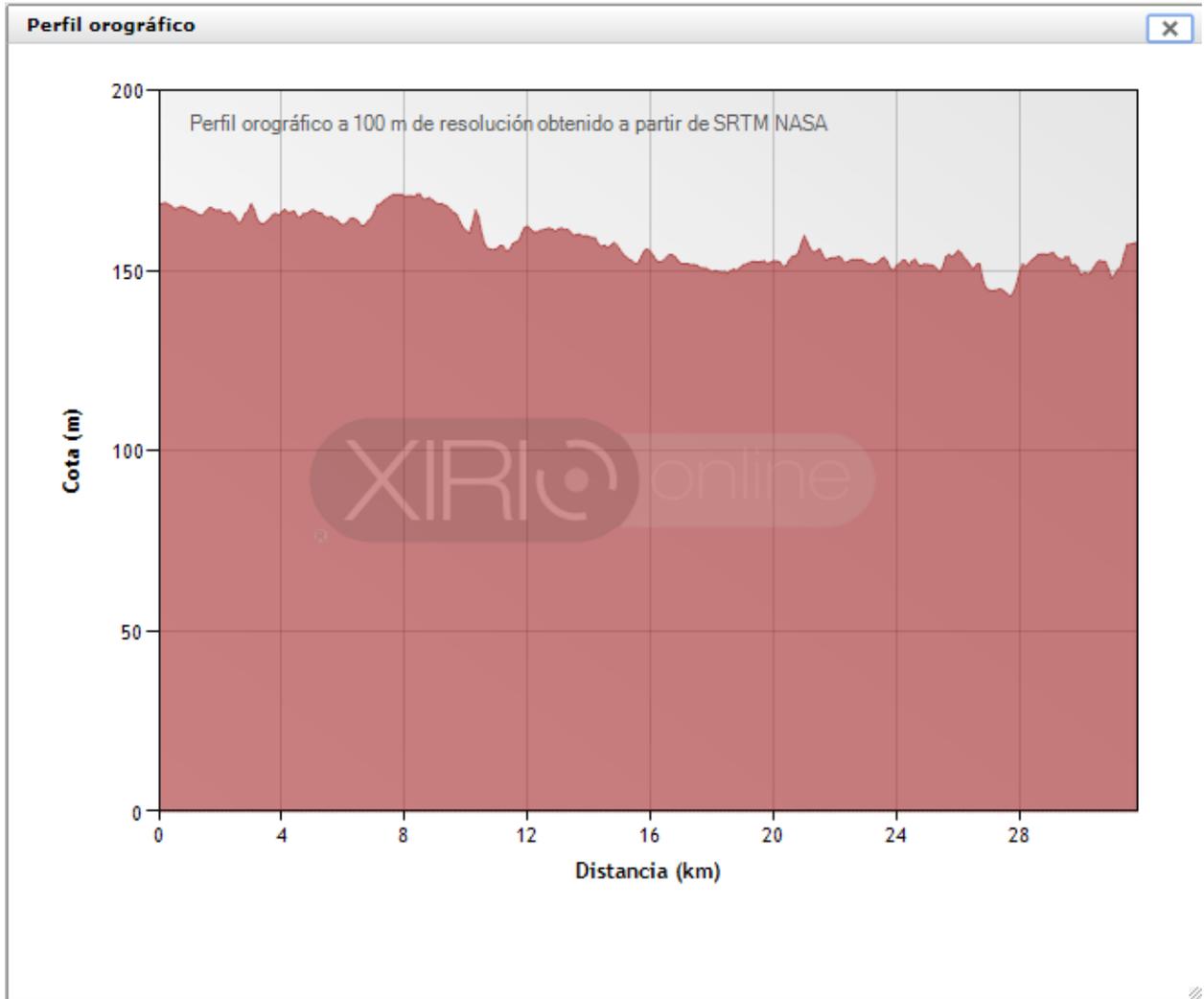
Pérdidas del feeder: dB 📄

Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 46. Perfil orográfico CMG-BTS SPA II.

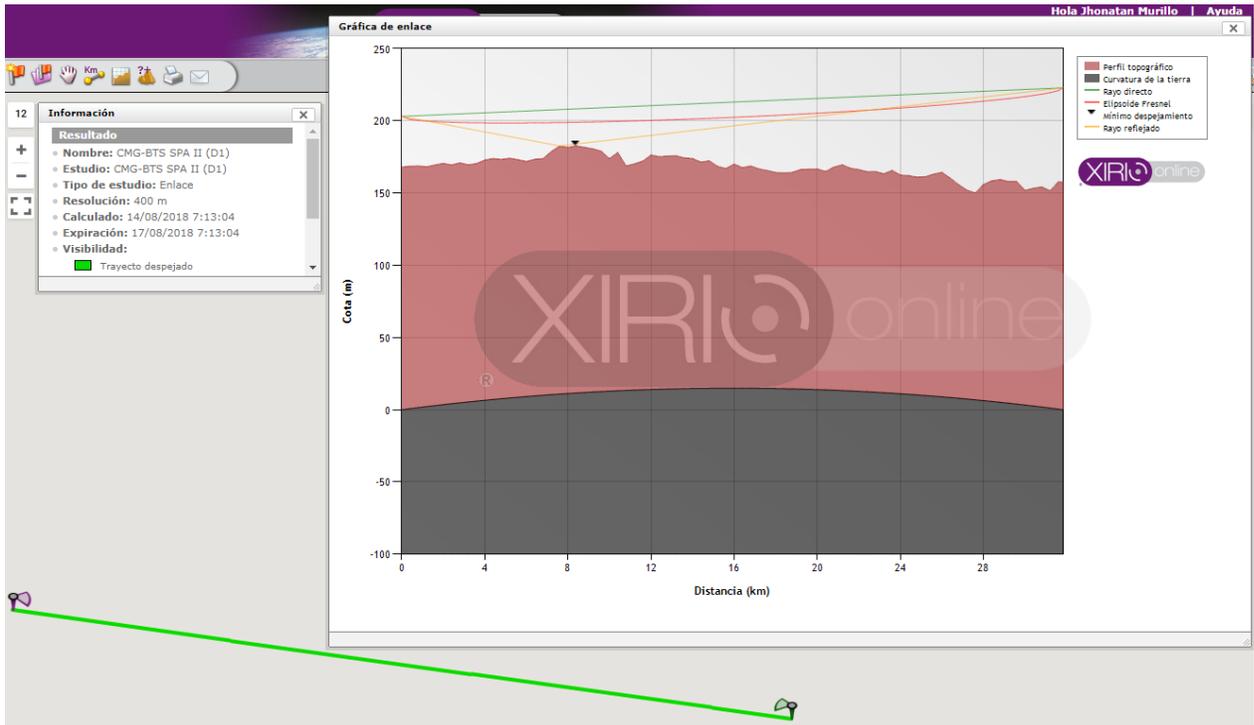


Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En el perfil orográfico mostrado en la figura 46 anterior se aprecian las características de elevación del terreno a lo largo de los dos puntos a conectar con vista de costado.

En la figura 47 siguiente se muestran los resultados para el tramo entre CMG-BTS SPA II, donde se observa el rayo que conecta los puntos, su elipsoide de Fresnel, la curvatura de la tierra y la zona de mínimo despeje, así como el rayo que se refleja en la tierra. Esta imagen está superpuesta a aquella que indica la operación óptima del enlace por medio de la línea verde que une el punto origen al punto destino.

Figura 47. Resultados CMG-BTS SPA II.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

5.1.3.2. *BTS SPA II-TGR*

En las siguientes figuras 48 y 49 se muestran las propiedades de los extremos, las cuales contienen el nombre del nodo; las características del emplazamiento como coordenadas y alturas; las coordenadas de la antena, que deben coincidir con las del emplazamiento; el tipo de antena; la altura; el apuntamiento; la frecuencia de transmisión; las características del alimentador; las pérdidas por pasivos; y el tiempo medio para reparar.

En la configuración del extremo dos se realiza el arreglo de antena auxiliar debido a que en este vano se utiliza la diversidad de espacio. No se tienen datos del alimentador según hojas de datos. El valor dado a las pérdidas por alimentador se obtuvo del simulador del fabricante de los dispositivos seleccionados para el diseño.

Figura 48. Propiedades de BTS SPA II

Extremo 1

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:   

Coordenadas      

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio  

Antena Principal:   

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar:  

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión 

Frecuencias	Canal	Polarización	
7842.500 MHz	1'	Horizontal	

Feeder:  

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 

Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 49. Propiedades del TGR

Extremo 2

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento: 📄 ✖️ ?

Coordenadas 🔄 📏 🌐 📱 🌍 📶

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio ⬆️

Antena Principal: 📄 ✖️ ?

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar: 📄 ✖️ ?

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión: +

Frecuencias	Canal	Polarización	
7597.500 MHz	1	Horizontal	📄 ✖️

Feeder: + ?

Longitud del feeder: m

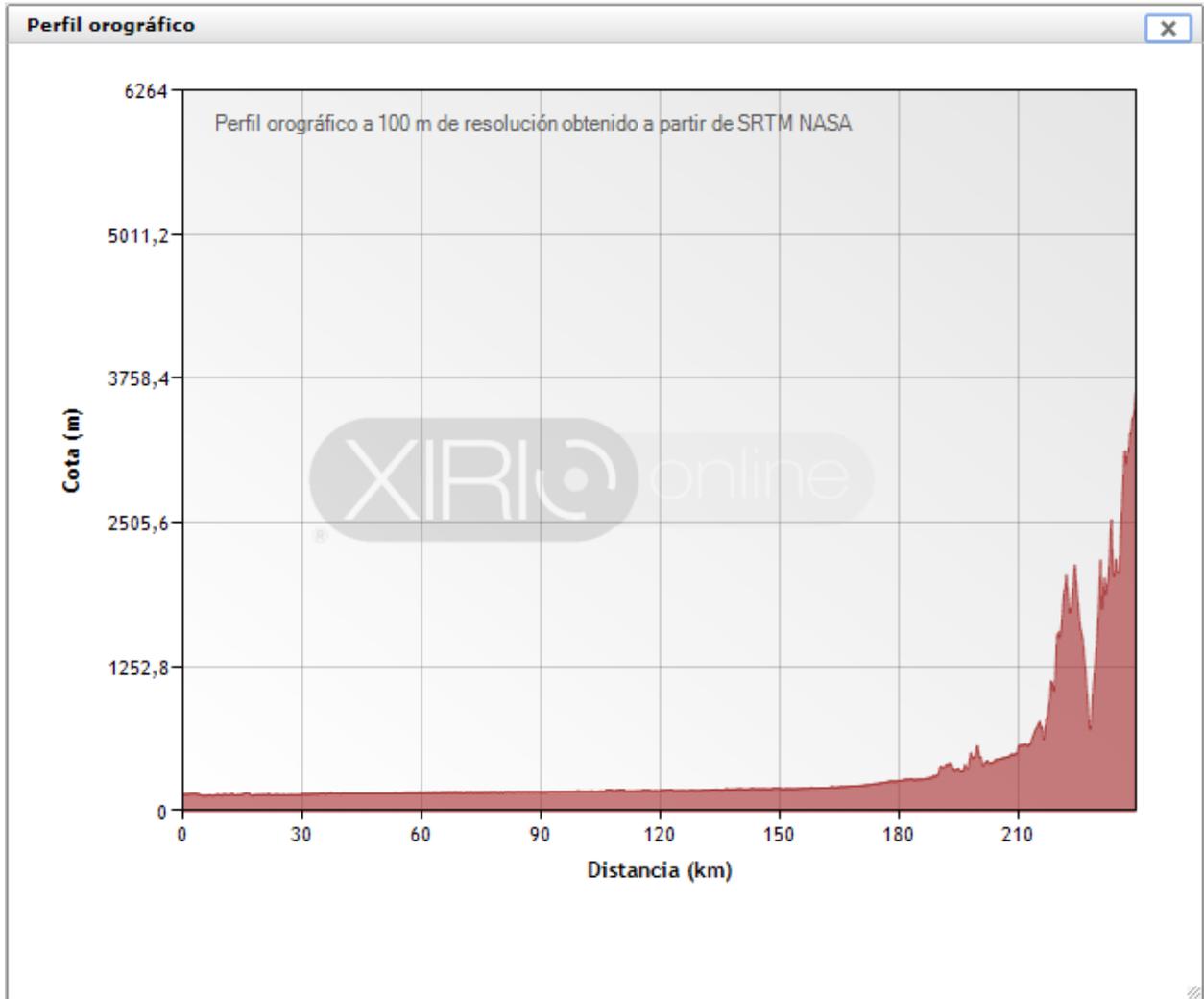
Pérdidas del feeder: dB 📄

Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 50. Perfil orográfico BTS SPA II-TGR.

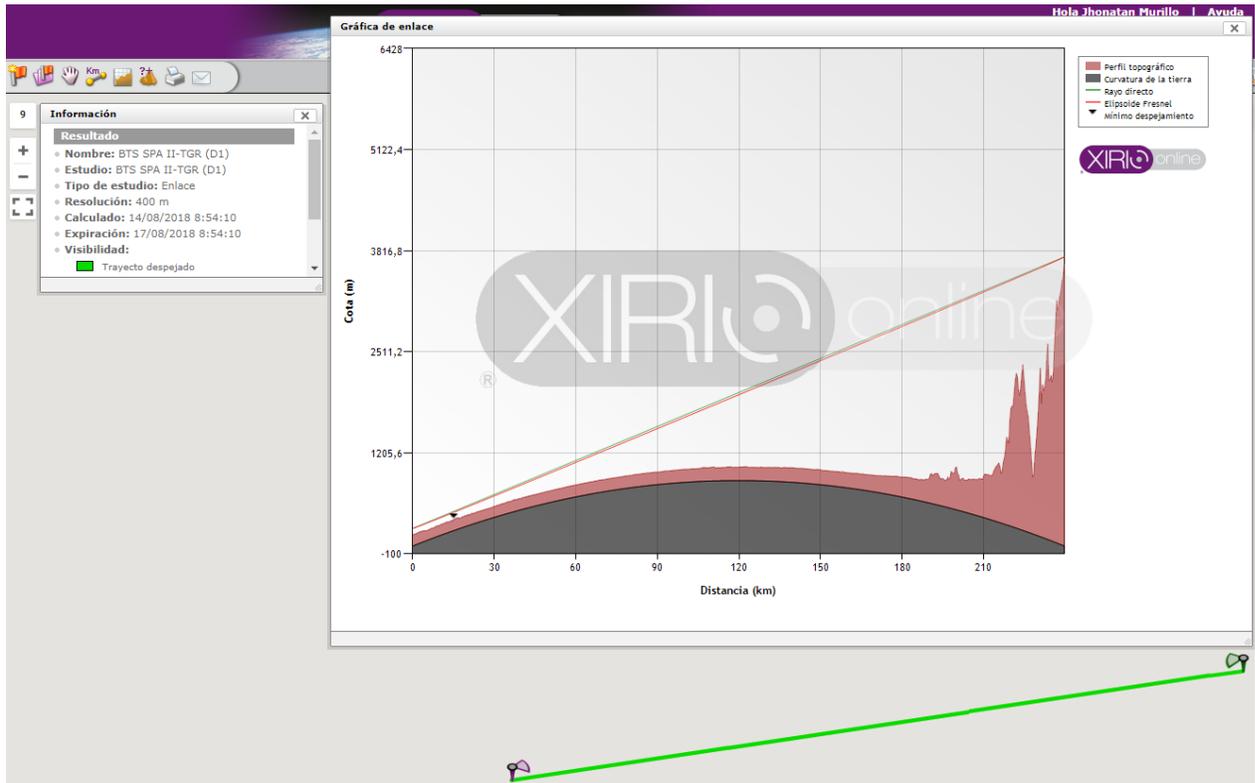


Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En el perfil orográfico mostrado en la figura 50 anterior se aprecian las características de elevación del terreno a lo largo de los dos puntos a conectar con vista de costado.

En la figura 51 siguiente se muestran los resultados para el tramo entre BTS SPA II-TGR, donde se observa el rayo que conecta los puntos, su elipsoide de Fresnel, la curvatura de la tierra y la zona de mínimo despeje. Esta imagen está superpuesta a aquella que indica la operación óptima del enlace por medio de la línea verde que une el punto origen al punto destino.

Figura 51. Resultados BTS SPA II-TGR.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

5.1.3.3. VOR SJG-TGR

En las siguientes figuras 52 y 53 se muestran las propiedades de los extremos, las cuales contienen el nombre del nodo; las características del emplazamiento como coordenadas y alturas; las coordenadas de la antena, que deben coincidir con las del emplazamiento; el tipo de antena; la altura; el apuntamiento; la frecuencia de transmisión; las características del alimentador; las pérdidas por pasivos; y el tiempo medio para reparar.

En estas imágenes sobresalen las orientaciones de las antenas y el uso de diversidad espacial en el extremo dos.

Figura 52. Propiedades de VOR SJG

Extremo 1

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:   

Coordenadas      

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio  

Antena Principal:   

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar:  

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión 

Frecuencias	Canal	Polarización	
7842.500 MHz	1'	Horizontal	

Feeder:  

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 

Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 53. Propiedades TGR

Extremo 2

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento: 📄 ✖️ ?

Coordenadas 📍 🗺️ 📏 🌐 📶

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio ⬆️ ⬆️

Antena Principal: 📄 ✖️ ?

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar: 📄 ✖️ ?

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión: 📶

Frecuencias	Canal	Polarización	
7597.500 MHz	1	Horizontal	📄 ✖️

Feeder: ➕ ?

Longitud del feeder: m

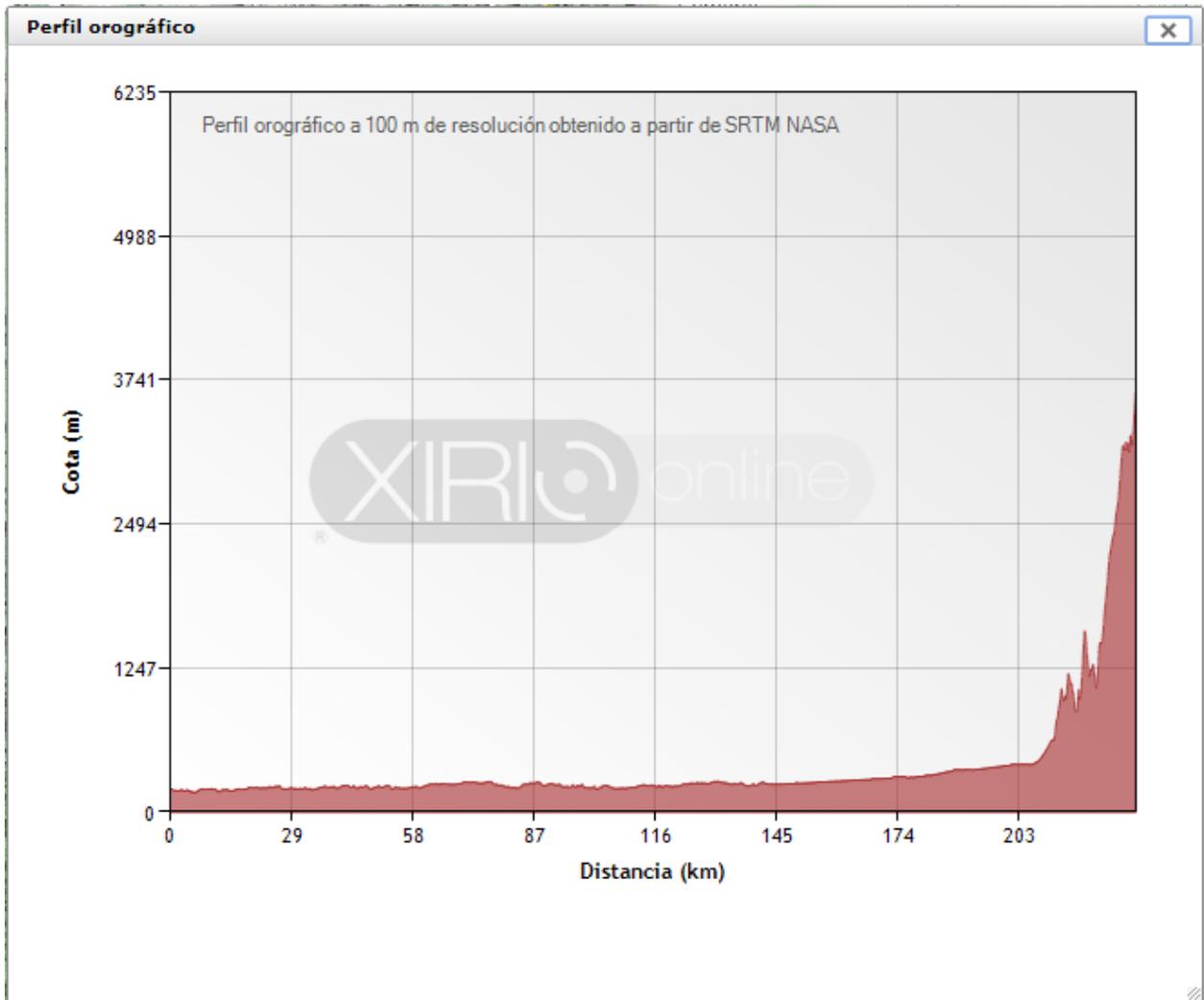
Pérdidas del feeder: dB 📄

Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 54. Perfil orográfico.

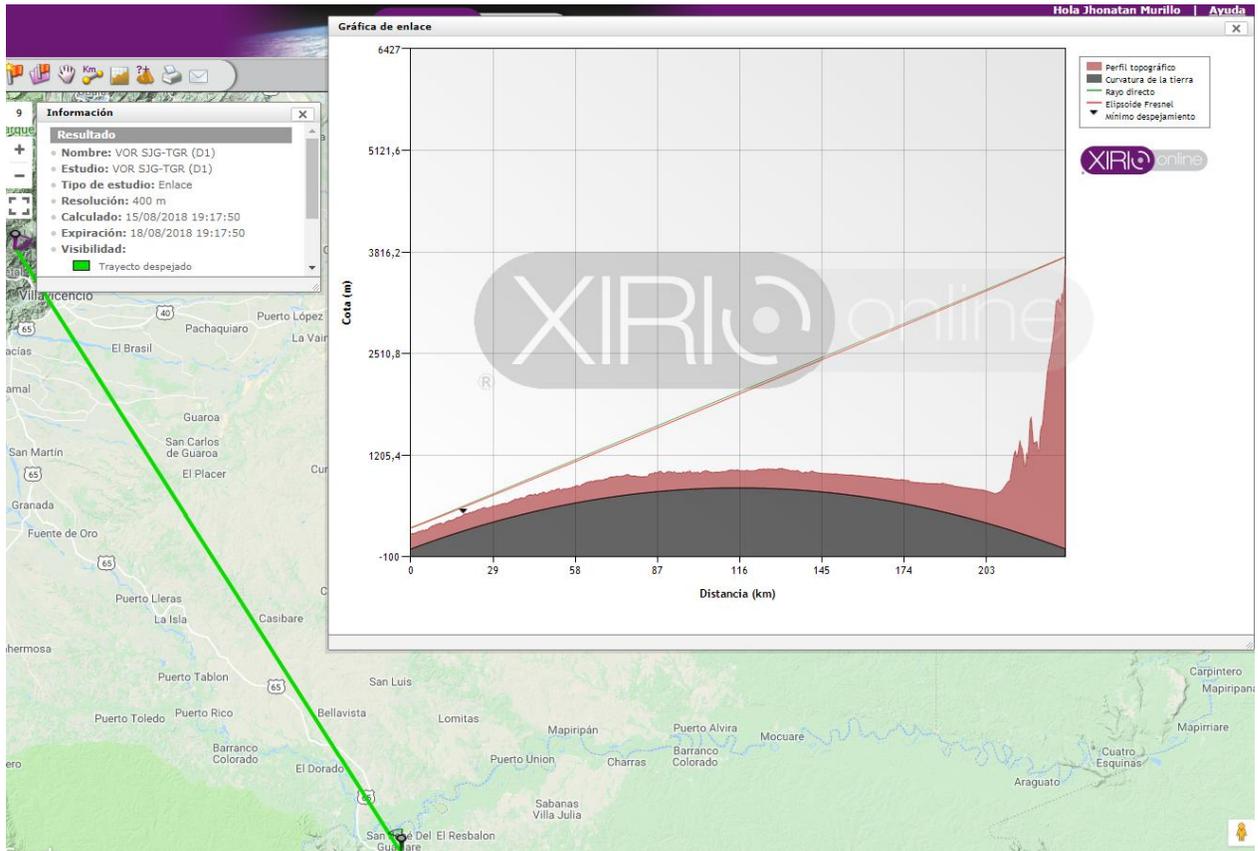


Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En el perfil orográfico mostrado en la figura 54 anterior se aprecian las características de elevación del terreno a lo largo de los dos puntos a conectar con vista de costado.

En la figura 55 siguiente se muestran los resultados para el tramo entre VOR SJG-TGR, donde se observa el rayo que conecta los puntos, su elipsoide de Fresnel, la curvatura de la tierra y la zona de mínimo despeje. Esta imagen está superpuesta a aquella que indica la operación óptima del enlace por medio de la línea verde que une el punto origen al punto destino.

Figura 55. Resultados VOR SJG-TGR.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

5.2. DISEÑO 2

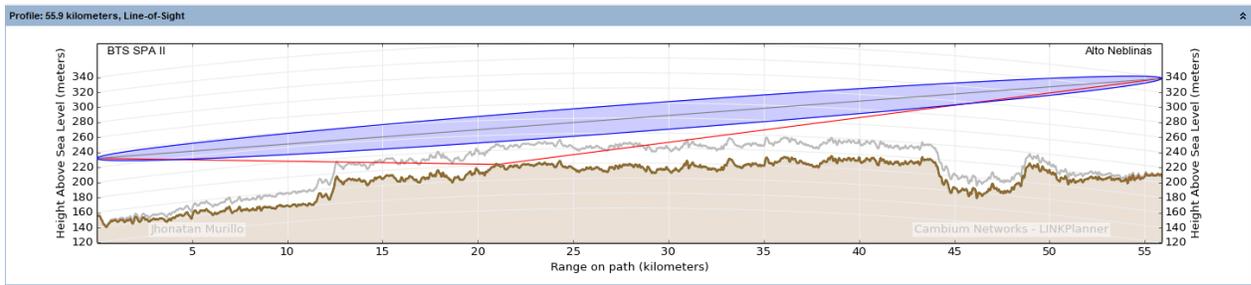
5.2.1. LINK PLANNER

La configuración de los equipos en LINKPlanner es la misma en todos los vanos y en ambos diseños, por lo tanto se evita repetir estas imágenes enfocándose en los detalles con importancia para cada tramo. Igualmente, la simulación del vano CMG-BTS SPA II es precisamente idéntica a la del primer diseño, razón por la cual no se incluye en este diseño.

5.2.1.1. BTS SPA II-AN

La siguiente 56 figura muestra la línea de visión entre los puntos a conectar que incluye su altitud, el perfil de terreno resaltando la curvatura de la tierra, la distancia de separación entre los puntos, el rayo directo con su zona de Fresnel y el rayo reflejado.

Figura 56. Línea de visión BTS SPA II-AN



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

Las alturas de las antenas se configuraron por encima del valor calculado en el capítulo anterior debido a las dificultades topográficas y a la extensión de los enlaces que evidencian la notoria incidencia de la curvatura terrestre.

Este vano del diseño tiene la particularidad de no requerir diversidad espacial en ninguno de los extremos para alcanzar la disponibilidad esperada de 99.9%, a cambio en los extremos se usa una configuración en las antenas de acoplamiento simétrico, lo que permite una reducción en los costos de implementación. Las antenas seleccionadas están

disponibles para la venta a nivel mundial por medio de los distribuidores autorizados por el fabricante.

Figura 57. Configuración de extremos

The screenshot displays the 'Configuration at Each End' window in Link Planner, showing settings for two endpoints: 'BTS SPA II' and 'Alto Neblinas'. The window is titled 'Configuration at Each End' and has a 'Primary to Primary' button in the top right corner. The left panel is for 'BTS SPA II' and the right panel is for 'Alto Neblinas'. Both panels have the same layout:

- Antenna Configuration: Common Antenna - Symmetric Coupling (dropdown)
- Antenna Model: Cambium Networks 6ft Single Pol (Global) N070082D288 - Direct (40.5dBi) (dropdown)
- Antenna Height: 75 meters (Max height at site is 75.0 m) (input field)
- Feeder Loss: 3.8 dB (input field)
- Maximum EIRP: 63.0 dBm (input field) with a 'User limit' checkbox.
- Maximum Power: 26.0 dBm (input field) with a 'User limit' checkbox.
- Tx Frequency: 7842.500 MHz (input field) with a 'Select...' button.
- Interference: checkbox.
- MAC Address: input field.

Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

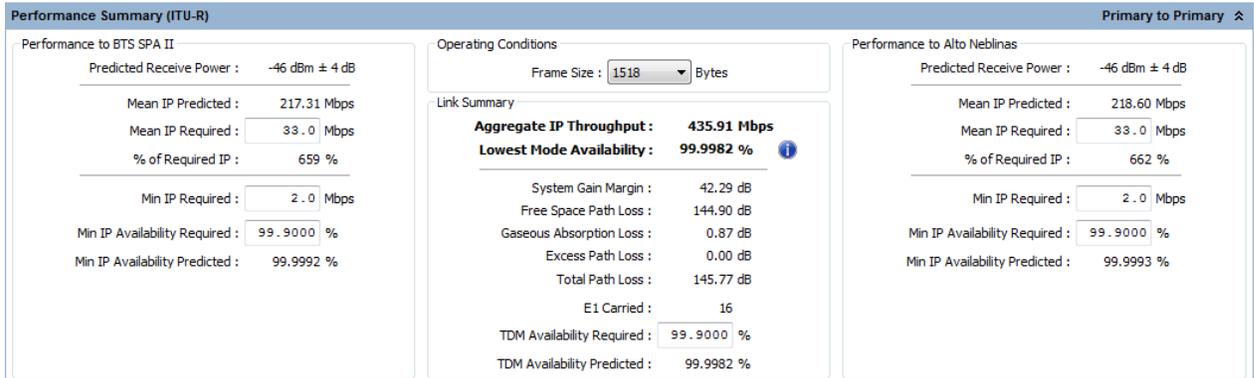
La figura 57 anterior muestra la configuración en ambos extremos la cual incluye la selección y configuración de la antena, la altura a la cual se emplazará y la frecuencia del canal de transmisión en ambos puntos. Esta sección del simulador ofrece la posibilidad de limitar la potencia de transmisión y la potencia radiada isotrópica efectiva, así como también la posibilidad de simular interferencias y configurar la dirección MAC del equipo a utilizar.

En la siguiente figura 58 se puede apreciar un resumen sobre el desempeño del vano desde el primario del punto transmisor hasta el primario del punto receptor, el cual predice la potencia recibida, la disponibilidad de la conexión y de las portadoras. Esta sección nos da la opción de configurar el tráfico requerido y la disponibilidad requerida para indicar en tiempo real la viabilidad del diseño. En esta etapa tan sólo es necesario seleccionar la condición de operación que se limita al tamaño de la trama.

En la subsiguiente figura 59 se muestra un resumen sobre el desempeño del vano desde el secundario del nodo transmisor hasta el secundario del nodo receptor.

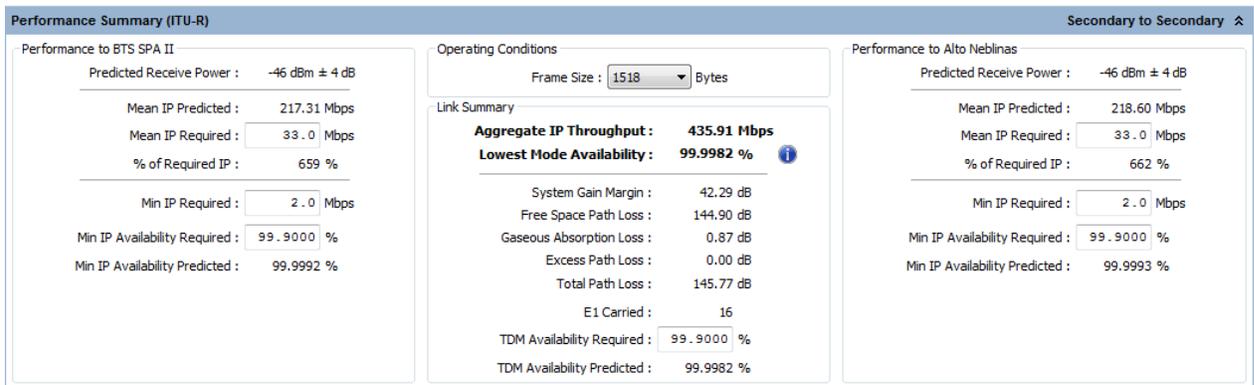
En la configuración que se aprecia en estas dos figuras es evidente que no se requiere disponibilidad total del 100% de la capacidad del canal.

Figura 58. Resumen de desempeño (A)



Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

Figura 59. Resumen de desempeño (B)



Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

La Aeronáutica Civil exige un requerimiento de disponibilidad del 99.9% para la interconexión de sus comunicaciones, dado que incorpora datos de radar que representan un alto porcentaje en la facturación de la entidad. Si solamente fuera necesario transmitir datos de operación, la disponibilidad requerida sería del 50%, motivo de la configuración del primer valor en el simulador.

La siguiente figura 60 muestra los detalles de rendimientos del arreglo, entre los que se pueden identificar la máxima tasa de transferencia para cada modulación, el margen de desvanecimiento y el porcentaje de disponibilidad:

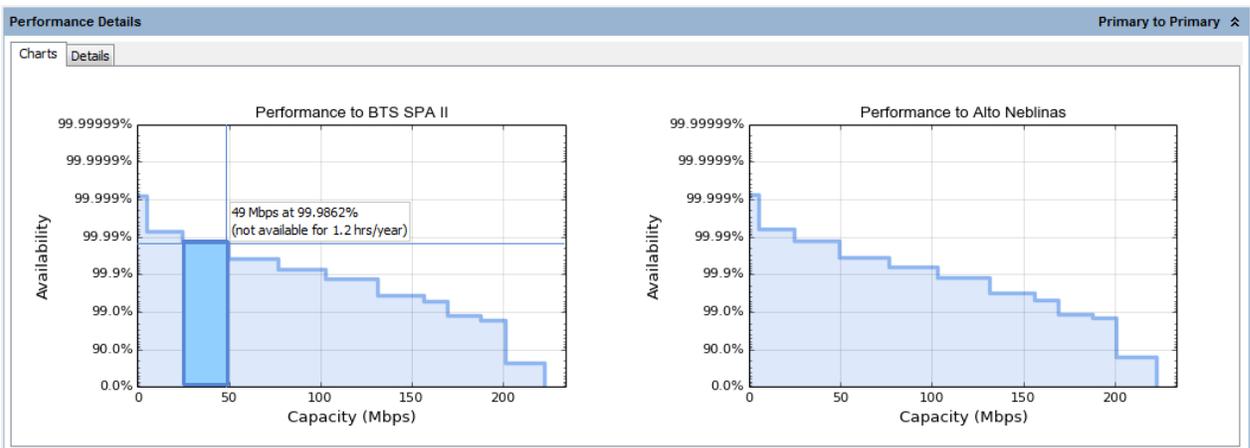
Figura 60. Detalles de desempeño (A)

Performance Details											
Common details											
Mode:	2048QAM	1024QAM	1024QAM	512QAM	256QAM	128QAM	64QAM	32QAM	16QAM	8PSK	QPSK
Profile:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	445.49	402.11	375.58	338.28	312.74	262.48	205.63	153.16	98.71	48.84	10.54
E1 Carried:	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Performance to BTS SPA II											
Max IP Throughput (Mbps):	222.75	201.05	187.79	169.14	156.37	131.24	102.81	76.58	49.35	24.42	5.27
Fade Margin (dB):	1.54	7.54	8.54	12.54	14.54	19.54	22.54	25.54	30.04	33.04	42.29
Mode Availability (%):	78.0736	98.3536	98.7316	99.4772	99.6504	99.8705	99.9294	99.9619	99.9862	99.9931	99.9992
Receive Time in Mode (%):	78.0736	20.2800	0.3780	0.7466	0.1732	0.2201	0.0589	0.0325	0.0243	0.0069	0.0061
Performance to Alto Neblinas											
Max IP Throughput (Mbps):	222.75	201.05	187.79	169.14	156.37	131.24	102.81	76.58	49.35	24.42	5.27
Fade Margin (dB):	2.00	8.00	9.00	13.00	15.00	20.00	23.00	26.00	30.50	33.50	42.75
Mode Availability (%):	83.7101	98.5442	98.8666	99.5239	99.6809	99.8819	99.9357	99.9654	99.9876	99.9938	99.9993
Receive Time in Mode (%):	83.7101	14.8341	0.3225	0.6573	0.1570	0.2010	0.0538	0.0296	0.0222	0.0062	0.0055

Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

La siguiente figura 61 muestra la misma información de manera más gráfica:

Figura 61. Detalles de desempeño (B)



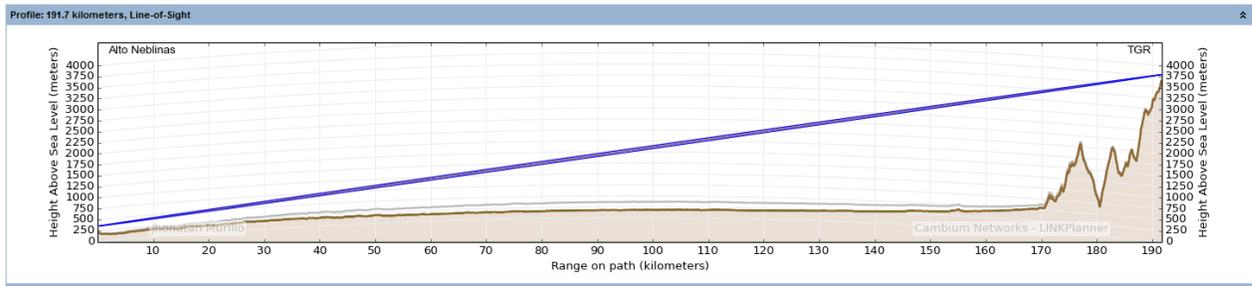
Fuente: Link Planer: Editada por el autor.

La indisponibilidad para este tramo alcanzaría 1.2 horas al año.

5.2.1.2. AN-TGR

La siguiente figura 62 muestra la línea de visión entre los puntos a conectar que incluye su altitud, el perfil de terreno resaltando la curvatura de la tierra, la distancia de separación entre los puntos, el rayo directo con su zona de Fresnel y el rayo reflejado.

Figura 62. Línea de visión



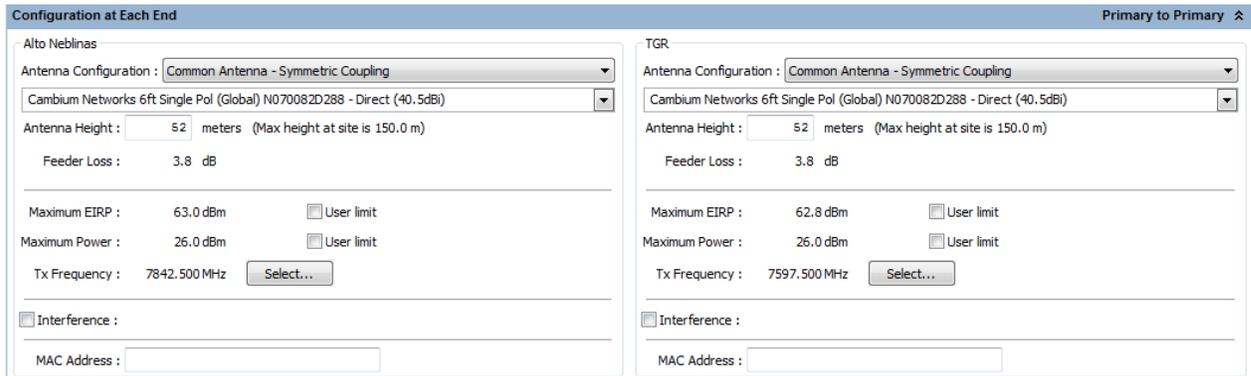
Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

Las alturas de las antenas se configuraron por encima del valor calculado en el capítulo anterior debido a las dificultades topográficas y a la extensión de los enlaces que evidencian la notoria incidencia de la curvatura terrestre.

Este vano del diseño supera los 100Km de separación entre nodos, sin embargo no es necesario el uso de diversidad espacial para alcanzar la disponibilidad esperada de 99.9%. Las antenas seleccionadas están disponibles para la venta a nivel mundial por medio de los distribuidores autorizados por el fabricante.

Esta configuración de extremos muestra un arreglo con acoplamiento simétrico de antenas. Y sorprende la baja afectación a causa de la curvatura terrestre que se evidencia con el uso de la calculada de antenas para este vano. Este comportamiento es debido en gran medida a que el enlace se extiende de plano a cerro, dejando un amplio margen entre el rayo directo y la superficie terrestre.

Figura 63. Configuración de extremos



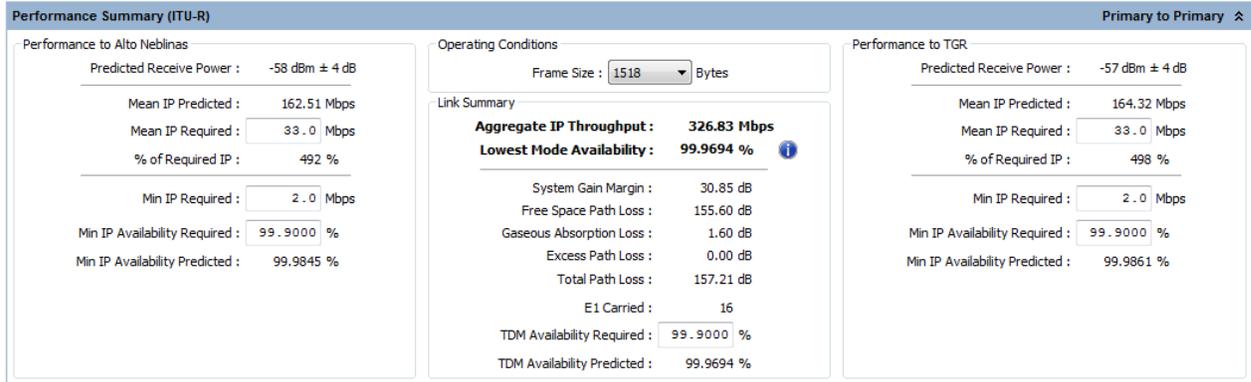
Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La figura 63 anterior muestra la configuración en ambos extremos la cual incluye la selección y configuración de la antena, la altura a la cual se emplazará y la frecuencia del canal de transmisión en ambos puntos. Esta sección del simulador ofrece la posibilidad de limitar la potencia de transmisión y la potencia radiada isotrópica efectiva, así como también la posibilidad de simular interferencias y configurar la dirección MAC del equipo a utilizar.

En las siguientes figuras 64 y 65 se puede apreciar un resumen sobre el desempeño del vano, el cual predice la potencia recibida, la disponibilidad de la conexión y de las portadoras. Esta sección nos da la opción de configurar el tráfico requerido y la disponibilidad requerida para indicar en tiempo real la viabilidad del diseño. En esta etapa tan sólo es necesario seleccionar la condición de operación que se limita al tamaño de la trama:

En estas figuras se muestra respectivamente el resumen de rendimiento de primario a primario y el resumen de rendimiento de secundario a secundario. La variación entre estos dos valores aunque es poco perceptible, muestra un rendimiento y disponibilidad favorable a la conexión primario a primario. En el caso de la unión secundario a secundario se usa primordialmente en caso de que falle el lazo principal

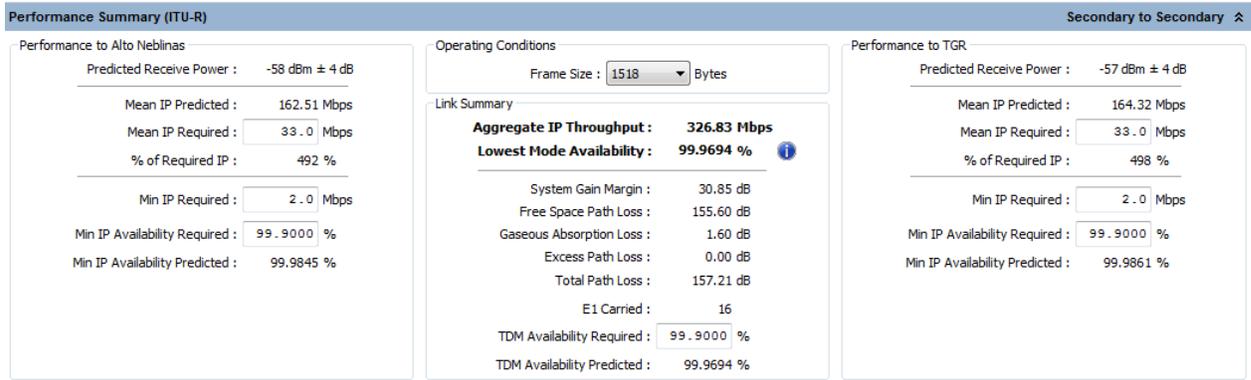
Figura 64. Resumen de desempeño (A)



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La Aeronáutica Civil exige un requerimiento de disponibilidad del 99.9% para la interconexión de sus comunicaciones, dado que incorpora datos de radar que representan un alto porcentaje en la facturación de la entidad. Si solamente fuera necesario transmitir datos de operación, la disponibilidad requerida sería del 50%, motivo de la configuración del primer valor en el simulador.

Figura 65. Resumen de desempeño (B)



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La siguiente figura 66 muestra los detalles de rendimientos del arreglo, entre los que se pueden identificar la máxima tasa de transferencia para cada modulación, el margen de desvanecimiento y el porcentaje de disponibilidad:

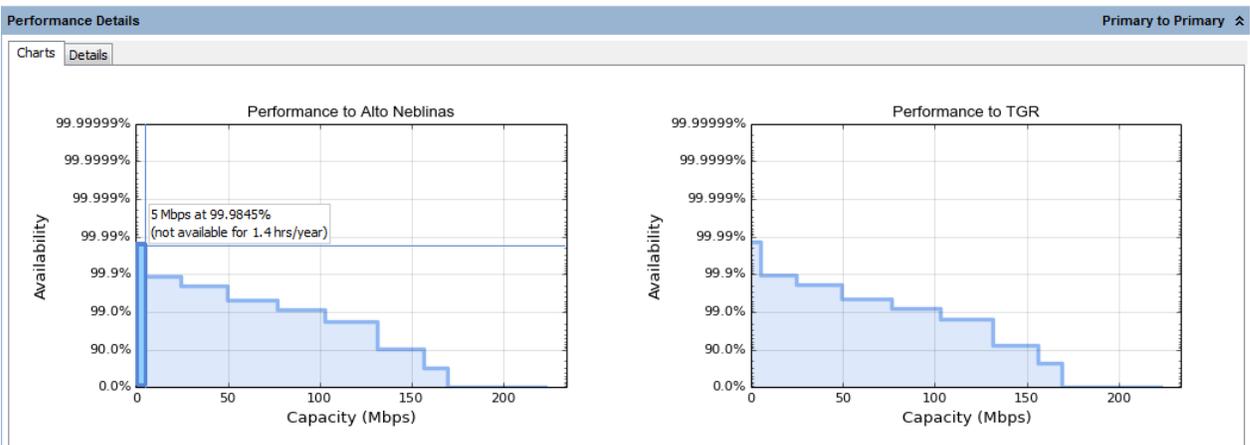
Figura 66. Detalles de desempeño (A)

Performance Details											
Common details											
Mode:	2048QAM	1024QAM	1024QAM	512QAM	256QAM	128QAM	64QAM	32QAM	16QAM	8PSK	QPSK
Profile:	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	445.49	402.11	375.58	338.28	312.74	282.48	205.63	153.16	98.71	48.84	10.54
E1 Carried:	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Performance to Alto Neblinas											
Max IP Throughput (Mbps):	222.75	201.05	187.79	169.14	156.37	131.24	102.81	76.58	49.35	24.42	5.27
Fade Margin (dB):	-9.90	-3.90	-2.90	1.10	3.10	8.10	11.10	14.10	18.60	21.60	30.85
Mode Availability (%):	0.0354	1.2160	2.3620	69.3993	90.4636	98.2729	99.1070	99.5042	99.7920	99.8853	99.9845
Receive Time in Mode (%):	0.0354	1.1805	1.1460	67.0373	21.0643	7.8093	0.8341	0.3972	0.2878	0.0933	0.0993
Performance to TGR											
Max IP Throughput (Mbps):	222.75	201.05	187.79	169.14	156.37	131.24	102.81	76.58	49.35	24.42	5.27
Fade Margin (dB):	-9.44	-3.44	-2.44	1.56	3.56	8.56	11.56	14.56	19.06	22.06	31.31
Mode Availability (%):	0.0479	1.6300	3.3385	77.2923	92.3342	98.4529	99.1861	99.5461	99.8099	99.8954	99.9861
Receive Time in Mode (%):	0.0479	1.5821	1.7085	73.9538	15.0419	6.1187	0.7332	0.3601	0.2638	0.0855	0.0907

Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

La siguiente figura 67 muestra la misma información de manera más gráfica, en la que se puede apreciar una indisponibilidad de 1.4 horas por cada año de operación para dos E1's en uso continuo. Al aumentar la capacidad de transferencia disminuye un poco el valor de disponibilidad, pero esta situación sólo se presentará en casos de emergencia, por lo tanto es válido mantener esta configuración:

Figura 67. Detalles de desempeño (B)

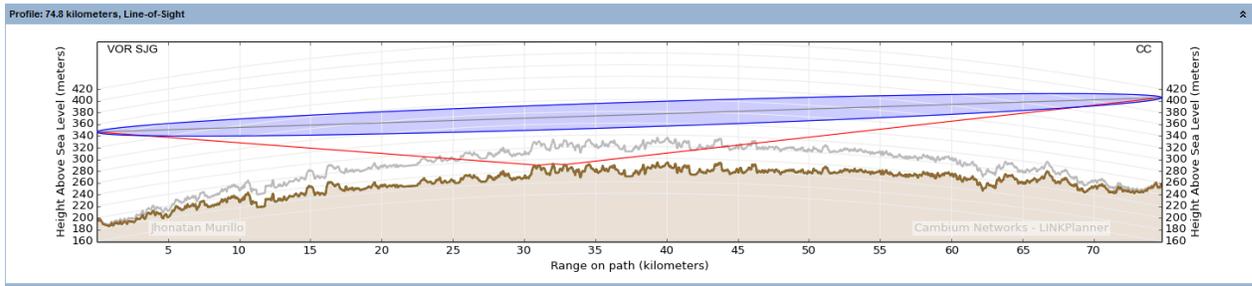


Fuente: Link Planer: Editada por el autor.

5.2.1.3. VOR SJG-CC

La siguiente figura 68 muestra la línea de visión entre los puntos a conectar que incluye su altitud, el perfil de terreno resaltando la curvatura de la tierra, la distancia de separación entre los puntos, el rayo directo con su zona de Fresnel y el rayo reflejado.

Figura 68. Línea de visión



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

Las alturas de las antenas se configuraron por encima del valor calculado en el capítulo anterior debido a las dificultades topográficas y a la extensión de los enlaces que evidencian la notoria incidencia de la curvatura terrestre.

Este vano del diseño no supera los 100Km de separación entre nodos, igualmente no es necesario el uso de diversidad espacial para alcanzar la disponibilidad esperada de 99.9%. Las antenas seleccionadas están disponibles para la venta a nivel mundial por medio de los distribuidores autorizados por el fabricante.

La figura 69 siguiente muestra la configuración en ambos extremos la cual incluye la selección y configuración de la antena, la altura a la cual se emplazará y la frecuencia del canal de transmisión en ambos puntos. Esta sección del simulador ofrece la posibilidad de limitar la potencia de transmisión y la potencia radiada isotrópica efectiva, así como también la posibilidad de simular interferencias y configurar la dirección MAC del equipo a utilizar.

Figura 69. Configuración de extremos

The image shows two side-by-side configuration panels for 'VOR SJG' and 'CC'. Both panels are titled 'Configuration at Each End' and have a 'Primary to Primary' status indicator. Each panel includes a dropdown for 'Antenna Configuration' (set to 'Common Antenna - Symmetric Coupling'), a dropdown for the antenna model ('Cambium Networks 6ft Single Pol (Global) N070082D288 - Direct (40.5dBi)'), a text input for 'Antenna Height' (13.5 meters), and a text input for 'Feeder Loss' (3.8 dB). Below these are checkboxes for 'User limit' and 'Interference', and a 'MAC Address' field. The 'VOR SJG' panel also shows 'Maximum EIRP' (63.0 dBm) and 'Maximum Power' (26.0 dBm), along with a 'Tx Frequency' of 7842.500 MHz and a 'Select...' button. The 'CC' panel shows 'Maximum EIRP' (62.8 dBm), 'Maximum Power' (26.0 dBm), and a 'Tx Frequency' of 7597.500 MHz with a 'Select...' button.

Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

En las siguientes figuras 70 y 71 se puede apreciar un resumen sobre el desempeño del vano, el cual predice la potencia recibida, la disponibilidad de la conexión y de las portadoras. Esta sección nos da la opción de configurar el tráfico requerido y la disponibilidad requerida para indicar en tiempo real la viabilidad del diseño. En esta etapa tan sólo es necesario seleccionar la condición de operación que se limita al tamaño de la trama:

Figura 70. Resumen de desempeño (A)

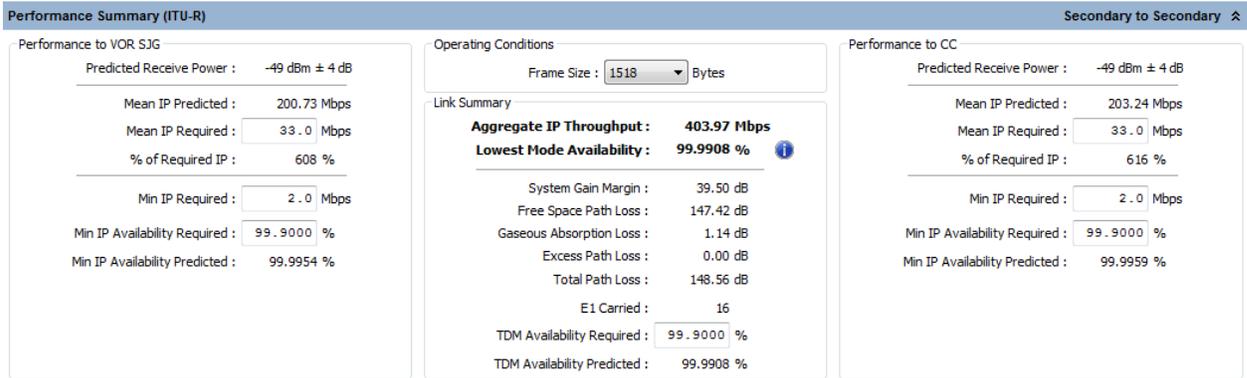
The image displays the 'Performance Summary (ITU-R)' for a link between 'VOR SJG' and 'CC'. It is divided into three main sections: 'Performance to VOR SJG', 'Operating Conditions', and 'Performance to CC'. The 'Performance to VOR SJG' section shows 'Predicted Receive Power' as -49 dBm ± 4 dB, 'Mean IP Predicted' as 200.73 Mbps, 'Mean IP Required' as 33.0 Mbps, '% of Required IP' as 608%, 'Min IP Required' as 2.0 Mbps, 'Min IP Availability Required' as 99.9000%, and 'Min IP Availability Predicted' as 99.9954%. The 'Operating Conditions' section shows 'Frame Size' as 1518 Bytes, 'Link Summary' with 'Aggregate IP Throughput' of 403.97 Mbps and 'Lowest Mode Availability' of 99.9908%, 'System Gain Margin' of 39.50 dB, 'Free Space Path Loss' of 147.42 dB, 'Gaseous Absorption Loss' of 1.14 dB, 'Excess Path Loss' of 0.00 dB, 'Total Path Loss' of 148.56 dB, 'E1 Carried' as 16, and 'TDM Availability' of 99.9908%. The 'Performance to CC' section shows 'Predicted Receive Power' as -49 dBm ± 4 dB, 'Mean IP Predicted' as 203.24 Mbps, 'Mean IP Required' as 33.0 Mbps, '% of Required IP' as 616%, 'Min IP Required' as 2.0 Mbps, 'Min IP Availability Required' as 99.9000%, and 'Min IP Availability Predicted' as 99.9959%.

Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La Aeronáutica Civil exige un requerimiento de disponibilidad del 99.9% para la interconexión de sus comunicaciones, dado que incorpora datos de radar que representan un alto porcentaje en la facturación de la entidad. Si solamente fuera necesario transmitir

datos de operación, la disponibilidad requerida sería del 50%, motivo de la configuración del primer valor en el simulador.

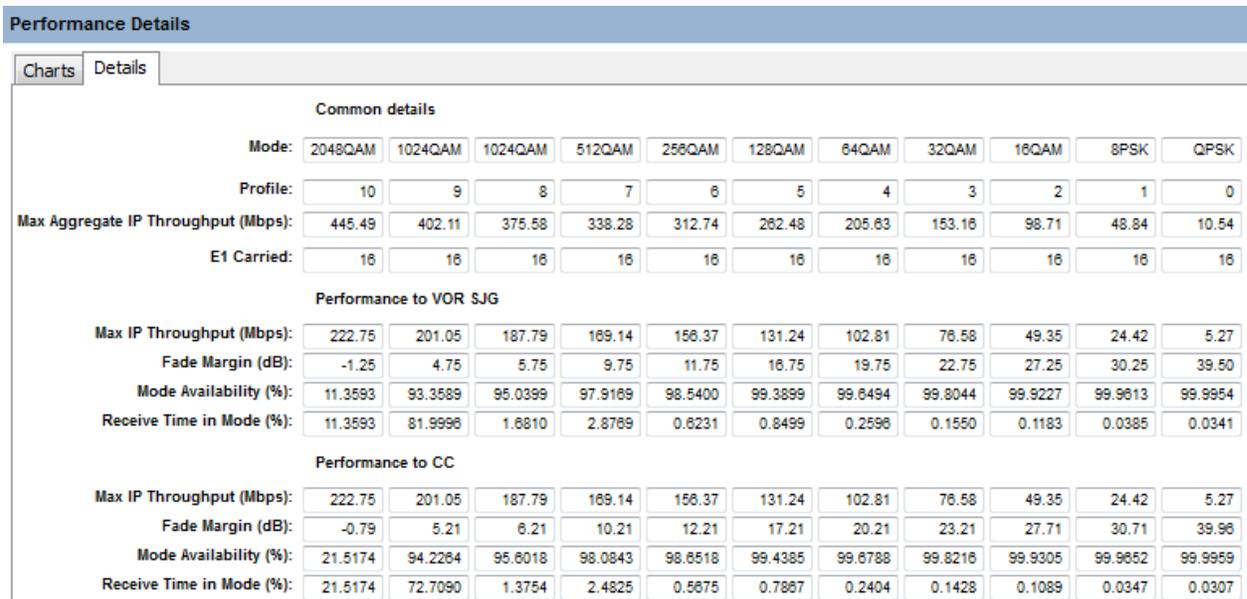
Figura 71. Resumen de desempeño (B)



Fuente: Link Planner. Editada por el autor.

La siguiente figura 72 muestra los detalles de rendimientos del arreglo, entre los que se pueden identificar la máxima tasa de transferencia para cada modulación, el margen de desvanecimiento y el porcentaje de disponibilidad:

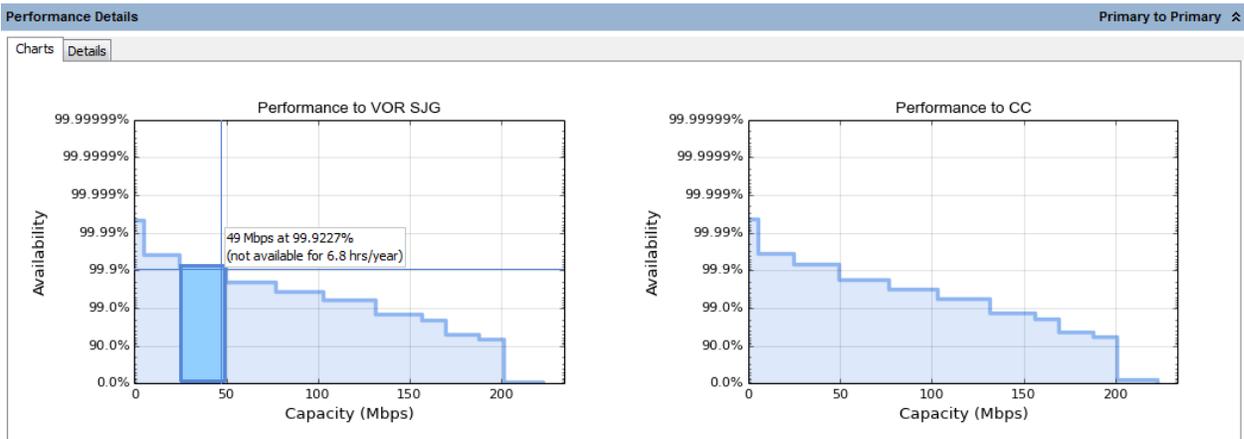
Figura 72. Detalles de desempeño (A)



Fuente: Link Planner: Editada por el autor.

La siguiente figura 73 muestra la misma información de manera más gráfica, en la que se aprecia una indisponibilidad máxima de todo el canal de 6.8 horas al año:

Figura 73. Detalles de desempeño (B)



Fuente: Link Planer: Editada por el autor.

5.2.2. RADIO MOBILE

Los parámetros, la topología y el estilo son los mismos para la simulación en todos los diseños, por lo tanto se evita repetir estas imágenes enfocándose en los detalles con importancia para cada tramo. Igualmente, la simulación del vano CMG-BTS SPA II es precisamente idéntica a la del primer diseño, razón por la cual no se incluye en este diseño.

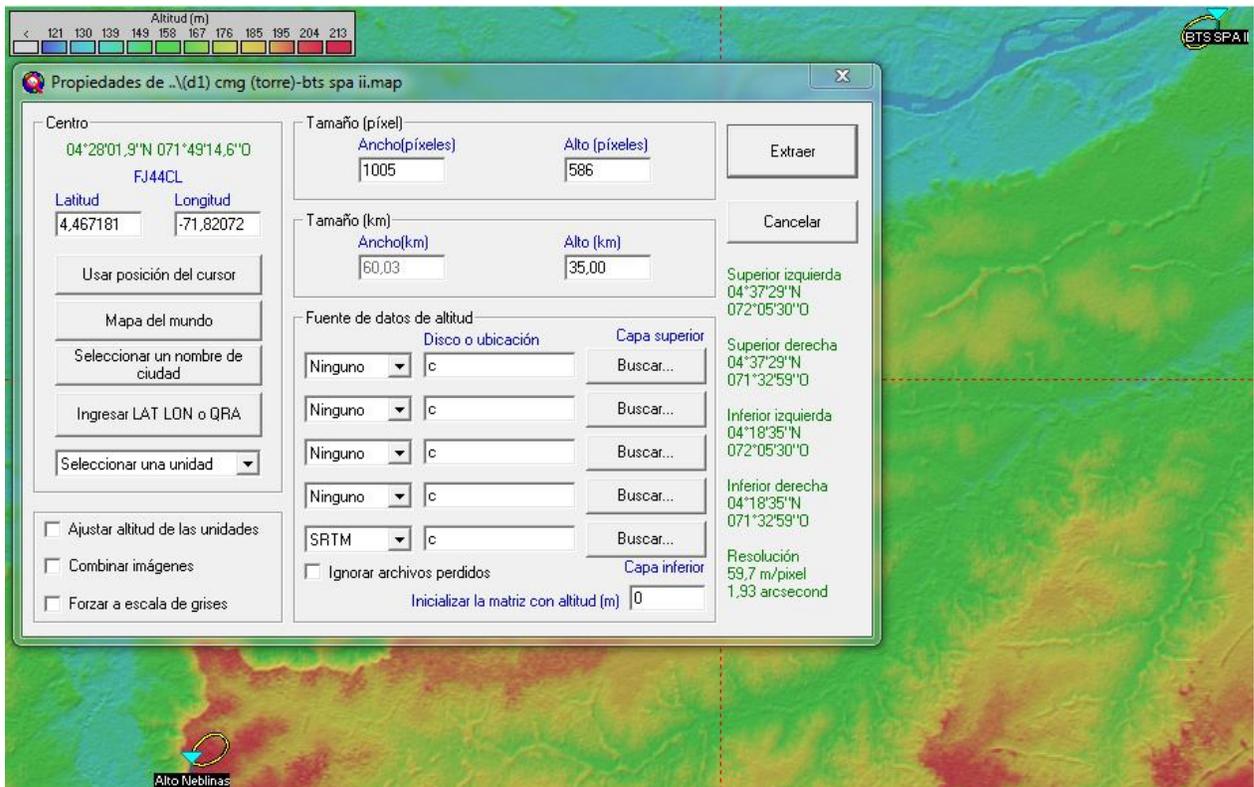
5.2.2.1. BTS SPA II-AN

Se presentan a continuación la altura de extracción de la imagen, los resultados de la simulación con un rendimiento óptimo y con un rendimiento crítico del enlace BTS SPA II-AN.

En la figura 74 siguiente se observan las coordenadas del centro de la imagen, las coordenadas de las esquinas de la imagen, la fuente de los datos de altitud y la altura a la cual se realiza la extracción de la imagen. En las siguientes figuras se aprecian el direccionamiento de las antenas, las pérdidas del vano, los niveles de recepción, la

distancia de separación. En la parte inferior de la imagen se muestran los miembros y su rol, y además, la configuración usada para cada uno de ellos como: potencia de transmisión, ganancia de las antenas, altura de las antenas y sensibilidad en el receptor.

Figura 74. AEI BTS SPA II-AN.

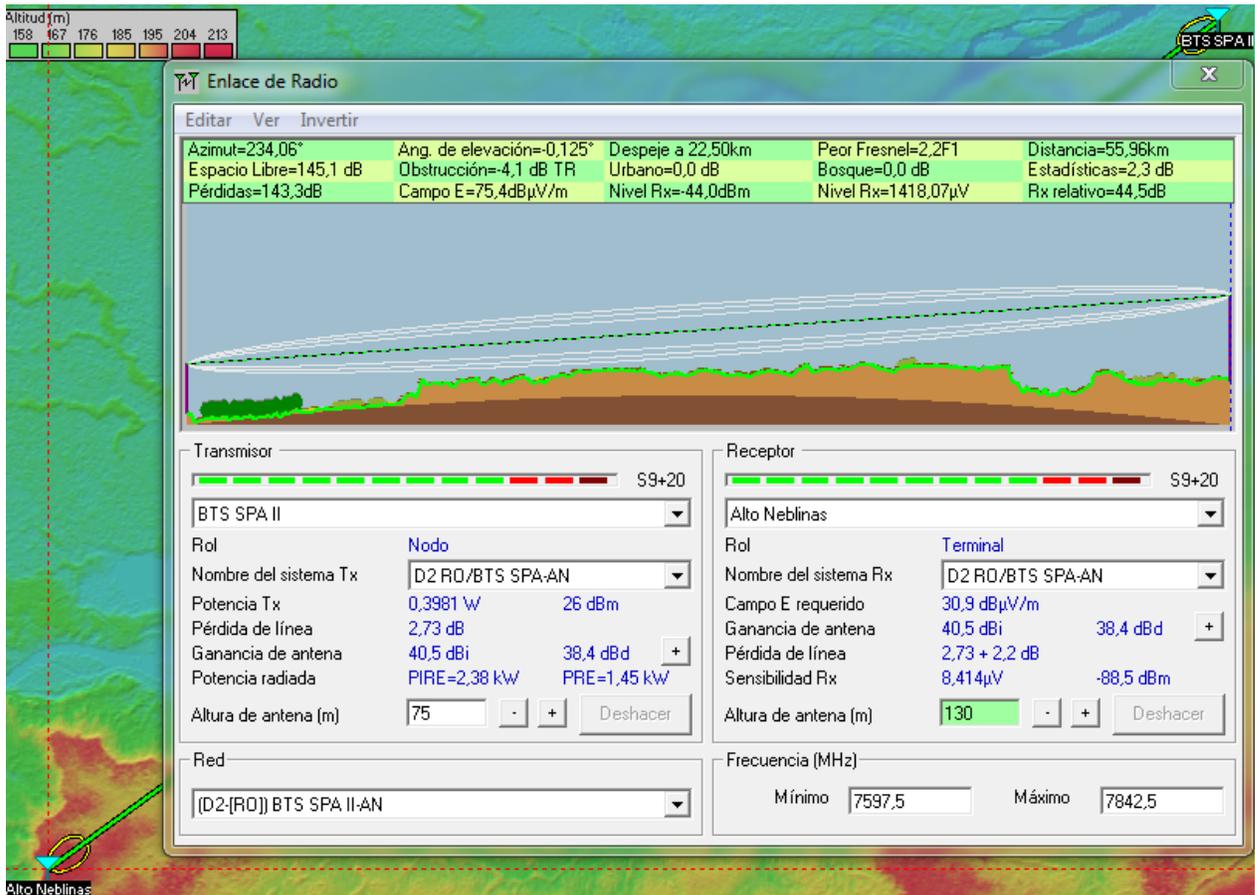


Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la figura 75 siguiente se muestran los resultados de la simulación para el tramo BTS SPA II-AN con un rendimiento óptimo, el cual hace referencia a la mayor potencia de transmisión y al nivel más bajo de modulación (mod. 0). Esta imagen contrasta con la subsiguiente, en la cual se muestran los resultados para el nivel más alto de modulación permitido en este vano (mod. 10), y con el nivel de potencia que soportan los equipos para dicha modulación.

Es posible que la corta distancia del enlace permita alcanzar 2048QAM sin el uso de diversidad espacial y que la conexión siga estando en parámetros de desempeño que se consideren óptimos, aunque haya sido necesaria alturas de torres más allá de lo calculado previamente.

Figura 75. Resultados BTS SPA II-AN. Rendimiento óptimo.

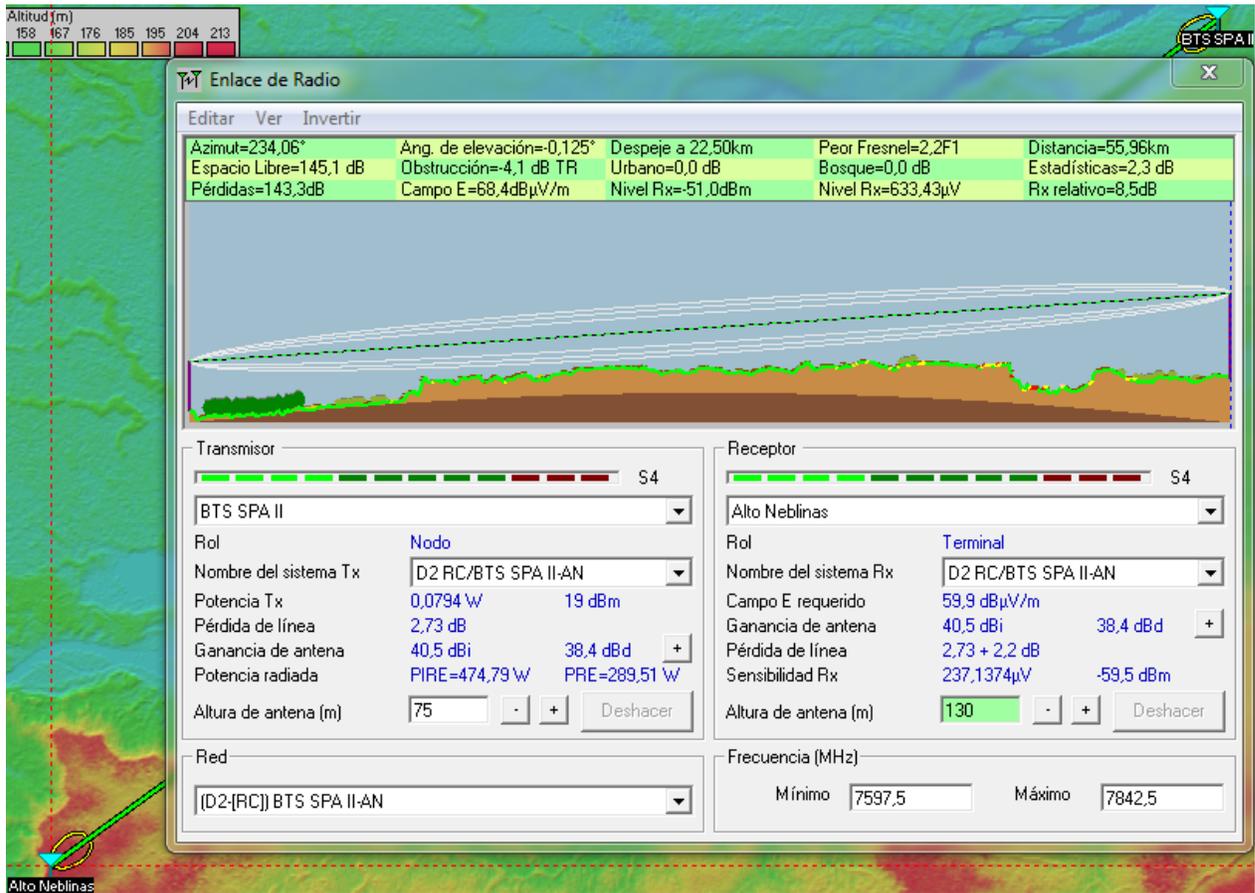


Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la gráfica siguiente, figura 76, se puede observar como el nivel "Rx relativo" cae a un valor cercano del permitido, sin que este represente un riesgo de criticidad absoluta, haciendo que el rendimiento de la comunicación sea realmente estable. Esto describe un desvanecimiento de la señal en el nodo receptor de 36dB, al pasar de 44.5dB a 8.5dB que indica al mismo tiempo que esta es la modulación más alta que puede alcanzar este vano del arreglo de comunicación debido a las capacidades de los equipos seleccionados.

Otro aspecto importante de resaltar es la disminución del "nivel de Rx" que pasó instantáneamente de -44dBm a -51dBm, en un margen más reducido que el desvanecimiento plano de la señal, lo cual es consecuente con la tendencia natural de los equipos de reducir su capacidad de sensibilidad receptora en cuanto aumenta la capacidad moduladora.

Figura 76. Resultados BTS SPA II-AN. Rendimiento crítico.



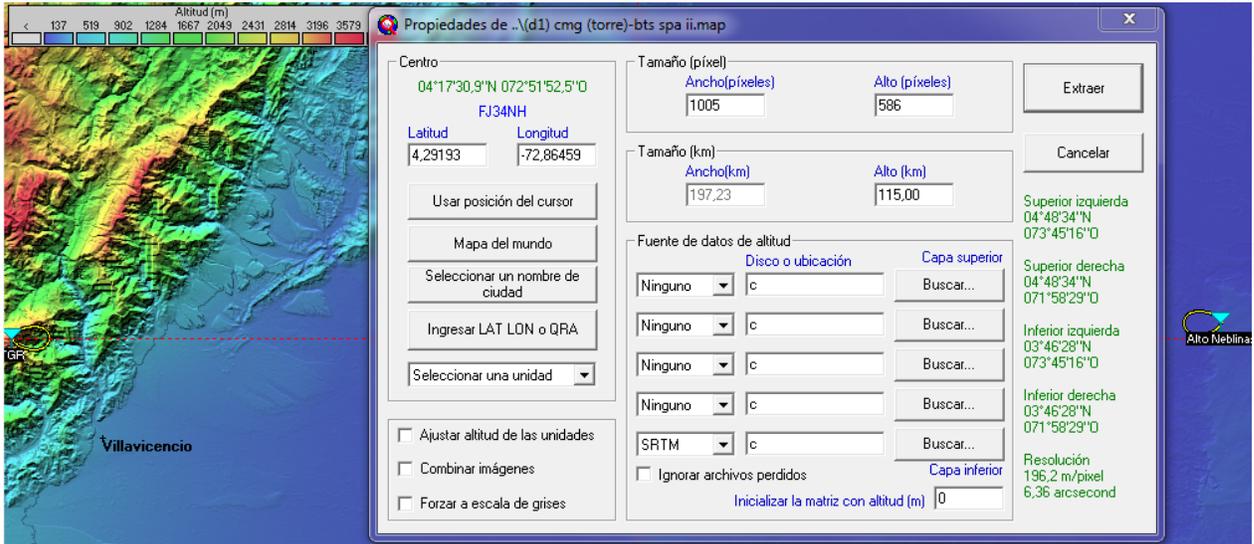
Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

5.2.2.2. AN-TGR

Se presentan a continuación la altura de extracción de la imagen, los resultados de la simulación con un rendimiento óptimo y con un rendimiento crítico del enlace BTS SPA II-TGR.

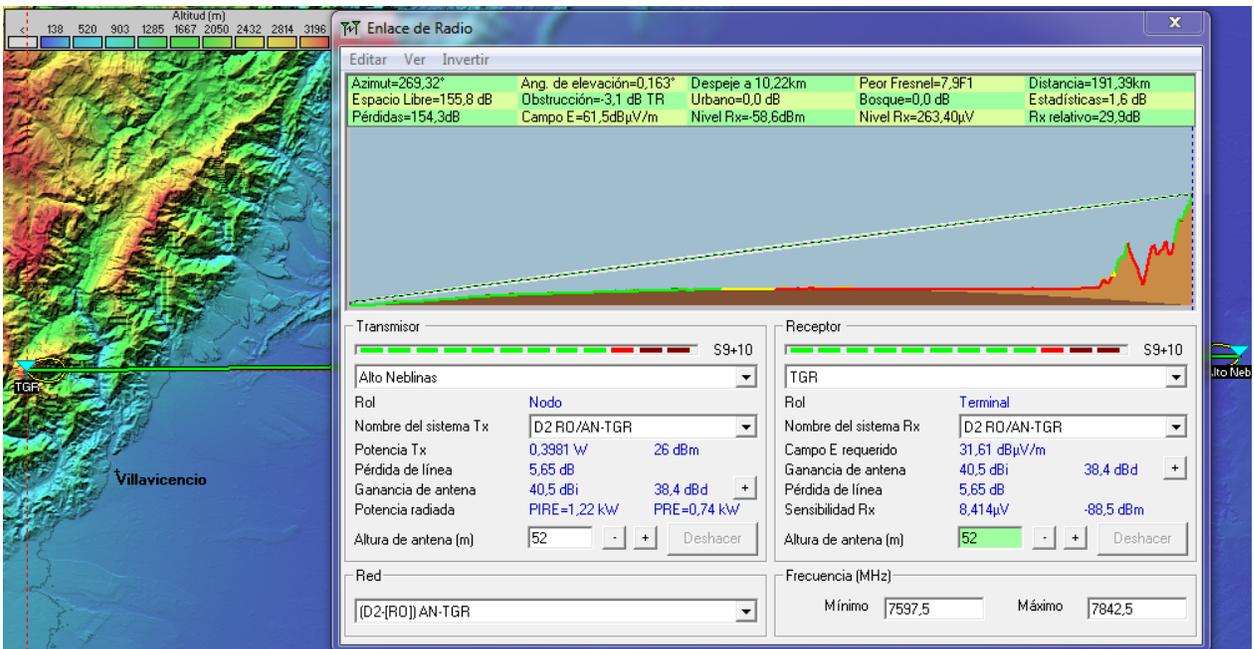
En la figura 77 siguiente se observan las coordenadas del centro de la imagen, las coordenadas de las esquinas de la imagen, la fuente de los datos de altitud y la altura a la cual se realiza la extracción de la imagen. En las siguientes figuras se aprecian el direccionamiento de las antenas, las pérdidas del vano, los niveles de recepción, la distancia de separación. En la parte inferior de la imagen se muestran los miembros y su rol, y además, la configuración usada para cada uno de ellos como: potencia de transmisión, ganancia de las antenas, altura de las antenas y sensibilidad en el receptor.

Figura 77. AEI AN-TGR.



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

Figura 78. AN-TGR. Rendimiento óptimo.

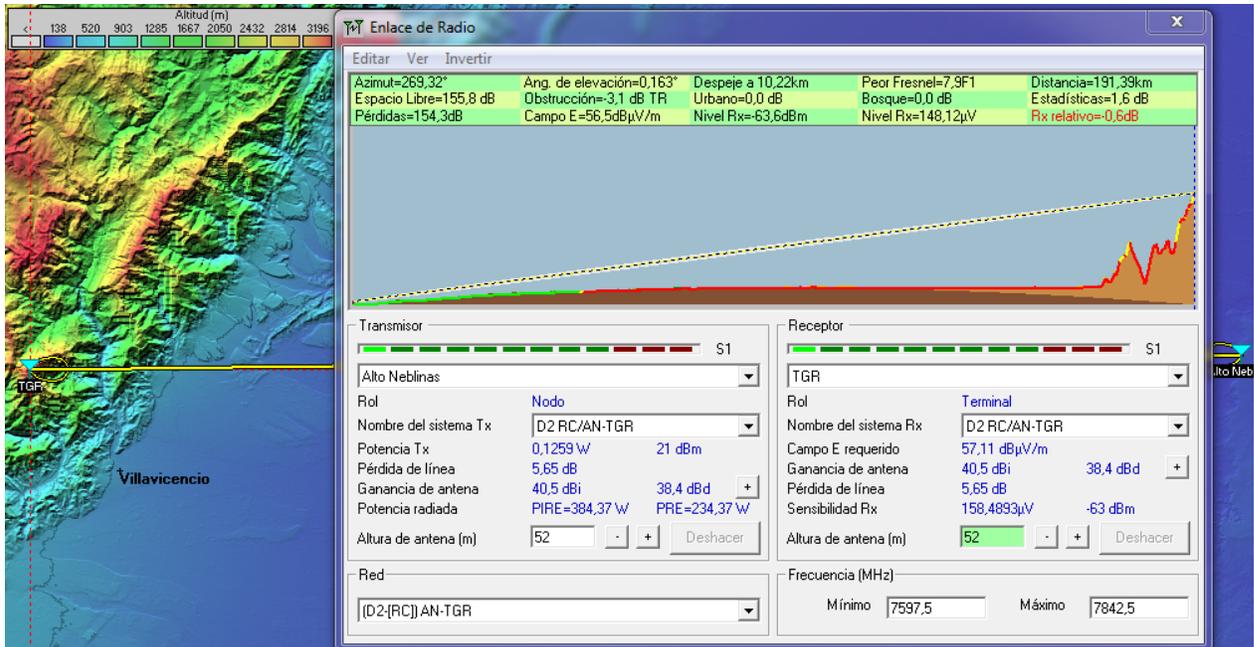


Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la figura 78 anterior se muestran los resultados de la simulación para el tramo AN-TGR con un rendimiento óptimo, el cual hace referencia a la mayor potencia de transmisión y

al nivel más bajo de modulación (mod. 0). Esta imagen contrasta con la siguiente, en la cual se muestran los resultados para el nivel más alto de modulación permitido en este vano (mod. 10), y con el nivel de potencia que soportan los equipos para dicha modulación.

Figura 79. Resultados AN-TGR. Rendimiento crítico.



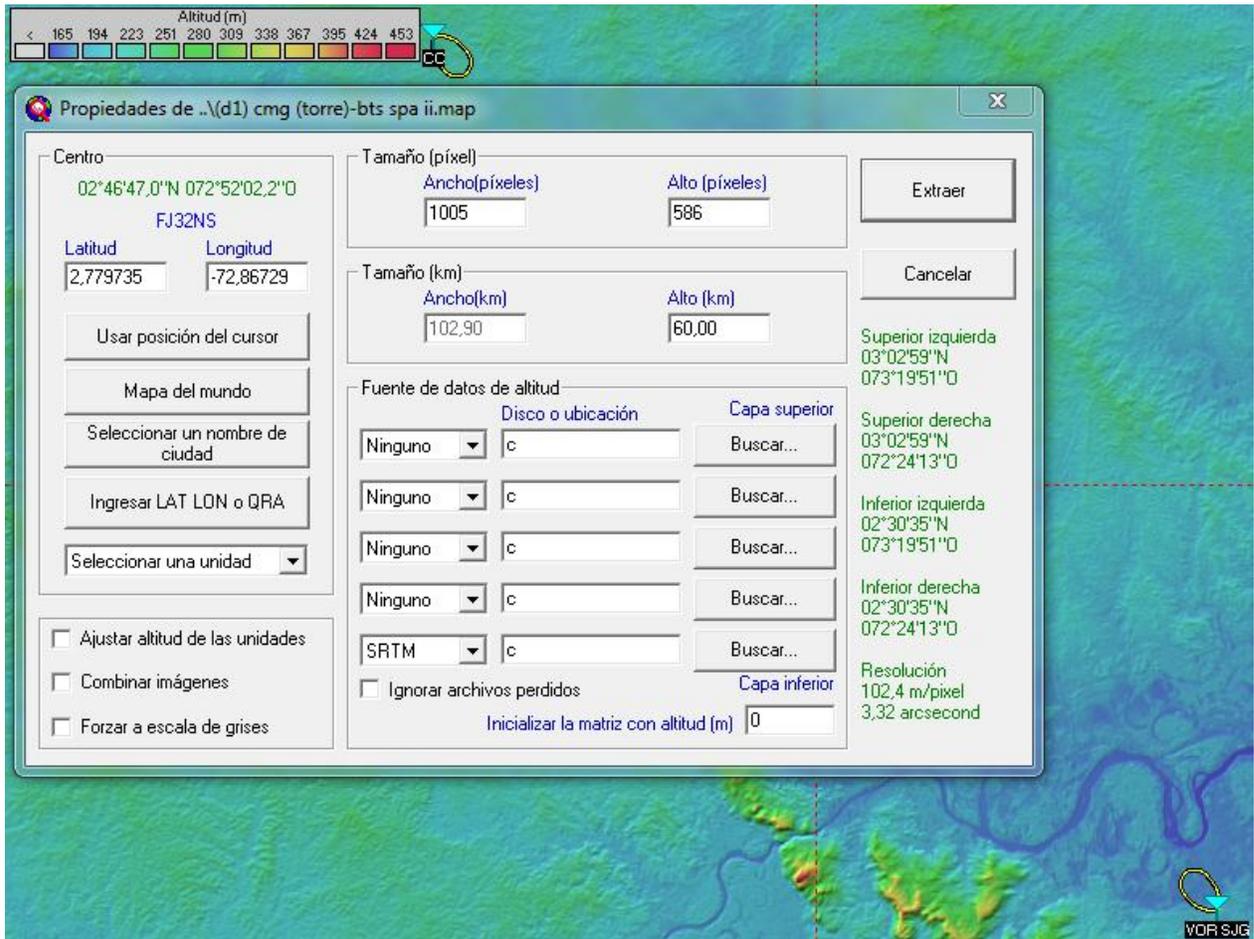
Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En las gráficas anteriores, figuras 78 y 79, se puede observar como el nivel "Rx relativo" cae por debajo del valor permitido, haciendo que el rendimiento de la comunicación sea realmente crítico. Esto describe un desvanecimiento de la señal en el nodo receptor de 30.5dB que indica al mismo tiempo que esta es la modulación más alta que puede alcanzar este vano del arreglo de comunicación.

5.2.2.3. VOR SJG-CC

Se presentan a continuación la altura de extracción de la imagen, los resultados de la simulación con un rendimiento óptimo y con un rendimiento crítico del enlace VOR SJG-CC, en la figura 80.

Figura 80. AEI VOR SJG-CC.



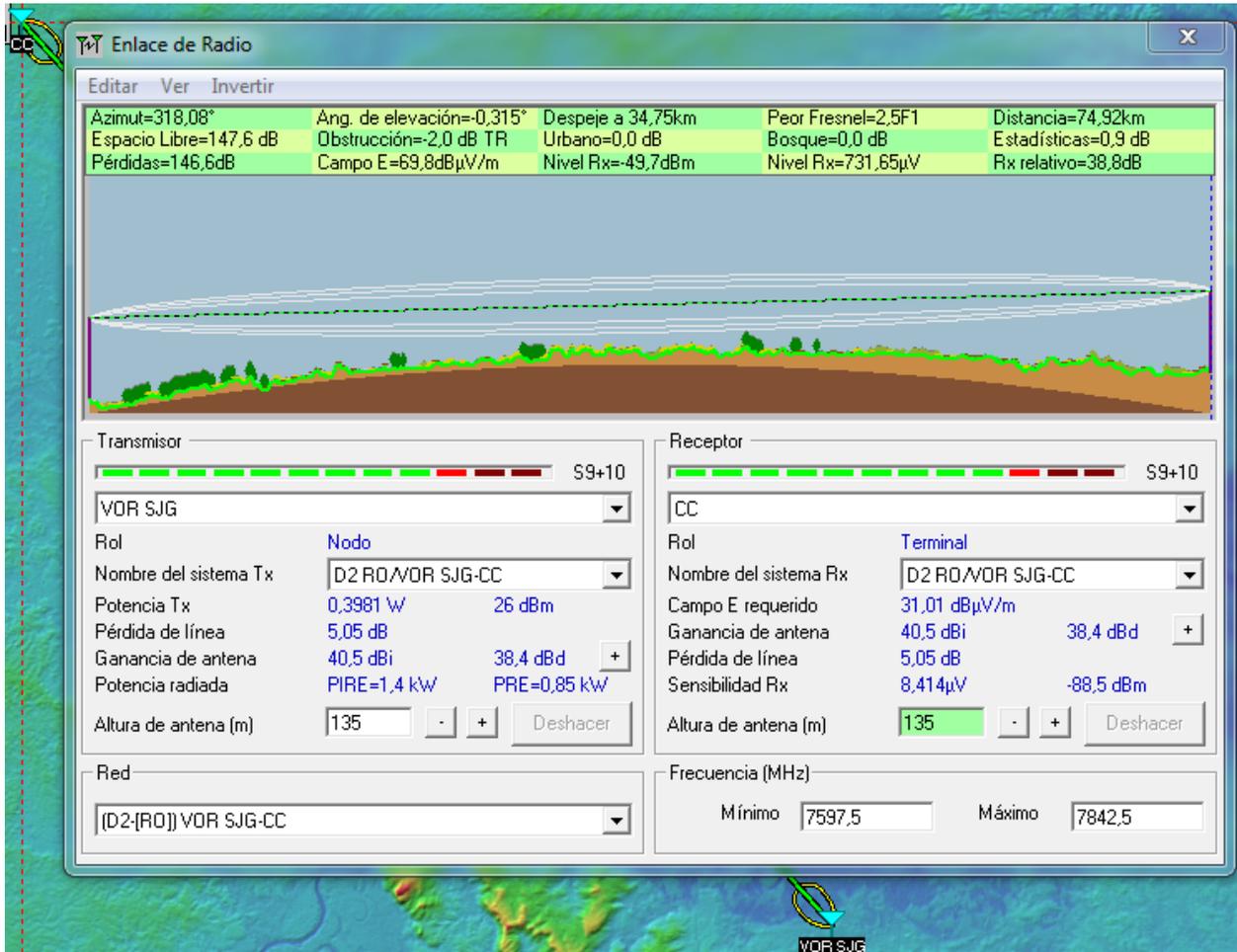
Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la figura 80 anterior se observan las coordenadas del centro de la imagen, las coordenadas de las esquinas de la imagen, la fuente de los datos de altitud y la altura a la cual se realiza la extracción de la imagen. En las siguientes figuras se aprecian el direccionamiento de las antenas, las pérdidas del vano, los niveles de recepción, la distancia de separación. En la parte inferior de la imagen se muestran los miembros y su rol, y además, la configuración usada para cada uno de ellos como: potencia de transmisión, ganancia de las antenas, altura de las antenas y sensibilidad en el receptor.

En la figura 81 siguiente se muestran los resultados de la simulación para el tramo VOR SJG-CC con un rendimiento óptimo, el cual hace referencia a la mayor potencia de transmisión y al nivel más bajo de modulación (mod. 0). Esta imagen contrasta con la subsiguiente, en la cual se muestran los resultados para el nivel más alto de modulación

permitido en este vano (mod. 10), y con el nivel de potencia que soportan los equipos para dicha modulación.

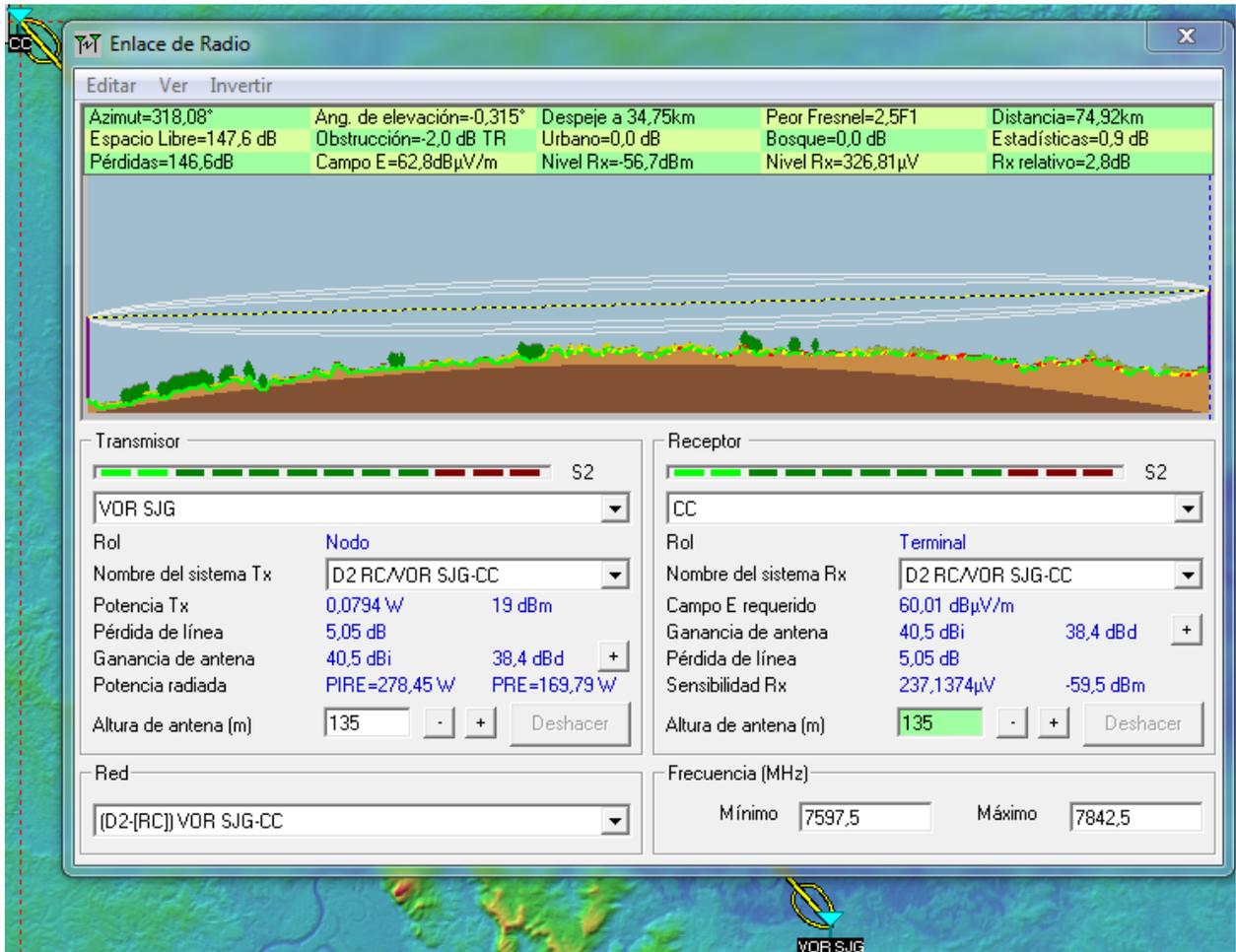
Figura 81. Resultados VOR SJG-CC. Rendimiento óptimo.



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la gráfica siguiente, figura 82, se puede observar como el nivel "Rx relativo" cae a un valor muy cercano del permitido, haciendo que el rendimiento de la comunicación sea realmente crítico y que el margen de desvanecimiento plano de la señal se encuentre en 2,8, a 36dB del valor registrado en la gráfica para el resultado con un rendimiento óptimo. Esto indica que esta es la modulación más alta que puede alcanzar este vano del arreglo de comunicación, limitada únicamente por las características de los equipos seleccionados.

Figura 82. Resultados VOR SJG-CC. Rendimiento crítico.



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

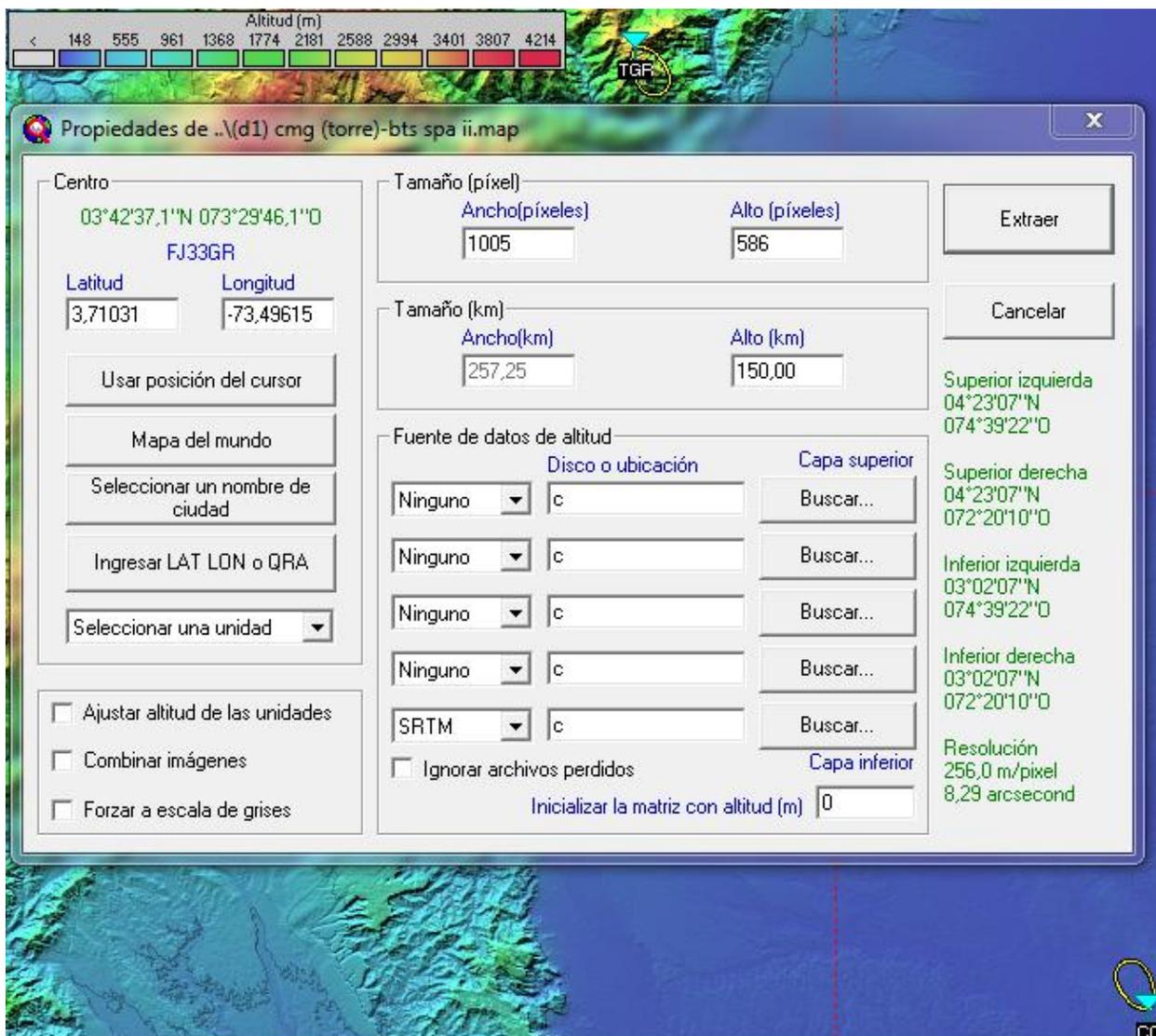
5.2.2.4. CC-TGR

Se presentan a continuación la altura de extracción de la imagen, los resultados de la simulación con un rendimiento óptimo y con un rendimiento crítico del enlace CC-TGR.

En la figura 83 siguiente se observan las coordenadas del centro de la imagen, las coordenadas de las esquinas de la imagen, la fuente de los datos de altitud y la altura a la cual se realiza la extracción de la imagen. En las siguientes figuras se aprecian el direccionamiento de las antenas, las pérdidas del vano, los niveles de recepción, la distancia de separación. En la parte inferior de la imagen se muestran los miembros y su

rol, y además, la configuración usada para cada uno de ellos como: potencia de transmisión, ganancia de las antenas, altura de las antenas y sensibilidad en el receptor.

Figura 83. AEI CC-TGR.

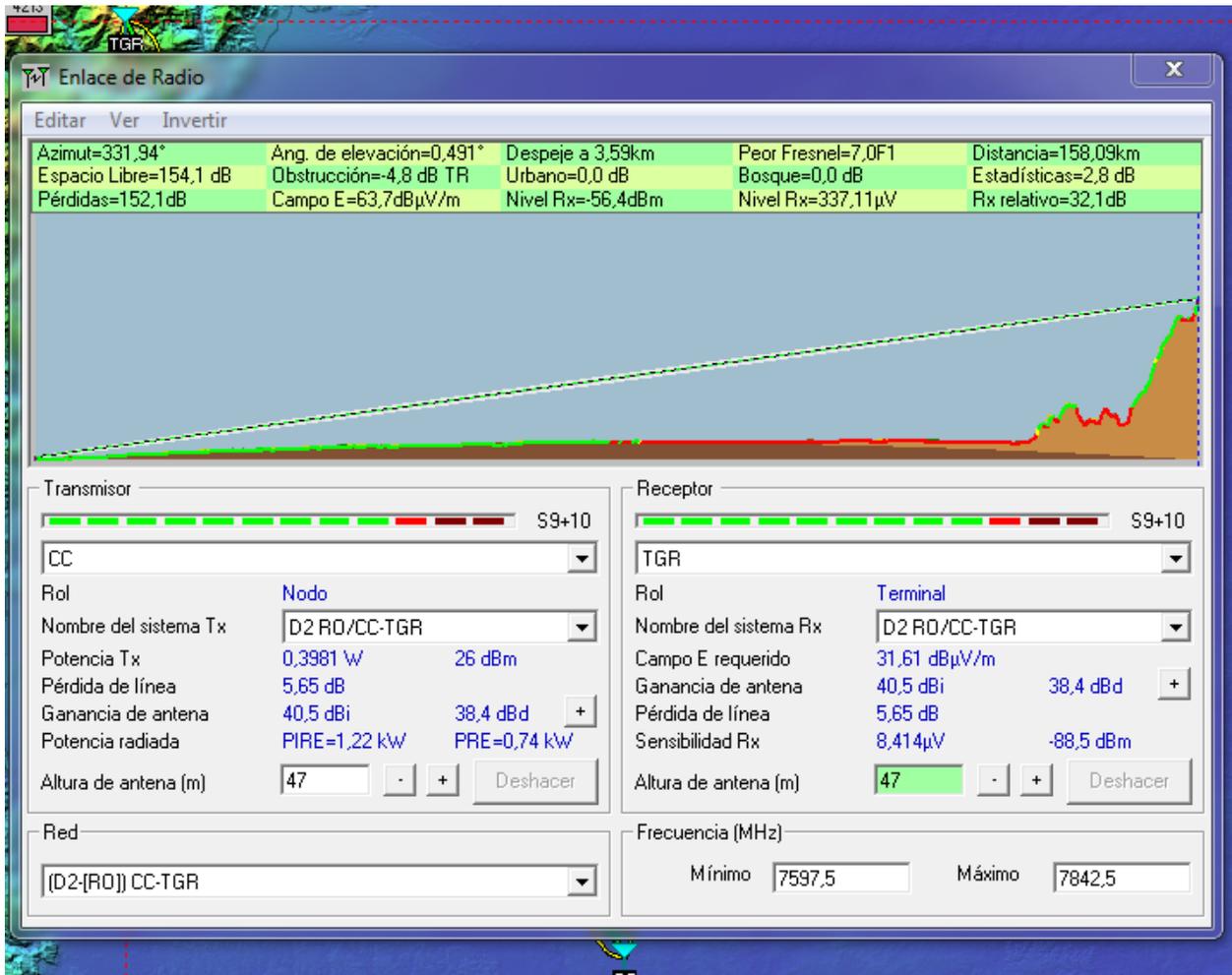


Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la figura 84 siguiente se muestran los resultados de la simulación para el tramo CC-TGR con un rendimiento óptimo, el cual hace referencia a la mayor potencia de transmisión y al nivel más bajo de modulación (mod. 0). Esta imagen contrasta con la subsiguiente, en la cual se muestran los resultados para el nivel más alto de modulación

permitido en este vano (mod. 9), y con el nivel de potencia que soportan los equipos para dicha modulación.

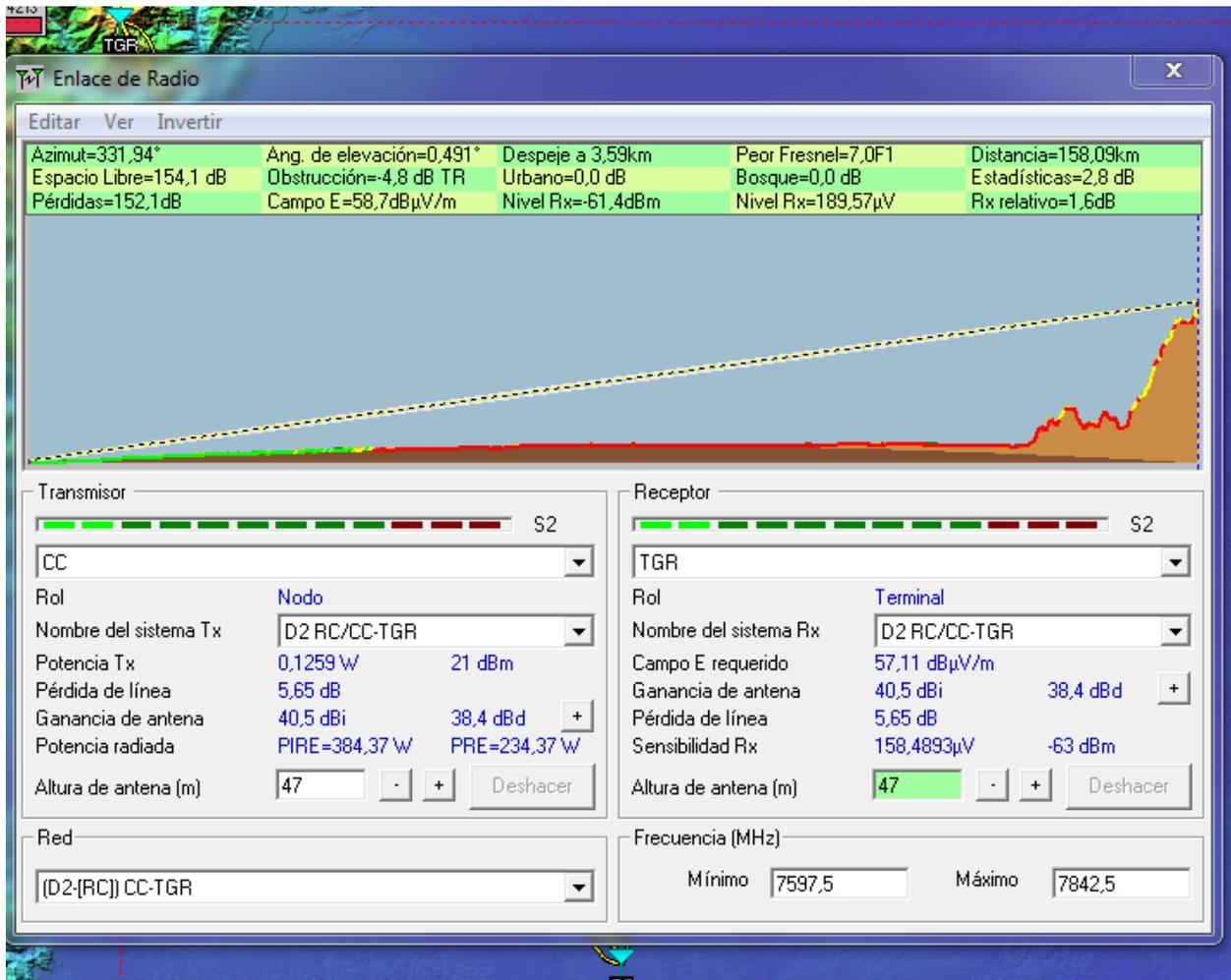
Figura 84. Resultados CC-TGR. Rendimiento óptimo.



Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

En la gráfica siguiente, figura 85, se puede observar como el nivel "Rx relativo" cae a un valor muy cercano del permitido, haciendo que el rendimiento de la comunicación sea realmente crítico y que el margen de desvanecimiento plano de la señal se encuentre en 1.6dB a 30.5dB del valor registrado en los resultados para un rendimiento óptimo. Esto indica que esta es la modulación más alta que puede alcanzar este vano del arreglo de comunicación.

Figura 85. Resultados CC-TGR. Rendimiento crítico.



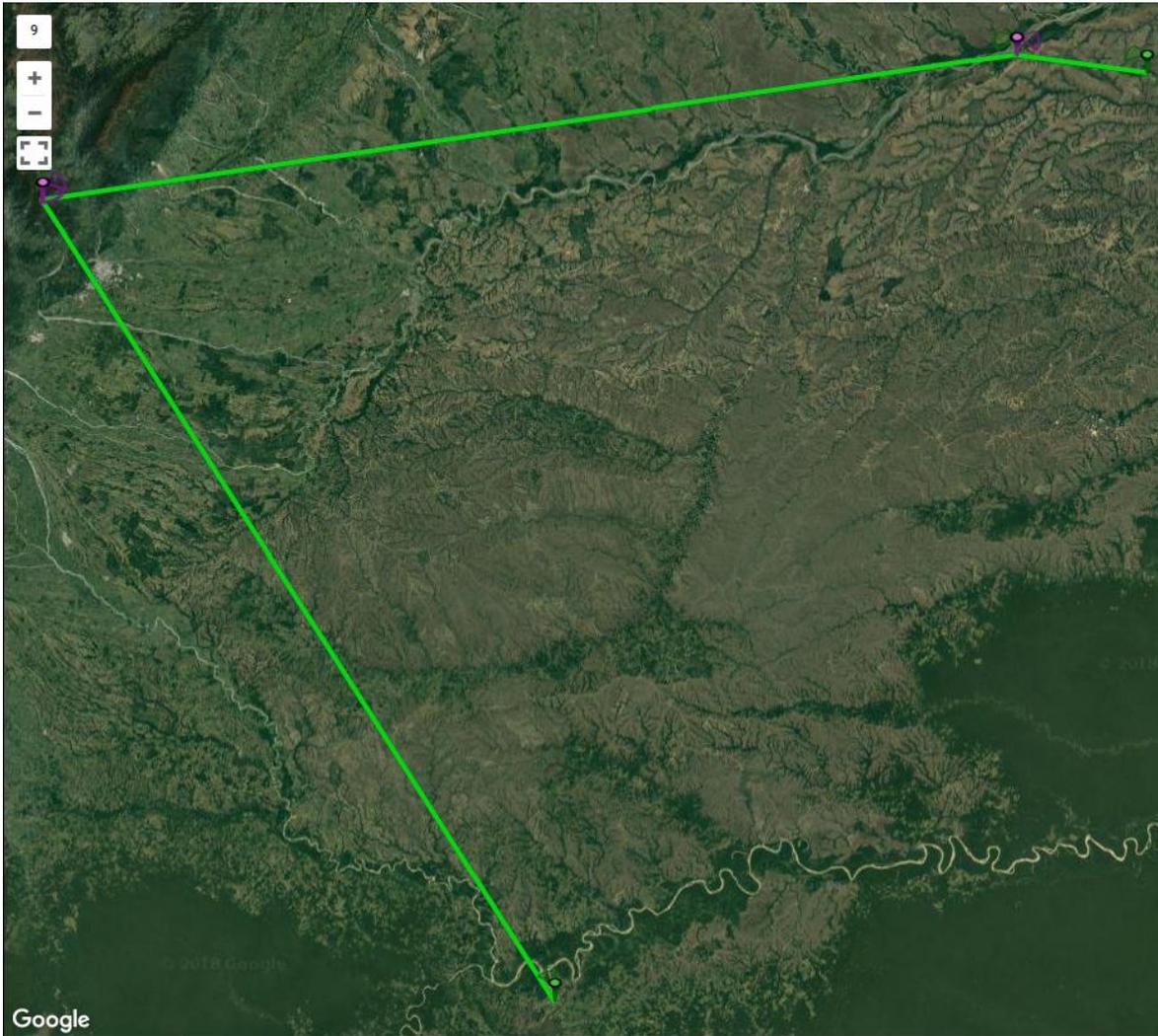
Fuente: Radio Mobile. Editada por el autor.

5.2.3. XIRIO ONLINE

En la figura 86 siguiente se aprecia la topología propuesta para la solución de la red de comunicaciones de respaldo. En esta resalta el uso de estaciones repetidoras en cada uno de los enlaces.

Las propiedades de la banda de frecuencias, las propiedades de las antenas y las propiedades del equipo son similares a las configuradas en el primer diseño, Al igual que la simulación del tramo CMG-BTS SPA II.

Figura 86. Topología propuesta.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

5.2.3.1. BTS SPA II-AN

En las siguientes figuras 87 y 88 se muestran las propiedades de los extremos, las cuales contienen el nombre del nodo; las características del emplazamiento como coordenadas y alturas; las coordenadas de la antena, que deben coincidir con las del emplazamiento; el tipo de antena; la altura; el apuntamiento; la frecuencia de transmisión; las características del alimentador; las pérdidas por pasivos; y el tiempo medio para reparar.

Figura 87. Propiedades de BTS SPA II

Extremo 1

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:   

Coordenadas      

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio  

Antena Principal:   

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar:  

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión 

Frecuencias	Canal	Polarización	
7842.500 MHz	1'	Horizontal	

Feeder:  

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 

Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 88. Propiedades de AN

Extremo 2

Nombre: AN

Emplazamiento

Emplazamiento: Alto Neblinas   

Coordenadas      

Latitud: 04°18'54.90"N

Longitud: 072°01'52.40"W

Parámetros de radio 

Antena Principal: SP6-7.7GHz 40.5dBi   

Altura antena: 130 m

Orientación: 54.2416799442953 [0,359]

Inclinación: 0.102909950201879 [-90,90]

Antena auxiliar:  

Altura antena auxiliar: 130 m

Frecuencias de transmisión: 

Frecuencias	Canal	Polarización	
7597.500 MHz	1	Horizontal	 

Feeder:  

Longitud del feeder: 0 m

Pérdidas del feeder: 3.80 dB 

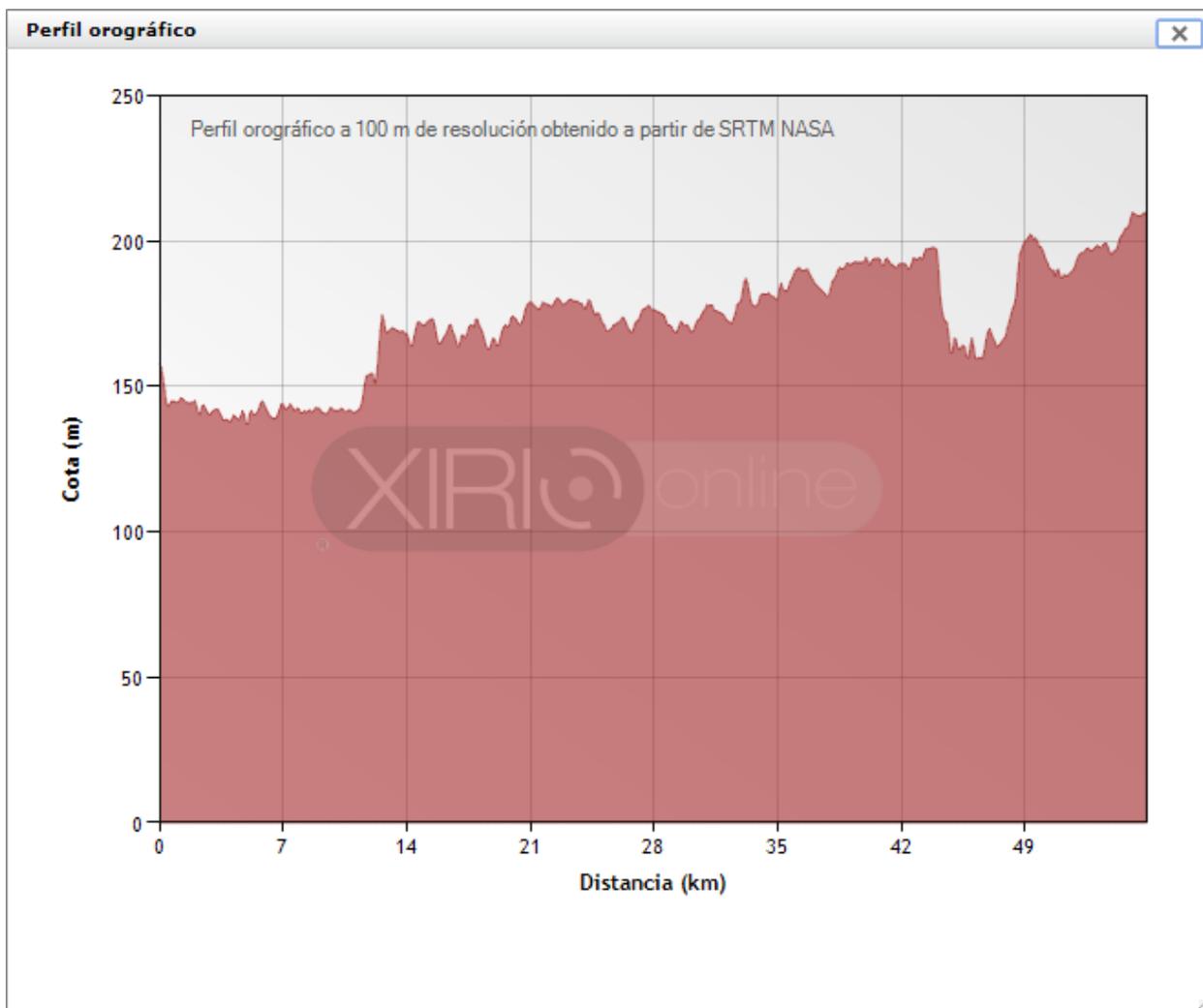
Pérdidas pasivos: 2.735 dB

MTTR: 1 h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En las figuras 87 y 88 anteriores no se realiza configuración de antena auxiliar debido a que no es necesario el uso de diversidad de espacio para alcanzar la disponibilidad requerida de 99.9%.

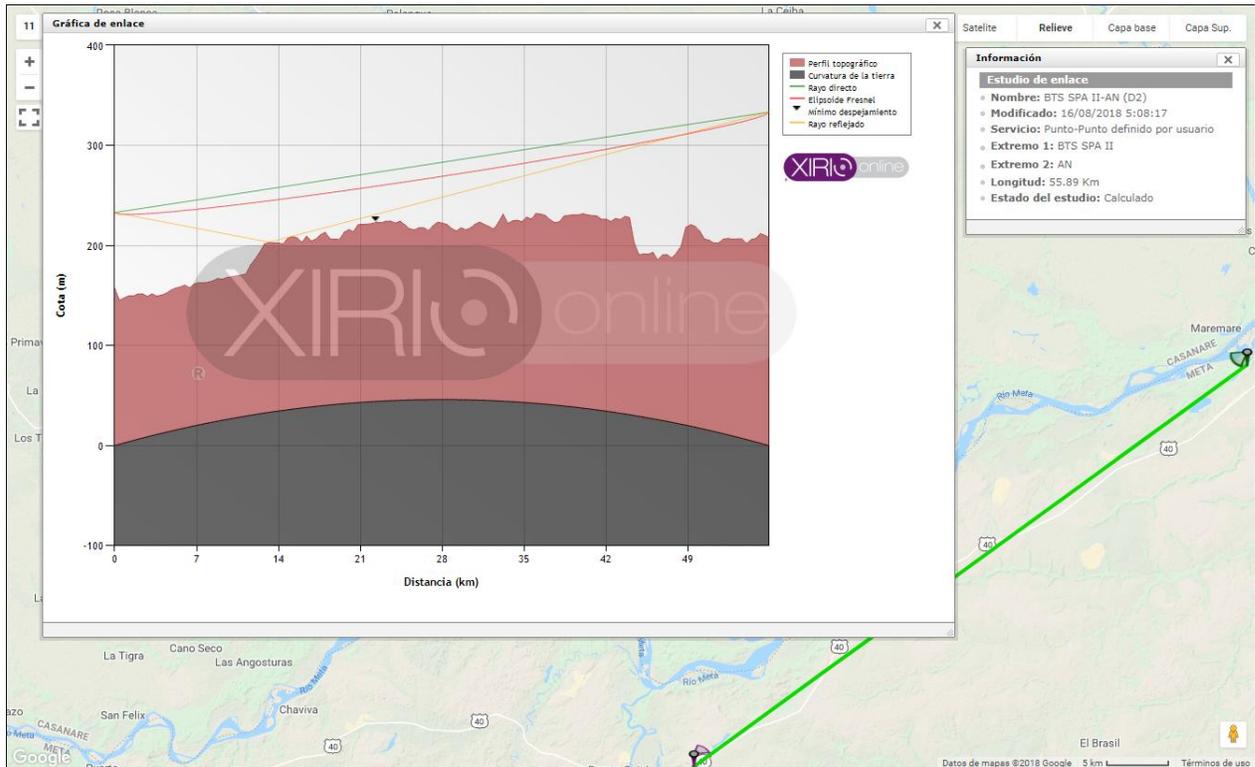
Figura 89. Perfil orográfico BTS SPA II-AN.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En el perfil orográfico mostrado en la figura 89 anterior se aprecian las características de elevación del terreno a lo largo de los dos puntos a conectar con vista de costado.

Figura 90. Resultados BTS SPA II-AN.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En la figura 90 anterior se muestran los resultados para el tramo entre BTS SPA II-AN, donde se observa el rayo que conecta los puntos, su elipsoide de Fresnel, la curvatura de la tierra y la zona de mínimo despeje, así como el rayo que se refleja en la tierra. Esta imagen está superpuesta a aquella que indica la operación óptima del enlace por medio de la línea verde que une el punto origen al punto destino.

5.2.3.2. AN-TGR

En las siguientes figuras 91 y 92 se muestran las propiedades de los extremos, las cuales contienen el nombre del nodo; las características del emplazamiento como coordenadas y alturas; las coordenadas de la antena, que deben coincidir con las del emplazamiento; el tipo de antena; la altura; el apuntamiento; la frecuencia de transmisión; las características del alimentador; las pérdidas por pasivos; y el tiempo medio para reparar.

Figura 91. Propiedades de AN

Extremo 1

Nombre: AN

Emplazamiento

Emplazamiento: Alto Neblinas

Coordenadas

Latitud: 04°18'54.90"N

Longitud: 072°01'52.40"W

Parámetros de radio

Antena Principal: SP6-7.7GHz 40.5dBi

Altura antena: 52 m

Orientación: 269.314948544226 [0,359]

Inclinación: -1.0240197360386 [-90,90]

Antena auxiliar:

Altura antena auxiliar: 0 m

Frecuencias de transmisión

Frecuencias	Canal	Polarización
7842.500 MHz	1'	

Feeder:

Longitud del feeder: 0 m

Pérdidas del feeder: 3.80 dB

Pérdidas pasivos: 5.6525 dB

MTTR: 1 h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 92. Propiedades de TGR

Extremo 2

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:   

Coordenadas      

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio 

Antena Principal:   

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar:  

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión: 

Frecuencias	Canal	Polarización	
7597.500 MHz	1		 

Feeder:  

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 

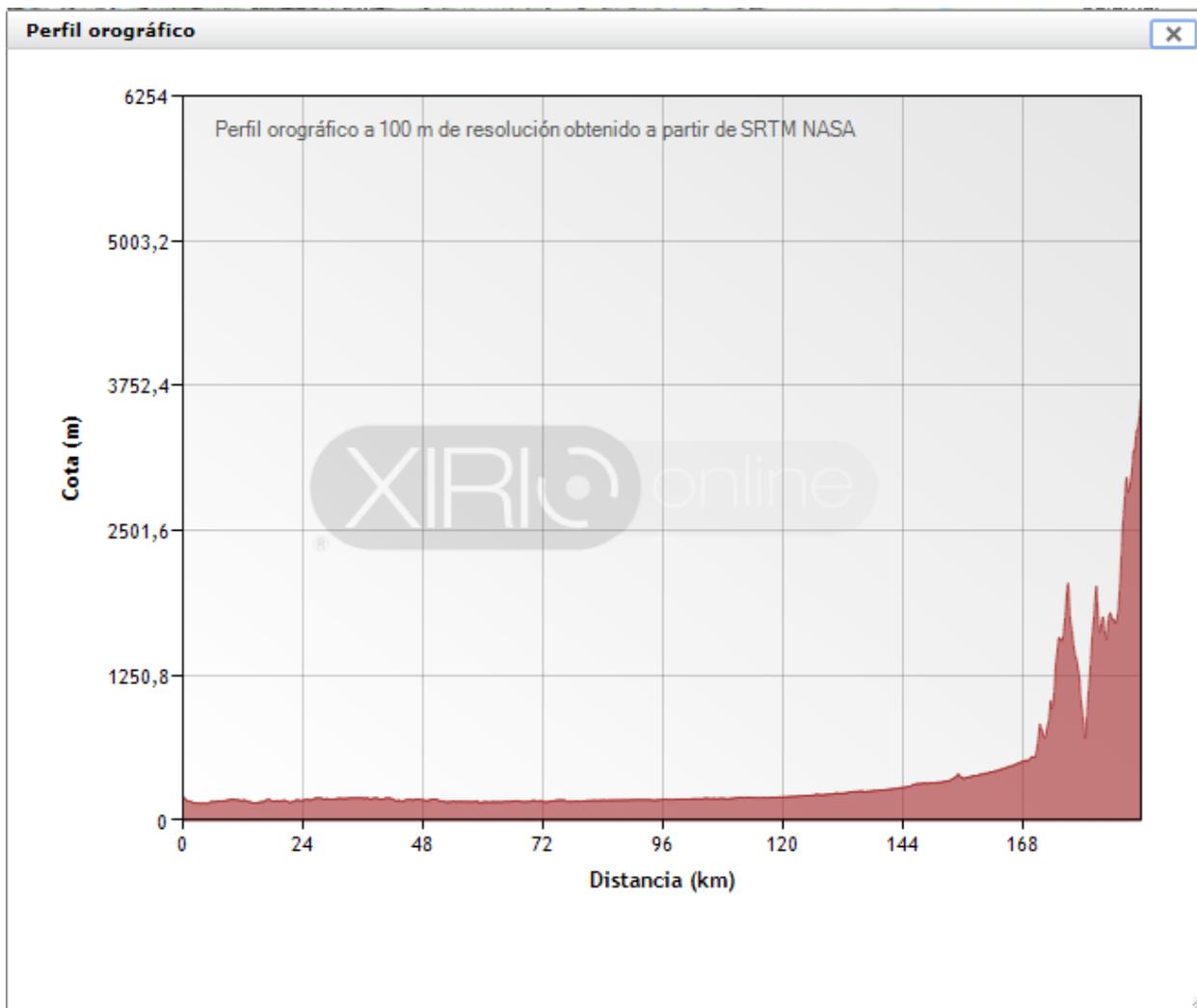
Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En las figuras 91 y 92 anteriores no se realiza configuración de antenas auxiliares debido a que en este vano no se utiliza la diversidad de espacio. No se tienen datos del alimentador según hojas de datos. El valor dado a las pérdidas por alimentador se obtuvo del simulador del fabricante de los dispositivos seleccionados para el diseño.

Figura 93. Perfil orográfico AN-TGR.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En el perfil orográfico mostrado en la figura 93 anterior se aprecian las características de elevación del terreno a lo largo de los dos puntos a conectar con vista de costado.

Figura 94. Resultados AN-TGR.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En la figura 94 anterior se muestran los resultados para el tramo entre BTS SPA II-TGR, donde se observa el rayo que conecta los puntos, su elipsoide de Fresnel, la curvatura de la tierra y la zona de mínimo despeje. Esta imagen está superpuesta a aquella que indica la operación óptima del enlace por medio de la línea verde que une el punto origen al punto destino.

5.2.3.3. VOR SJG-CC

En las siguientes figuras 95 y 96 se muestran las propiedades de los extremos, las cuales contienen el nombre del nodo; las características del emplazamiento como coordenadas y alturas; las coordenadas de la antena, que deben coincidir con las del emplazamiento; el tipo de antena; la altura; el apuntamiento; la frecuencia de transmisión; las características del alimentador; las pérdidas por pasivos; y el tiempo medio para reparar.

Figura 95. Propiedades de VOR SJG

Extremo 1

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:   

Coordenadas      

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio  

Antena Principal:   

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar:  

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión 

Frecuencias	Canal	Polarización	
7842.500 MHz	1'	Horizontal	

Feeder:  

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 

Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 96. Propiedades CC

Extremo 2

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:   

Coordenadas      

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio 

Antena Principal:   

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar:  

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión: 

Frecuencias	Canal	Polarización	
7597.500 MHz	1	Horizontal	 

Feeder:  

Longitud del feeder: m

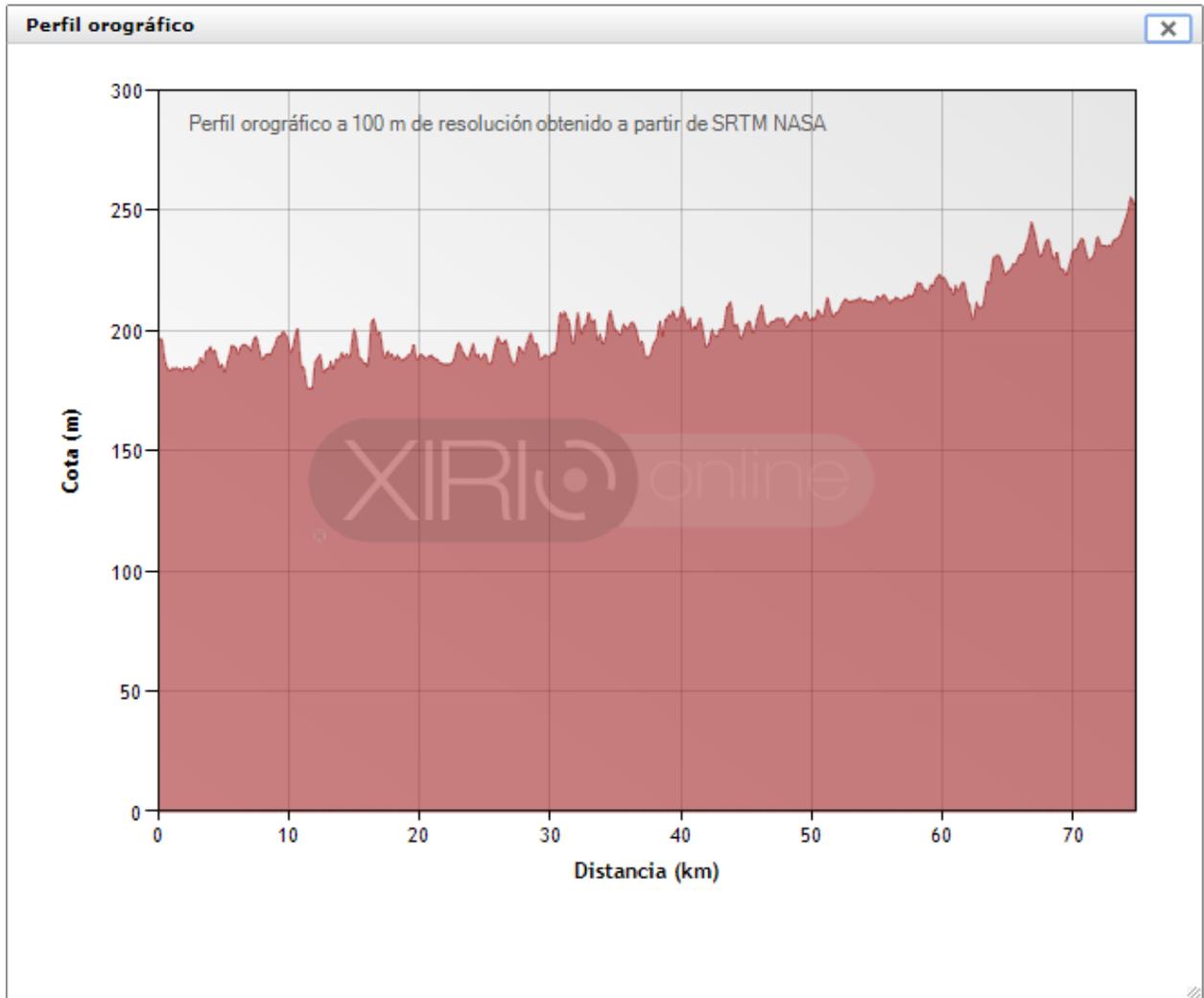
Pérdidas del feeder: dB 

Pérdidas pasivos: dB

MTRR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 97. Perfil orográfico.

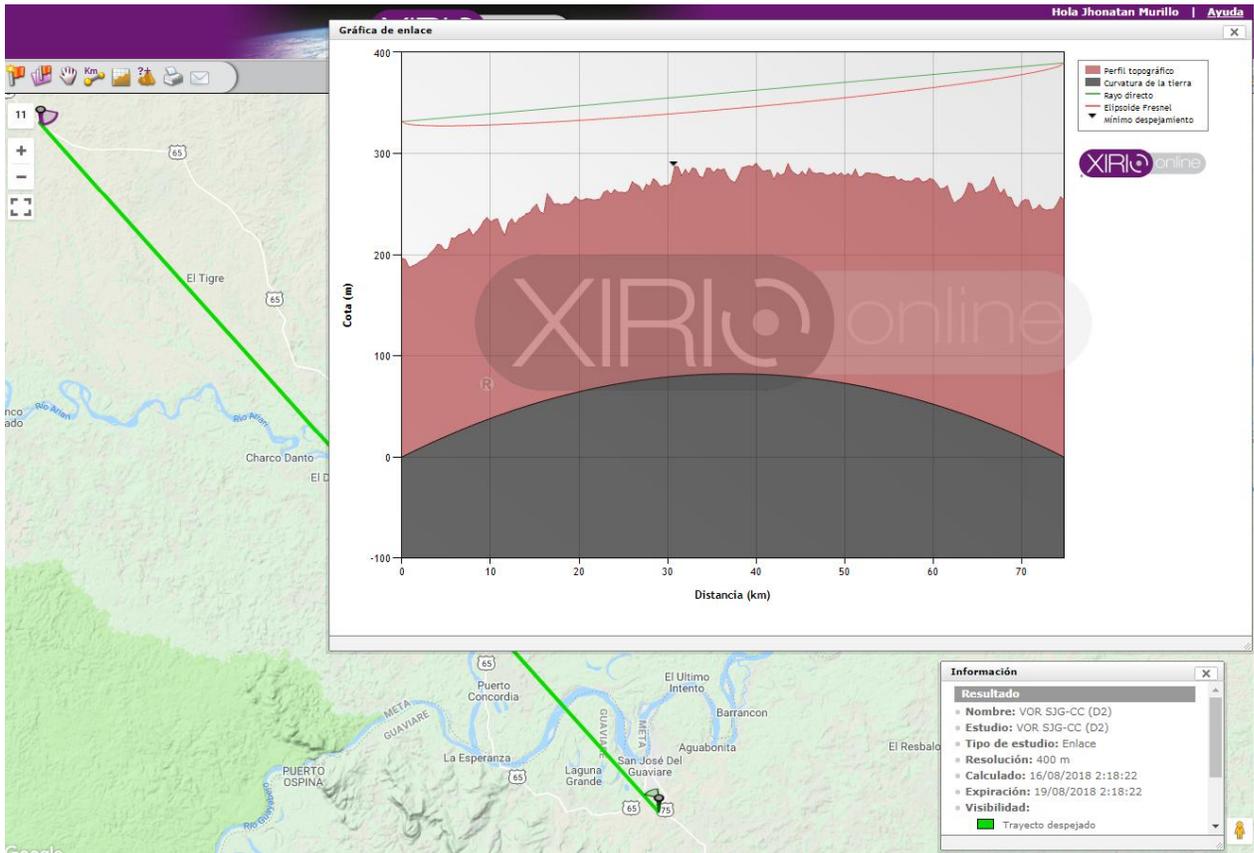


Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En el perfil orográfico mostrado en la figura 97 anterior se aprecian las características de elevación del terreno a lo largo de los dos puntos a conectar con vista de costado.

En la figura 98 siguiente se muestran los resultados para el tramo entre VOR SJG-TGR, donde se observa el rayo que conecta los puntos, su elipsoide de Fresnel, la curvatura de la tierra y la zona de mínimo despeje. Esta imagen está superpuesta a aquella que indica la operación óptima del enlace por medio de la línea verde que une el punto origen al punto destino.

Figura 98. Resultados VOR SJG-CC.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

5.2.3.4. CC-TGR

En las siguientes figuras 99 y 100 se muestran las propiedades de los extremos, las cuales contienen el nombre del nodo; las características del emplazamiento como coordenadas y alturas; las coordenadas de la antena, que deben coincidir con las del emplazamiento; el tipo de antena; la altura; el apuntamiento; la frecuencia de transmisión; las características del alimentador; las pérdidas por pasivos; y el tiempo medio para reparar.

Figura 99. Propiedades de CC

Extremo 1

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:   

Coordenadas      

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio  

Antena Principal:   

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar:  

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión 

Frecuencias	Canal	Polarización	
7842.500 MHz	1'		

Feeder:  

Longitud del feeder: m

Pérdidas del feeder: dB 

Pérdidas pasivos: dB

MTTR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 100. Propiedades TGR

Extremo 2

Nombre:

Emplazamiento

Emplazamiento:   

Coordenadas      

Latitud:

Longitud:

Parámetros de radio 

Antena Principal:   

Altura antena: m

Orientación: [0,359]

Inclinación: [-90,90]

Antena auxiliar:  

Altura antena auxiliar: m

Frecuencias de transmisión: 

Frecuencias	Canal	Polarización	
7597.500 MHz	1		 

Feeder:  

Longitud del feeder: m

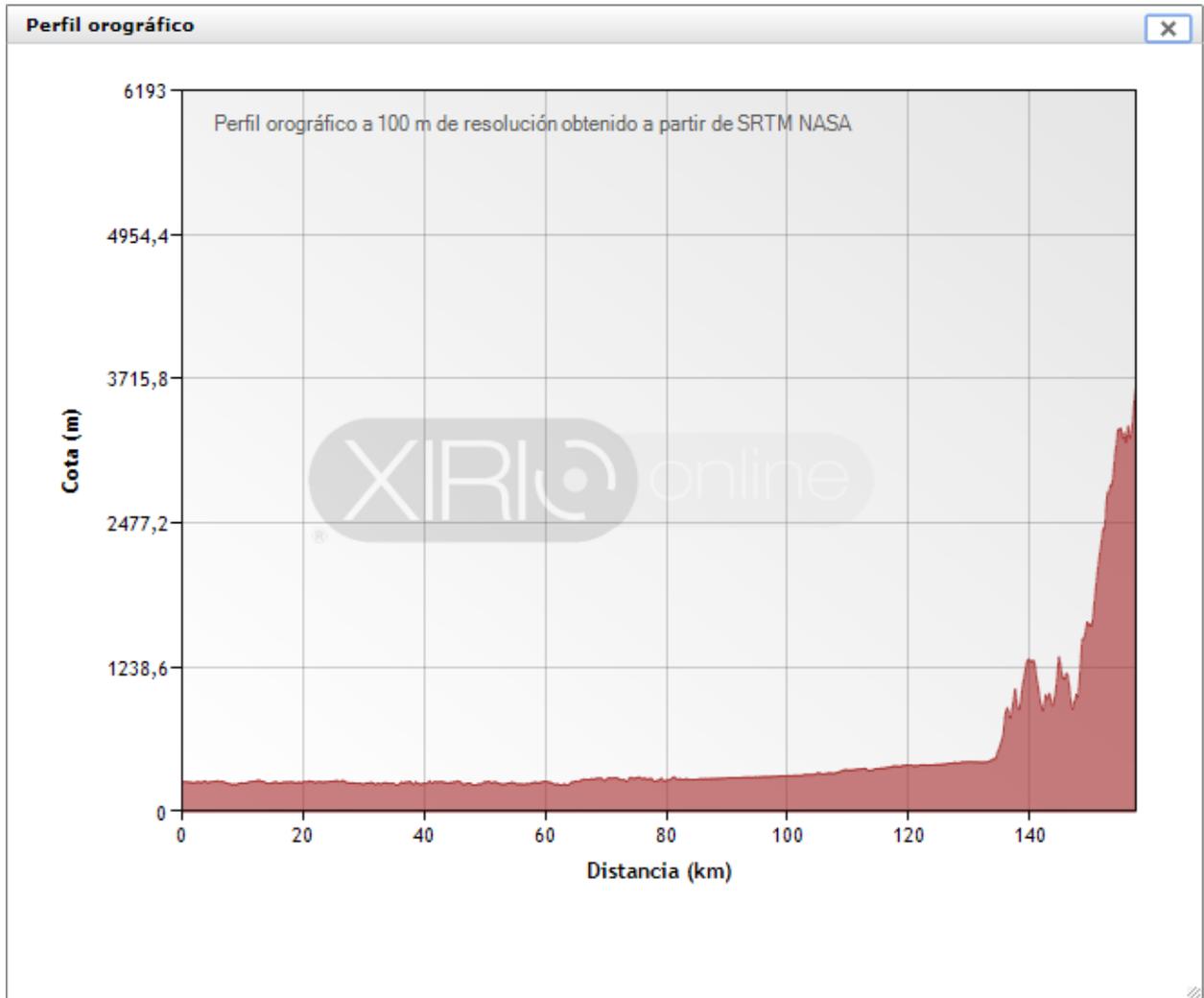
Pérdidas del feeder: dB 

Pérdidas pasivos: dB

MTRR: h

Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

Figura 101. Perfil orográfico.



Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

En el perfil orográfico mostrado en la figura 101 anterior se aprecian las características de elevación del terreno a lo largo de los dos puntos a conectar con vista de costado.

En la figura 102 siguiente se muestran los resultados para el tramo entre CC-TGR, donde se observa el rayo que conecta los puntos, su elipsoide de Fresnel, la curvatura de la tierra y la zona de mínimo despeje. Esta imagen está superpuesta a aquella que indica la operación óptima del enlace por medio de la línea verde que une el punto origen al punto destino.

Figura 102. Resultados CC-TGR.

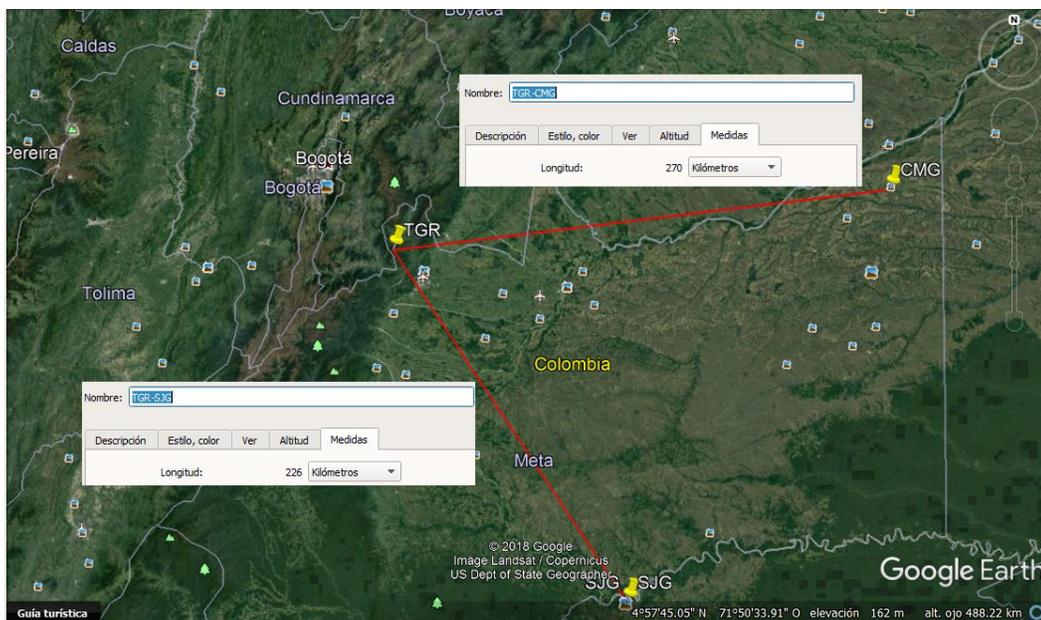


Fuente: Xirio-Online. Editada por el autor.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. La consulta de otras fuentes relacionadas con las telecomunicaciones, que incluyó trabajos de grados, artículos, documentos especializados y profesionales en ejercicio, permitió construir un estado del arte enfocado hacia los aportes que se pudieron recibir de los trabajos mencionados. El estado del arte construido le dio forma al punto de partida para el desarrollo de este documento, ofreciendo una orientación en cuanto a la redacción general del documento y la inclusión de algunos parámetros importantes que se usan en la actualidad con fines de diseño.
2. La valoración de los recursos físicos con que cuenta la Aero-Civil incluyó la visita a algunos de estos sitios y la ratificación de sus coordenadas. En estas visitas se identificó la necesidad de hacer uso de infraestructura perteneciente a operadores telefónicos con el fin de hacer factible la conexión entre los puntos Carimagua y El Tigre, la cual se muestra en la figura 103 siguiente.

Figura 103. Descripción geográfica.



Fuente: Google Earth. Editada por el autor.

En este tramo fue necesario un repetidor, el cual se ubicaría en instalaciones ajenas, por lo que sería necesario realizar una inversión para gastos de infraestructura que debe incluir el mejoramiento de una torre perteneciente a la

Aero-Civil, ubicada en la estación Carimagua. Las torres de Alto Neblinas y VOR SJG también requieren inversión de infraestructura para aumentar su altura, con el objetivo de que los enlaces cumplan con el requerimiento de disponibilidad.

Las torres de Alto Neblinas y VOR SJG necesitarían ser aumentadas en tamaño de 35m hasta 150m, para lo que sería necesario cambiar su estructura atirantada lineal por una autosoportada cuadrangular. También sería necesario la construcción de una torre de igual tamaño en las coordenadas Latitud 03°02'14.60"N Longitud: 073°05'14.20"W al lado de la vía que comunica Villavicencio con San José Del Guaviare. Las características de dichas torres se muestran en la figura 112.

3. A continuación se calcula el costo-beneficio de las tecnologías propuestas.

Figura 104. Valor del dólar.



Fuente: www.dolar-colombia.com. Editado por el autor.

En la figura 104 anterior se muestra el valor actual del dólar, que servirá para calcular el valor de las cotizaciones realizadas para cada sistema de respaldo.

En la figura 105 siguiente se muestra la imagen de la cotización del cable de fibra óptica para un espaciado de 200m aproximado al que se encuentra paralelo a las vías departamentales.

En la figura 99 se muestra la imagen del precio de una antena Ceragon con ODU's 1+1.

Figura 105. Cotización FO.

COTIZACIÓN								
Número: CLJP005997 Rev.: 0								
INFORMACIÓN DEL CLIENTE								
Cliente: UNIVERSIDAD DE PAMPLONA								
Atn:								
Ref: Aerocivil								
Melexa S.A.S. / Melexa Panamá S.A. especialistas en soluciones eléctricas integrales								
De acuerdo a su amable solicitud, nos permitimos presentar la siguiente oferta de productos y/o servicios								
#	Referencia	Descripción de la referencia	Cant	Marca	Und	Valor Unitario	Valor Total	Tiempo de entrega
1	19FUAT-3BE17S6-012-CMCA	CABLE FIBRA OPTICA 12 HILOS MONOMODO ADSS SPAN 200 MTS. GEL	14000	FURUKAWA	M	1.09	15,260.00	A convenir
SUBTOTAL							15,260.00	
IVA							2,899.40	
TOTAL							18,159.40	
CONDICIONES COMERCIALES					CONTACTO COMERCIAL			
Validez oferta:	2018-05-17				Asesor de cuenta:	Neme Cantillo Steven		
	Tiempos de entrega salvo venta previa				Celular:	315 319 8199		
Forma de pago:	Según convenido				E-mail:	steven.neme@melexa.com		
	Somos grandes contribuyentes y autorretenedores.				Ciudad:	Bogotá D.C.		
	La orden de compra se debe emitir a nombre de Melexa S.A.S.				Teléfono:	(571) 587 4400		
Moneda:	Dólares Americanos liquidados en pesos colombianos a la TRM fecha factura				Fecha de elaboración:	2018-05-03		
					Elaborado por:	Callejas Prada Luis Javier		
Esta oferta se sujeta a los términos y condiciones de venta de Melexa S.A.S. / Melexa Panamá S.A. adjuntos.								

Fuente: eCommerce Melexa. Editada por el autor.

A partir de la imagen anterior, figura 105, se pueden deducir los siguientes cálculos:

$$1m. \quad 1.09\$ \text{ (Dólares)}$$

$$500000m. \quad \$D$$

$$\$D = \frac{(500000m) * (1.09\$)}{1m}$$

$$\$D = 545000\$$$

$$\frac{1\$D}{545000\$D} = \frac{\$2817.2 \text{ (Pesos)}}{\$P}$$

$$\$P = \frac{(545000\$D) * (\$2817.2P)}{1\$D}$$

$$\$P = \$1535'374000$$

Figura 106. Precio Microondas.

	1_0-Installation-Kit	Kit for installation 1+0, per terminal	Accesorios	Login	\$1510.00 Login
	1_1-Installation-Kit	Kit for installation 1+1, per terminal	Accesorios	Login	\$1916.00 Login

Fuente: www.wincom.com. Editada por el autor.

A partir de la imagen anterior, figura 106, se pueden deducir los siguientes cálculos:

$$\frac{1Antena.}{8Antenas.} = \frac{1915\$ \text{ (Dólares)}}{\$D}$$

$$\$D = \frac{(8Antenas) * (1915\$)}{1Antena}$$

$$\$D = 15320\$$$

$$\frac{1\$D}{15320\$D} = \frac{\$2817.2 \text{ (Pesos)}}{\$P}$$

$$\$P = \frac{(15320\$D) * (\$2817.2P)}{1\$D}$$

$$\$P = \$43'159504$$

El precio de las antenas con sus respectivas ODU's se tomó de la página de un distribuidor debido a la demora en la respuesta de la cotización solicitada a uno de los licitantes de la Aero-Civil, sin embargo se evidencia una amplia diferencia entre los costos de la tecnología por fibra y la tecnología por microondas, siendo favorable a esta última.

4. Como resultado de lo observado en la discusión anterior, se decidió realizar el diseño del sistema de respaldo utilizando la tecnología de enlaces por microondas. Para efectuar los cálculos de las pérdidas entre los puntos a interconectar se utilizó el modelo de *pérdidas por espacio libre*, el cual arroja unos resultados muy similares a los obtenidos con las simulaciones. Esto indica que tanto las simulaciones como los cálculos se ajustan estrechamente a la realidad.

Para el posicionamiento en altura de las antenas se utilizan las fórmulas (5) y (7), las cuales en algunos casos, dan como resultado alturas que se encuentran más allá de la alcanzada con la infraestructura actual. El procedimiento que se siguió con estos cálculos tuvo un avance analítico, ya que como lo propusieron *Gabriela Leija Hernández, José Luís López Bonilla y Luís Alejandro Iturri Hinojosa* en su trabajo, no resultó conveniente para este proyecto. El cambio en la aplicación tuvo que ver con la designación de las distancias d_1 y d_2 : Ellos proponían determinarlas a partir del primer obstáculo, sin embargo se observó que la región Fresnel es mucho más amplia hacia el centro del trayecto y que tomar d_1 y d_2 en este punto era más conveniente para obtener un despeje mayor de todas las zonas Fresnel posibles. En consecuencia, se consiguen alturas para el posicionamiento de las antenas que son dependientes de la distancia de separación entre los puntos a conectar. Cuando estos puntos se encuentran cerca la altura calculada se reduce drásticamente y en zonas montañosas y boscosas es probable no conseguir siempre un despeje total de las zonas de Fresnel.

En cuanto al cálculo de ruido a la entrada del receptor se usa la ecuación (4) basada en un pequeño despeje. Este resultado es general para todos los diseños debido a que se siguen los mismos estándares para todos ellos.

Para complementar el modelo matemático empleado en la realización del balance de potencias, y en el diseño en sí, se tuvo en cuenta el modelo matemático propuesto por la UIT en sus recomendaciones "Rec. UIT-R F.385-7 y Rec. UIT-R F.385-10", las cuales ofrecen especificaciones sobre la separación de las bandas de frecuencias, así como de sus canales y la distribución de los mismos.

5. La simulación con el software Radio-Mobile arrojó unos resultados muy satisfactorios que fueron coherentes con los resultados calculados en papel. Durante este proceso se observó que la altura de extracción de las imágenes afectaban la precisión del resultado, evidenciándose mayor exactitud a menor altura de extracción. Los aportes más relevantes de este simulador son los niveles de potencia en el receptor, el margen de libertad de la primera zona de Fresnel, y el "Rx relativo" que es comparable con el margen de desvanecimiento plano de una señal, ofreciendo la certeza de una óptima operación del enlace.

Quizá el único contratiempo que presenta este software es el hecho de que al hacer simulaciones continuas pasando de un sistema a otro, arroja resultados que pueden variar con relación al cálculo generado al abrir de cero la simulación. Este hecho genera desconcierto para el intérprete de los resultados.

Las simulaciones con la herramienta Xirio-Online también arrojó resultados satisfactorios, sin embargo se evidencia que dicha herramienta es software semi-libre, ya que no permite tener completo acceso a los resultados que puede ofrecer la herramienta sin que acarree un costo al usuario. Debido a esto sólo se hace uso de las posibilidades que ofrece de manera libre, las cuales se limitan a mostrar la operación del enlace, el perfil de terreno, la distancia de separación, la zona de menor despeje y los rayos que comunican la estación transmisora y receptora: el directo, la zona Fresnel y el reflejado sobre la superficie terrestre.

En cuanto a la posibilidad de interpretar el resultado, Xirio-Online ofrece una identificación funcional del enlace por medio de los colores de la línea que une los dos puntos a conectar: El color verde designa un trayecto despejado, el color amarillo indica un trayecto semidespejado y el color rojo muestra que hay una obstrucción en el trayecto.

También se usó la herramienta Link Planner como contraprestación al hecho de no poder utilizar el software Arc Gis debido a los derechos de licencia. El Simulador Link Planner es práctico y ofrece grandes prestaciones de manera gratuita dado que es propiedad de la empresa fabricante de dispositivos para telecomunicaciones Cambium Network. Esto facilita mucho la selección de los dispositivos apropiados ya que las simulaciones incluyen características específicas de los elementos disponibles en el entorno del software, aumentando la precisión de las predicciones y con esto, la confiabilidad del usuario.

6. Enseguida se presenta un cuadro comparativo con los cálculos realizados y el resultado de las simulaciones de ambos diseños:

Tabla 3. Comparación de resultados diseño 1

DISEÑO 1									
/	CMG-BTS SPA II			BTS SPA II-TGR			VOR SJG-TGR		
	LINK Planner	Radio Mobile	CM	LINK Planner	Radio Mobile	CM	LINK Planner	Radio Mobile	CM
Lfs [dB]	140.07	140.3	140.41	157.54	157.7	157.88	157.22	157.4	157.56
Nivel Rx [dBm]	-41	-39.2	-39.12	-56	-60.6	-62.19	-56	-77.7	-65.5
Hmin [m]	35/65	35/65	20	75/75	75/75	60	75/125	75/125	58
FFm [dB]	47.48	49.3	49.38	32.12	27.9	26.31	32.55	10.8	23

Fuente y edición: Autor.

La tabla 3 anterior permite ir más allá y obtener los valores porcentuales del desvío de los simuladores con respecto a los cálculos manuales, y a partir de ellos conocer cuál resultaría más confiable para el usuario. Esto se presenta en la siguiente tabla.

En la tabla 4 siguiente se evidencia una notoria cercanía entre los cálculos realizados manualmente y los obtenidos con Radio Mobile. De esto se podría deducir que Radio Mobile es el software de simulación más preciso, comparándolo con Link Planner, sin embargo es válido tener en cuenta que los modelos de cálculo de Link Planner se ajustan rigurosamente a los equipos Cambium Networks y además de esto tienen en consideración la curvatura terrestre de manera un poco más estricta que los demás simuladores. También cabe mencionar que la curvatura de la tierra no ha sido relevante en el desarrollo de los cálculos de forma manual.

Tabla 4. Porcentaje de error diseño 1

DISEÑO 1									
/	CMG-BTS SPA II			BTS SPA II-TGR			VOR SJG-TGR		
	LINK Planner	Radio Mobile	CM	LINK Planner	Radio Mobile	CM	LINK Planner	Radio Mobile	CM
Lfs [dB]	0.24%	0.08%	Ref.	0.22%	0.11%	Ref.	0.22%	0.10%	Ref.
Nivel Rx [dBm]	4.81%	0.21%	Ref.	9.95%	2.56%	Ref.	14.5%	18.63%	Ref.
FFm [dB]	3.85%	0.16%	Ref.	22.08	6.04%	Ref.	41.52	56.52%	Ref.
Sub Total	2.97%	0.15%		10.75%	2.9%		18.75%	25.08%	Ref.
Total	10.82%	9.38%							

Fuente y edición: Autor.

A continuación se realiza el mismo procedimiento para el diseño 2, mostrando la comparación de resultados y los porcentajes de error en las tablas 5 y 6 respectivamente.

Tabla 5. Comparación de resultados diseño 2

DISEÑO 2									
/	CMG-BTS SPA II			BTS SPA II-AN			AN-TGR		
	LINK Planner	Radio Mobile	CM	LINK Planner	Radio Mobile	CM	LINK Planner	Radio Mobile	CM
Lfs [dB]	140.07	140.3	140.41	144.9	145.1	145.24	155.6	155.8	155.95
Nivel Rx [dBm]	-41	-39.2	-39.12	-46	-44	-43.71	-58	-58.6	-60.26
Hmin [m]	35/65	35/65	20	75/130	75/130	26	52/52	52/52	52
FFm [dB]	47.48	49.3	49.38	42.29	44.5	44.79	30.85	29.9	28.24

DISEÑO 2						
/	VOR SJG-CC			CC-TGR		
	LINK Planner	Radio Mobile	CM	LINK Planner	Radio Mobile	CM
Lfs [dB]	147.42	147.6	147.77	153.9	154.1	154.24
Nivel Rx [dBm]	-49	-49.7	-50.88	-56	-56.4	-58.55
Hmin [m]	135/135	135/135	31	47/47	47/47	47
FFm [dB]	39.5	38.8	37.62	32.86	32.1	29.95

Fuente y edición: Autor.

Tabla 6. Porcentajes de error del diseño 2

DISEÑO 2									
/	CMG-BTS SPA II			BTS SPA II-AN			AN-TGR		
	LINK Planner	Radio Mobile	CM	LINK Planner	Radio Mobile	CM	LINK Planner	Radio Mobile	CM
Lfs [dB]	0.24%	0.08%	Ref.	0.23%	0.1%	Ref.	0.22%	0.1%	Ref.
Nivel Rx [dBm]	4.81%	0.21%	Ref.	5.24%	0.66%	Ref.	3.75%	2.76%	Ref.
FFm [dB]	3.85%	0.16%	Ref.	5.58%	0.65%	Ref.	9.24%	5.88%	Ref.
Sub Total	10.82%	9.38%		3.68%	0.47%		4.4%	2.91%	
DISEÑO 2									
/	VOR SJG-CC			CC-TGR					
	LINK Planner	Radio Mobile	CM	LINK Planner	Radio Mobile	CM			
Lfs [dB]	0.24%	0.12%	Ref.	0.22%	0.09%	Ref.			
Nivel Rx [dBm]	3.7%	2.32%	Ref.	4.36%	3.67%	Ref.			
FFm [dB]	1.86%	5.49%	Ref.	9.72%	7.18%	Ref.			
Sub Total	1.93%	2.64%		4.77%	3.65%				
Total	5.12%	3.81%							

Fuente y edición: Autor.

En vista de los resultados mostrados en las tablas, puede decirse que la característica más destacada de Link Planner es la aproximación que hace sobre la disponibilidad de los enlaces simulados.

Para entender mejor el tratamiento matemático computarizado, se compara la ecuación de pérdidas en la línea de transmisión, empleada en el modelo Longley Rice y descrita en la ecuación (9) con las ecuaciones consideradas para cálculos manuales, descritas en las ecuaciones (2) y (8), que representan el modelo de pérdidas por espacio libre y el modelo de pérdidas por tierra plana, respectivamente. El proceso se resume en la siguiente tabla:

Tabla 7. Comparación de los modelos de propagación

DISEÑO 1									
/	CMG-BTS SPA II			BTS SPA II-TGR			VOR SJG-TGR		
	PTP	PEL	LR	PTP	PEL	LR	PTP	PEL	LR
LLT [dB]	128.2	140.41	96.05	144.06	157.88	111.91	144	157.56	111.85
% E	33.47	46.18	Ref.	28.73	41.08	Ref.	28.74	40.87	Ref.

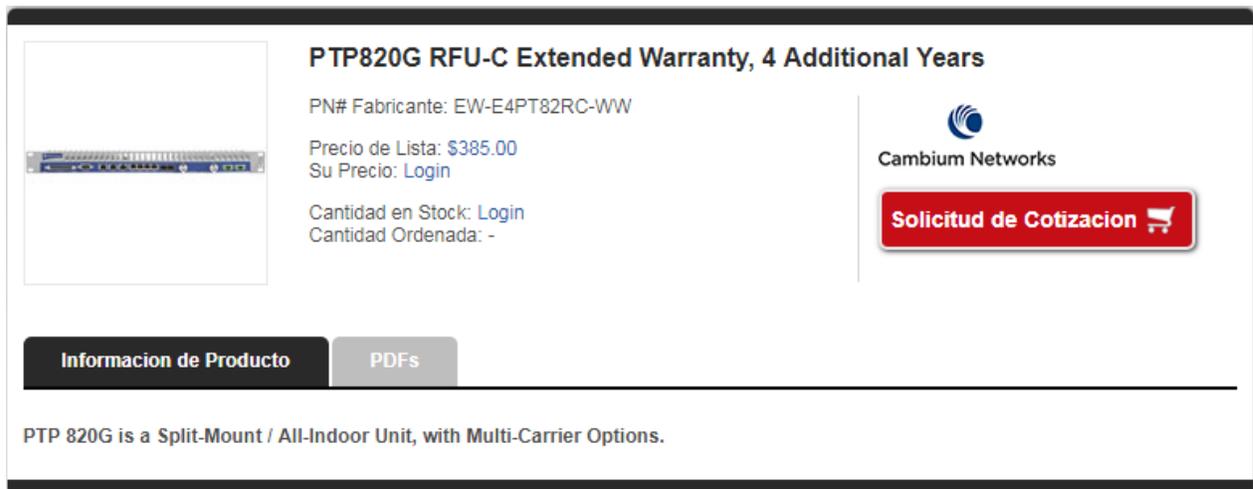
Fuente y edición: Autor.

7. En la selección de equipos no fue posible tener en cuenta al fabricante Radwin debido a las bandas de frecuencias en que operan sus productos, pues operan en bandas de frecuencias por debajo de los 6GHz para soluciones PtP y ninguna de ellas hace parte de las bandas libres de 5GHz para la serie C, que es aquella compatible para redes troncales con 16 E1. Adicional a esto, en las bandas libres la potencia máxima permitida es de 1W, lo cual resulta insuficiente para enlaces de tanto recorrido.

7. PROPUESTA TÉCNICA Y ECONÓMICA

En este capítulo se mostraran los cuadros de equipos para ambos diseños con la cantidad necesaria en cada uno de ellos y con los precios disponibles en dólares. A continuación se muestran imágenes con los precios según fabricante:

Figura 107. PTP820G RFU-C (IDU)



The screenshot shows a product page for the PTP820G RFU-C Extended Warranty, 4 Additional Years. On the left is a placeholder image for the product. The main content area includes the product title, manufacturer part number (PN# Fabricante: EW-E4PT82RC-WW), list price (Precio de Lista: \$385.00), and a login link for the current price (Su Precio: Login). It also shows stock status (Cantidad en Stock: Login) and order quantity (Cantidad Ordenada: -). On the right is the Cambium Networks logo and a red button labeled 'Solicitud de Cotizacion' with a shopping cart icon. At the bottom, there are tabs for 'Informacion de Producto' and 'PDFs', and a descriptive sentence: 'PTP 820G is a Split-Mount / All-Indoor Unit, with Multi-Carrier Options.'

Fuente: www.winncom.com. Editada por el autor.

La imagen anterior, figura 107, muestra la referencia y el precio de la IDU seleccionada, mientras que la figura 108 siguiente deja ver la referencia y el precio de la ODU.

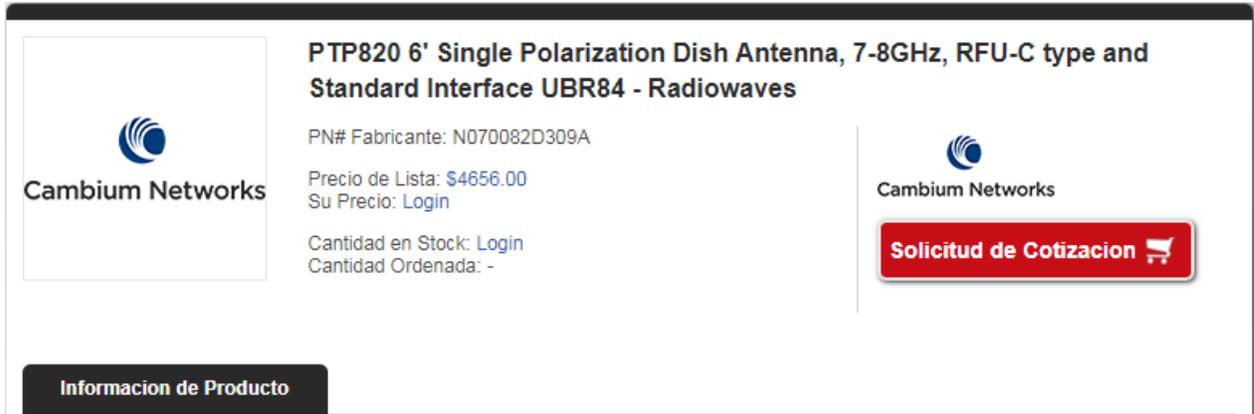
Figura 108. PTP820-MC-ABC (ODU)



The screenshot shows a product page for the Clave de activación PTP820 - MC-ABC. On the left is an image of the activation key. The main content area includes the product title, manufacturer part number (PN # Fabricante: N000082L048A), list price (Precio de Lista: \$ 350.00), and a login link for the current price (Su Precio: Iniciar sesión). It also shows stock status (Cantidad en Stock: Login) and order quantity (Cantidad Ordenada: -). On the right is the Cambium Networks logo and a red button labeled 'Solicitud de Cotizacion' with a shopping cart icon. At the bottom, there are tabs for 'Informacion de Producto' and 'Archivos PDF'.

Fuente: www.winncom.com. Editada por el autor.

Figura 109. PTP820 6' SPDA 7-8GHz (Antena)



The screenshot shows a product listing for the PTP820 6' Single Polarization Dish Antenna. On the left is the Cambium Networks logo. The product title is "PTP820 6' Single Polarization Dish Antenna, 7-8GHz, RFU-C type and Standard Interface UBR84 - Radiowaves". Below the title, the manufacturer part number is N070082D309A. The list price is \$4656.00, and the user price is "Login". Stock quantity is "Login" and the ordered quantity is "-". On the right is another Cambium Networks logo and a red button labeled "Solicitud de Cotizacion" with a shopping cart icon. At the bottom left, there is a tab labeled "Informacion de Producto".

Fuente: www.winncom.com. Editada por el autor.

En la figura 109 anterior se muestra la referencia y el precio de la antena seleccionada, mientras que en la siguiente, figura 110, se muestra la referencia y el precio del cable coaxial.

Figura 110. Cable coaxial trenzado



The screenshot shows a product listing for a braided coaxial cable. On the left is an image of a coil of black cable. The product title is "Cable coaxial trenzado de 50 ohmios - 500 metros, 1640 pies". Below the title, the manufacturer part number is 30010195001. The list price is \$ 2000.00, and the user price is "Login". The quantity on the shelf is "Cantidad de inicio de sesión en el pedido: -". On the right is the Cambium Networks logo and a red button labeled "Solicitar cotización" with a shopping cart icon. At the bottom left, there is a tab labeled "Información del Producto". Below the main content area, there is a line of text: "Cable coaxial CNT400 de 50 ohmios Cantidad por enlace: según se requiera".

Fuente: www.winncom.com. Editada por el autor.

En la siguiente figura 111 se muestra el precio y la referencia del kit de instalación del cable que incluye conectores y correas plásticas para sujetar el cable, cinta, etc.

Figura 111. Kit de instalación del cable coaxial



The image shows a screenshot of a product page for a coaxial cable installation kit. On the left, there is a photograph of the kit components, including several green and black cables, connectors, and a black bag. To the right of the image, the product title is "Kits de montaje de instalación de cable coaxial PTP800 (sin supresor de sobretensiones)". Below the title, the manufacturer part number is listed as "Fabricante PN #: WB3616H". The list price is "\$ 250.00" and the user price is "Login". The stock status is "Cantidad en el estante: en existencia" and the quantity in the cart is "Cantidad en el pedido: 2". On the right side, there is the Cambium Networks logo and a red button labeled "Solicitar cotización" with a shopping cart icon. Below the product image, there is a section titled "Información del Producto" which contains the text "Kit de montaje de instalación de cable coaxial" and "Cantidad por enlace: 2".

Fuente: www.winncom.com. Editada por el autor.

El tiempo de ejecución de la obra de implementación podría tardarse un mes en cualquiera de los dos diseños, para lo cual se adjunta el cuadro de salarios para empleos públicos (Congreso De La República De Colombia, 2018) y se tiene en cuenta la categoría de técnico en su nivel uno, que se muestra en la siguiente figura 112:

Figura 112. Cuadro salarial para empleos públicos

GRADO SALARIAL	DIRECTIVO	ASESOR	PROFESIONAL	TECNICO	ASISTENCIAL
1	3.009.115	2.936.714	1.773.036	824.168	
2	3.365.118	3.175.725	1.959.861	827.178	
3	3.553.280	3.465.736	2.048.297	929.120	
4	3.776.691	3.944.416	2.156.816	984.472	
5	3.873.880	4.045.678	2.281.502	1.047.274	781.242
6	4.045.678	4.580.898	2.360.946	1.260.471	848.915
7	4.287.588	5.114.340	2.477.825	1.343.148	929.120
8	4.382.148	5.596.925	2.601.023	1.377.192	984.472
9	4.544.577	5.881.981	2.712.986	1.515.625	1.047.274
10	4.882.176	6.116.514	2.805.558	1.586.023	1.151.075
11	4.957.898	6.431.316	2.923.678	1.672.027	1.242.451
12	5.114.340	6.754.835	3.101.867	1.773.036	1.334.067
13	5.335.743	7.405.986	3.360.741	1.890.798	1.377.192
14	5.623.182	7.817.419	3.596.463	1.959.861	1.407.362
15	5.740.171	7.978.248	3.976.265	2.048.297	1.451.106
16	5.819.542	8.766.680	4.286.977	2.314.296	1.515.625
17	6.137.751	9.685.663	4.509.135	2.477.510	1.547.633
18	6.647.395	10.513.161	4.856.112	2.722.574	1.586.023
19	7.158.182		5.223.495		1.626.935
20	7.871.474		5.622.969		1.677.482
21	7.979.286		5.993.156		1.748.081
22	8.829.527		6.445.829		1.855.038
23	9.697.833		6.810.779		2.048.297
24	10.464.539		7.344.289		2.234.101
25	11.283.086				2.477.825
26	11.869.804				2.695.559
27	12.458.299				
28	13.152.443				

Fuente: es.presidencia.gov.co. Editada por el autor.

7.1. DISEÑO 1

7.1.1. PROPUESTA TÉCNICA

Para el primer diseño se propone una interconexión entre Carimagua y El Tigre usando un repetidor en San Pedro De Arimena para lograr línea de vista y hacer posible la operación del enlace. También se propone una conexión directa entre San José Del Guaviare y El Tigre. Lo anterior busca reducir la cantidad de repetidores y de esta manera evitar exuberantes costos de implementación, sin embargo, será necesario una rigurosa inversión en infraestructura para garantizar la operación continua de los enlaces.

La inversión permitiría elevar las alturas de las torres de manera que se pueda superar la curvatura terrestre y por consiguiente lograr la disponibilidad requerida de 99.9% que garantice la confiable conexión entre los puntos dispuestos.

7.1.2. PROPUESTA ECONÓMICA

La siguiente tabla 7 resume los costos que genera la propuesta técnica, mas debe mencionarse que los costos de mejoramiento de infraestructura no fueron accesibles debido a que las empresas cotizantes sólo lo harían ante una eventual solicitud del personal directivo de la Aeronáutica Civil.

Tabla 8. Cuadro económico del diseño 1

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
PTP820G RFU-C (IDU)	12	\$1'084.622	\$13'015.464
PTP820-MC-ABC (ODU)	12	\$986.020	\$11'832.240
PTP820 6' SPDA 7-8GHz	10	\$13'116.883	\$131'168.832
Cable coaxial x500m	2	\$5'634.400	\$11'268.800
Kit instalación cable	6	\$704.300	\$4'225.800
*Torre 150m	1	\$775'000.000	\$775'000.000
Mano de obra	7	\$824.168	\$5'769.176
TOTAL			\$952'280.312

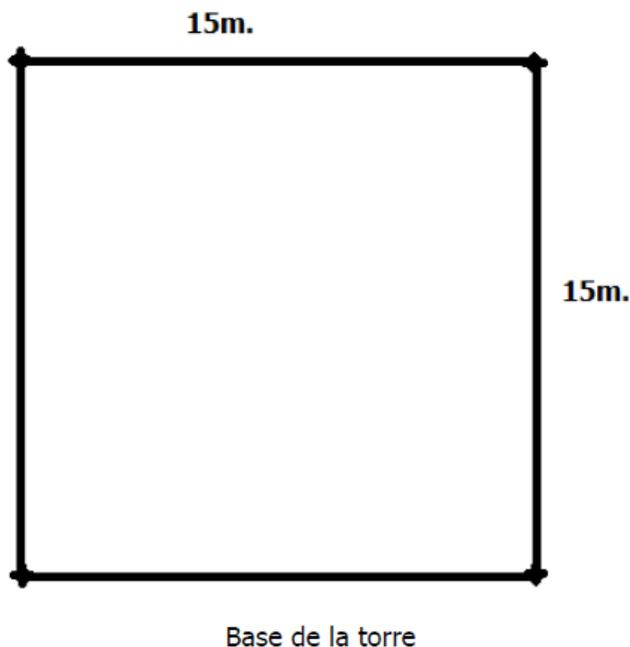
Fuente y edición: Autor.

Adicionalmente se requiere del alquiler de un espacio en torre por un valor aproximado de \$11'400.000 cada año*

* El valor monetario de la torre es un estimado informal, surgido a partir de conversaciones con profesionales del área, los cuales consideran que la base de la torre puede costar alrededor de \$25'000.000 y que cada metro podría alcanzar un valor de \$5'000.000. El valor del alquiler del espacio en torres tiene la misma procedencia, en la que el profesional afirma que podría costar alrededor de \$950.000 mensuales. Las características de la torre se muestran a continuación:

Figura 113. Características de la torre

CARACTERÍSTICAS DE LA TORRE A COTIZAR



*Sistema pararrayos 5m por encima.

*2 Regletas de 1m de ancho para bajar cables.

*Escaleras de 60cm de ancho con protección para caídas a partir de 1.5m y con plataforma para descansar de 1m X 60cm cada 20m de altura.

*Puntos de anclaje a partir de los 20m, cada 4m en los vértices y en los centros de cada lado.

Fuente y edición: Autor.

La torre debe ser de gran capacidad y debe estar constituida por una estructura metálica de celosía a base de perfiles angulares de acero laminado, galvanizados en caliente y atornillados entre sí. El apoyo se fija al terreno mediante cuatro macizos independientes y debe soportar vientos con velocidades de hasta 180Km/h, carga máxima en la punta de 6500Kg, con un coeficiente de seguridad mínimo de 1,5. Los cimientos no incluyen estudio de terreno debido a limitaciones económicas en la etapa de diseño.

El sistema de pararrayos debe estar compuesto por cuatro pararrayos con dispositivo de cebado electrónico (PDC.E), normalizado según UNE 21.186:2011, los cuales deben ubicarse en las esquinas superiores de la torre. Las regletas deben descender por el centro de la estructura.

Los puntos de anclaje deben soportar mínimo 5000L o 2272Kg (Ministerio Del Trabajo, 2012) para garantizar que cumpla con las normas de seguridad de protección contra caídas en trabajos en alturas.

A continuación, se hace una lista de las características de materiales para la construcción de la torre:

- Aceros S355JO y S275JR según norma UNE-EN 10025.
- Tornillería calidad 5.6 según norma UNE-EN 20898.
- Geometría de tornillos según norma UNE 17010.
- Geometría de tuercas según norma ISO 4034.
- Geometría de arandelas plana según norma DIN 125.
- Geometría de arandelas muelle según norma DIN 127.
- Galvanizado en caliente según norma UNE-EN ISO 1461.

7.2. DISEÑO 2

7.2.1. PROPUESTA TÉCNICA

Para el primer diseño se propone una interconexión entre Carimagua y El Tigre usando dos repetidores: un repetidor en San Pedro De Arimena y otro en Alto Neblinas. Esto busca reducir la distancia entre los puntos a conectar para lograr un rendimiento más constante de los enlaces. También se propone una conexión entre San José Del Guaviare y El Tigre usando una estación repetidora en las coordenadas Latitud 03°02'14.60"N Longitud: 073°05'14.20"W al lado de la vía que comunica Villavicencio con San José Del Guaviare.

7.2.2. PROPUESTA ECONÓMICA

En este apartado se mostrarán los cuadros de equipos para el segundo diseño con la cantidad necesaria en cada uno de ellos y con los precios disponibles en dólares. A continuación, se muestran imágenes con los precios según fabricante:

Figura 114. FibeAir IP-20G (IDU)



FibeAir IP-20G-M1-E6-2DC M1-E6 IDU de montaje dividido con 2x 48VDC, con tarjeta SM

Fabricante PN #: IP-20G-M1-E6-2DC + SM

Precio de lista: \$ 5000.00
Your Price: Login

Cantidad en el estante: Cantidad de inicio de sesión en el pedido: -

CERAGON

Solicitar cotización

Información del Producto | Archivos PDF

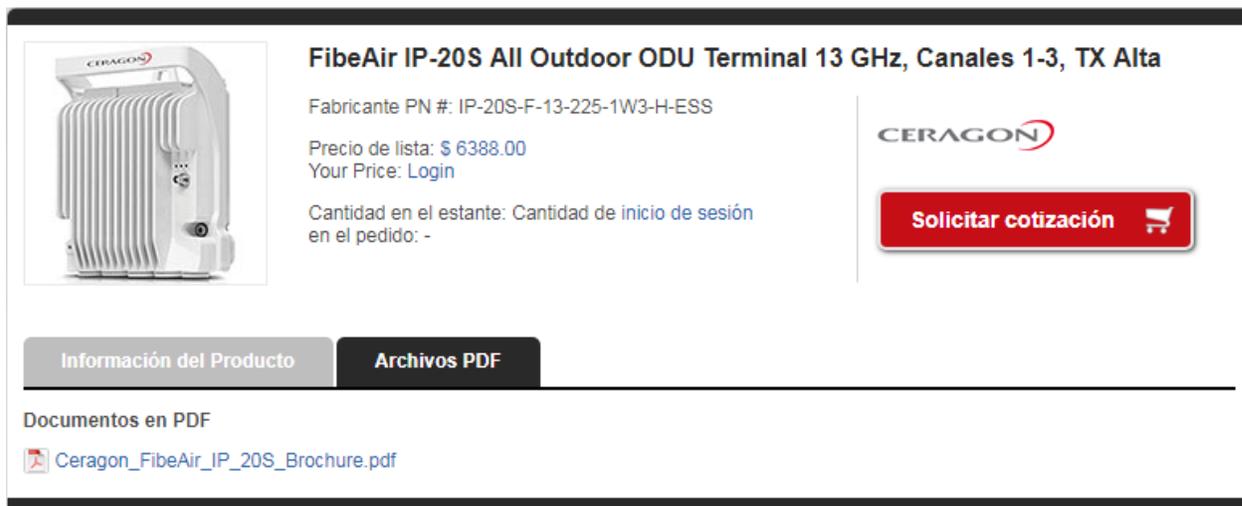
Documentos en PDF

 Ceragon_FibeAir_IP-20G.pdf

Fuente: www.winncom.com. Editada por el autor.

La imagen anterior, figura 114, muestra la referencia y el precio de la IDU seleccionada, mientras que la figura 115 siguiente, deja ver la referencia y el precio de la ODU.

Figura 115. FibeAir IP-20S (ODU)



FibeAir IP-20S All Outdoor ODU Terminal 13 GHz, Canales 1-3, TX Alta

Fabricante PN #: IP-20S-F-13-225-1W3-H-ESS

Precio de lista: \$ 6388.00
Your Price: [Login](#)

Cantidad en el estante: Cantidad de inicio de sesión en el pedido: -

CERAGON

Solicitar cotización

Información del Producto | Archivos PDF

Documentos en PDF

[Ceragon_FibeAir_IP_20S_Brochure.pdf](#)

Fuente: www.winncom.com. Editada por el autor.

Figura 116. VHLP6-7W (Antena)



CommScope Solutions | VHLP6-7W-2WH/C

\$4,576.16

Fuente: www.eaccu.tech.com. Editada por el autor.

En la figura 116 anterior se muestra la referencia y el precio de la antena seleccionada.

La siguiente tabla 8 resume los costos que genera la propuesta técnica, mas debe mencionarse que los costos de mejoramiento de infraestructura no fueron accesibles

debido a que las empresas cotizantes sólo lo harían ante una eventual solicitud del personal directivo de la Aeronáutica Civil. No obstante, es pertinente mencionar que para la construcción de la torre que se propone, se consulta un artículo del diario antioqueño "El Colombiano" en el que exponen que el mayor valor que puede alcanzar una hectárea de tierra en Colombia es \$18'100.000 (El Colombiano, 2017), suficiente para construir y adecuar un centro de comunicaciones en la zona de las coordenadas que se propone.

Tabla 9. -Cuadro económico del diseño 2

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
FibeAir IP-20G (IDU)	20	\$14'086.000	\$281'720.000
FibeAir IP-20S (ODU)	20	\$17'996.273,6	\$359'925.472
VHLP6-7W	17	\$12'891.957,95	\$219'163.285,2
Cable coaxial x500m	3	\$5'634.400	\$16'903.200
Kit instalación cable	10	\$704.300	\$7'043.000
Hectárea de tierra	1	\$18'100.000	\$18'100.000
*Torre 150m	3	775'000.000	\$2.325'000.000
Mano de obra	7	\$824.168	\$5'769.176
TOTAL			\$3.233'624.133

Fuente y edición: Autor.

CONCLUSIONES

- El planteamiento del trabajo se inició con visitas a algunos de los sitios donde se encuentran los centros de operaciones de la Aeronáutica Civil Regional Meta y de otros oferentes de servicios de telecomunicaciones, en las cuales se constató un óptimo acceso a estas instalaciones, con facilidad para transportar fácilmente equipos de comunicaciones y equipos de soporte, así también, se posibilita el despliegue cómodo y ergonómico del personal operativo.
- La mayoría de las fórmulas matemáticas que se utilizan para el planteamiento y análisis de esquemas que soportan o representan servicios de telecomunicaciones, se encuentran plasmadas en alguno de los tantos estándares y recomendaciones emitidas por entes competentes como son la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones.
- Algunos valores de constantes numéricas pueden usarse estratégicamente, no sólo para facilitar los cálculos, sino también para cumplir con normas implementadas sobre las unidades de medida de ciertos parámetros.
- Se observó que en ocasiones el cálculo de las alturas de antenas basta solamente para otorgar línea de vista entre los puntos a interconectar, mas no es suficiente para liberar al menos el 60% de la primera zonal Fresnel, y en ocasiones que se libera la zona Fresnel, no es suficiente para cumplir con el requerimiento de disponibilidad de 99.9%.
- Las mayores contribuciones al debilitamiento de la señal transmitida por medio de enlaces microondas, las realizan las altas frecuencias de operación de los sistemas establecidos, seguido de las grandes distancias de separación entre los puntos que se comunican, y por último se encuentran las atenuaciones provocadas por los propios equipos y sus componentes.
- Un gran ancho de banda de canal genera altísimas prestaciones en cuanto a la capacidad del mismo para transportar información, sin embargo debilita el alcance de ésta. Inversamente un ancho de banda de canal estrecho, permite un alcance mayor de la información a coste de la capacidad del medio para transportar grandes cantidades. Razón por la cual es importante el equilibrio entre estos dos parámetros en el diseño.

- La diversidad de espacio en las comunicaciones por microondas permite aumentar la disponibilidad que alcanzan los enlaces establecidos, aunque no haya un procedimiento reglamentado para realizar este proceso. Este es uno de los eventos que potencia el uso del software de simulación Link Planner.
- RadioMobile y Xirio-Online son herramientas complementarias dadas sus prestaciones, como por ejemplo: Mientras Xirio dice si el trayecto está libre, RadioMobile detalla cuánta de la potencia transmitida logró llegar al destino; mientras Xirio-Online muestra una obstrucción parcial en el trayecto, RadioMobile identifica el porcentaje aproximado de la obstrucción mencionada.
- Los simuladores integran procesos computacionales para el tratamiento matemático y la consulta de bases de datos relacionadas con la topografía, los cuales se actualizan constantemente, proporcionando un aumento significativo en la precisión de la predicción.
- Para dar un criterio más apropiado a cerca de la fiabilidad de los simuladores, es necesario tener en cuenta los parámetros exactos que ellos incluyen en sus modelos de cálculos, dado que finalmente son estos los que ofrecen un acercamiento mayor a los resultados reales.
- La viabilidad técnica de las propuestas de diseño están sujetas a inversión en infraestructura por parte de la Aeronáutica Civil, dado que en San José Del Guaviare y en Alto Neblinas las torres no cumplen con la altura mínima requerida en los estudios.
- La propuesta técnica del diseño 1 presupone mayor sobriedad y viabilidad, no solo por la diferencia en el costo de implementación, sino también porque es un estudio basado en recursos existentes y con altas posibilidades de ofrecer prestaciones adecuadas para soportar las comunicaciones generadas entre Carimagua y El Tigre, y entre San José Del Guaviare y El Tigre.

RECOMENDACIONES

- El pasante Aeronáutico debe desarrollar cierto sentido de pertenencia por la Institución, el cual se vería fortalecido haciendo uso de sus plataformas como la intranet, y siendo tenido en cuenta en la asignación de recursos que faciliten su desempeño durante la vinculación, aún más cuando sus tareas incluyen desplazamientos a otras estaciones y aeropuertos. En síntesis, el proceso de acompañamiento a los pasantes podría mejorar mediante la implementación de un programa específico para tal fin.
- Se recomienda invertir en infraestructura y acoger el primer diseño, dándole prioridad sobre el segundo diseño, ya que contiene una propuesta más decorosa y acorde con la realidad.
- En la etapa de implementación se recomienda el uso de software o aplicaciones que aumenten la precisión con que se alinean las antenas, dado las considerables distancias.

BIBLIOGRAFÍA

- Acerca. (2018). *Definición ABC*. Recuperado el 24 de Abril de 2018, de <https://www.definicionabc.com/comunicacion/antena.php>
- Albornoz, J. M. (s.f.). *Radioenlaces Digitales*. Editorial Académica Española.
- Aldaz R., J. C., & Hernández C., J. (Octubre de 2016). *Researchgate*. Recuperado el Marzo de 2018, de https://www.researchgate.net/profile/Jorge_HernandezConstante/publication/309591673_Calculo_de_Radio_Enlace_Terrestre/links/5818cf7008ae6378919e73db/Calculo-de-Radio-Enlace-Terrestre.pdf
- ANE. (29 de Marzo de 2018). *Agencia Nacional Del Espectro*. Recuperado el 29 de Marzo de 2018, de <https://www.ane.gov.co/>
- Ayala, J. E., Recalde, C. G., & Sanaguano, D. A. (2014). Interconectividad de la red hidrometeorológica en la provincia de Chimborazo-Ecuador. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, XXXVII(3)*, 251-261.
- Bastidas P., E. R., Ramírez M., F., & Muñoz R., D. (Septiembre de 2005). On Fading Margin in Ultrawideband Communications Over Multipath Channels. *IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, LI(3)*.
- BID. (Abril de 2016). *upme*. (G. T. BID, Ed.) Recuperado el 28 de Abril de 2018, de http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/Smart%20Grids%20Colombia%20Visi%C3%B3n%202030/4_Parte4_Anexo2_Proyecto_SmartGrids.pdf
- Cajo, R. A., Zúñiga, S. R., & Hilcapi, V. M. (17 de Octubre de 2014). Mecanismo de posicionamiento en azimut y elevación para la optimización de radioenlaces punto a punto basados en algoritmos de búsqueda espectral y técnicas de muestreo. *Maskana*.
- Cambium Networks. (2016). A New Record! 245 Km Wireless Broadband Link. *Cambium_Networks_Longest_PTP_Link(youtube.com)*. Pike's Peak, CO; Cheyenne, WY, Estados Unidos. Recuperado el Abril de 2018, de www.cambiumnetworks.com
- Commscope. (2017). *MICROWAVE COMMUNICATION BASICS. THE THEORY, PRACTICES AND TECHNOLOGIES THAT LINK THE WIRELESS WORLD*. Recuperado el 17 de Junio de 2018, de www.commscope.com
- Congreso De La República De Colombia. (20 de Febrero de 2018). *es.presidencia.gov.co*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2018, de <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20330%20DEL%2>

019%20FEBRERO%20DE%202018.pdf:

<http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20330%20DEL%2019%20FEBRERO%20DE%202018.pdf>

Cortés J., F. J. (2014). *Diseño, Instalación y gestión de radioenlaces para la empresa Towering S. A. S.* Trabajo de grado, Universidad De Nariño, Ingeniería Electrónica, Pasto.

El Colombiano. (22 de Mayo de 2017). *El Colombiano*. (E. Colombiano, Ed.) Recuperado el 16 de Agosto de 2018, de <http://www.elcolombiano.com/colombia/donde-esta-la-tierra-mas-barata-y-mas-cara-de-colombia-LK6581937>

ETSI. (Junio de 2016). *ETSI.org*. Recuperado el 22 de Mayo de 2018, de http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302200_302299/30221702/03.00.08_20/en_30221702v030008a.pdf

Garcia A., P. M. (Octubre de 2016). *Researchgate*. Recuperado el 25 de Abril de 2018, de <https://www.researchgate.net/search.Search.html?type=publication&query=Frecuencia>

Garcia Castellón, S. (Diciembre de 2007). *Upcommons*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2018, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6990/Manual_Radiomobile_2008.pdf?sequence=9&isAllowed=y

Hernández S., J. C., & Parrao R., E. (2007). Diseño de enlace terrestre por línea de vista. *Telefonía celular y protección de sus enlaces en comunicaciones*, (pág. 7).

Hernández, G. L., López B., J. L., & Iturri H., A. (4 de Septiembre de 2013). Metodología para el cálculo adecuado de las alturas de antenas en un radioenlace de microondas en línea de vista. (U. D. (México), Ed.) *Nova Scientia, VI (2)(12)*, 01-12.

Ibarra H., R., Flores T., J., & García D., E. (13 de Agosto de 2013). Compresión LZW en un sistema de comunicaciones MIMO inalámbrico. *DIFU100ci@, VII(1)*, 17-24.

IES, D. d. (s.f.). *intercentres*. Recuperado el 25 de Abril de 2018, de <http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Ondas/Ondas11.htm>

ITU. (Mayo de 2001). *ITU.int*. Recuperado el 22 de Mayo de 2018, de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.385-7-200105-S!!PDF-S.pdf

López G., J. M., & Rey B., D. A. (2017). *Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano*. Recuperado el 29 de Marzo de 2018, de <http://repository.poligran.edu.co/bitstream/handle/10823/986/Documento.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Luipermom. (7 de Abril de 2010). *wordpress*. Recuperado el 25 de Abril de 2018, de <https://luipermom.wordpress.com/2010/04/07/que-es-la-difraccion/>
- MateoGP. (12 de Enero de 2017). *Blog-Tecnología*. Recuperado el 24 de Abril de 2018, de <http://www.usastreams.com/blog-tecnologia/126/ondas-de-radio-propiedades-y-usos-segun-su-frecuencia/>
- Ministerio Del Trabajo. (23 de Julio de 2012). *arlsura*. (D. O. 2012, Ed.) Recuperado el 12 de Septiembre de 2018, de https://www.arlsura.com/files/res1409_2012.pdf
- MinTic, P. (s.f.). *Edmodo*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2017, de <https://www.edmodo.com/file/view-office-online?id=14ed15c13dad20d0073aa68df3f6961f>
- Mollá V., R. (Octubre de 2002). *researchgate*. Recuperado el 25 de Abril de 2018, de <https://www.researchgate.net/search.Search.html?type=publication&query=Atenuaci%C3%B3n>
- Moreno, L. (Diciembre de 2010). Point-to-Point Radio Link Engineering. *Point-to-Point Radio Link Engineering*(1.0). (S. Irwin, & L. Moreno, Edits.) Torino, Italia: Editorial setup and E-Book layout.
- Mukesh C., K., Sumit, J., & Lalit S., G. (11 de Junio de 2014). Prediction of Rain Attenuation and Impact of Rain in Wave Propagation at Microwave Frequency for Tropical Region (Uttarakhand, India). (C. Nuno B., Ed.) *International Journal of Microwave Science and Technology*, 2014(958498), 6.
- OACI. (1944). *Convenio sobre aviación civil internacional*. Abierto, Washington, D. C.
- OACI. (2007). *Telecomunicaciones aeronáuticas* (Segunda ed., Vol. III).
- Padrón G., A., Rosendo R., J. A., Herrera B., A., Prieto M., R., & Calva O., V. G. (2007). *Cálculo de elevación para un enlace vía microondas mediante el análisis de zonas de Fresnel*. Conferencia de congreso, Universidad Nacional Autónoma de México, Grupo Académico de Modelado y Simulación de Procesos, CCADET, Monterrey, Nuevo León.
- Pietrosemoli, E. (Febrero de 2008). *Tricalcar*. Recuperado el Marzo de 2018, de Wilac: http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/17_es_enlaces-larga-distancia_guia_v03.pdf
- R. Saunders, S., & Aragón Zavala, A. (2007). *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems* (Second ed.). (J. Wiley, & Songs, Edits.) Chichister, West Sussex, England: Wiley. Recuperado el 25 de Septiembre de 2018
- Ramos, F. (2011). *Cálculos y diseños*. Recuperado el 26 de Abril de 2018, de <http://www.radioenlaces.es/articulos/sensibilidad-del-equipo-receptor/>

Saunders, S. R., & Aragón Z., A. (2007). *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems* (Segunda ed.). Chichester, West Sussex, England: Wiley.

UPV. (s.f.). *UPV*. Recuperado el 25 de Abril de 2018, de http://www.upv.es/antenas/Tema_1/polarizacion.htm

Vásquez C., C. A. (2014). *Análisis, diseño, simulación y presupuesto de un radioenlace entre Dosquebradas y las escuelas El Rincón, La Colonia y Las Delicias*. Proyecto de grado, Universidad Católica De Pereira, Ciencias básicas e ingeniería, Pereira.

ANEXOS

A continuación se muestran unas fotos del cerro de comunicaciones El Tigre:





