

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DEL CONO SUR DE LIMA



“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RADIO ENLACES DE BANDA ANCHA INALÁMBRICA QUE PERMITA EL MONITOREO REMOTO CENTRALIZADO DE LAS IMÁGENES DE VIDEO VIGILANCIA DE ESTABLECIMIENTOS PENITENCIARIOS DE LIMA Y CALLAO”

**TRABAJO DE INVESTIGACION PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO
ELECTRONICO Y TELECOMUNICACIONES**

PRESENTADO POR EL BACHILLER

EDWIN DAVID POZO LEON

LIMA – PERU

2014

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis de grado está dedicado a DIOS, por darme la vida a través de mi MADRE quien con mucho cariño, amor y ejemplo ha hecho de mí una persona con valores para poder desenvolverme como: ESPOSO Y PROFESIONAL

A mi ESPOSA, que ha estado a mi lado dándome cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante para cumplir otra etapa en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Me complace de sobre manera a través de este trabajo exteriorizar mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Tecnológica del cono sur de Lima, y en ella a los distinguidos docentes quienes con su profesionalismo y ética puestode manifiesto en las aulas enrumban a cada uno de los que acudimos con sus conocimientos que nos servirán para ser útiles a la sociedad.

A mi asesor el ingeniero Oscar Dall'Orto Gates quien con su experiencia como docente ha sido la guía idónea, durante el proceso que ha llevado el realizar este proyecto de investigación, me ha brindado el tiempo necesario, como la información para que este anhelo llegue a ser felizmente culminado.

INDICE

	PAG.
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
INTRODUCCION.....	1
CAPÍTULO I	
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
1.2. JUSTIFICACIONE DEL PROBLEMA.....	3
1.3. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION.....	4
1.3.1. ESPACIAL.....	4
1.3.2. TEMPORAL.....	4
1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	4
1.5. OBJETIVO.....	4
CAPITULO II	
2. MARCO TEORICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES.....	5
2.2. BASES TEORICAS.....	6
2.2.1. TIPOS DE ANTENAS	8
2.2.1.1. ANTENAS DE PANEL.....	8
2.2.1.2. ANTENAS PARABÓLICAS.....	8
2.2.2. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN.....	9
2.2.3. LONGITUD DE ONDA.....	9
2.2.4. POLARIZACIÓN.....	10
2.2.5. MODULACIÓN DE MICROONDAS.....	11

2.2.5.1.	TRANSMISIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE (PSK).....	11
2.2.5.2.	TRANSMISIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE BINARIA (BPSK).....	11
2.2.5.3.	MODULACIÓN DE AMPLITUD EN CUADRATURA (QAM).....	13
2.2.5.4.	QAM DE OCHO (8-QAM).....	14
2.2.5.5.	CONSIDERACIONES DEL ANCHO DE BANDA PARA EL QAM DE OCHO.....	14
2.2.5.6.	RECEPTOR DE QAM DE OCHO.....	14
2.2.5.7.	QAM DE DIECISÉIS (16-QAM).....	15
2.2.5.8.	TRANSMISOR QAM DE DIECISÉIS.....	15
2.2.5.9.	CONSIDERACIONES DEL ANCHO DE BANDA PARA EL QAM DE DIECISÉIS.....	15
2.2.5.10.	RESUMEN DE FSK, PSK Y QAM.....	16
2.2.6.	PROPAGACION DE SEÑALES ELECTROMAGNETICAS.....	16
2.2.6.1.	TRAZO DE PERFIL DE TERRENO.....	16
2.2.6.2.	ZONAS DE FRESNEL.....	17
2.2.6.3.	ALTURAS DE LAS ANTENAS.....	19
2.2.6.4.	PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE.....	20
2.2.6.5.	REFLEXIÓN (ATENUACIÓN POR LA ARISTA).....	20
2.2.6.6.	PERDIDAS DE TRANSMISIÓN POR DIFRACCIÓN DEBIDO A LA ARISTA AGUDA.....	21
2.2.6.7.	ATENUACIÓN DE ONDA REFLEJADA DEBIDO A LA DIRECTIVIDAD DE LAS ANTENAS.....	23
2.2.6.8.	GANANCIA DELA ANTENA.....	24
2.2.6.9.	RELACIÓN ENTRE DIRECTIVIDAD Y GANANCIA.....	25
2.2.6.10.	POTENCIA DE RECEPCIÓN.....	25
2.2.6.11.	POTENCIA ISOTRÓPICA EFECTIVA RADIADA.....	26
2.2.6.12.	COORDENADAS GEOGRÁFICAS.....	26
2.2.6.13.	DISTANCIA SUPERFICIAL.....	27
2.2.6.14.	ANGULO DE AZIMUT.....	28
2.2.6.15.	ÁNGULOS DE ELEVACIÓN.....	28

2.2.6.16.	MARGEN DE DESVANECIMIENTO TÉRMICO, TFM.....	29
2.2.6.17.	DISPONIBILIDAD DEL ENLACE.....	29
2.2.6.18.	RELACIÓN ENTRE DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA Y EL TIEMPO FUERA.....	30
2.2.6.19.	DISPONIBILIDAD ANUAL DEBIDA A LA LLUVIA.....	30
2.2.6.20.	RELACIÓN SEÑAL A RUIDO (S/N).....	32
2.2.6.21.	TASA DE ERRORES.....	33
2.3.	MARCO CONCEPTUAL.....	33
2.3.1.	TORRES DE COMUNICACIONES.....	33
2.3.2.	ENLACES DE COMUNICACIONES.....	34
2.3.3.	ANCHO DE BANDA.....	35
2.3.3.1.	GRÁFICO DE CASCADA.....	35
2.3.3.2.	GRÁFICO DE USO DE CANAL.....	36
2.3.3.3.	GRÁFICO DE FORMA DE ONDA.....	36
2.3.4.	ENLACES BACKUP – ENLACE REDUNDANTE.....	37

CAPITULO III

3.	DISEÑO/DESCRIPCION DE LA HERRAMIENTA/MODELO/SISTEMA....	39
3.1.	ANALISIS DEL MODELO/HERRAMIENTA/SISTEMA.....	39
3.2.	CONSTRUCCION, DISEÑO O SIMULACION DE LA HERRAMIENTA/ MODELO/ SISTEMA.....	40
3.2.1	CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO.....	41
3.2.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE OPERACIÓN.....	42
3.2.3	MARGEN DE DESVANECIMIENTO.....	44
3.2.4	PÉRDIDA POR ESPACIO LIBRE.....	44
3.2.5	ENLACE 1.....	45
3.2.6	ENLACE 2.....	48
3.2.7	ENLACE 3.....	51
3.2.8	ENLACE 4.....	54
3.2.9	ENLACE 5.....	57
3.2.10	ENLACE 6.....	60

3.2.11 ENLACE 7.....	63
3.2.12 ENLACE 8.....	66
3.2.13 ENLACE 9.....	69
3.2.14 ENLACE 10.....	72
3.2.15 ENLACE 11.....	75
3.2.16 ENLACE 12.....	78
3.2.17 ENLACE 13.....	81
3.2.18 ENLACE 14.....	84
3.2.19 ENLACE 15.....	87
3.2.20 ENLACE 16.....	90
3.3. REVISION Y CONSOLIDACION DE RESULTADOS.....	93
CONCLUSIONES.....	97
RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	99
ANEXOS I.....	101
ANEXOS II.....	110

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación lleva por título **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RADIO ENLACES DE BANDA ANCHA INALÁMBRICA QUE PERMITA EL MONITOREO REMOTO CENTRALIZADO DE LAS IMÁGENES DE VIDEO VIGILANCIA DE ESTABLECIIENTOS PENITENCIARIOSDE LIMA Y CALLAO”** para optar el título de INGENIERO ELECTRONICO Y TELECOMUNICACIONES, presentado por el alumno Edwin David Pozo León.

La aparición de los Radio Enlaces o también llamados Enlaces de Microondas terrestres ha sido un avance de gran importancia para la transmisión de voz, datos y video a grandes distancias donde se dificulta realizar un cableado para la interconexión entre dos o más puntos ya sea por los factores económicos o por las rutas accidentadas entre los puntos a interconectar.

El desarrollo de este proyecto de Radio Enlace se diseña usando Estaciones Repetidoras para llegar a interconectar los Establecimientos Penitenciarios basados en la simulación utilizando el software libre Radio Mobile que internamente realiza cálculos usando las formulas mencionadas en el marco teórico para obtener los parámetros que me permiten realizar el diseño con los equipos adecuados. La simulación se ha exportado a Google Earth con la finalidad de tener un escenario más real mostrando un perfil geográfico con las edificaciones actuales.

La estructura que se ha tomado en este proyecto se compone de 3 capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, el segundo capítulo el desarrollo del marco teórico y el tercer capítulo corresponde al desarrollo del proyecto.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el Perú existen centros de reclusión como en otros países del mundo, para los ciudadanos que realizan actividades que no están de acorde a la ley Peruana como los actos delictivos, estos centros son llamados Establecimientos Penitenciarios y su función principal es brindar tratamiento penitenciario integral al interno, en adecuados establecimientos, con óptimas condiciones de seguridad y eficiente gestión para contribuir a la seguridad ciudadana.

Muchos de estos Establecimientos Penitenciarios son considerados de máxima seguridad donde se alojan a internos con penas de muchos años así como delincuentes peligrosos, estos centros de reclusión son lugares de mucha peligrosidad donde en el momento menos esperado pueden ocurrir eventos de alto riesgo por lo que se necesita monitorear remotamente las zonas estratégicas para poder tener imágenes de los sucesos ocurridos dentro y fuera de los Establecimientos Penitenciarios, estrategias de seguridad muy usadas en la actualidad como por ejemplo en la seguridad ciudadana, en los bancos, tiendas, boticas y así podemos nombrar varias empresas donde es necesario la instalación de cámaras para el monitoreo de manera que puedan ayudar a identificar los eventos ocurridos como asaltos donde participan delincuentes.

Para el caso de los Establecimientos Penitenciarios estas imágenes provenientes de las cámaras de video vigilancia instaladas en los Penales deben ser monitoreadas desde una Sede Central de Monitoreo para evitar muchas irregularidades por lo que es necesaria la instalación de Radio Enlaces Punto a Punto con la finalidad de llevar las imágenes de video vigilancia desde los Establecimientos penitenciarios hasta la Sede Central de Monitoreo a través de las ondas electromagnéticas de los Radio Enlaces.

1.2. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

En la actualidad se tiene muchas dificultades con la seguridad en los Establecimientos Penitenciarios del Perú específicamente en los Establecimientos penitenciarios de Lima y Callao, seguridad que en muchos casos puede llegar a ser vulnerada por los internos en coacción al personal de seguridad ocasionando muchos riesgos ya sea dentro o fuera de los Establecimientos Penitenciarios. Recordemos que la seguridad ciudadana en la actualidad está muy descuidada y que muchos de los atracos son hechos desde el interior de los penales.

De muchas maneras se puede vulnerar la seguridad en los penales, introduciendo drogas, celulares, chips, hands free, USB, módems inalámbricos y cualquier objeto que se le haya prohibido con los que puedan realizar actividades que atente con la población dentro o fuera de los penales. En muchas ocasiones se han encontrado varios de estos objetos al momento de hacer requisas en los pabellones de los penales y siempre surge la pregunta ¿Cómo ingreso?, Cada vez surgen más ideas y nuevos métodos para poder hacer que se ingresen estos objetos prohibidos, por lo que ante esta grave problemática se empezó a colocar cámaras de video vigilancia en ubicaciones estratégicas de los penales instalando un centro de monitoreo local para que se vigile las 24 horas del día los siete días de la semana.

1.3. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION

1.3.1. **Espacial:** Se realizara los Establecimientos Penitenciarios de Lima y Callao con su Sede Central.

1.3.2. **Temporal:** Comprende el periodo SETIEMBRE 2013 A FEBRERO 2014.

1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA

Para poder monitorear en el Centro de Control de Monitoreo de la Sede Central las imágenes de las cámaras de video vigilancia instalado en los Establecimientos Penitenciarios se necesita un medio o canal por el cual se transportara toda la información de video, el medio o canal será el aire a través de ondas electromagnéticas; es decir, la interconexión entre el Centro de Control de monitoreo y los Establecimientos Penitenciarios será a través de un sistema de Radioenlaces en la banda de frecuencia no licenciada, para lo cual se necesitara estaciones repetidoras debido a que algunos penales se encuentran a distancias muy grandes superando los 20 km. así como Antenas, Radios con sus alimentadores de voltajes, switchs, cables de red, conectores, PatchCord, Patch Panel, ordenadores horizontales y verticales, bandejas, gabinetes, ventiladores/extractores, UPS y torres de comunicaciones.

1.5. OBJETIVOS

El Objetivo es poder visualizar en el Centro de Control de Monitoreo de la Sede Central en tiempo real las imágenes de las cámaras de video vigilancia instalado en los Establecimientos Penitenciarios así como también permitirme ver las imágenes grabadas en los NVRs/DVRs unidades de almacenamiento instalados en los penales para cualquier evento presentado en cualquier momento.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

- ❖ Existe trabajos similares al que se está realizando y entre los cuales podemos nombrar al realizado por Murguey y Romel, titulado “Optimización del sistema troncalizado de microondas Barinas-Apure, perteneciente a Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA -SUR) a través de estudios en campo y análisis basado en computador”, año 2002, que concluyo lo siguiente: “La optimización permite normalizar el Sistema que se encuentra en la actualidad fuera de norma (disminución de la calidad del radioenlace) a causa de una serie de situaciones anómalas presentes en la estructura física del Sistema”.

- ❖ También existe el trabajo de Rafael Antonio Sánchez Pernia, titulado “Diseño de un sistema de Radio Comunicación – UNET y las haciendas de la Universidad e implementación de un enlace de prueba”, año 2003, que concluyo lo siguiente: “El sistema de radio comunicación permite la transmisión de datos, voz y video entre la UNET y las haciendas, esta se basa en un esquema punto a punto y multi-punto”.

- ❖ Además del trabajo realizado por Mariolyth Hazel Pérez Zamora, titulado “Plataforma de radioenlace entre la gobernación del estado Táchira y diversas dependencias subalternas”, año 2006, que concluyo lo siguiente:

“El diseño e implementación de la plataforma de radioenlace permite, además de colocar puntos de Internet, garantizar la transmisión de datos entre la gobernación del estado Táchira y diversas dependencias subalternas”.

- ❖ Finalmente el trabajo de Lersi D. Quintero D titulado “Plataforma inalámbrica para la transmisión de datos entre dependencias y caserios del municipio Córdoba”, año 2007, que concluyó lo siguiente: “La plataforma diseñada se basa en un esquema punto a punto, en el cual se emplea todas las factibilidades que ofrecen la topología de las redes inalámbricas, para así comprobar que la vanguardia tecnológica ya está entre nosotros y aprovecharla al máximo sería lo más idóneo”.

2.2. BASES TEORICAS

Básicamente un enlace vía microondas consiste en tres componentes fundamentales: el TRANSMISOR, el RECEPTOR y el CANAL AÉREO.

Para enlazar dos puntos no muy distantes y contar con un adecuado ancho de banda se tiene la posibilidad de implementar un sistema de comunicaciones punto a punto.

Las frecuencias de operación para un enlace microondas son mayores a 30 Mhz, para que sea posible la comunicación entre transmisor y receptor es necesaria la existencia de línea de vista comúnmente denominada LOS (line of sign).

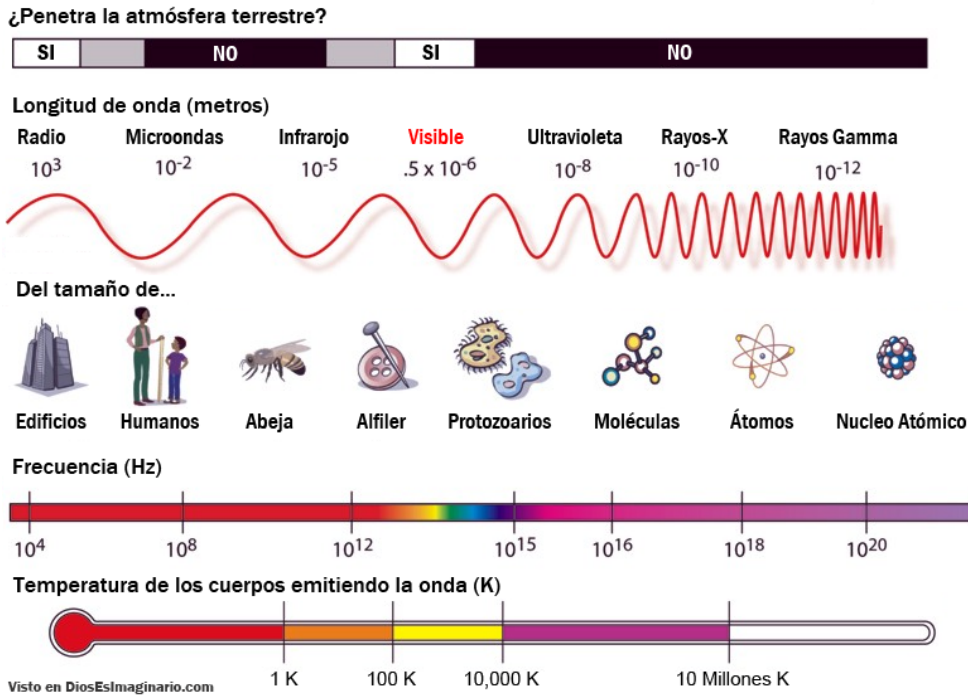


Fig. 2.1. El espectro electromagnético

La distancia cubierta por enlaces microondas puede ser incrementada por el uso de repetidores, la función de los repetidores es salvar la falta de visibilidad impuesta por la curvatura terrestre u obstáculos y conseguir así enlaces superiores al horizonte óptico; la distancia entre repetidores se los conoce como vano.

Los repetidores pueden ser de dos tipos, Activos y Pasivos; en los repetidores pasivos o reflectores se realiza únicamente el cambio de la dirección del haz radioeléctrico sin mejorar o amplificar la ganancia en la señal, mientras que en un repetidor activo se cumplen los siguientes parámetros: Mantiene la señal de recepción separada de la de transmisión suprimiendo toda señal indeseable (ruido, interferencia), controla el nivel de la señal para luego amplificarla y transmitirla. En un reflector activo, el proceso de transmisión no toma en cuenta tareas como el analizar y tratar la señal por alguna unidad de procesamiento de datos.

El reflector activo tiene la tarea de mejorar la señal ya que la señal de microonda transmitida es distorsionada y atenuada mientras viaja desde el transmisor hasta el receptor, estas atenuaciones y distorsiones son causadas por una pérdida de poder de la señal recibida, dependiente de la distancia, reflexión y refracción debido a obstáculos y superficies reflectoras, pérdidas atmosféricas, perdidas en los equipos, etc.

2.2.1. TIPOS DE ANTENAS

2.2.1.1. Antenas de Panel

Se utilizan para conexiones punto a punto enfocadas. Son como pequeñas cajas planas y tienen una ganancia de hasta 24 dBi.



Fig. 2.2. Antena de Panel

2.2.1.2. Antenas Parabólicas

Las antenas parabólicas son las más potentes que se pueden adquirir (hasta 27 dBi), por lo que son las más indicadas para cubrir largas distancias entre emisor y receptor. Cuanta mayor ganancia tienen, mayor diámetro de rejilla.



Fig. 2.3. Antena Parabólica

2.2.2. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN

Si bien todas las ondas electromagnéticas difieren en gran manera en cuanto a sus propiedades, sus medios de producción, y las maneras en que las observamos, todas viajan a través del vacío con la misma velocidad. No existen espacios en el espectro, como tampoco límites bien definidos entre las diversas categorías.

La velocidad de propagación es una constante para todas las frecuencias, y en el vacío su valor es de 300.000.000 m/s (la velocidad de la luz). Esto se demuestra en la expresión:

$$v = f \lambda = f \frac{c}{f} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Dónde:

V = es la velocidad de propagación en metros por segundo f es la frecuencia en Hertz.

λ = es la longitud de onda en metros.

c = es velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

2.2.3. LONGITUD DE ONDA

Es la distancia ocupada por el ciclo de una onda, se expresa en metros la longitud de onda de una señal, se representa por λ o se calcula dividiendo la velocidad de la luz entre la frecuencia (f) de la onda expresada en hertz, es

decir:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Dónde:

λ = es la longitud de onda en metros.

c = es la velocidad de propagación, 300,000 Km/s.

f = es la frecuencia de la señal en Hertz.

2.2.4. POLARIZACIÓN

La polarización de una onda plana es simplemente la dirección de su vector de campo eléctrico. Si esto no tiene variación, la polarización se describe como lineal. Es común referir el eje de polarización al horizonte. De acuerdo a lo anterior, es un bosquejo de una señal electromagnética con polarización horizontal, ya que el campo eléctrico es paralelo al horizonte. La polarización es una característica muy importante ya que de no tener la misma polarización en una antena transmisora que en la antena receptora, no se podrá establecer un enlace.

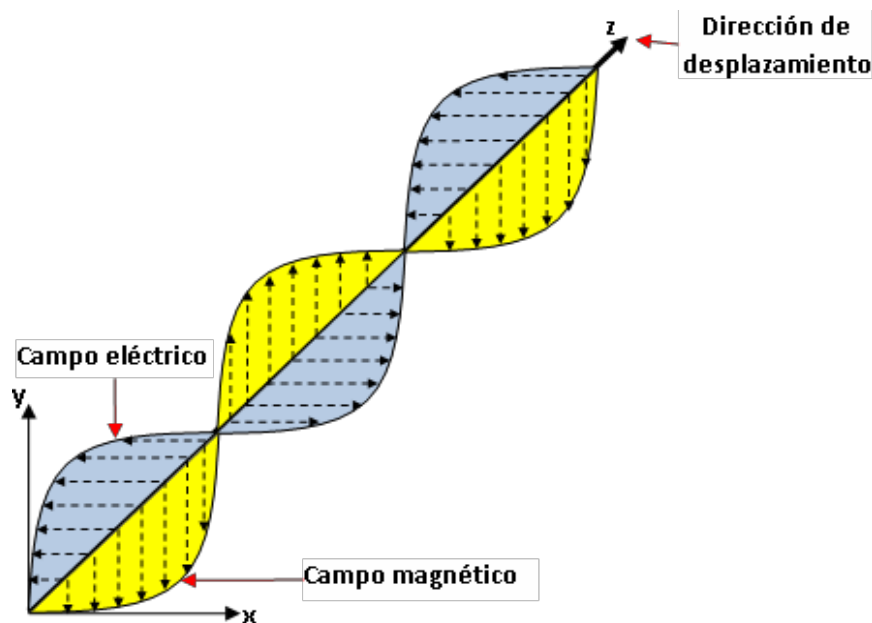


Fig. 2.4. Ondas electromagnéticas transversales

A veces el eje de polarización gira a medida que la onda se mueve por el espacio, gira los 360° por cada longitud de onda de recorrido, como se ve en la figura anterior. En este caso, la polarización es circular si la intensidad del campo es igual en todos los ángulos de polarización y se dice que es elíptica si la intensidad del campo varía conforme cambia la polarización. La onda puede girar en cualquier dirección, y en el caso de la figura de abajo, que gira a la derecha, se le llama dextrógira. Las ondas con polarización circular se reciben a través de antenas con polarización vertical u horizontal, así como por antenas con polarización circular.

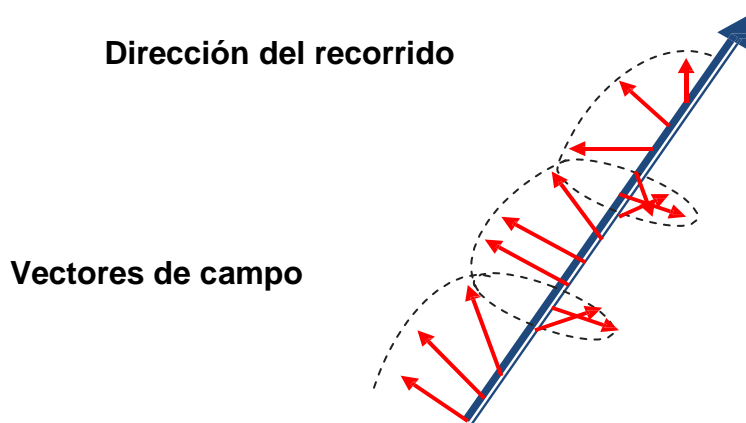


Fig. 2.5. Polarización circular en dirección de dextrógira

2.2.5. MODULACIÓN EN MICROONDAS

2.2.5.1. Transmisión por Desplazamiento de Fase (PSK)

Transmitir por desplazamiento en fase (PSK) es otra forma de modulación angular, modulación digital de amplitud constante; el PSK es similar a la modulación en fase convencional, excepto que con PSK la señal de entrada es una señal digital binaria y son posibles un número limitado de fases de salida.

2.2.5.2. Transmisión por Desplazamiento de Fase Binaria (BPSK)

Con la transmisión por desplazamiento de fase binaria (BPSK), son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora.; una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase. El BPSK es una forma de modulación de onda cuadrada de portadora suprimida de una señal de onda continua.

La figura muestra un diagrama a bloques simplificado de un modulador de BPSK, el modulador balanceado actúa como un conmutador para invertir la

fase, dependiendo de la condición lógica de la entrada digital, la portadora se transfiere a la salida, ya sea en fase o 180° fuera de fase, con el oscilador de la portadora de referencia.

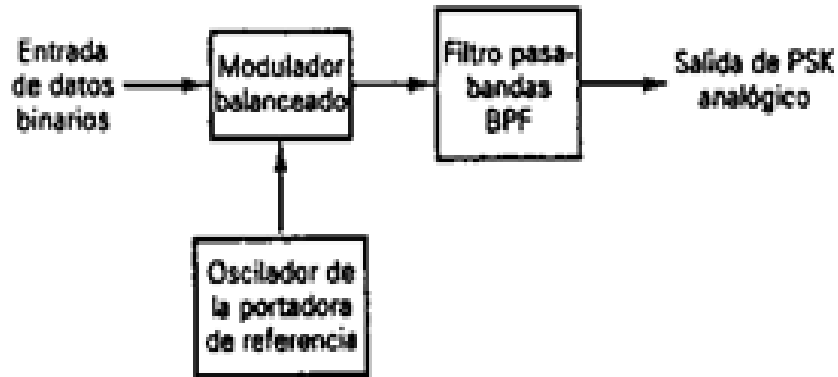


Fig. 2.6. Diagrama a bloques simplificado de un modulador de BPSK

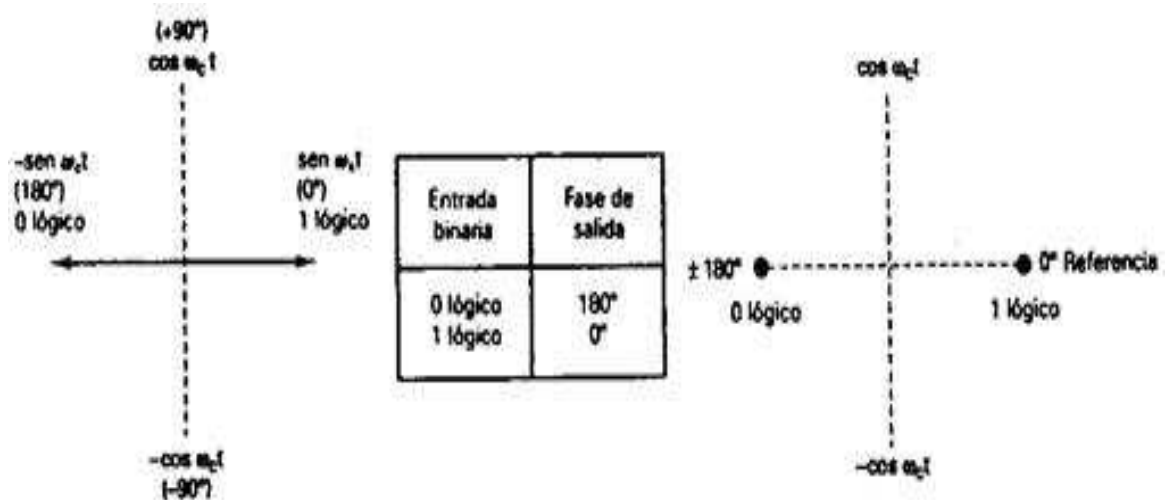


Fig. 2.7. Tabla de verdad, diagrama fasorial, y diagrama de constelación BPSK

La figura de abajo muestra la fase de salida contra la relación de tiempo para una forma de onda BPSK. El espectro de salida de un modulador de BPSK es, sólo una señal de doble banda lateral con portadora suprimida, donde las frecuencias laterales superiores e inferiores están separadas de la frecuencia de la portadora por un valor igual a la mitad de la razón de bit; en consecuencia, el mínimo ancho de banda ($f N$) requerido, para permitir el peor caso de la señal de salida del BPSK es igual a la razón de bit de entrada.

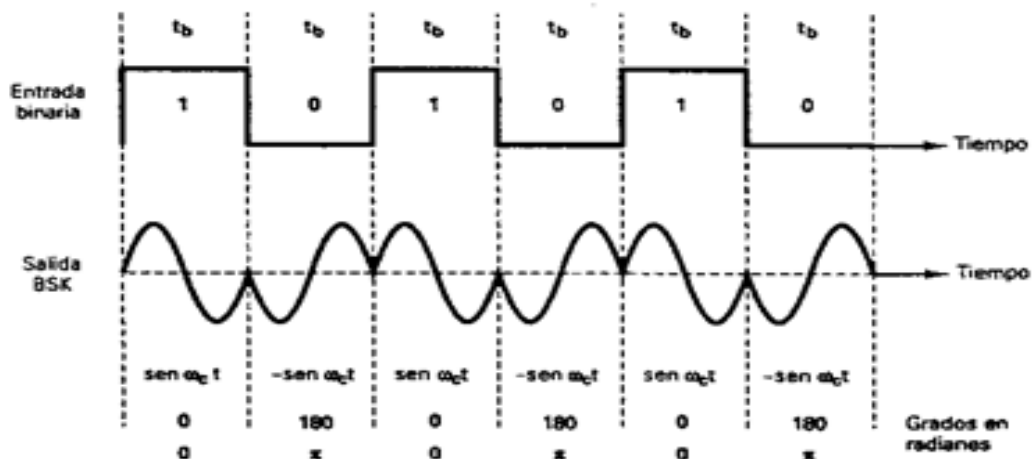


Fig. 2.8. Fase de salida contra la relación de tiempo, forma de onda BPSK

La figura de abajo muestra el diagrama a bloques de un receptor de BPSK., la señal de entrada puede ser $\pm \text{sen}(\omega_c t)$ ó $\text{sen}(\omega_c t)$. ; el circuito de recuperación de portadora coherente detecta y regenera una señal de portadora que es coherente, tanto en frecuencia como en fase, con la portadora del transmisor original. El modulador balanceado es un detector de producto, la salida es el producto de las dos entradas (la señal de BPSK y la portadora recuperada); el filtro pasa-bajas (LPF) separa los datos binarios recuperados de la señal de modulada compleja.

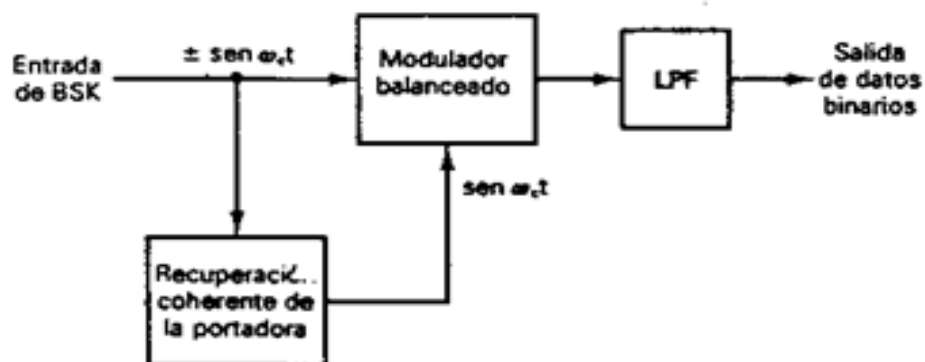


Fig. 2.9. Diagrama a bloques de un receptor de BPSK

2.2.5.3. Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM), es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

2.2.5.4. QAM de ocho (8-QAM)

La figura muestra el diagrama a bloques de un transmisor de 8-QAM., como pueda verse, la única diferencia, entre el transmisor de 8-QAM y el transmisor de 8-PSK es la omisión del inversor entre el canal C y el modulador de producto Q.

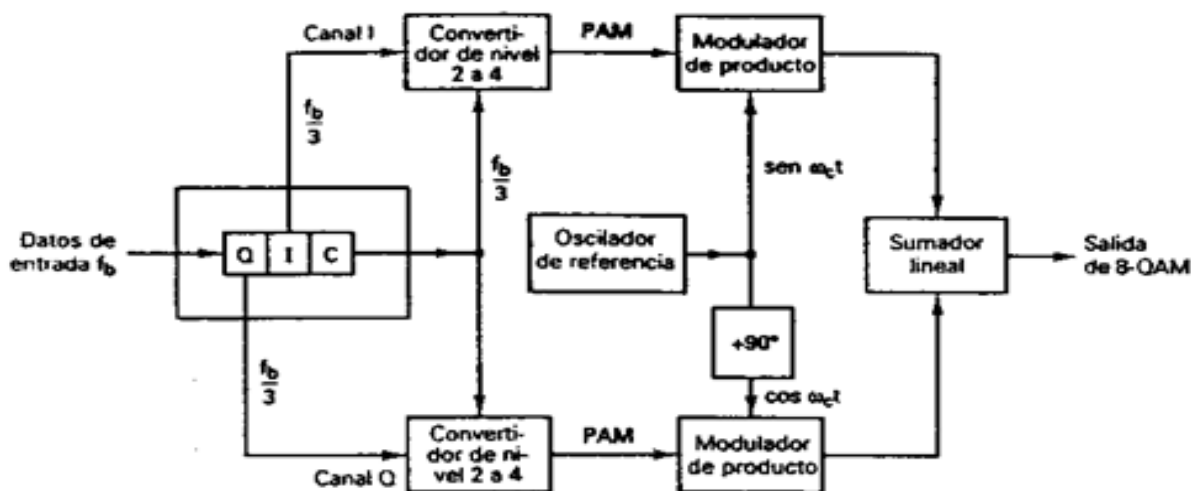


Fig. 2.10. Diagrama a bloques de un transmisor de 8-QAM

2.2.5.5. Consideraciones del ancho de banda para el QAM de ocho

En el 8-QAM, la tasa de bits, en los canales I y Q, es un tercio de la tasa binaria de entrada, al igual que con el 8-PSK., como resultado, la frecuencia de modulación fundamental más alta y la razón de cambio de salida más rápida en 8-QAM, son iguales que para el 8-PSK; por tanto, el mínimo ancho de banda requerido para 8-QAM es $f_b/3$, al igual que en el 8-PSK.

2.2.5.6. Receptor de QAM de ocho

Un receptor de 8-QAM es casi idéntico al receptor de 8-PSK., las diferencias son los niveles PAM, en la salida de los detectores de producto, y las señales binarias a la salida de los convertidores análogo a digital. Debido a que hay dos amplitudes de transmisión posibles con 8-QAM, que son diferentes de aquellas factibles con el 8-PSK, los cuatro niveles PAM de modulados son diferentes de aquellos en 8-PSK, en consecuencia, el factor de

conversión para los convertidores analógico al digital, también tienen que ser diferentes; además, con el 8-QAM las señales de salida binarias del convertidor analógico al digital, del canal I, son los bits I y C, y las señales de salida binarias del convertidor analógico al digital, del canal Q, son los bits Q y C.

2.2.5.7. QAM de dieciséis (16-QAM)

Así como en 16-PSK, el 16-QAM es un sistema M-ario, en donde $M=16$, y actúa sobre los datos de entrada en grupos de cuatro ($2 \times 4 = 16$). Como con el 8-QAM, tanto la fase y la amplitud de la portadora transmisora son variados.

2.2.5.8. Transmisor QAM de dieciséis

El diagrama a bloques para un transmisor de 16-QAM se muestra en la figura, los datos de entrada binaria se dividen en cuatro canales: El I, I', Q y Q'. La tasa de bits de cada canal es igual a un cuarto de la tasa de bits de entrada ($f_b/4$).

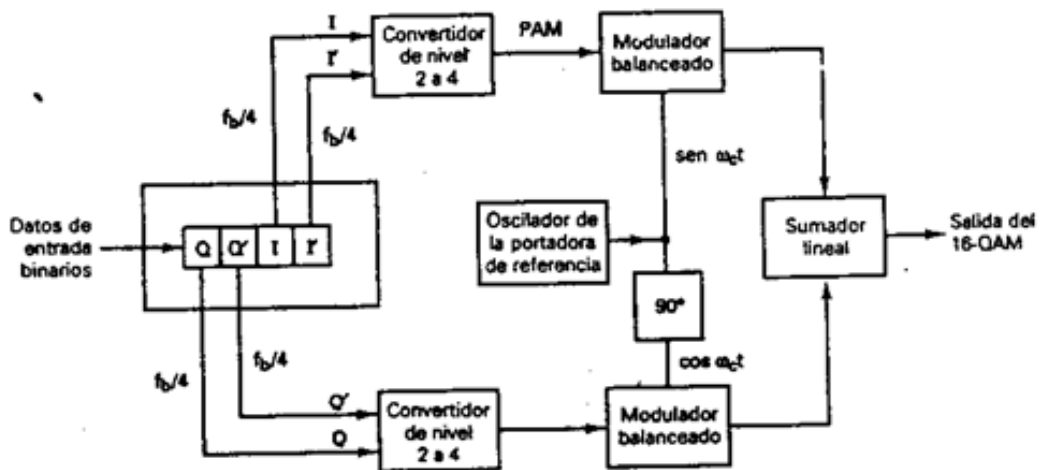


Fig. 2.11. Diagrama a bloques para un transmisor de 16-QAM

2.2.5.9. Consideraciones del ancho de banda para el QAM de dieciséis

Con el 16-QAM, ya que los datos de entrada se dividen en cuatro canales, la tasa de bits en el canal I, I', Q o Q' es igual a un cuarto de la tasa de datos de

entrada binarios ($f_b/4$). (El derivador de bits estira los bits I, I', Q y Q', a cuatro veces su longitud de bits de entrada); además, debido a que estos bits tienen salidas de manera simultánea y en paralelo, los convertidores de nivel 2 a 4v en un cambio en sus entradas y salidas a una fase igual a un cuarto de la tasa de datos de entrada.

2.2.5.10. Resumen de FSK, PSK y QAM

Las distintas formas de FSK, PSK y QAM se resumen en la tabla 1.2 la cual presenta para cada tipo de modulación el número de bits utilizados, el ancho de banda necesario y la eficiencia que presenta el trabajar con un sistema M-ario.

Modulación	Codificación	Ancho de Banda BW(Hz)	Baudios	Eficiencia BW (bps por BW)
FSK	Bit	f_b	f_b	1
BPSK	Bit	f_b	f_b	1
QPSK	Dibit	$f_b/2$	$f_b/2$	2
8-QPSK	Tribit	$f_b/3$	$f_b/3$	3
8-QAM	Tribit	$f_b/3$	$f_b/3$	3
16-QPSK	Quadbit	$f_b/4$	$f_b/4$	4
16-QAM	Quadbit	$f_b/4$	$f_b/4$	4

Tabla 2.1. Resumen de la modulación digital

2.2.6. PROPAGACION DE SEÑALES ELECTROMAGNETICAS

2.2.6.1. Trazo de perfil de terreno

Antes de efectuar pruebas de propagación entre los puntos que se han escogido, es necesario realizar o construir un diagrama de perfil del terreno

entre los sitios escogidos, incluyendo todas las alturas de los puntos y de los obstáculos tomados de los mapas geográficos o cartas topográficas. El trazo de perfil del terreno es para saber la influencia de la estructura de la superficie terrestre en la propagación de las ondas, se hace una figura de corte transversal de la tierra desde el punto de transmisión hasta el punto de recepción y a esta figura se le denomina “perfil”, en la gráfica se aprecia un ejemplo.

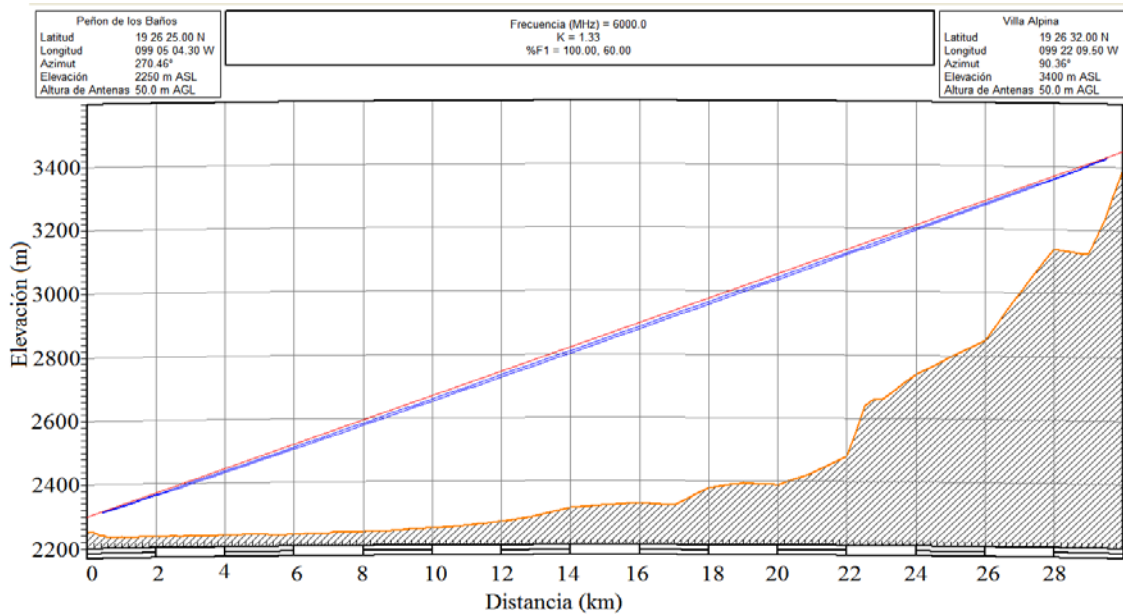


Fig. 2.12. El trazo de perfil del terreno

2.2.6.2. Zonas defresnel

Un transmisor genera un frente de onda esférico en el caso de una antena isotrópica, este frente de onda está constituido por un número infinito de fuentes secundarias de radiación que también generan frentes de ondas en la propagación de la señal según el principio de Huygens. Las zonas de fresnel están constituidas por una gran cantidad de fuentes secundarias con una radiación uniformemente repartida. El campo resultante en el receptor es la suma de las contribuciones de las zonas de fresnel, siendo la primera zona la que aporta mayor energía.

Las zonas de fresnel están conformadas por todos los puntos del espacio cuya suma de las distancias del punto hacia el receptor y transmisor

es igual a la suma de la distancia directa entre el transmisor y receptor más $n\lambda/2$. Se denomina primera zona de fresnel cuando n toma el valor de 1.

$$D_1 + D_2 = D + n\lambda/2$$

- ✓ Primera zona de fresnel: Se radia el 50% de la energía entregada por el transmisor (La onda reflejada llega en fase con la onda directa incrementando efectivamente la intensidad de campo en la antena receptora)
- ✓ Segunda zona de fresnel ($n = 2$): Se radia el 25% de la energía entregada por el transmisor (Esta en contrafase 180°)
- ✓ Tercera zona de fresnel ($n = 3$): Se radia el 12.5% de la energía entregada por el transmisor (En fase 0°)

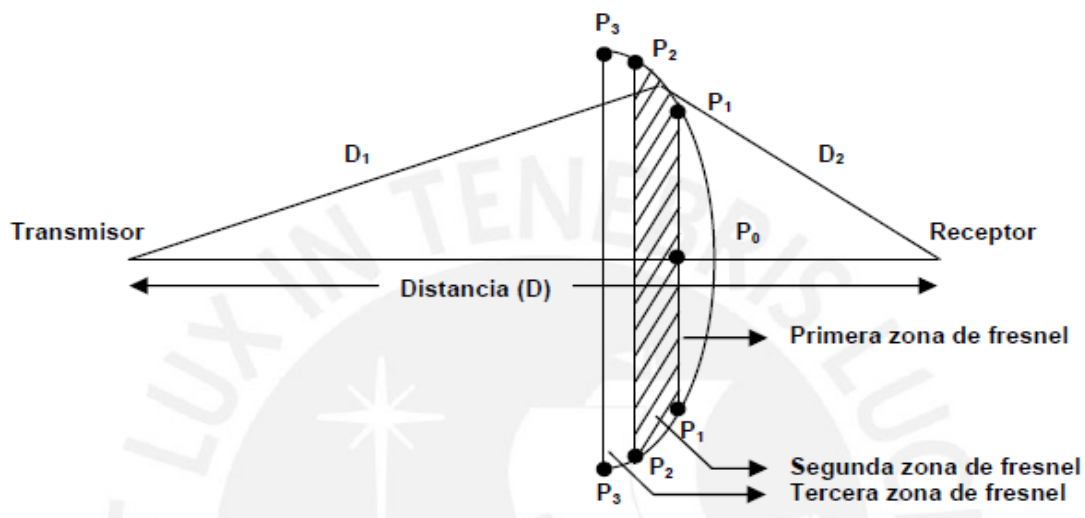


Fig. 2.13. Margen de despeje sobre el obstáculo (h_c)

En el perfil del trayecto de propagación de las ondas de radio frecuencia un margen de despeje exacto sobre el obstáculo entre la línea central del trayecto de propagación y la arista del obstáculo se muestra gráficamente en la figura y es obtenido por la ecuación:

$$h_2 = h_1 - \frac{a_1}{d} (h_1 - h_2) - \frac{d_1 d_2}{2 Ka} - h_s = [\text{metros}]$$

Dónde:

h_1 y h_2 =son las alturas del radiador para cada sitio en metros.

H_s = es la altura de un obstáculo.

d_1 =es la distancia del trayecto al extremo cercano (del obstáculo) (Km).

d_2 =es la distancia del trayecto al extremo lejano (del obstáculo) (Km).

D = es la distancia total del trayecto (Km).

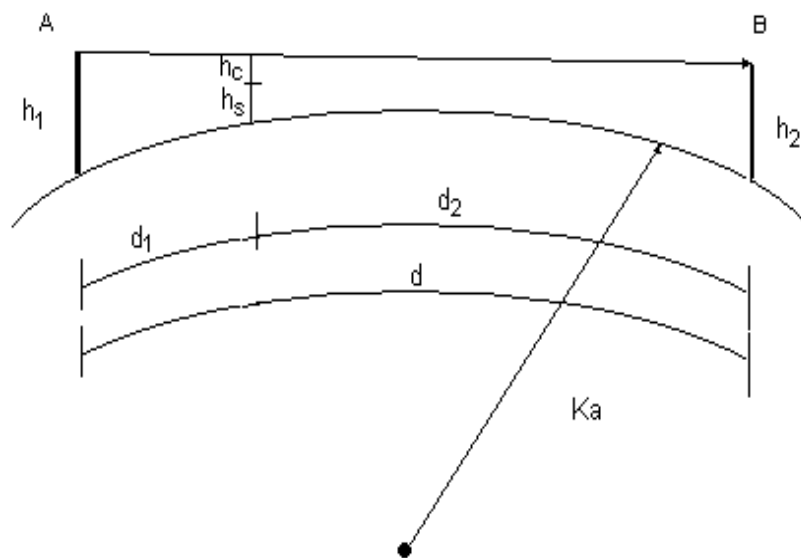


Fig. 2.14. MARGEN DE DESPEJE h_c

2.2.6.3. Alturas de las Antenas

Para encontrar el valor de la altura de las antenas es necesario haber calculado el radio de la primera zona de Fresnel y se requiere proponer la altura de la antena en el primer sitio. La siguiente expresión nos permite determinar la altura h_2

2.2.6.4. Perdidas en el espacio libre

Las ondas de radio son afectadas por la presencia de la Tierra y la atmosfera que la rodea. Para un enlace de microondas punto a punto se debe considerar la porción baja de la atmosfera no ionizada (debajo de los 20Km), llamada Troposfera, que es de nuestro interés. Para propósitos de diseño del trayecto es útil definir una posición de referencia donde pueda considerarse que la propagación no es afectada por la Tierra. Las pérdidas entre dos antenas que no son afectadas por la Tierra se denominan perdidas de espacio libre. En esta magnitud no suelen incluirse otras pérdidas adicionales debidas a lluvia, absorción atmosférica, etc. Estas pérdidas están relacionadas directamente con la distancia del radioenlace y la frecuencia de funcionamiento mediante la siguiente expresión:

$$L = 32.46 + 20 \log (fM \text{ Hz}) + 20 \log (dKm)$$

2.2.6.5. Reflexión (Atenuación por la arista)

Existe un fenómeno natural, que consiste en que las microondas como el sonido o como la luz, al encontrar un obstáculo en su trayectoria, este estorba su propagación sin embargo detrás del obstáculo aparece una intensidad de campo que por lo regular es de pequeño nivel, a este fenómeno se le conoce como el fenómeno de la difracción

Como puede verse en la figura cuando la señal sufre una refracción en un obstáculo, esta pérdida por difracción esta en proporción directa a la longitud "C" y en proporción inversa a la raíz cuadrada de la longitud de onda, como se ve en la ecuación.

$$L_d = \frac{C}{\sqrt{\lambda}}$$

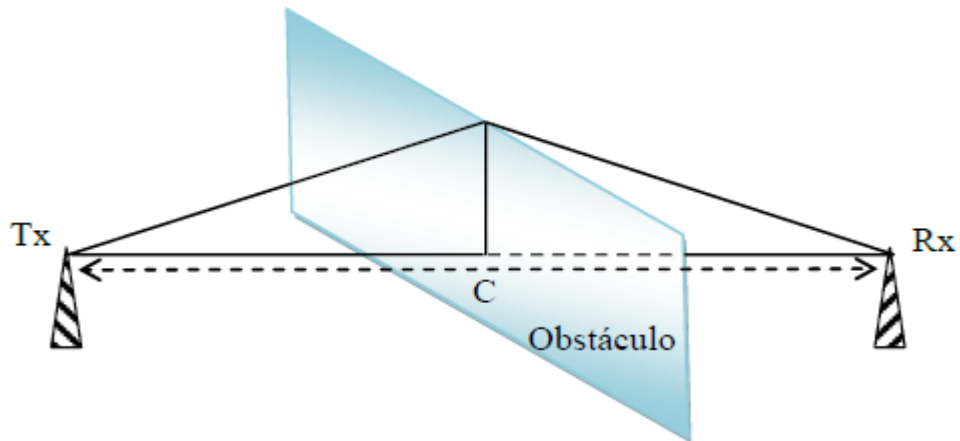


Fig. 2.15. DIFRACCION Y REFRACCION DE UNA SEÑAL

Cuando se llega a tener una arista aguda que prácticamente obstruye el haz se considerará que la arista queda dentro de la primera zona de Fresnel entonces se procede a calcular la pérdida de transmisión por difracción debido a la arista aguda.

2.2.6.6. Pérdidas de Transmisión por difracción debido a la arista aguda.

Este cálculo se efectúa por medio de la ecuación y respetando la siguiente condición.

$$\frac{h_c}{h_0} \geq 3$$

La relación se conoce como el coeficiente del margen de despeje: (h_c / h_0)

$$\text{Pérdidas de Tx por difracción (dB)} = 16 + 20 \log (h_c / h_0)$$

La reflexión en la superficie de la Tierra ocasiona lo que se conoce como desvanecimiento por reflexión. Para evitar el desvanecimiento severo tipo "K" o la distorsión de propagación el trayecto de radiofrecuencia debe ser seleccionado de tal modo que la onda reflejada quede debilitada al máximo posible.

Para examinar el efecto de la reflexión de la onda de radio, es indispensable confirmar las condiciones geográficas en el punto de reflexión y determinar si la onda reflejada puede ser bloqueada por un obstáculo apropiado, o no es posible esto.

La localización del punto de reflexiones fácilmente obtenido por la introducción del parámetro “b” del monograma correspondiente mostrado en la gráfica. Pero primeramente es necesario obtener los coeficientes “c” y “m” por medio de las ecuaciones de abajo, en las cuales se involucran las dimensiones del trayecto.

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad m = \frac{d^2}{4 \frac{Ka}{K^{4/3}} (h_1 + h_2)}$$

Donde h , d , a en metros

$$d_1 = \frac{d}{2}(1+b) \quad d_2 = \frac{d}{2}(1-b) = d - d_1$$

Sedebe cumplir la siguiente condición para considerar la reflexión:

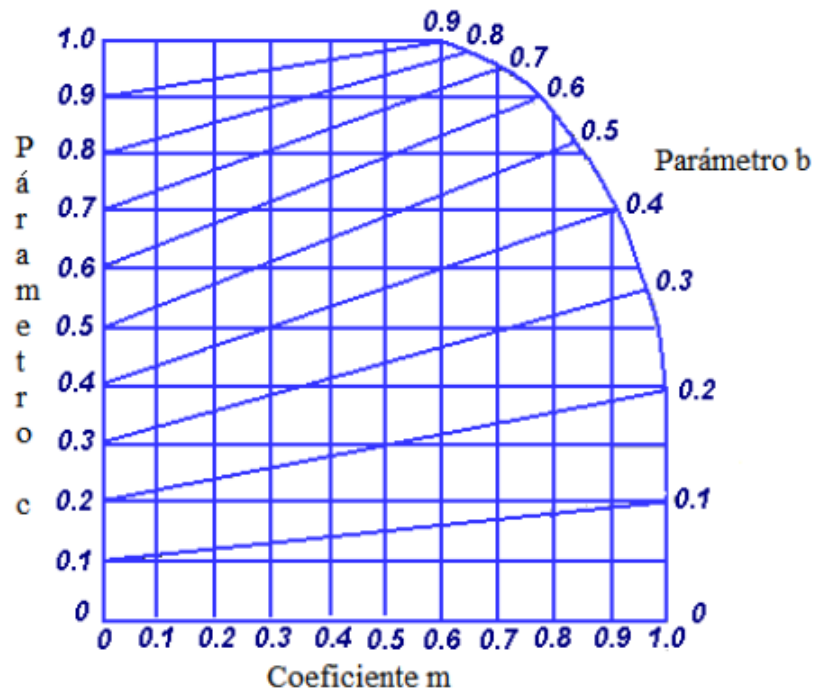


Fig. 2.16. Monograma m -1 - 60

Después de haber calculado las distancias d_1 y d_2 , es necesario ubicar mediante éstas en d dónde cae el punto de reflexión para saber qué tipo de terreno es y poder obtener su atenuación correspondiente. Para conocer la atenuación debida al terreno debemos emplear la tabla siguiente:

Fcia. GHz	Superficie de agua	Zona fangosa	Zona de campo	Zona de ciudad o montaña
2	0 dB	2dB	4dB	10dB
4	0dB	3dB	6dB	14dB
6	0dB	2dB	6dB	14dB
11	0dB	2dB	8dB	16dB

Tabla 2.2. Datos para obtener la atenuación del terreno

2.2.6.7. Atenuación de onda reflejada debido a la directividad de las antenas

Los ángulos comprendidos entre las ondas directas y reflejadas, como se muestra en la figura, se calculan por medio de las siguientes ecuaciones (tanto para θ_1 como para θ_2):

$$\theta_1 = \frac{h_1}{d_1} - \frac{h_1 - h_2}{d} - \frac{d_2}{2 \frac{Ka}{K^{4/3}}} = [rad] \quad \theta_2 = \frac{h_2}{d_2} - \frac{h_2 - h_1}{d} - \frac{d_1}{2 \frac{Ka}{K^{4/3}}} = [rad]$$

Dónde:

θ_1 , θ_2 = son los ángulos en el punto A y B, respectivamente en radianes (pasar a grados)

h , d , Ka = en metro

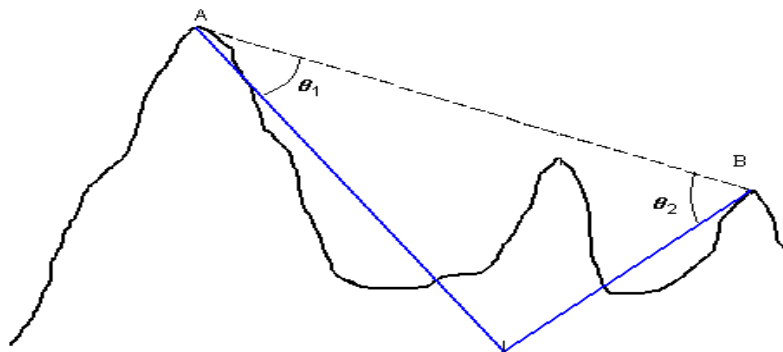


Fig. 2.17. Ángulos de la onda directa y reflejada

Una vez que se obtienen los ángulos θ_1 y θ_2 , se debe recurrir al diagrama de radiación para la antena parabólica para obtener las correspondientes atenuación D_{θ_1} y D_{θ_2} en dB. Entonces la relación de la onda deseada (D) a la onda no deseada (U) está dada por:

$$D/U \text{ (dB)} = D_{\theta_1} + D_{\theta_2} + L_r$$

Dónde:

D_{θ_1} y D_{θ_2} = son atenuaciones por el ángulo de la onda reflejada

L_r = es la atenuación debida al tipo de terreno

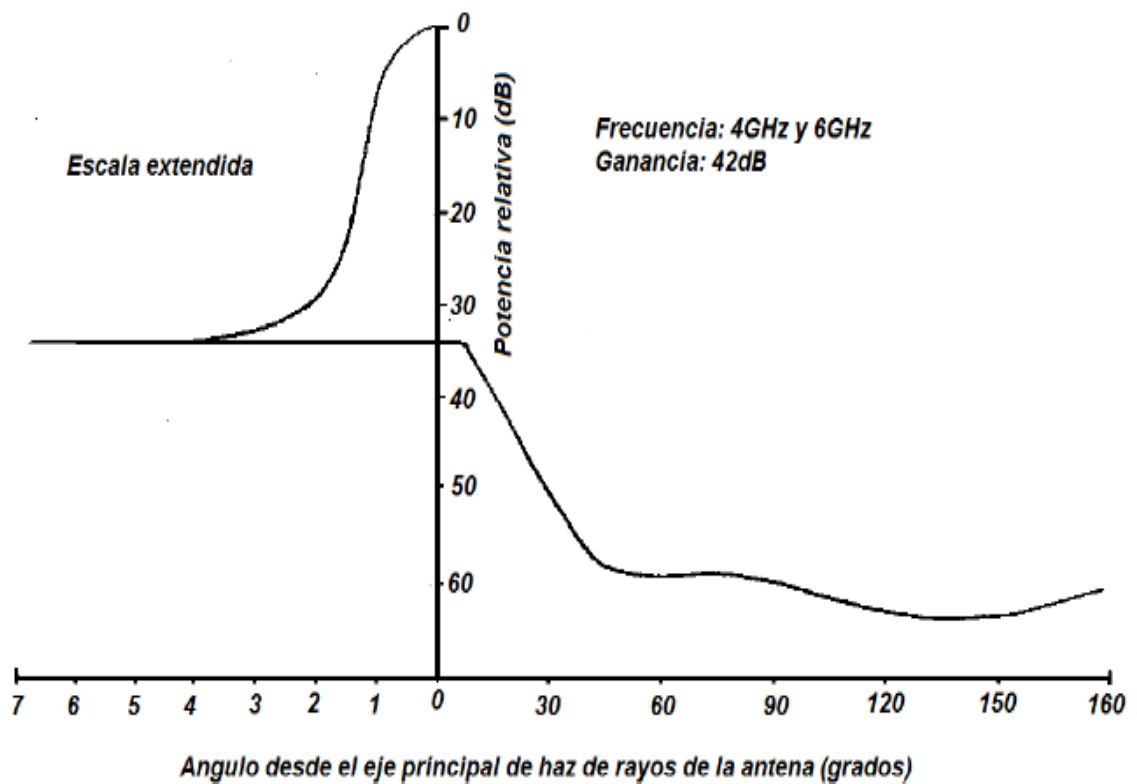


Fig. 2.18. Diagrama de radiación de la antena parabólica de 4m

2.2.6.8. Ganancia de la antena

Cuando se usa una antena altamente directiva, toda la potencia transmitida se enfoca hacia una dirección más que a otras. Como la potencia se concentra en un haz, el efecto es como si la antena amplificara la señal. Al enfocar la potencia, la directividad provoca que la antena exhiba ganancia, no se trata de una ganancia en el sentido en la que tienen los amplificadores. La

antena es un dispositivo pasivo, así que la potencia de salida total no puede ser mayor que la de entrada.

Se considera que la antena tiene mayor ganancia en su dirección de máxima radiación, cuando se compara con una fuente isotrópica. En nuestro caso emplearemos un reflector parabólico, tienen la propiedad de que cualquier rayo que se origina en un punto llamado foco y choca con la superficie reflectora se refleja paralelo al eje de la parábola. A través de la ecuación es posible calcular la ganancia para antenas parabólicas:

$$G = 10 \log \left[\eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right] = dB$$

D es el diámetro (metros)

λ es la longitud de onda (metros) $\lambda = c / f$

η es la eficiencia de la antena (0.5 o 0.7)

2.2.6.9. Relación entre directividad y ganancia

La relación entre la ganancia y la directividad de una antena se expresa en la ecuación:

$$B = \frac{203}{(\sqrt{10})^x}$$

Dónde:

B es el ancho de haz de la antena en grados

x es la ganancia en potencia de la antena en dB dividida entre 10 ($x = dB/10$)

2.2.6.10. Potencia de recepción

La potencia que llega a nuestro receptor se ve afectada por la potencia de transmisión, la ganancia de las antenas, las pérdidas de espacio libre y

además involucra las pérdidas que aportan los elementos como guías de onda, filtros, circuladores, etc. La ecuación nos permite calcular dicha potencia:

$$Pr \text{ (dBm)} = P_{Tx} \text{ (dBm)} + G_{antTx} \text{ (dB)} + G_{antRx} \text{ (dB)} - L \text{ (dB)} - L_F \text{ (dB)}$$

2.2.6.11. Potencia Isotrópica Efectiva Radiada

Potencia Isotrópica Efectiva Radiada (PIRE) es la potencia aparente transmitida hacia el receptor, si se asume que la señal se irradia igualmente en todas direcciones, tal como una onda esférica que procede de un punto fuente; en otras palabras, el producto aritmético de la potencia suministrada a una antena y su ganancia.

2.2.6.12. Coordenadas geográficas

El Sistema de Coordenadas Geográficas expresa todas las posiciones sobre la Tierra usando dos de las tres coordenadas de un sistema de coordenadas esféricas que está alineado con el eje de rotación de la Tierra. Este define dos ángulos medidos desde el centro de la Tierra.

La latitud mide el ángulo entre cualquier punto y el ecuador. Las líneas de latitud se llaman paralelos y son círculos paralelos al ecuador en la superficie de la Tierra.

La longitud mide el ángulo a lo largo del ecuador desde cualquier punto de la Tierra. Se acepta que Greenwich en Londres es la longitud 0 en la mayoría de las sociedades modernas. Las líneas de longitud son círculos máximos que pasan por los polos y se llaman meridianos.

Combinando estos dos ángulos, se puede expresar la posición de cualquier punto de la superficie de la Tierra. Por ejemplo, Baltimore, Maryland (En los Estados Unidos), tiene latitud 39,3 grados norte, y longitud 76,6 grados

oeste. Así un vector dibujado desde el centro de la tierra al punto 39,3 grados norte del ecuador y 76,6 grados al oeste de Greenwich pasará por Baltimore.

El ecuador es un elemento importante de este sistema de coordenadas; representa el cero de los ángulos de latitud y el punto medio entre los polos. Es el plano fundamental del sistema de coordenadas geográficas.

2.2.6.13. Distancia superficial

La distancia superficial es la distancia que existe entre puntos sobre la superficie terrestre sin considerar la altitud sobre el nivel del mar y las alturas sobre el nivel de terreno. El cálculo de esta distancia se efectúa utilizando la Formula de Haversine.

La fórmula de Haversine es:

$$d = 6370 \sqrt{(\text{Lat}_2 - \text{Lat}_1)^2 + \cos(\text{Lat}_1) \cos(\text{Lat}_2) (\text{Lon}_2 - \text{Lon}_1)^2}$$

Dónde:

Lat1 y Lat2 son latitudes de dos puntos y Lon1 y Lon2 son longitudes de dos puntos

Para realizar el cálculo es necesario transformar las coordenadas en radianes, primeramente el formato sexagesimal de las coordenadas (grados, minutos y segundos) se convierte a decimal, para ello se usa la siguiente fórmula:

$$\text{coordenadas decimales} = x^\circ + \frac{x'}{60} + \frac{x''}{3600}$$

Posteriormente para transformar a radianes, se usa una regla de correspondencia de tres, recordando que 1 radian equivale a 57.29°.

2.2.6.14. Angulo de Azimut

El ángulo de azimut es el ángulo formado por la dirección en que la antena de un sitio se orienta y el norte geográfico, en sentido horario (hacia la derecha) Esto se ilustra en la figura.

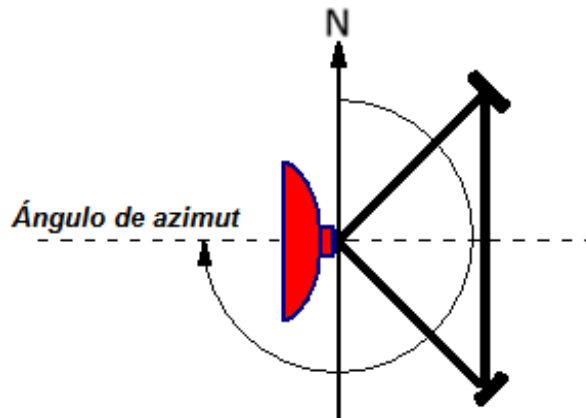


Fig. 2.19. Angulo de azimut, en este caso 270°

Las siguientes ecuaciones permiten calcular el ángulo de azimut:

$$k_1 = \sqrt{\cos(Lat_1) \cos(Lat_2)} \quad \phi = \tan^{-1} \left(\frac{Lat_2 - Lat_1}{(k_1)(Lon_2 - Lon_1)} \right)$$

Si $Lon_2 - Lon_1 < 0$

$\theta_1 = 90 + \phi$ para azimut del sitio 1

$\theta_2 = 270 + \phi$ para azimut del sitio 2

Si $Lon_2 - Lon_1 > 0$

$\theta_1 = 270 + \phi$ para azimut del sitio 1

$\theta_2 = 90 + \phi$ para azimut del sitio 2

2.2.6.15. Ángulos de elevación

Es el ángulo que forma la dirección de máxima radiación de la antena con el plano horizontal, emplearemos el valor del factor terrestre $K = 4/3$. Se calcula con las ecuaciones siguientes:

$$\alpha_1 = - \left(\frac{h_1 - h_2}{d} + \frac{d}{2Ka} \right) \quad \alpha_2 = - \left(\frac{h_2 - h_1}{d} + \frac{d}{2Ka} \right)$$

Dónde:

h_1 y h_2 son las alturas de las antenas.

d es la distancia entre los radiadores.

K_{aes} 8493Km

2.2.6.16. Margen de desvanecimiento térmico, TFM

Es la diferencia algebraica entre el nivel recibido de la señal deseada (NRSD) y el umbral de recepción del equipo de radio (T), nos indica el margen en el cual el nivel de potencia recibido puede reducirse antes de que se rebase la tasa de error límite requerida (umbral de recepción) y se expresa en db, esto se representa en la siguiente fórmula.

$$TFM = NRSD - T$$

2.2.6.17. Disponibilidad del enlace

La disponibilidad del enlace es el tiempo, generalmente anual o del peor mes, en que el enlace de microondas estará operando con un número de bits erróneos menor a una tasa determinada ($BER=10^{-3}$ o 10^{-6}). Es decir, el número de bits erróneos no será mayor a 1 por cada mil o por cada millón de bits transmitidos, según sea el caso.

El valor de disponibilidad depende, por una parte, de los márgenes de desvanecimiento térmico y disperso. Por otra parte, depende también de la zona de lluvia, la frecuencia y polarización del enlace, la rugosidad del terreno, la temperatura y el factor climático. La disponibilidad se expresa en porcentajes anuales o mensuales, del tiempo en que el enlace se desempeña aceptablemente desde el punto de vista de la tasa de error.

El tiempo en que el enlace se desempeña con un número de bits erróneos mayor al especificado se denomina "Outage" "tiempo fuera de servicio" o "indisponibilidad". Generalmente se expresa en minutos o segundos.

2.2.6.18. Relación entre disponibilidad del sistema y el tiempo fuera

El tiempo fuera que un sistema de comunicaciones pueda quedar se calcula de forma estadística. La tabla 2.4 muestra el tiempo que un equipo permanece fuera de acuerdo al porcentaje de disponibilidad. Cabe mencionar que estos periodos de tiempo no ocurren en un solo intervalo, sino que se distribuyen a lo largo del tiempo.

Disponibilidad %	Tiempo fuera %	Tiempo fuera por		
		1 Año	Mes (promedio)	Día
0	100	8760h	720h	24h
50	50	4380h	360h	12h
80	20	1757h	144h	4.8h
90	10	876h	72h	2.4h
95	5	438h	36h	1.2h
98	2	175h	14h	29 min
99	1	88h	7h	14.4 min
99.9	0.1	8.8h	43 min	1.44 min
99.99	0.01	53 min	4.3 min	8.6 seg
99.999	0.001	5.3 min	26 seg	0.86 seg
99.9999	0.0001	32 seg	2.6 seg	0.086 seg

Tabla 2.3. Relación entre disponibilidad del sistema y el tiempo fuera

2.2.6.19. Disponibilidad anual debida a la lluvia

La lluvia es el principal hidrometeoro, y es un fenómeno natural de carácter aleatorio cuyas estadísticas anuales o mensuales son conocidas, y basándose en estas es posible determinar la atenuación que ocasionará sobre la señal durante un periodo de tiempo. El cálculo de la disponibilidad debida a la lluvia toma en cuenta tres parámetros:

- Zona climática
- La atenuación específica (γ), determinada por los factores α y K, y
- El valor del margen de desvanecimiento térmico TFM

La atenuación específica está dada por la ecuación:

$$\gamma = KR^\alpha$$

Dónde:

K y α son coeficientes que dependen de la frecuencia y la polarización

R es la intensidad de lluvia en mm/h

%Tiempo	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
0.01%	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115

Tabla 2.4. Intensidad de lluvia (mm/hr) excedidos 0.01% del tiempo (R)

Frecuencia	KH	αH	KV	αV
2	0.00154	0.963	0.00138	0.923
4	0.0065	1.121	0.00591	1.075
6	0.00175	1.308	0.00155	1.265
8	0.00454	1.327	0.00395	1.31

Tabla 2.5. Valores de los coeficientes K y α

El siguiente paso, es calcular la distancia aparente d_A

$$d_A = d \left(\frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}} \right)$$

Donde:

d es la longitud del enlace

d_0 está determinado de acuerdo a los siguiente

si $R < 100$ $d_0 = 35e^{-0.0015R}$

si $R \geq 100$ $d_0 = 35e^{-1.5R}$

Con los valores de atenuación específica y distancia aparente calcular el valor mínimo de TFM (Margen de Desvanecimiento Térmico)

$$TFM_{MIN} = \gamma d_A$$

Se procede a calcular el factor E con la formula siguiente:

Si TFM = 0

$$E = (2(0.086) + 0.546)^2$$

Si no:

$$E = (0.546)^2 + 4(0.043)(\log(0.12 \times TFM_{MIN}) - \log TFM_{MIN})$$

Se calcula la disponibilidad, D_{ANUAL} con la siguiente expresión:

Si $E < 0$

$$D_{ANUAL} = 100$$

Si no

$$D_{ANUAL} = 100 - 10^{-\frac{0.546\sqrt{E}}{2 \times 0.043}}$$

La indisponibilidad en segundos queda

$$ID_{LLUVIA} = \frac{(100 - D_{ANUAL}) \times 365 \times 24 \times 60}{100}$$

2.2.6.20. Relación señal a ruido (S/N)

La razón del estudio y el cálculo de la potencia del ruido, es el efecto que éste produce en la señal deseada. En un sistema analógico, el ruido hace que la información se distorsione lo que hace que sea difícil entender un mensaje. En sistemas digitales, el ruido produce el aumento de la tasa de errores. En cualquier caso, no es en realidad la cantidad de ruido lo que interesa, sino la cantidad de ruido comparada con el nivel de señal deseada. Es decir que lo que nos interesa es la relación de la potencia de la señal y la potencia del ruido. Esta relación de señal a ruido, que se abrevia S/N, se expresa generalmente en decibelios. La siguiente ecuación se emplea para el cálculo de la S/N en decibelios:

$$S/N(dB) = 10 \log \frac{P_S}{P_N}$$

Dónde:

P_S es la potencia de la señal de información

P_N es la potencia del ruido

2.2.6.21. Tasa de errores

El desempeño de una comunicación del tipo digital está determinada por el número de bits erróneos que se presentan durante el proceso de recepción por cierto número de bits de información transmitidos, denominados Tasa de bits Erróneos (Bit Error Rate, BER), matemáticamente se representa en la siguiente relación:

$$BER = \frac{\text{Número de bits recibidos con errores}}{\text{Número de bits transmitidos}}$$

Para los sistemas actuales se definen dos valores de Tasa de Error los cuales nos indican la calidad de un servicio de comunicaciones. Estos valores son 10^{-3} (1 bit erróneo por cada 1,000 bits transmitidos) y 10^{-6} (1 bit erróneo por cada 1,000,000 de bits transmitidos). Este parámetro es el límite de bits erróneos que se pueden permitir en un enlace de microondas para una determinada calidad de servicio. No tiene unidades.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1 TORRES DE COMUNICACIONES

Respecto a las torres que se instalaran en los penales así como las que ya están instaladas en las repetidoras serán mástiles, torres ventadas pesadas y torres Auto soportada. En nuestro caso utilizaremos repetidoras como Cerro la Milla (San Martín de Porres), Cerro Grande (Ventanilla), Cerro Obstáculos (San Juan de Lurigancho) y Centro Cívico; algunas de estas se utiliza por un convenio con el Ministerio del Interior como Cerro Grande, Cerro la Milla y Cerro Obstáculo pero otras es por alquiler como Centro Cívico.



Fig. 2.20. A la izquierda una torre ventada, al centro una torre auto-soportada metálica tipo Z y a la derecha un mástil

2.3.2 ENLACES DE COMUNICACIONES

Para la implementación de este sistema se han considerado enlaces punto a punto PTP en la banda de frecuencias libres 5.8 GHz en la tecnología WIMAX, el hecho de tener un enlace PTP nos da la ventaja que es un enlace directivo hacia un solo punto donde se concentrara toda la energía (mayor ancho de banda y mejor estabilidad) evitando que algún equipo externo al enlace se pueda conectar y extraer la información como si ocurre en un enlace punto multipunto PMP por ejemplo en una red WI-FI; pero también se debe considerar que los equipos actuales tienen varios sistemas de seguridad para evitar que equipos externos puedan conectarse y extraer la información, solo hay que conocer que existen y configurarlos.

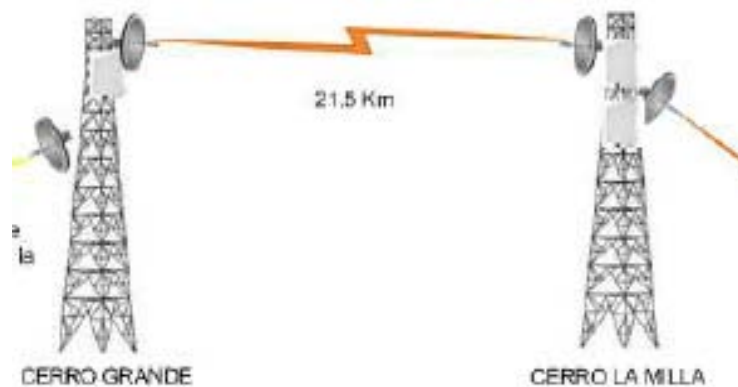


Fig. 2.21. ENLACE DE COMUNICACIONES

2.3.3 ANCHO DE BANDA

En la implementación de este sistema un problema crítico es el ancho de banda toda vez que el tráfico que pasa por los enlaces de comunicaciones son imágenes de video de cámaras IP con una resolución mayor a las cámaras analógicas (antiguas) agregando que se opera en la banda de frecuencia no licenciada que actualmente se va saturando el espectro de frecuencia ya que por ser libre es muy utilizado. Abajo se muestra un ejemplo de análisis de espectro de frecuencias con un **Dispositivo Ubiquiti de la serie M ejecutando AirOS v5.2** en una de las repetidoras llamada Cerro Grande - Ventanilla muy usadas por las operadoras y en este caso para nuestro sistema de Radio Enlaces.

2.3.3.1 Gráfico de Cascada:

El color asignado a cada nivel de energía designa su amplitud, donde los colores fríos representan bajos niveles de energía (donde el color azul, representa el nivel más bajo). Por el contrario, los colores cálidos (como el amarillo, anaranjado, rojo) representan altos niveles de energía en la frecuencia analizada.

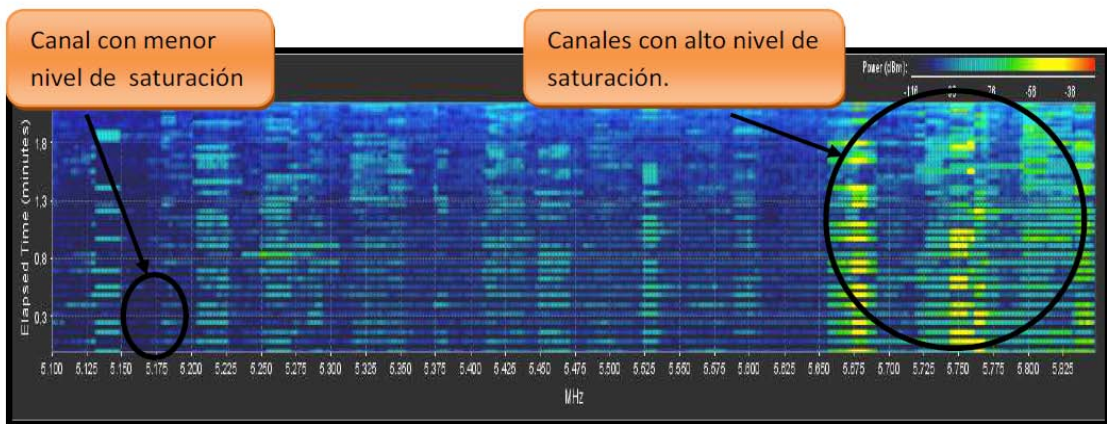


Fig. 2.22. Imagen muestra niveles de saturación

2.3.3.2 Gráfico de Uso de Canal:

Es representada mediante una barra porcentual (donde el total de estas tiene una sumatoria de 100%), representa la saturación respectiva de dicho canal. Éste porcentaje es calculado mediante un análisis de dos variables: la popularidad, es decir, cuántas redes utilizan dicho canal, y por la intensidad de la señal (RF) en dicho canal.

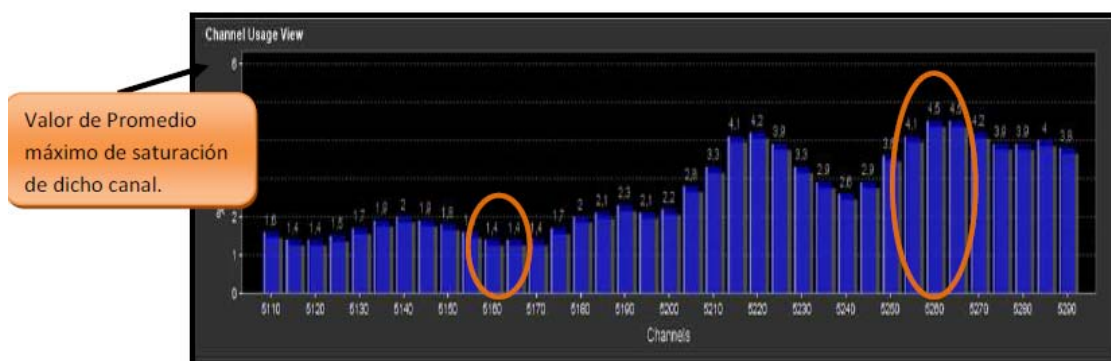


Fig. 2.23. Imagen muestra barras porcentuales altos y bajos

2.3.3.3 Gráfico de Forma de Onda:

Al igual que el gráfico de cascada, es un gráfico basado en la variable tiempo que muestra la energía agregada para cada frecuencia. El color asignado a cada nivel de energía designa su amplitud: donde los colores fríos representan bajos niveles de energía (con el color azul como el nivel más bajo) en la frecuencia analizada. Por el contrario, los colores cálidos (como el

amarillo, anaranjado o rojo) representan altos niveles de energía en la frecuencia analizada. La vista del espectro radial en relación al tiempo muestra básicamente el nivel de energía, en el estado estacionario, para un entorno determinado.

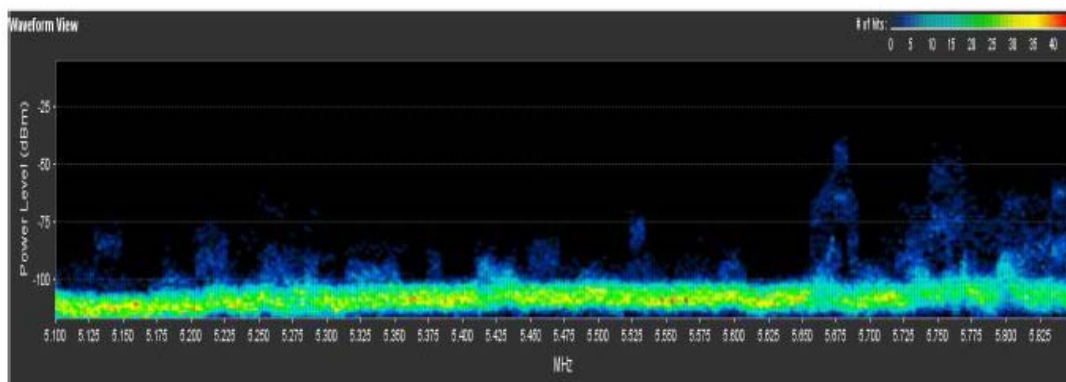


Fig. 2.24. Imagen muestra vistas de la forma de onda

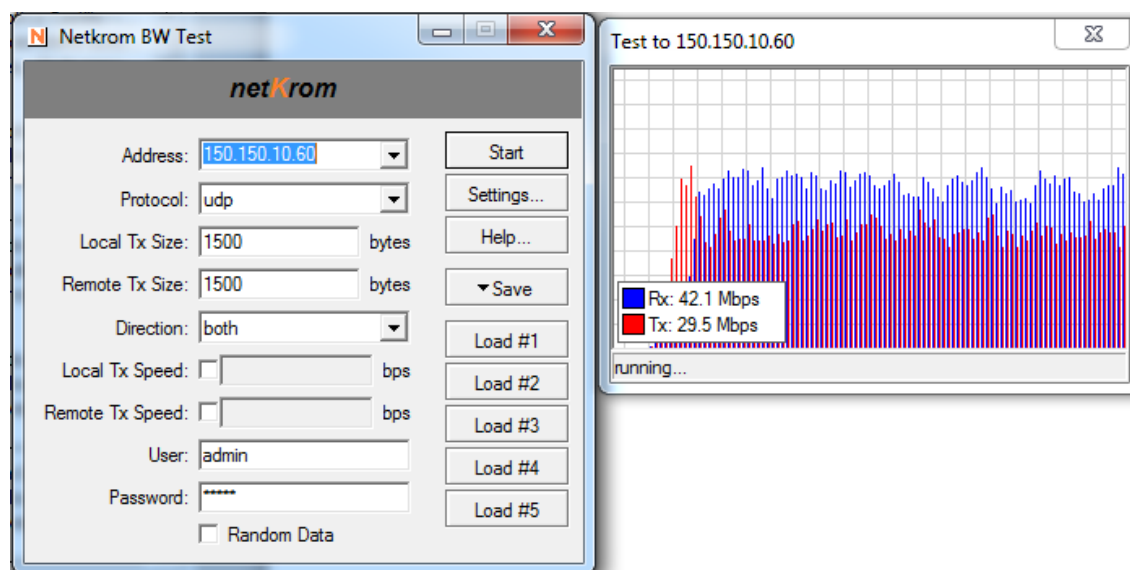


Fig. 2.25. Ejemplo de medición de ancho de banda

2.3.4 ENLACES BACKUP – ENLACE REDUNDANTE

En la elaboración del sistema se han considerado la máxima cantidad de posibles soluciones ante los problemas de corte de señal de las imágenes de video vigilancia en los enlaces de comunicaciones que interconecta a los Establecimientos Penitenciarios con su Sede Central dado que transportaran imágenes de video vigilancia de gran importancia y seguridad.

El diseño de los enlaces de comunicaciones se ha realizado en frecuencia no licenciada con los equipos que cumplan con las características de acuerdo a las necesidades de los enlaces, los diagramas del “SISTEMA DE RADIO ENLACE DE LOS ESTABLECIMIENTOS PENITENCIARIOS DE LIMA Y CALLAO” para la interconexión de los penales, se ha realizado en el software VISIO de Office indicado en el cuadro de abajo.

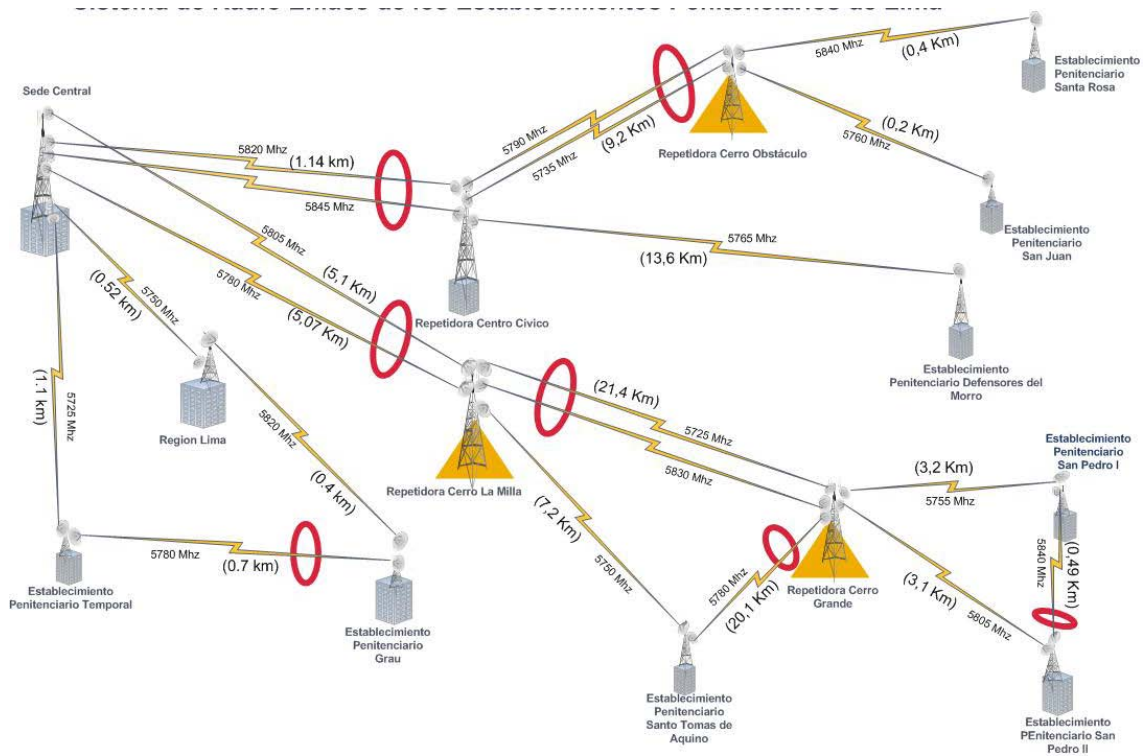


Fig. 2.26. Sistema de Radio Enlace de los Establecimientos Penitenciarios de Lima

CAPITULO III

DISEÑO DEL SISTEMA DE RADIO ENLACE DE LOS ESTABLECIMIENTOS PENITENCIARIOS DE LIMA Y CALLAO

Este proyecto muestra el diseño del SISTEMA DE RADIO ENLACES DE LOS ESTABLECIMIENTOS PENITENCIARIOS DE LIMA Y CALLAO para interconectar los penales con su Sede Central desde donde se monitoreara las imágenes de video vigilancia proveniente de los penales, centros de reclusión de alto riesgo, por lo cual se tendrá que proteger la señal que viaja por el canal aéreo a través de los Radio Enlaces así como los switches que se utilizaran en las diferentes sedes.

Se ha optado por la interconexión inalámbrica teniendo como opciones también la interconexión cableada por cobre o fibra, pero debido a la envergadura del proyecto donde se tiene que considerar costos y la presencia de zonas inaccesibles con cableado siendo estos indicadores importantes que conllevan a la implementación del Sistema de Radio Enlaces para las interconexiones de los Establecimientos Penitenciarios con el Centro de Control de Monitoreo de la Sede Central.

Un costo aproximado para la interconexión entre la Cerro la Milla y Cerro Grande \$35 000.00 dólares con Radio Enlaces y más de \$100 000.00 dólares con cableado.

3.1. ANALISIS DEL SISTEMA DE RADIO ENLACE DE LOS ESTABLECIMIENTOS PENITENCIARIOS DE LIMA Y CALLAO

En el modelamiento del Sistema de Radio Enlaces de los Establecimientos Penitenciarios de Lima y Callao se ha considerado enlaces de clase A (Enlaces 1+1 troncales) y enlaces de clase B (Enlaces 1+0) donde los enlaces troncales son aquellos que deberán presentar una mayor disponibilidad toda vez que transportan señales de varios Establecimientos penitenciarios sin embargo se ha considerado un enlace de redundancia para los penales con enlaces de clase B utilizando otro site como repetidora fin de que los Establecimientos Penitenciarios que tienen dicho enlace tengan un enlace redundante utilizando otro camino dado que la interconexión de los penales deberá tener una disponibilidad muy alta ya que transportaran imágenes de video vigilancia de los penales hacia la Sede Central para ser monitoreados las 24 horas del día los siete días de la semana.

Se ha realizado simulaciones con el software libre Radio Mobile para poder observar la factibilidad de instalar Radio Enlace y que altura de torre se tiene que instalar en las diferentes sedes observándose que se tendrá que utilizar sedes repetidoras para la interconexión de algunos penales. Se han recolectado los datos necesarios como: frecuencia, coordenadas, altura; para realizar la simulación de los enlaces observando si hay línea de vista y si ningún obstáculo obstruye la primera zona de fresnel.

3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE RADIO ENLACE DE LOS ESTABLECIMIENTOS PENITENCIARIOS DE LIMA Y CALLAO

Para iniciar con el diseño del SISTEMA DE RADIO ENLACES DE LOS ESTABLECIMIENTOS PENITENCIARIOS DE LIMA Y CALLAO se utilizara el software libre RADIO MOBILE que nos proporcionará todos los datos necesarios para poder construir nuestro modelo, brindándonos las características de las alturas de las torres así como de los equipos necesarios para la implementación, este software realiza internamente los cálculos matemáticos mencionados en el capítulo II facilitándonos el procedimiento y

evitando el error de cálculo que se pueda cometer manualmente, adicionalmente a eso me proporciona el mapa topográfico así como el perfil topográfico incluyendo los datos necesarios para tener un control de nuestro diseño y lo más importante es que nos permite exportar el perfil topográfico a Google Earth pudiendo observar y tener un mejor panorama del Radio Enlace observando que la Zona de Fresnel no tenga obstrucción, teniendo en cuenta que Google Earth nos muestra el perfil con las edificaciones construidas actualizadas aproximadamente con 6 meses de antigüedad teniendo una imagen real de cómo quedaría la instalación del Radio Enlace y haciendo una simulación del recorrido de toda la línea de vista.

Para poder realizar una buena simulación se necesita conocer algunos parámetros importantes que solicita el programa; los clasificamos en dos grupos: características del terreno y características técnicas de funcionamiento. La configuración de las características del terreno permitirá obtener una mejor aproximación del comportamiento ideal (matemático) con el comportamiento real que tendrán los enlaces de comunicaciones.

3.2.1 Características del terreno

Debido a que todos los enlaces de comunicaciones se realizan en zonas rurales utilizaremos las características de un terreno promedio (Conductividad del terreno = 0.005, Permitividad relativa = 15 y refractividad de la superficie = 301), estos valores son obtenidos de la siguiente tabla ubicada en la ayuda del programa:

Característica del terreno	Conductividad del terreno	Permitividad relativa
Terreno promedio	0.005	15
Terreno árido	0.001	4

Tabla. 3.1. Valores de conductividad y Permitividad para un determinado tipo de terreno

No se considera pérdidas por ciudad ni forestales por ser zona rural, seleccionamos un clima con temperatura continental y un modo de variabilidad del tipo “spot” con valores del 50% para cada uno de los parámetros (tiempo, localizaciones y situaciones).

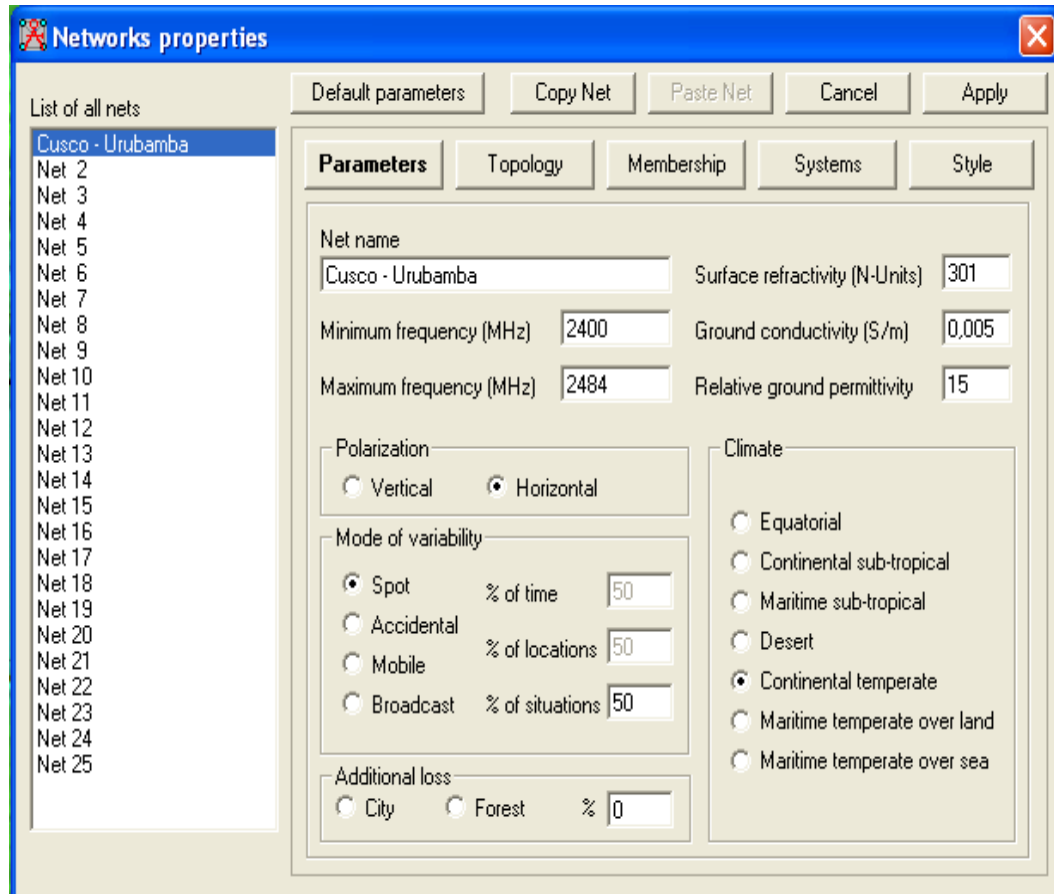


Fig. 3.1. Networks properties

3.2.2 Características técnicas de operación

Los valores de frecuencia, potencia del transmisor, sensibilidad del receptor, pérdidas en cables, filtros y protectores para cada estación se muestran a continuación:

- La frecuencia de operación para cada uno de los enlaces está dada por el estándar IEEE 802.16, en consecuencia se trabajará dentro del rango 5 GHz.
- La potencia del transmisor para cada una de las estaciones será aproximadamente de 200 mW (23 dBm), la sensibilidad de los receptores

será de -81dBm, la ganancia será de 27 dBi los valores variaran de acuerdo a la distancia del enlace.

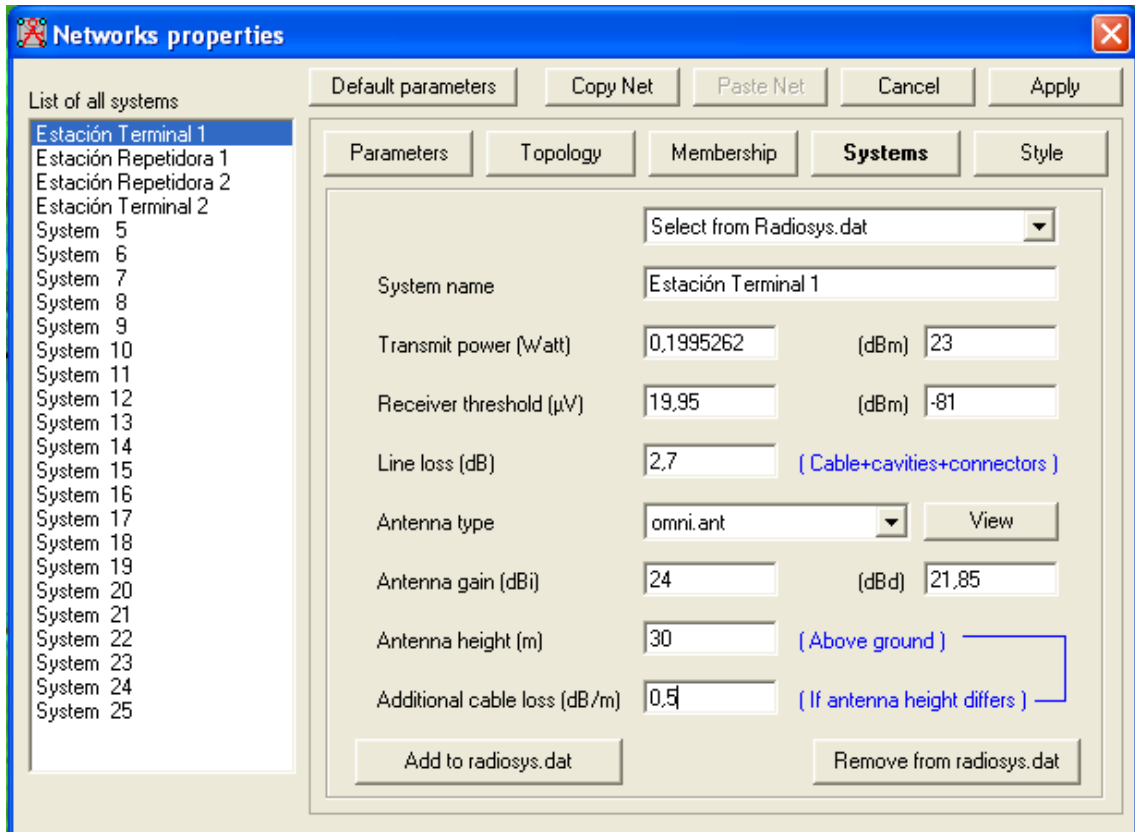


Fig. 3.2. Configuración del programa radio Mobile: características técnicas de operación de la simulación de los enlaces de comunicaciones

La relación matemática utilizada por el programa radio Mobile para determinar el margen de señal o nivel de recepción es la siguiente:

$$M \text{ (dB)} = \text{Señal recibida (dBm)} - R \text{ (dBm)} \quad M \text{ (dB)} = (T - L1 + A1 - P + A2 - L2) - R$$

Dónde:

$$T \text{ (dBm)} = 10 \log_{10} (\text{Potencia en el transmisor}) + 30$$

$$L1 \text{ (dB)} = \text{Pérdidas en cables (transmisor)}$$

$$A1 \text{ (dBi)} = \text{Ganancia de la antena en el transmisor.}$$

A2 (dBi) = Ganancia de la antena en el receptor

L2 (dB) = Perdidas en cables (receptor)

R (dBm) = $20 \log_{10}$ (Umbral de receptor en micro voltios) - 107

P (dB) = Perdidas por radio propagación incluyendo margen de desvanecimiento (modelo de Longley- Rice)

3.2.3 Margen de desvanecimiento:

$$F_m = 30 \log D + 10 \log (6ABf) - 10 \log (1-R) - 70$$

F_m : margen de desvanecimiento (dB)

R : confiabilidad

D : Distancia en kilómetros

1-R : objetivo de confiabilidad

F : Frecuencia (GHz)

A : Factor de rugosidad	B: Factor de conversión
4: Sobre agua o terreno muy parejo	1: disponibilidad anual a una base para el peor mes
1: Sobre un terreno normal	0.5: para Áreas calientes y húmedas
0.25: Sobre un terreno montañoso muy disparejo.	0.25: Áreas normales tierra adentro
	0.125: Áreas montañosas o muy secas

Tabla 3.2. Factores de rugosidad y conversión para una determinada área y terreno.

Tomamos un factor de rugosidad de 1 y un factor de conversión de 0.25

3.2.4 Perdida por espacio libre:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right) dB$$

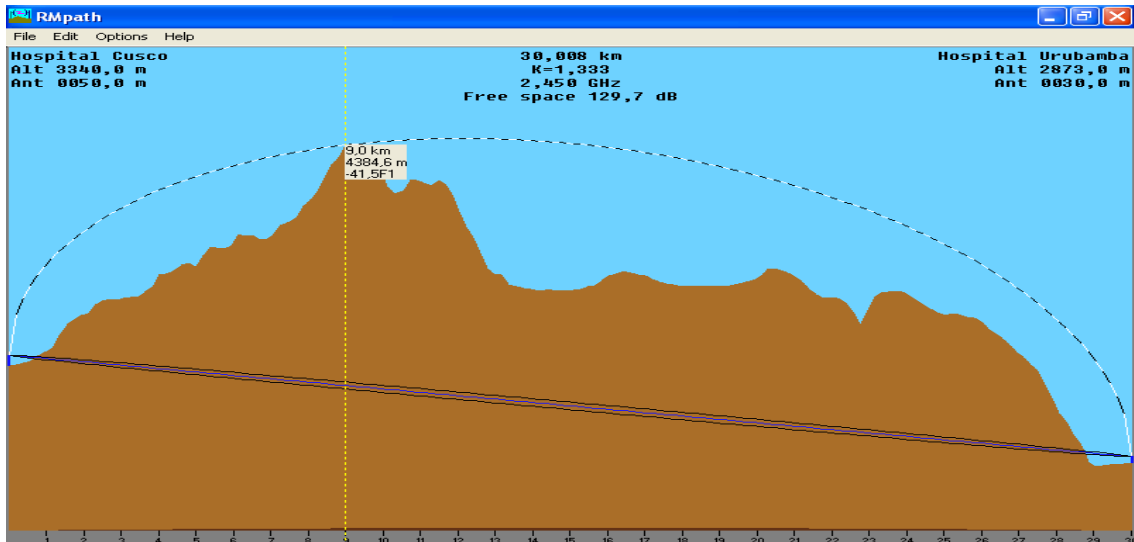


Fig. 3.3. Ejemplo de un perfil topográfico

En las simulaciones de los enlaces se está considerando como altura de la antena a la altura de las edificaciones más las alturas donde las antenas serán instaladas en las torres.

3.2.5 ENLACE 1

Información del Enlace

Enlace	Sede Central – Región Lima
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	0,52 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5750 Mhz
Throughput	200 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Sede Central
ID Contacto	Región Lima
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 2'52.72"S
	Latitud	77° 1'53.69"O
	Elevación	164m

Información de torre

Torre	Altura:	42 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	21 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Región Lima
ID Contacto	Sede Central
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12°3'5.20" S
	Latitud	77°1'41.80" O
	Elevación	222m

Información de torre

Torre	Altura:	9 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 – 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	8 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

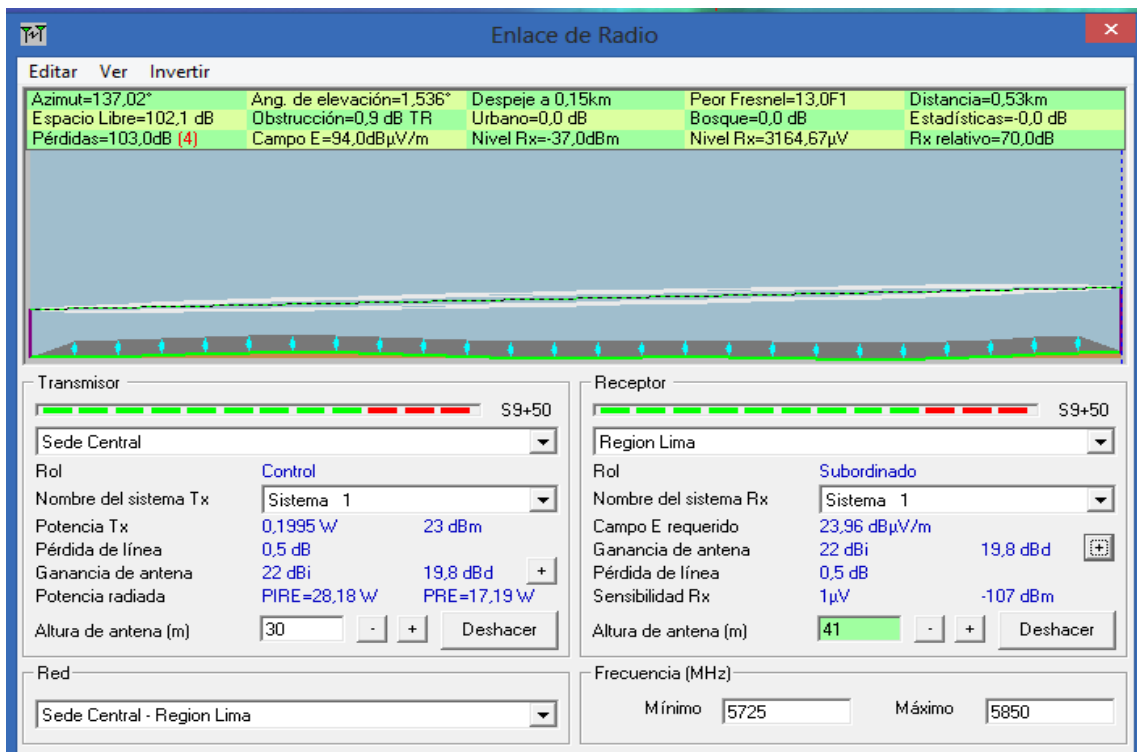


Fig. 3.4. Enlace 1 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

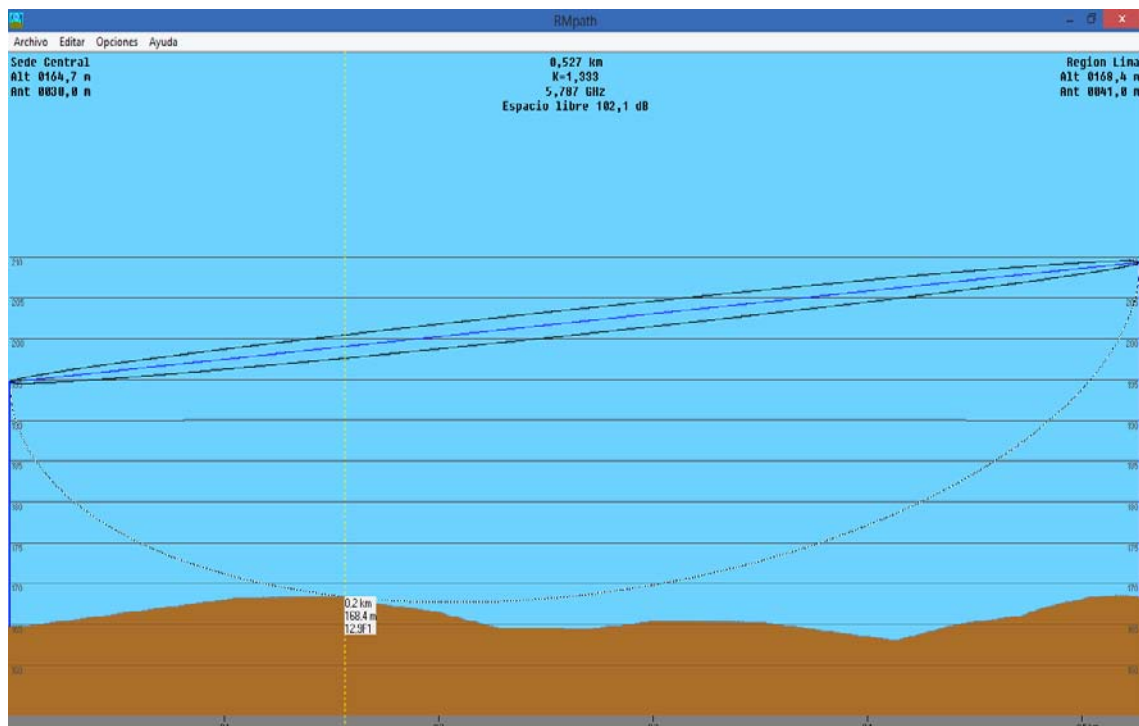


Fig. 3.5. Perfil topográfico del Enlace 1

3.2.6 ENLACE 2

Información del Enlace

Enlace	Región Lima – Establecimiento Penitenciario Grau
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	0,4 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5820 Mhz
Throughput	150 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Regio Lima
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario Grau
Regiónclimática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12°3'5.20" S
	Latitud	77°1'41.80" O
	Elevación	222m

Información de torre

Torre	Altura:	9 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	8 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Establecimiento Penitenciario Grau
ID Contacto	Región Lima
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 3'24.58"S
	Latitud	77° 1'41.78"O
	Elevación	182m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 – 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	26 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

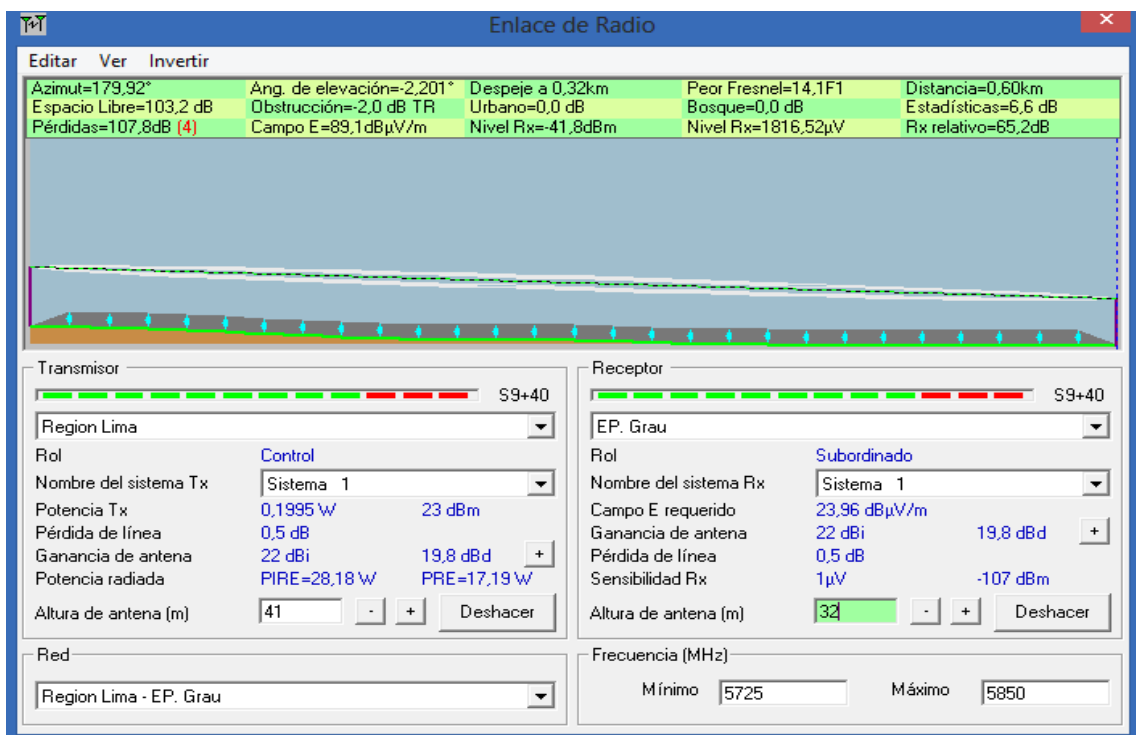


Fig. 3.6. Enlace 2 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

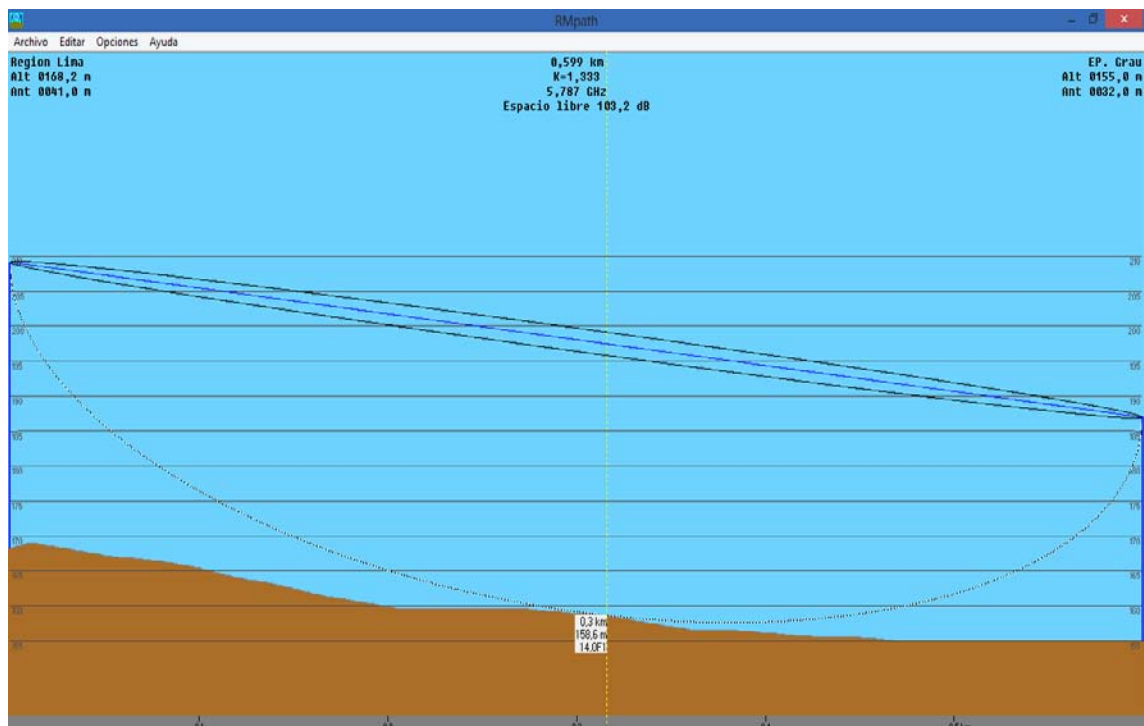


Fig. 3.7. Perfil topográfico del Enlace 2

3.2.7 ENLACE 3

Información del Enlace

Enlace	Establecimiento Penitenciario Grau – Establecimiento Penitenciario Temporal
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	0,7 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5780 Mhz
Throughput	150 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Establecimiento Penitenciario Grau
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario Temporal
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 3'24.58"S
	Latitud	77° 1'41.78"O
	Elevación	182m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	34 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Establecimiento Penitenciario Temporal
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario Grau
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 3'26.99"S
	Latitud	77° 2'6.52"O
	Elevación	181m

Información de torre

Mástil	Altura:	6 m
	Estructura:	Metálica Lineal

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 – 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	4 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

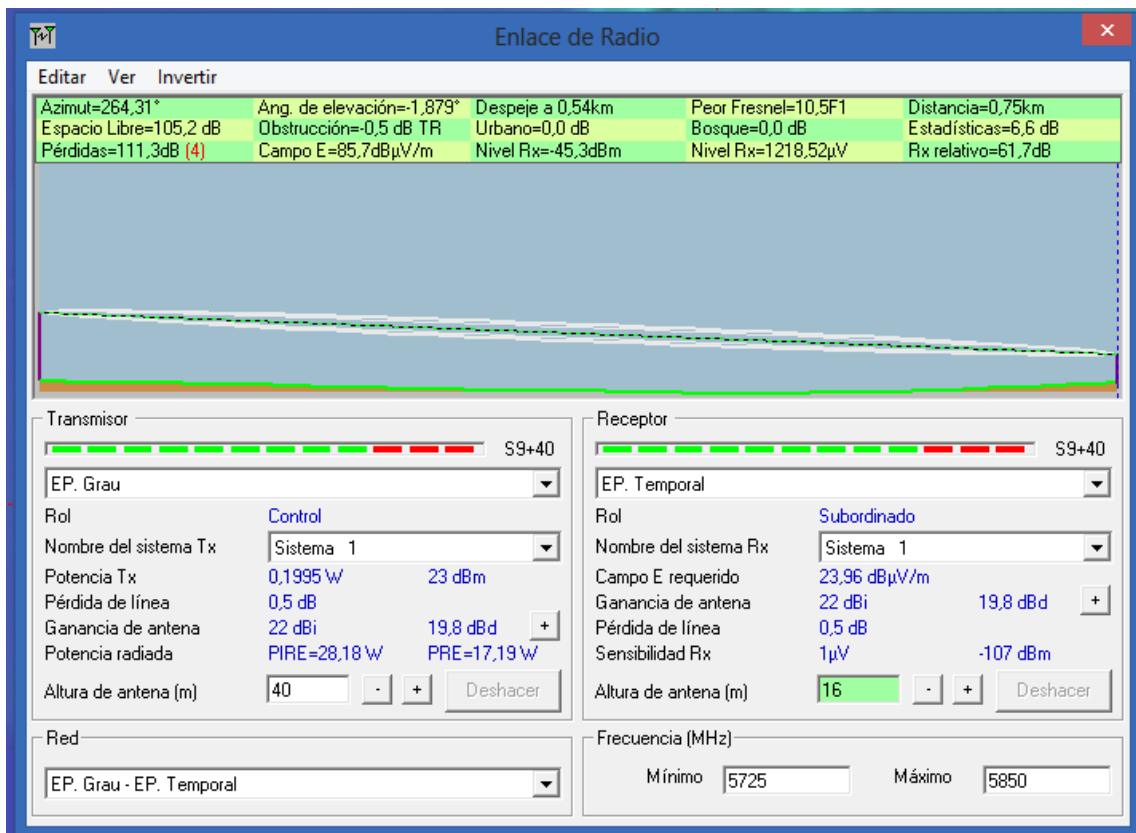


Fig. 3.8. Enlace 3 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

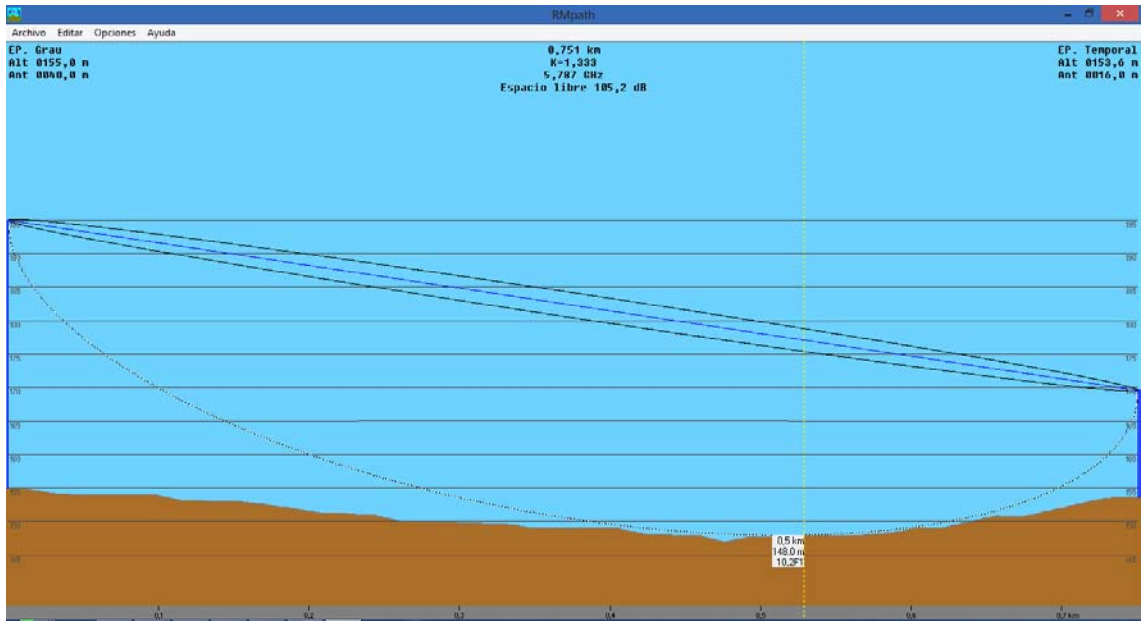


Fig. 3.9. Perfil topográfico del Enlace 3

3.2.8 ENLACE 4

Información del Enlace

Enlace	Establecimiento Penitenciario Temporal – Sede Central
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	1,1 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5725 Mhz
Throughput	200 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Establecimiento Penitenciario Temporal
ID Contacto	Sede Central
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 3'26.99"S
	Latitud	77° 2'6.52"O
	Elevación	181m

Información de torre

Mástil	Altura:	6 m
	Estructura:	Metálica Lineal

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	5 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Sede Central
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario Temporal
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 2'52.72"S
	Latitud	77° 1'53.69"O
	Elevación	164m

Información de torre

Torre	Altura:	42 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 – 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	28 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

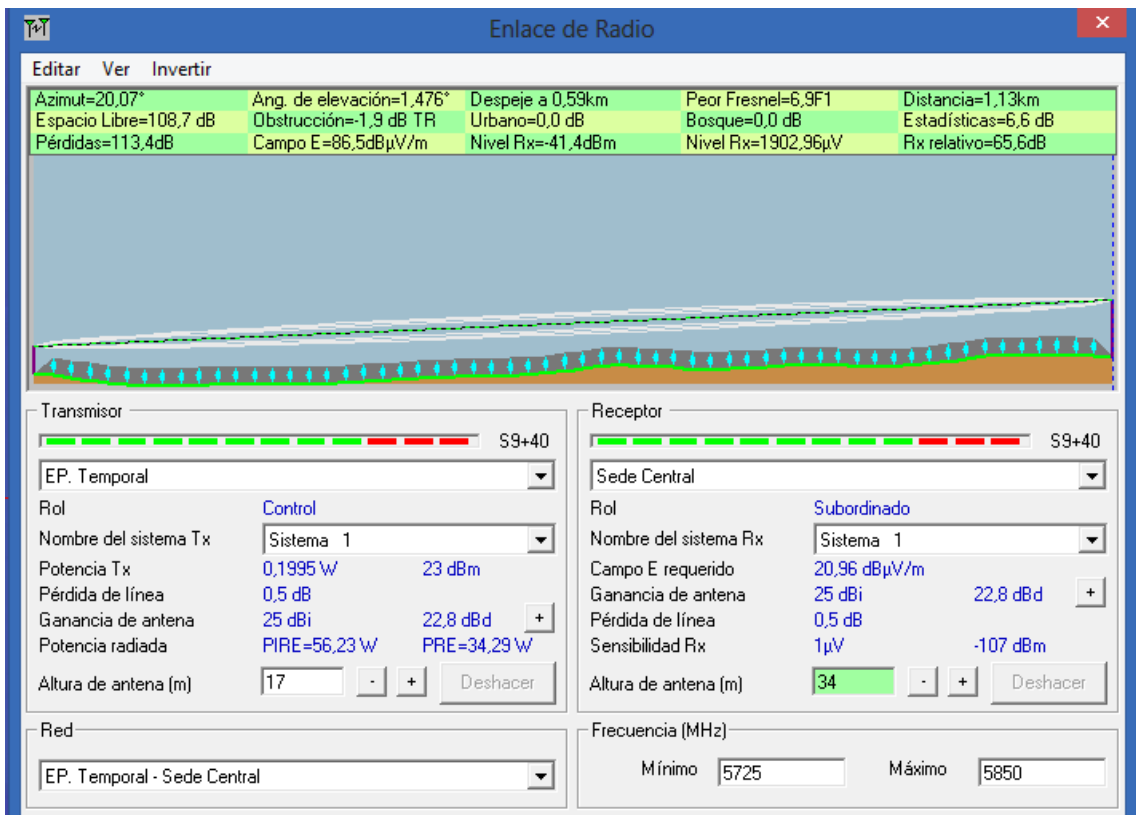


Fig. 3.10. Enlace 4 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

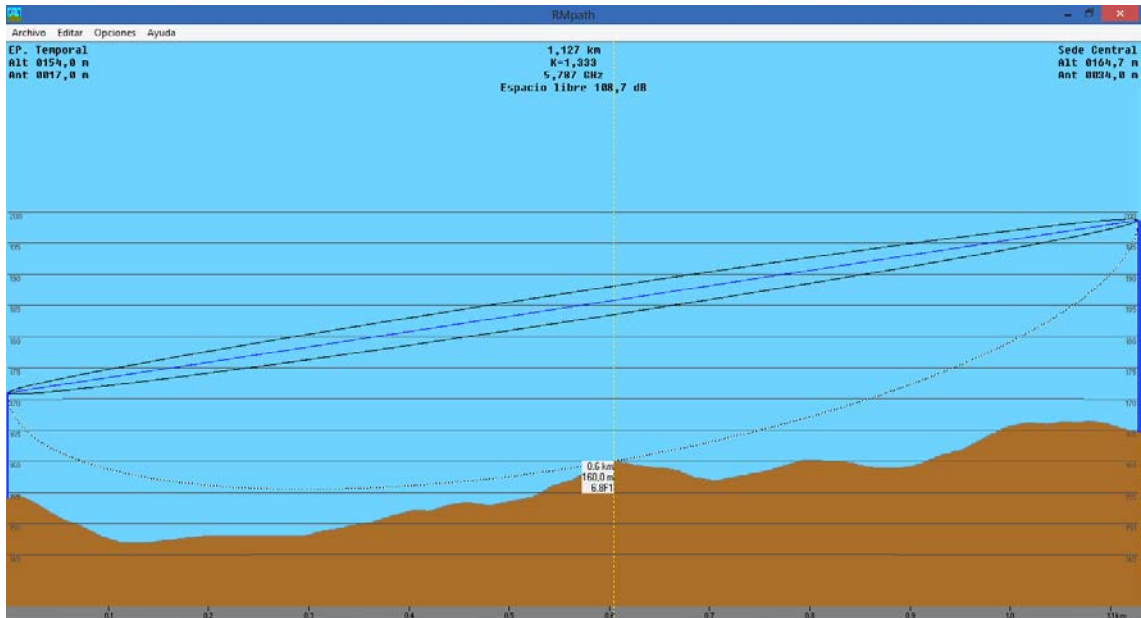


Fig. 3.11. Perfil topográfico del Enlace 4

3.2.9 ENLACE 5

Información del Enlace

Enlace	Sede Central – Repetidora Centro Cívico
Tipo	1+1
Distancia del Enlace	1,14 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5820 Mhz
Throughput	300 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Sede Central
ID Contacto	Repetidora Centro Cívico
Regiónclimática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 2'52.72"S
	Latitud	77° 1'53.69"O
	Elevación	164m

Información de torre

Torre	Altura:	42 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipode antena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 28 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	41 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Repetidora Centro Cívico
ID Contacto	Sede Central
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 3'22.27"S
	Latitud	77° 2'13.54"O
	Elevación	263m

Información de torre

Torre	Altura:	12 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 – 28 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	11 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

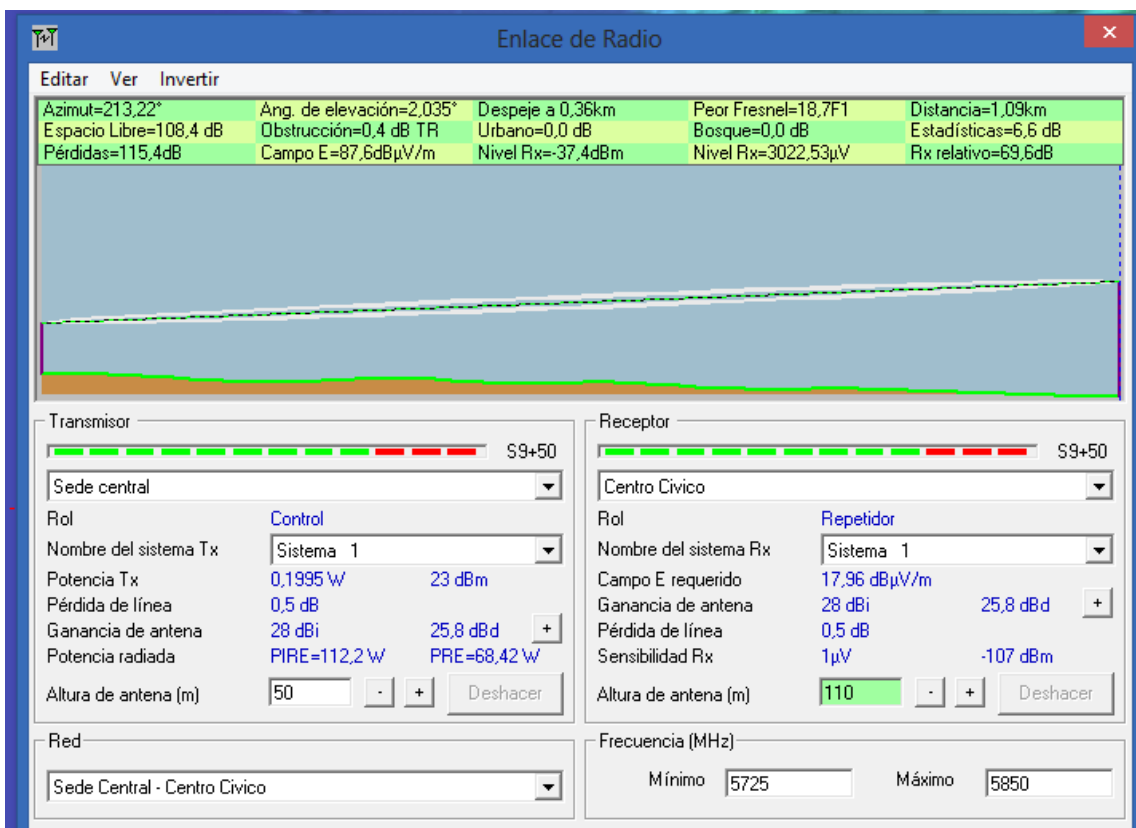


Fig. 3.12. Enlace 5 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

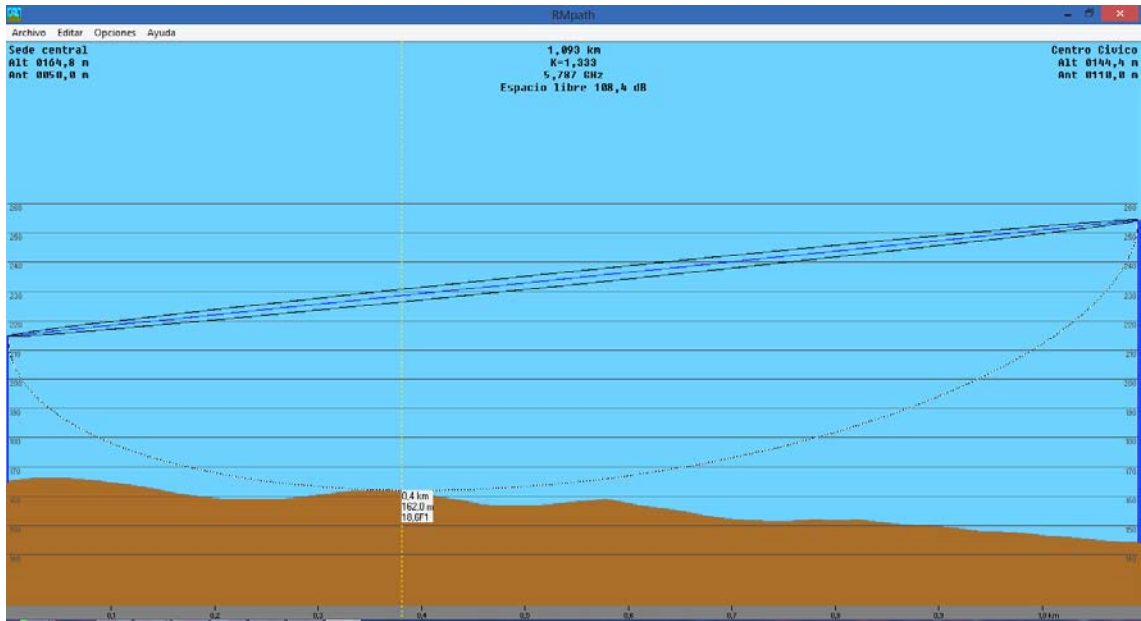


Fig. 3.13. Perfil topográfico del Enlace 5

3.2.10 ENLACE 6

Información del Enlace

Enlace	Repetidora Centro Cívico – Repetidora Cerro Obstáculo
Tipo	1+1
Distancia del Enlace	9,2 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5735 Mhz
Throughput	300 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Repetidora Centro Cívico
ID Contacto	Repetidora Cerro Obstáculo
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 3'22.27"S
	Latitud	77° 2'13.54"O
	Elevación	263m

Información de torre

Torre	Altura:	12 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipode antena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 28 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	10 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	24 - 30 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Repetidora Cerro Obstáculo
ID Contacto	Repetidora Centro Cívico
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°59'10.49"S
	Latitud	76°59'29.00"O
	Elevación	406m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 – 28 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	35 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	24 – 30 dBm

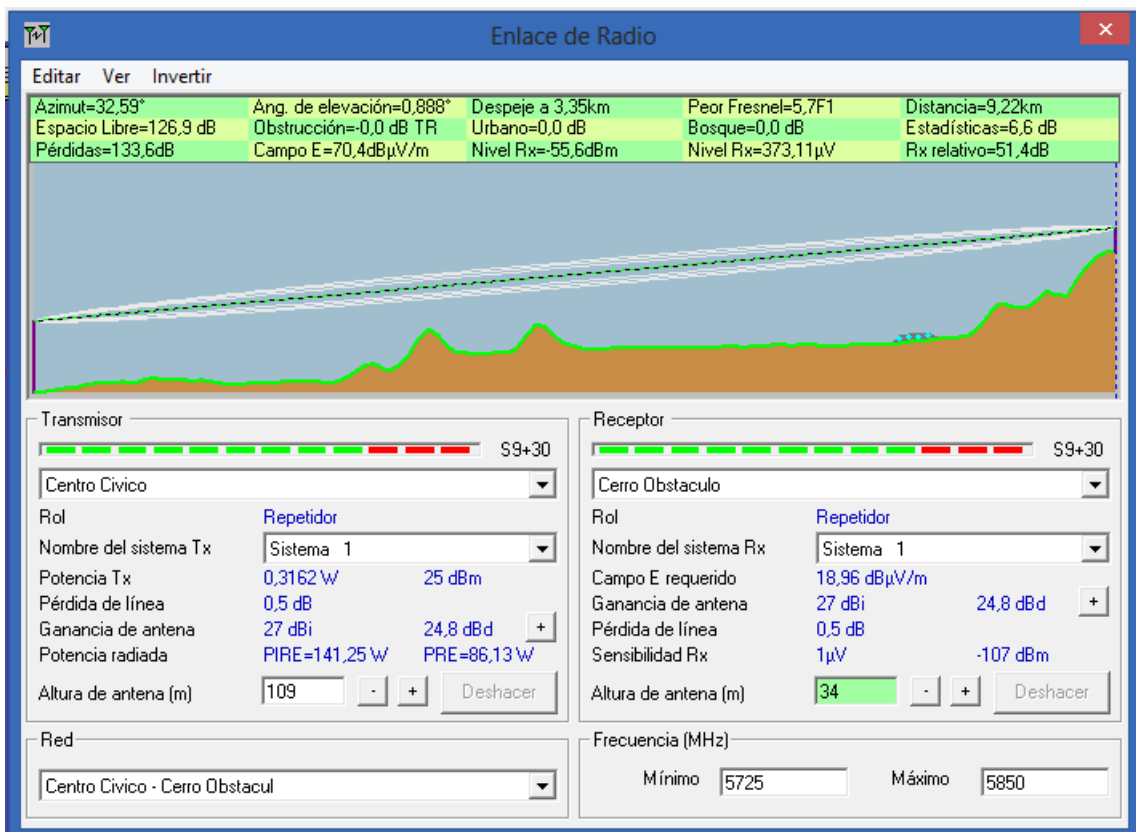


Fig. 3.14. Enlace 6 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

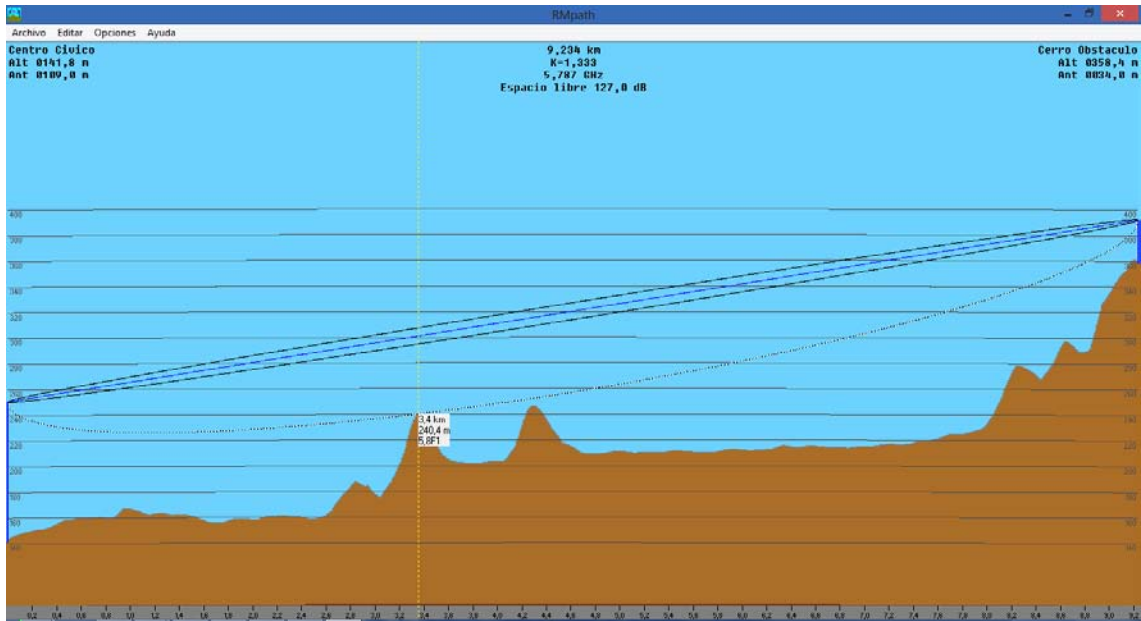


Fig. 3.15. Perfil topográfico del Enlace 6

3.2.11 ENLACE 7

Información del Enlace

Enlace	Repetidora Cerro obstáculo – Establecimiento Penitenciario Santa Rosa
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	0,4 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5840 Mhz
Throughput	150 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Repetidora Cerro Obstáculo
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario Santa Rosa
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°59'10.49"S
	Latitud	76°59'29.00"O
	Elevación	406m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	30 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Establecimiento Penitenciario Santa Rosa
ID Contacto	Repetidora Cerro Obstáculo
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°59'2.11"S
	Latitud	76°59'20.92"O
	Elevación	296m

Información de torre

Torre	Altura:	12 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 – 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	10 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

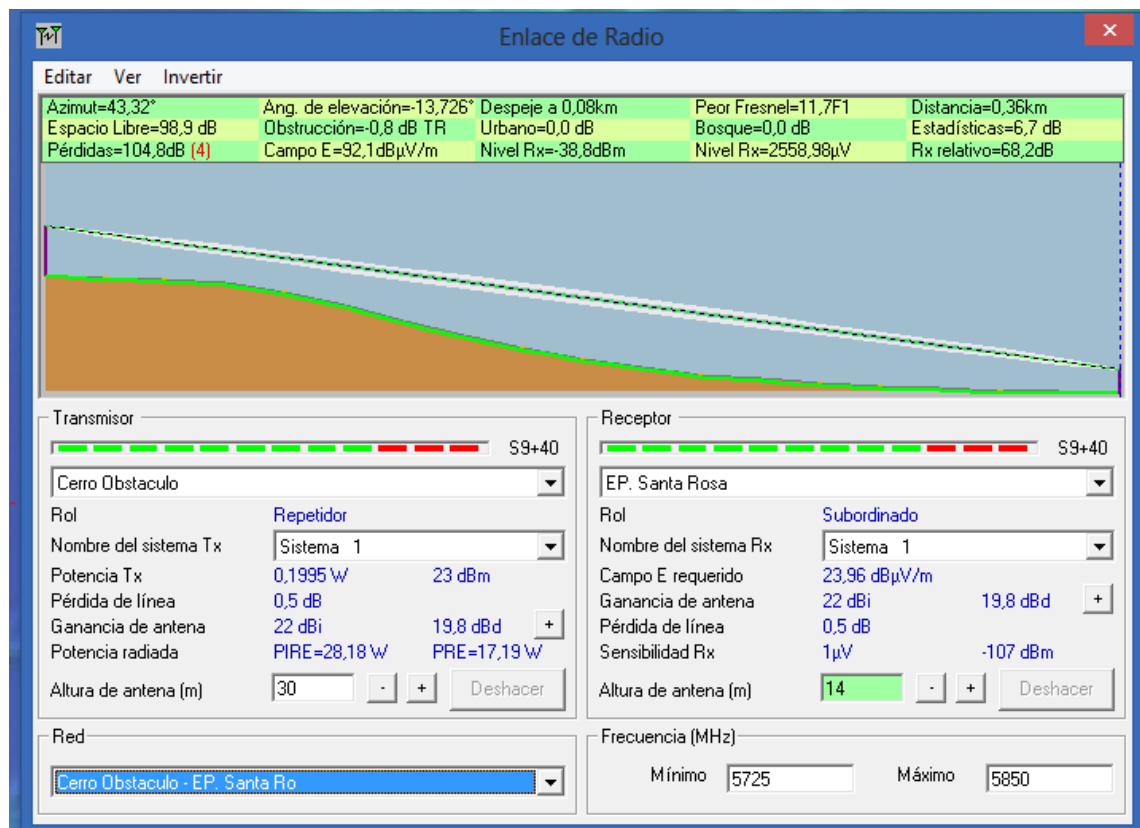


Fig. 3.16. Enlace 7 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

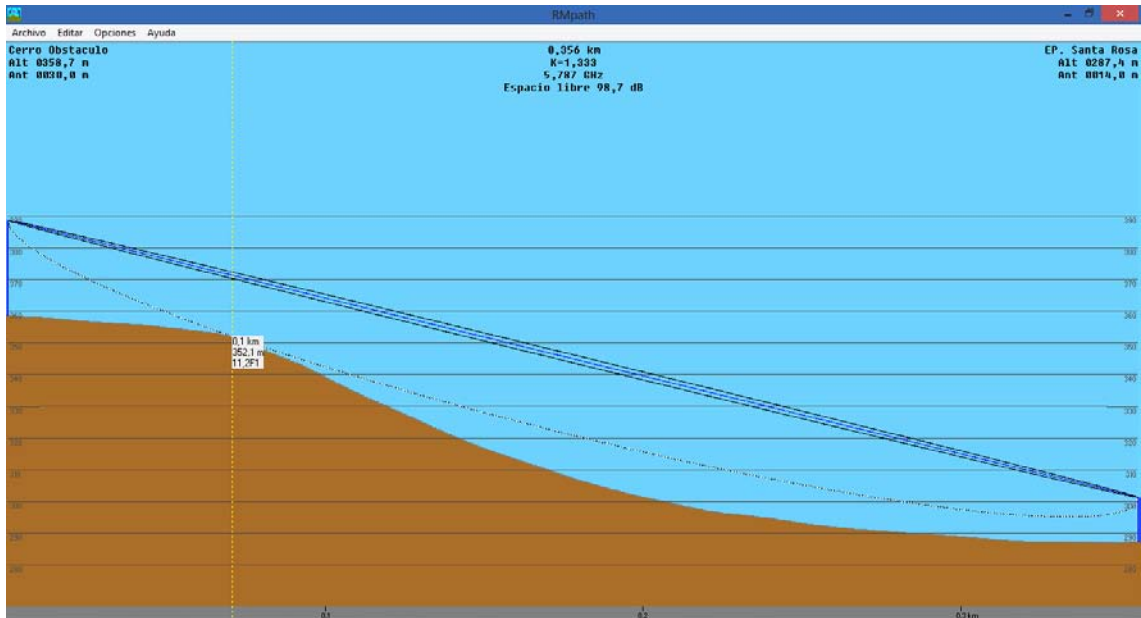


Fig. 3.17. Perfil topográfico del Enlace 7

3.2.12 ENLACE 8

Información del Enlace

Enlace	Repetidora Cerro obstáculo – Establecimiento Penitenciario San Juan
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	0,2 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5760 Mhz
Throughput	150 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Repetidora Cerro Obstáculo
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario San Juan
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°59'10.49"S
	Latitud	76°59'29.00"O
	Elevación	406m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	25 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Establecimiento Penitenciario San Juan
ID Contacto	Repetidora Cerro obstáculo
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°59'15.63"S
	Latitud	76°59'31.53"O
	Elevación	265m

Información de torre

Torre	Altura:	9 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 – 25 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	8 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

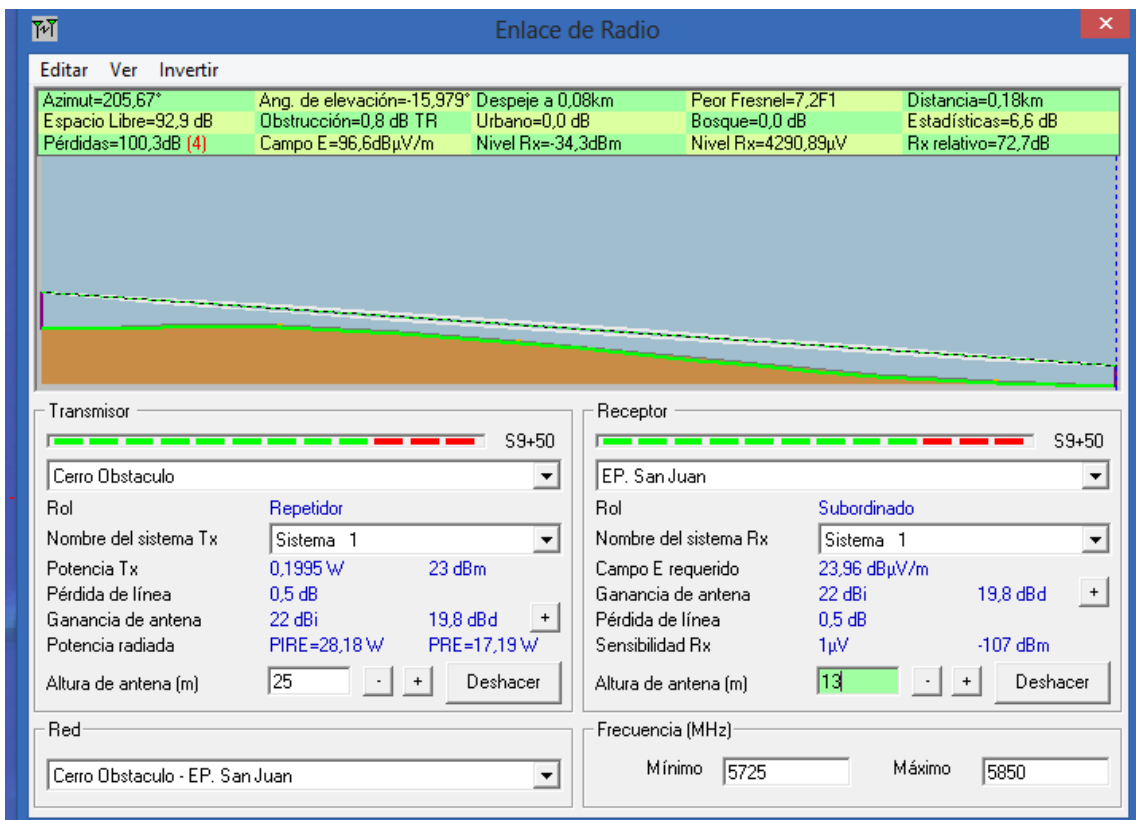


Fig. 3.18. Enlace 8 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

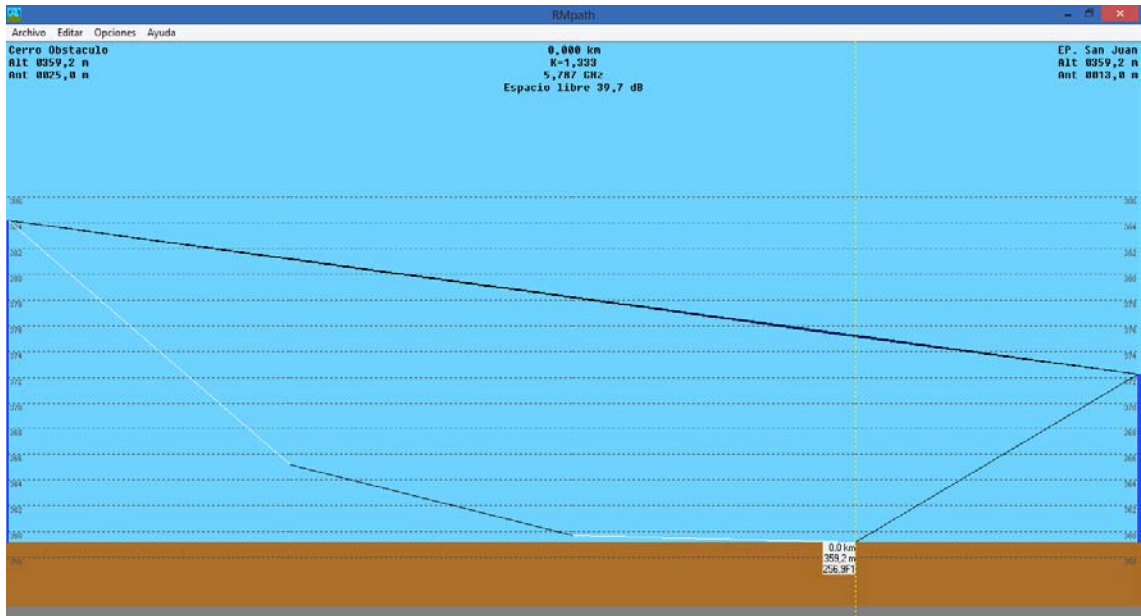


Fig. 3.19. Perfil topográfico del Enlace 8

3.2.13 ENLACE 9

Información del Enlace

Enlace	Repetidora Centro Cívico – Establecimiento Penitenciario Defensores del Morro
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	13,6 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5765 Mhz
Throughput	150 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Repetidora Centro Cívico
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario Defensores del Morro
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 3'22.27"S
	Latitud	77° 2'13.54"O
	Elevación	263m

Información de torre

Torre	Altura:	12 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	25 - 30 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	10 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	24 - 30 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Establecimiento Penitenciario Defensores del Morro
ID Contacto	Repetidora Centro Cívico
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12°10'33.46"S
	Latitud	77° 1'6.36"O
	Elevación	59m

Información de torre

Torre	Altura:	45 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	25 – 30 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	44 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	24 – 30 dBm

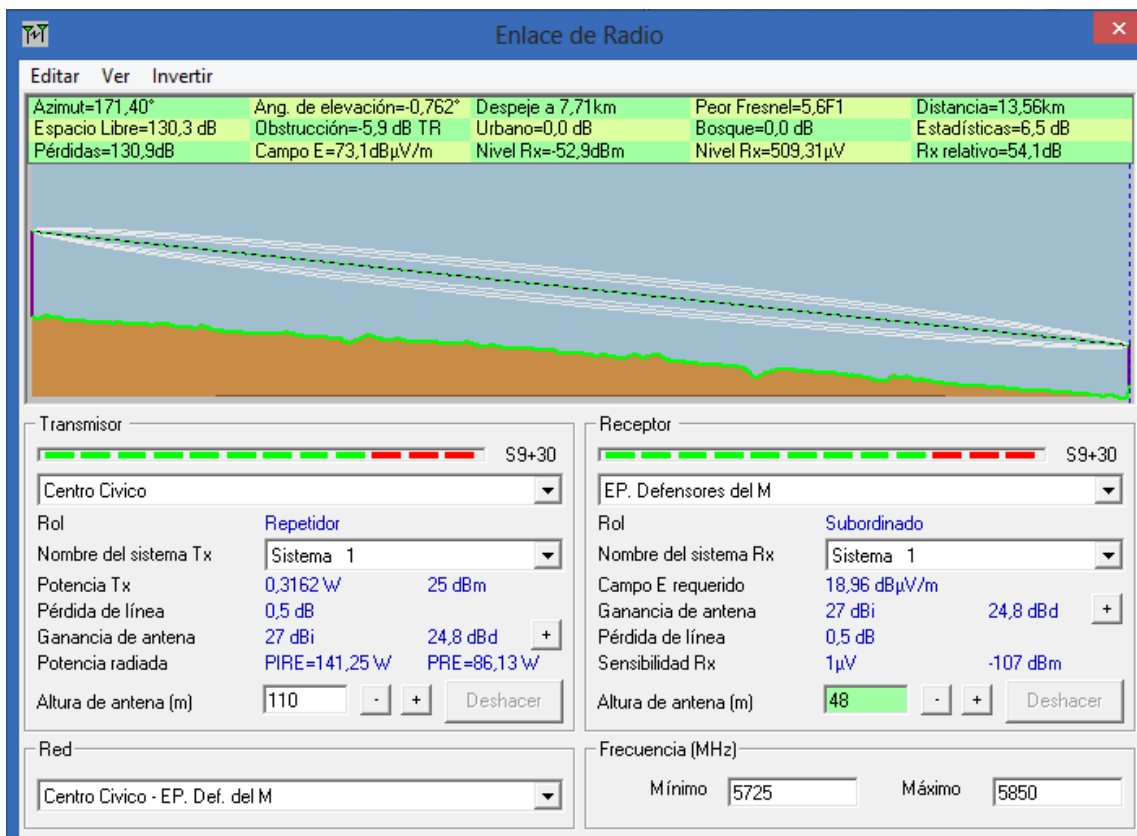


Fig. 3.20. Enlace 9 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

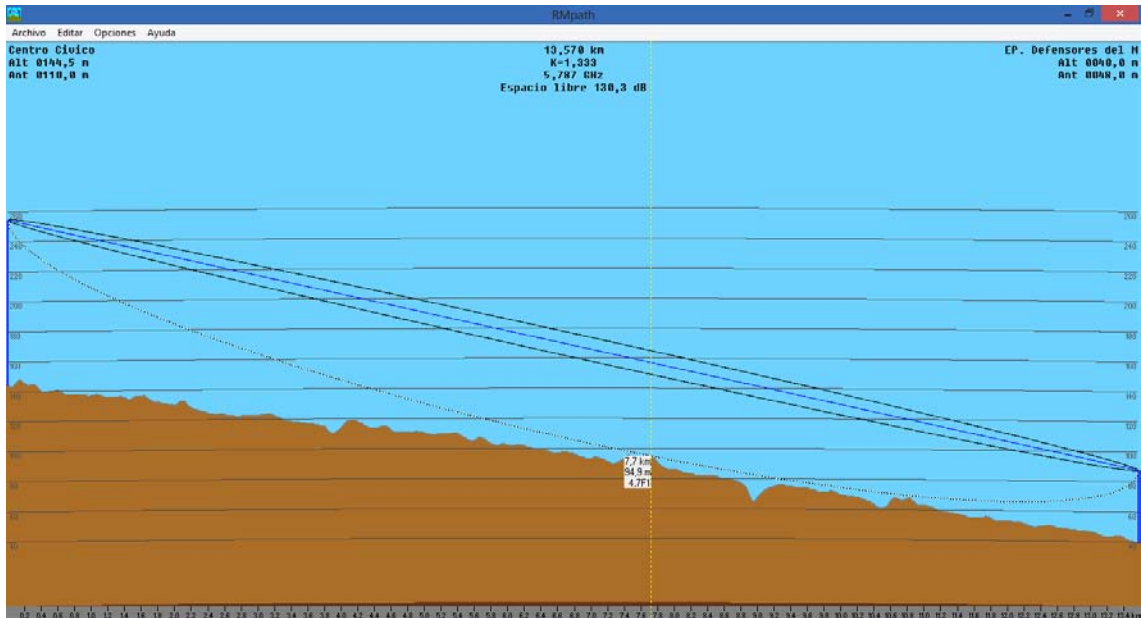


Fig. 3.21. Perfil topográfico del Enlace 9

3.2.14 ENLACE 10

Información del Enlace

Enlace	Sede Central – Repetidora Cerro la Milla
Tipo	1+1
Distancia del Enlace	5,07 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5780 Mhz
Throughput	300 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Sede Central
ID Contacto	Repetidora Cerro la Milla
Regiónclimática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 2'52.72"S
	Latitud	77° 1'53.69"O
	Elevación	164m

Información de torre

Torre	Altura:	42 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 34 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	25 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	24 - 30 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Repetidora Cerro la Milla
ID Contacto	Sede Central
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12°1'17.90" S
	Latitud	77°4'10.10" O
	Elevación	247m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre Auto-soportada

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 - 34 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	30 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	24 – 30 dBm

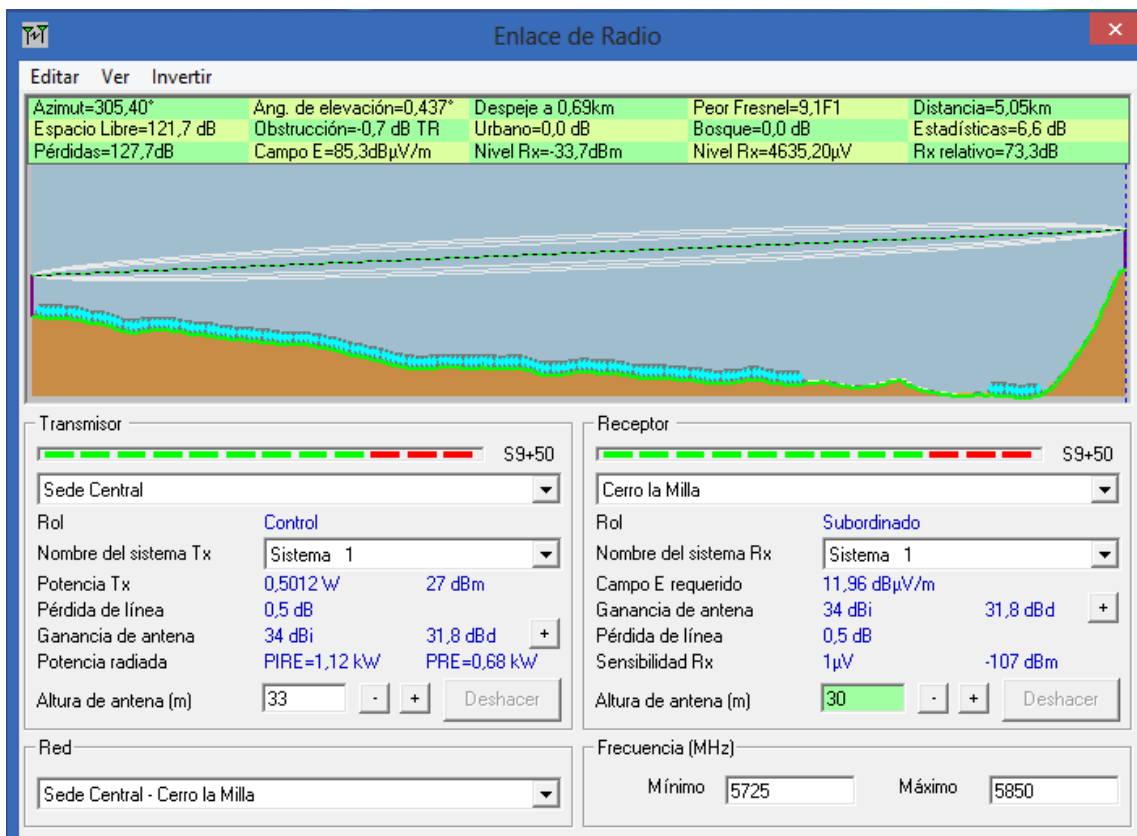


Fig. 3.22. Enlace 10 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

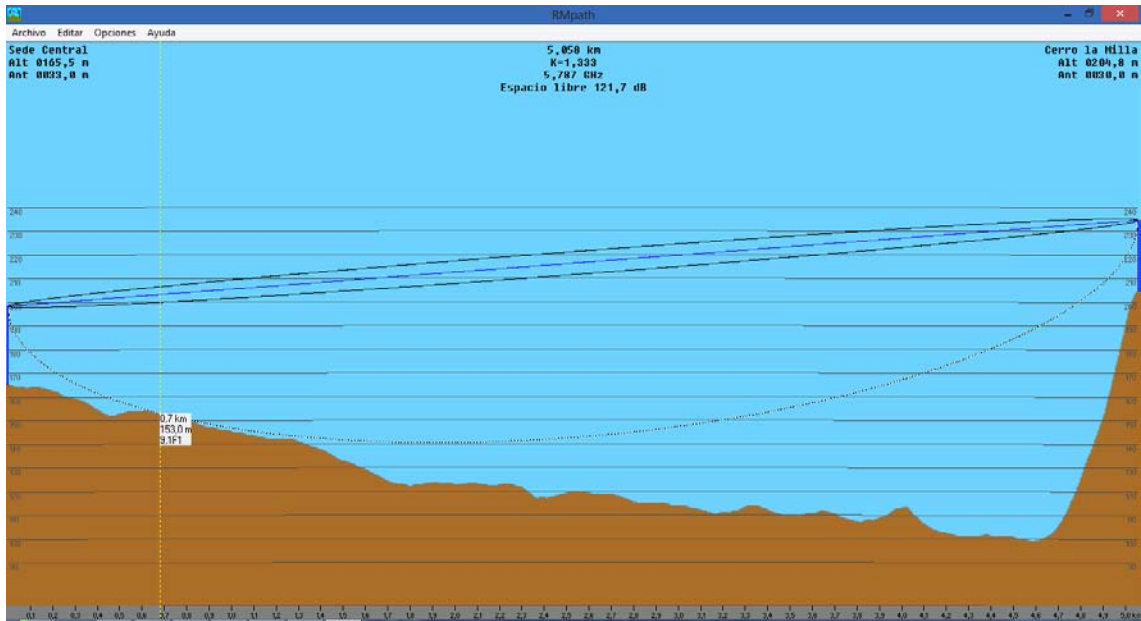


Fig. 3.23. Perfil topográfico del Enlace 10

3.2.15 ENLACE 11

Información del Enlace

Enlace	Repetidora Cerro la Milla – Repetidora Cerro Grande
Tipo	1+1
Distancia del Enlace	21,4 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5830 Mhz
Throughput	300 Mbps agregados

SITE 1

Información General

ID Sitio	Repetidora Cerro la Milla
ID Contacto	Repetidora Cerro Grande
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12°1'17.90" S
	Latitud	77°4'10.10" O
	Elevación	247m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre Auto-soportada

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico
Ganancia de Antena	27 - 34 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	25 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	24 - 30 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Repetidora Cerro grande
ID Contacto	Repetidora Cerro la Milla
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°50'19.50" S
	Latitud	77°7'53.10" O
	Elevación	378m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre Auto-soportada

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	27 - 34 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	22 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	24 – 30 dBm

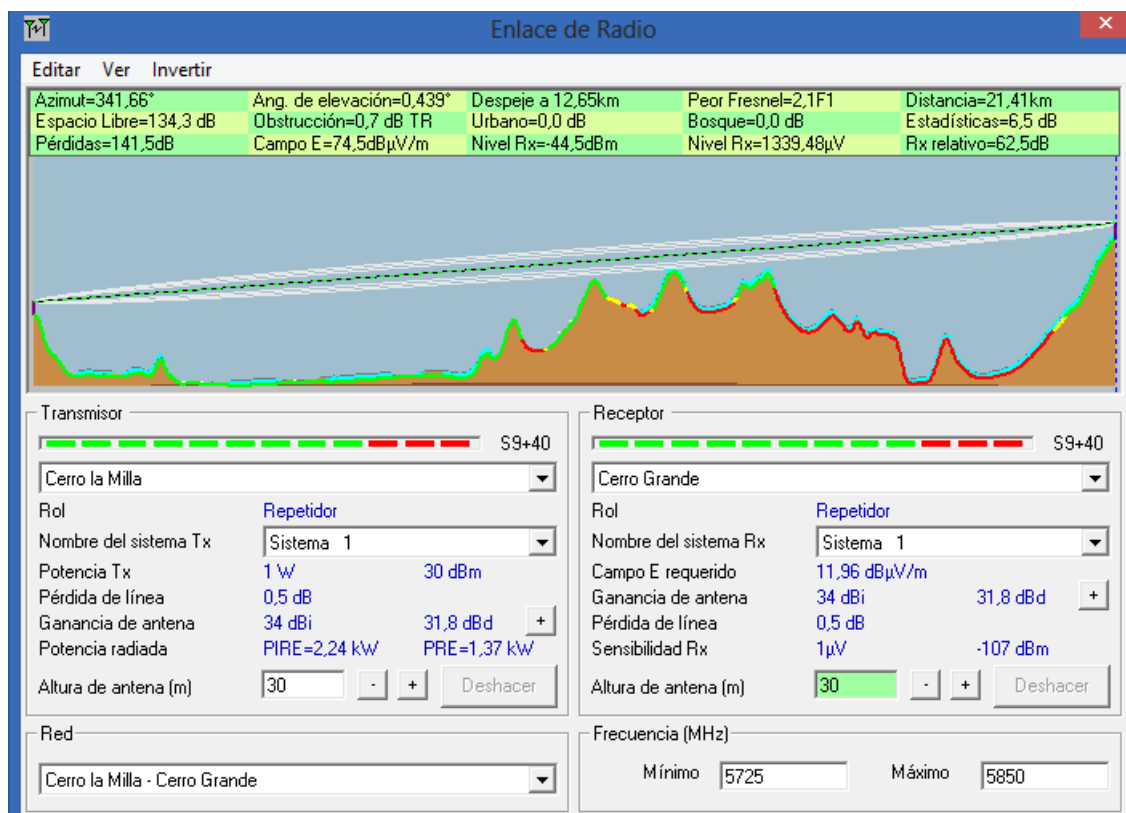


Fig. 3.24. Enlace 11 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

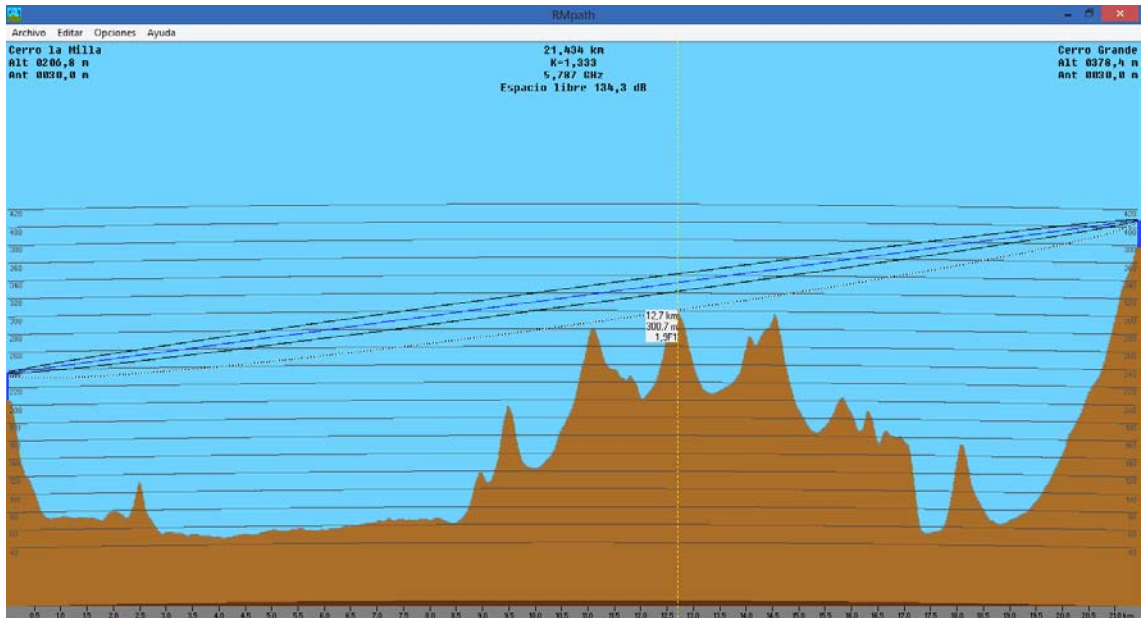


Fig. 3.25. Perfil topográfico del Enlace 11

3.2.16 ENLACE 12

Información del Enlace

Enlace	Repetidora Cerro Grande – Establecimiento Penitenciario San Pedro I
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	3,2 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5755 Mhz
Throughput	150 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Repetidora Cerro Grande
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario San Pedro I
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°50'19.50" S
	Latitud	77°7'53.10" O
	Elevación	378m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre Auto-soportada

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	25 - 30 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	35 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Establecimiento Penitenciario San Pedro I
ID Contacto	Repetidora Cerro Grande
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°48'39.51" S
	Latitud	77° 7'25.06" O
	Elevación	192m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	25 – 30 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	35 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

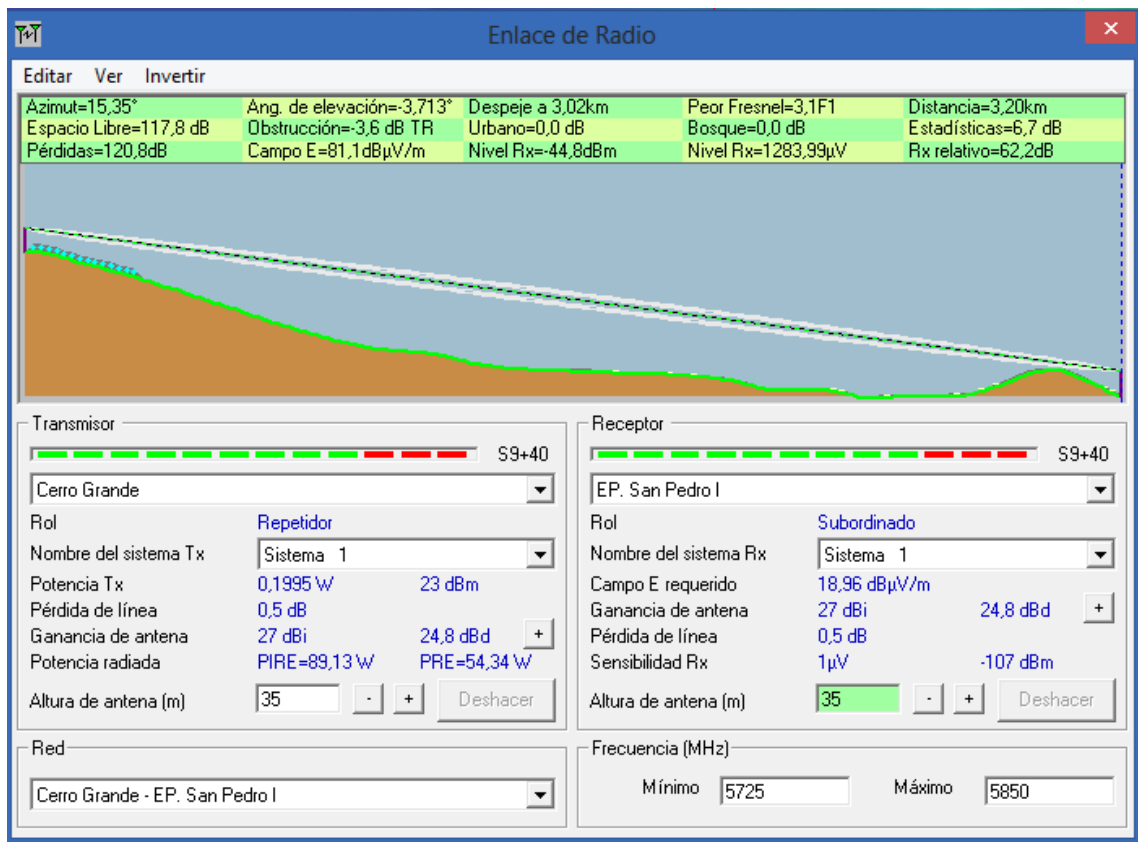


Fig. 3.26. Enlace 12 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

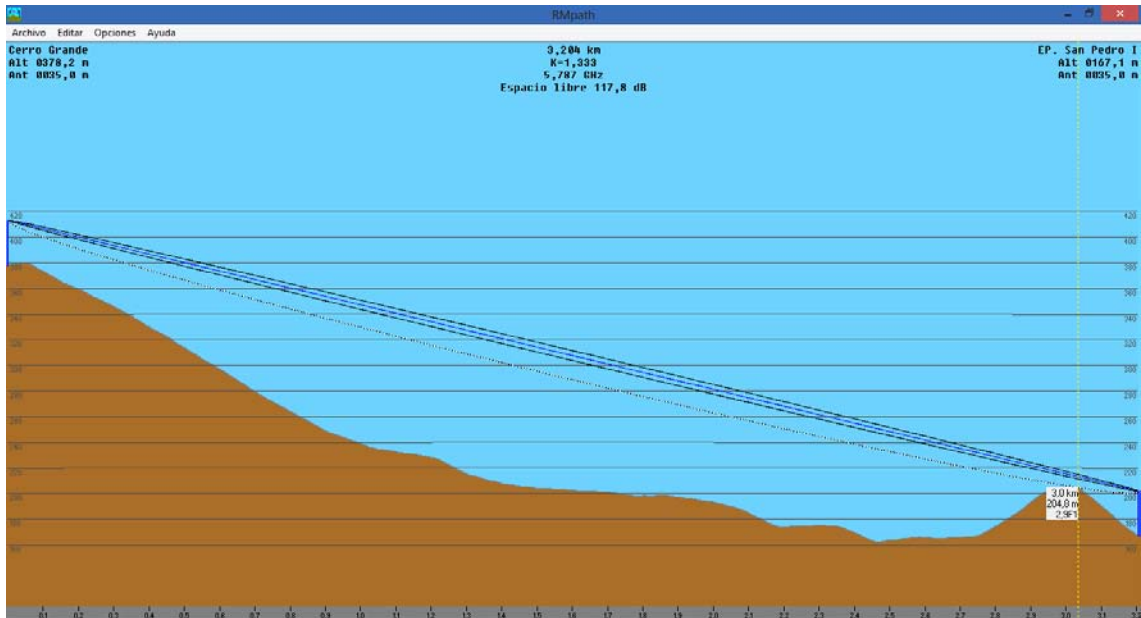


Fig. 3.27. Perfil topográfico del Enlace 12

3.2.17 ENLACE 13

Información del Enlace

Enlace	Establecimiento Penitenciario San Pedro I – Establecimiento Penitenciario II
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	0,49 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5840 Mhz
Throughput	150 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Establecimiento Penitenciario San Pedro I
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario San Pedro II
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°48'39.51"S
	Latitud	77° 7'25.06"O
	Elevación	192m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipode antena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 27 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	31 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Establecimiento Penitenciario San Pedro II
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario San Pedro I
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°48'47.88"S
	Latitud	77° 7'11.40"O
	Elevación	213m

Información de torre

Torre	Altura:	45 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 – 27 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	36 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

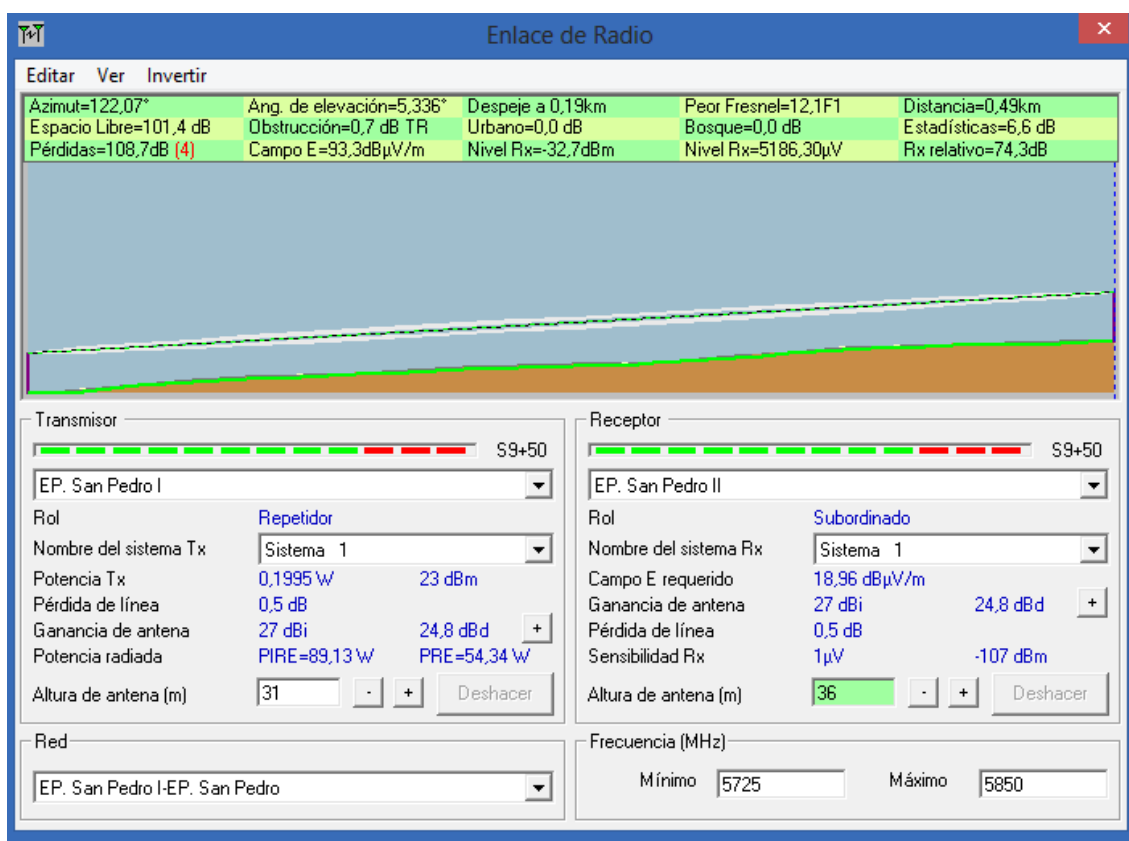


Fig. 3.28. Enlace 13 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

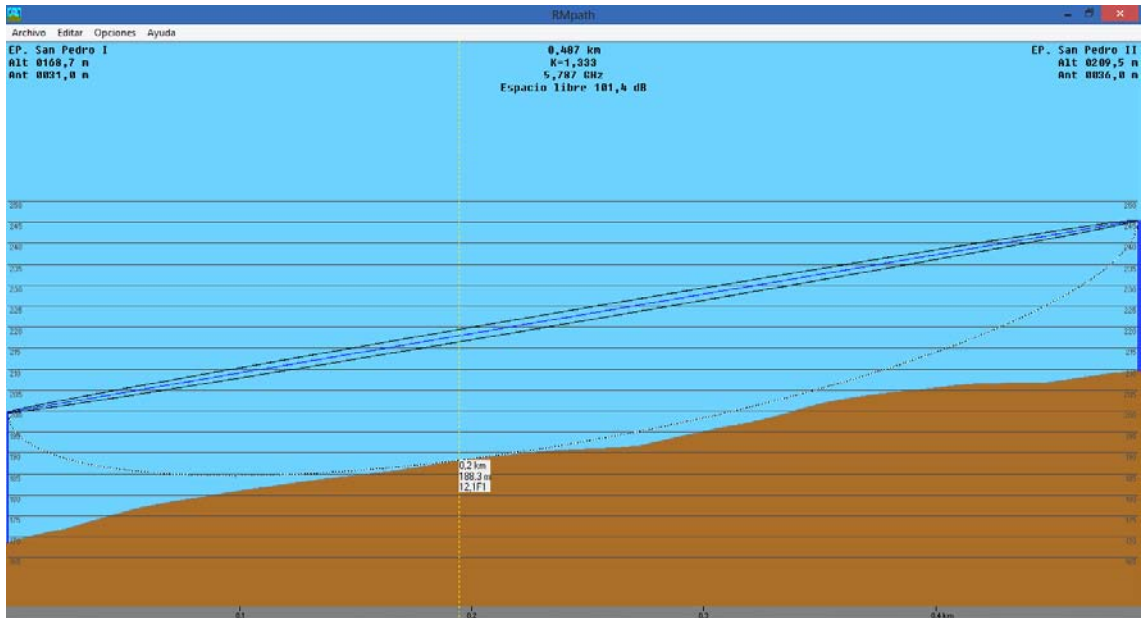


Fig. 3.29. Perfil topográfico del Enlace 13

3.2.18 ENLACE 14

Información del Enlace

Enlace	Repetidora Cerro Grande – Establecimiento Penitenciario San Pedro II
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	3,1 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5805 Mhz
Throughput	150 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Repetidora Cerro Grande
ID Contacto	Establecimiento Penitenciario San Pedro II
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°50'19.50" S
	Latitud	77°7'53.10" O
	Elevación	378m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre Auto-soportada

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	22 - 30 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	35 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Establecimiento Penitenciario San Pedro II
ID Contacto	Repetidora Cerro Grande
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°48'47.88" S
	Latitud	77° 7'11.40" O
	Elevación	247m

Información de torre

Torre	Altura:	45 m
	Estructura:	Torre Auto-soportada

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	22 – 30 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	44 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

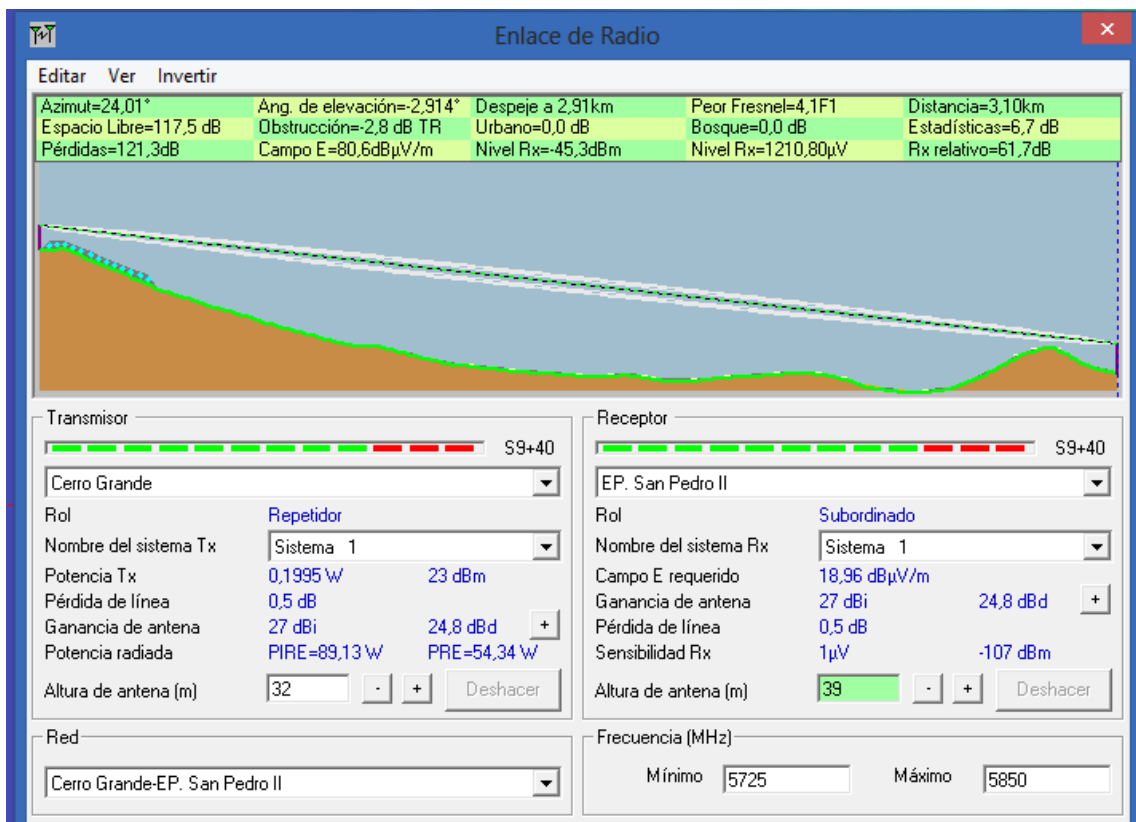


Fig. 3.30. Enlace 14 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

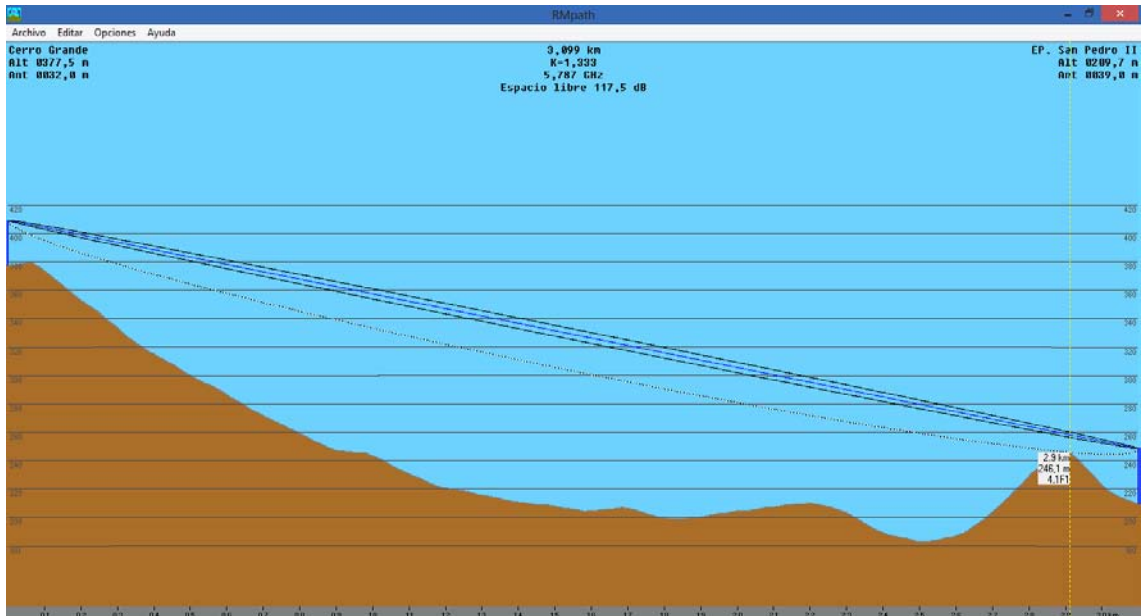


Fig. 3.31. Perfil topográfico del Enlace 14

3.2.19 ENLACE 15

Información del Enlace

Enlace	Repetidora Cerro la Milla – Establecimiento Penitenciario Santo Tomas de Aquino
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	7,2 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5750 Mhz
Throughput	250 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Repetidora Cerro la Milla
ID Contacto	Penitenciario Santo Tomas de Aquino
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 1' 17.90" S
	Latitud	77° 4' 10.10" O
	Elevación	247m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre Auto-soportada

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	25 - 34 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	27 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Penitenciario Santo Tomas de Aquino
ID Contacto	Repetidora Cerro la Milla
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 1' 9.82" S
	Latitud	77° 8' 7.19" O
	Elevación	20m

Información de torre

Torre	Altura:	42 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	25 – 34 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	41 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

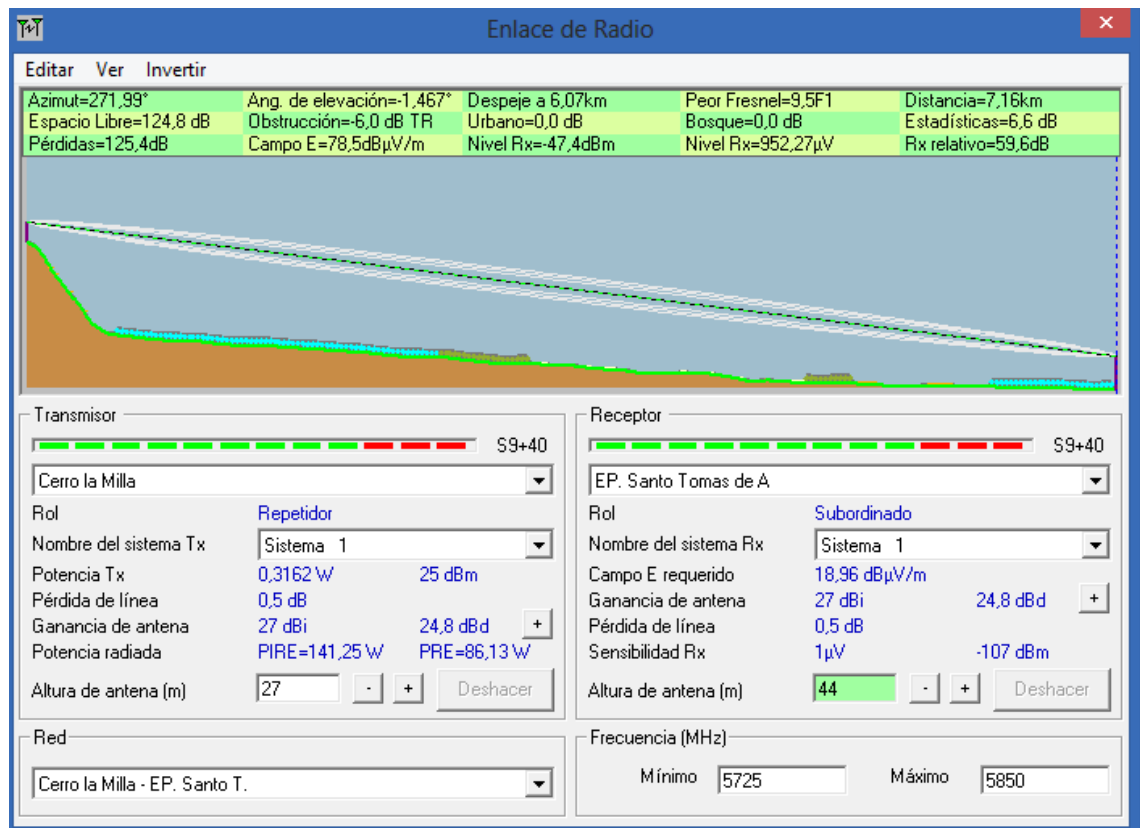


Fig. 3.32. Enlace 15 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

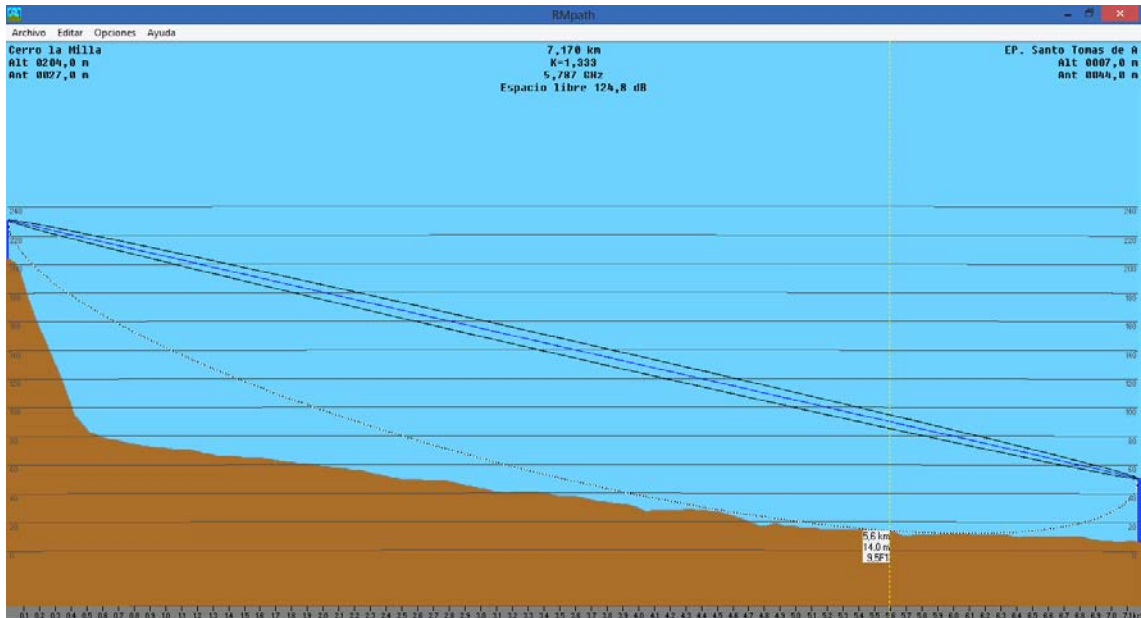


Fig. 3.33. Perfil topográfico del Enlace 15

3.2.20 ENLACE 16

Información del Enlace

Enlace	Repetidora Cerro Grande – Establecimiento Penitenciario Santo Tomas de Aquino
Tipo	1+0
Distancia del Enlace	20,08 Km
Frecuencia de Operación del Enlace	5725 Mhz
Throughput	250 Mbps agregados

SITE 1

Información General

IDSitio	Repetidora Cerro Grande
ID Contacto	Penitenciario Santo Tomas de Aquino
Regiónclimática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	11°50'19.50" S
	Latitud	77°7'53.10" O
	Elevación	378m

Información de torre

Torre	Altura:	36 m
	Estructura:	Torre Auto-soportada

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat Panel
Ganancia de Antena	25 - 34 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	24 m sobre el suelo
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 - 27 dBm

SITE 2

Información General

ID Sitio	Penitenciario Santo Tomas de Aquino
ID Contacto	Repetidora Cerro Grande
Región climática	Costa

Información geográfica del sitio

Coordenadas y Elevación	Longitud	12° 1'9.82"S
	Latitud	77° 8'7.19"O
	Elevación	20m

Información de torre

Torre	Altura:	42 m
	Estructura:	Torre ventada pesada tipo Z

Características de la Antena

Tipodeantena	Plato Parabólico o Flat panel
Ganancia de Antena	25 – 34 dBi
Altura de instalación en la torre de la Antena	41 m
Banda de Frecuencia	5.8 Ghz
Potencia de TX de la Radio	23 – 27 dBm

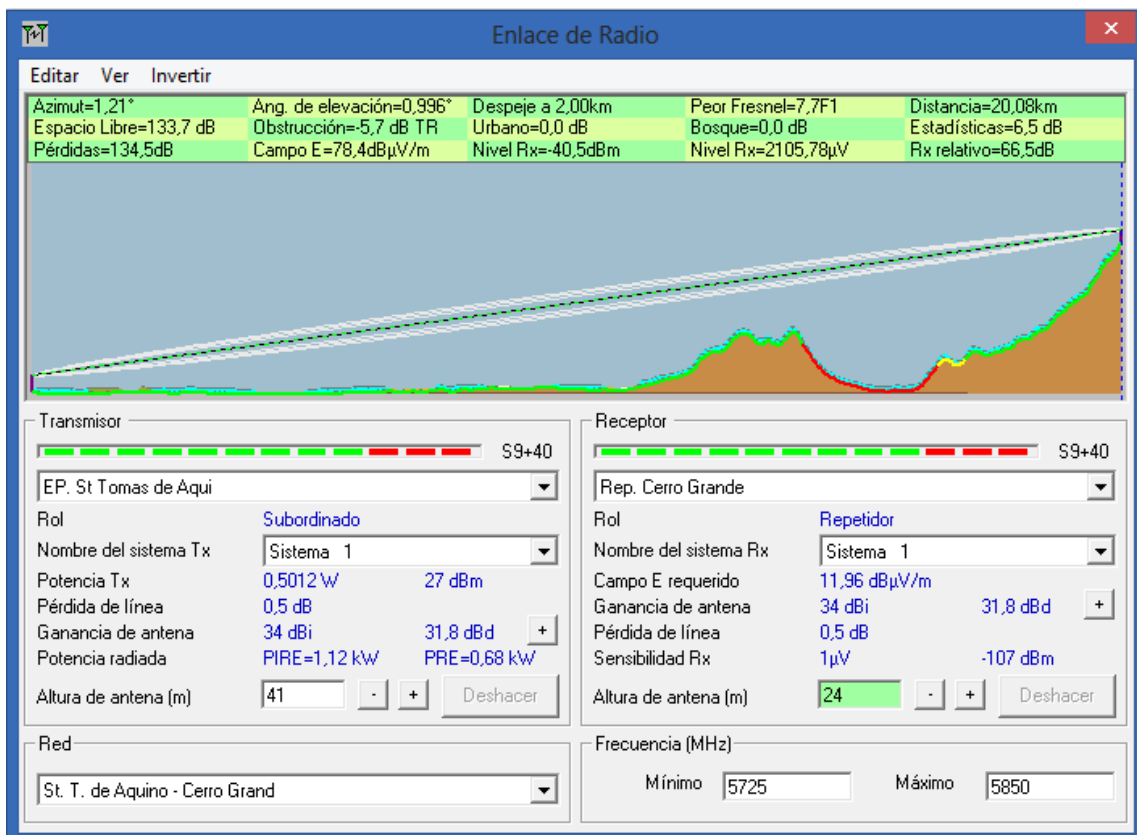


Fig. 3.34. Enlace 16 de Radio mostrando valores de entrada y valores de salida

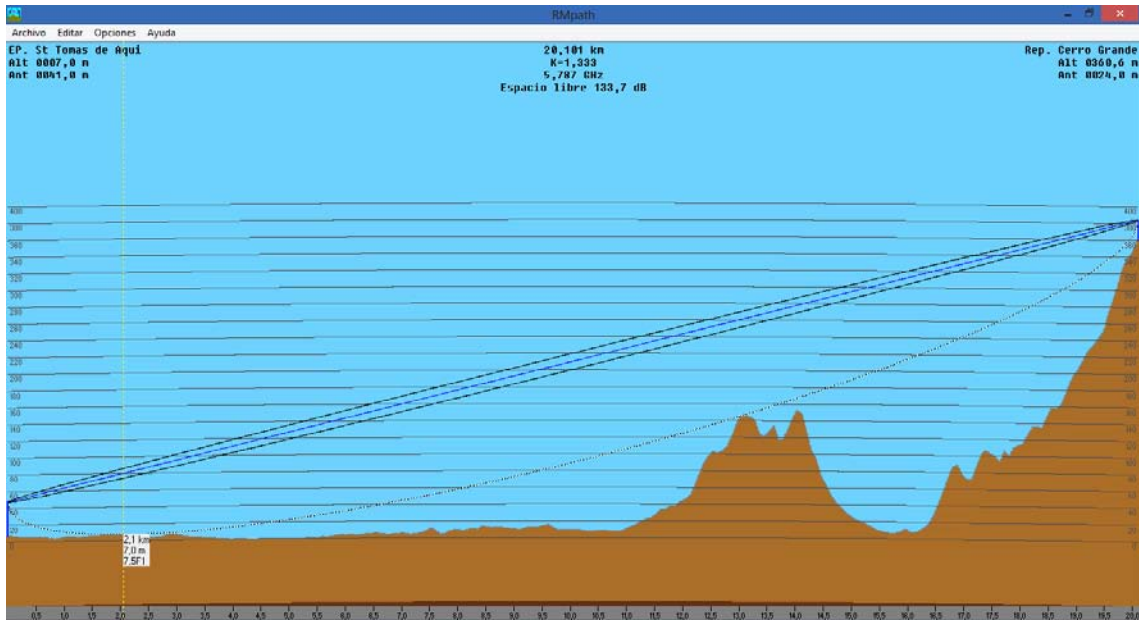


Fig. 3.35. Perfil topográfico del Enlace 16

3.3. REVISION Y CONSOLIDACION DE RESULTADOS

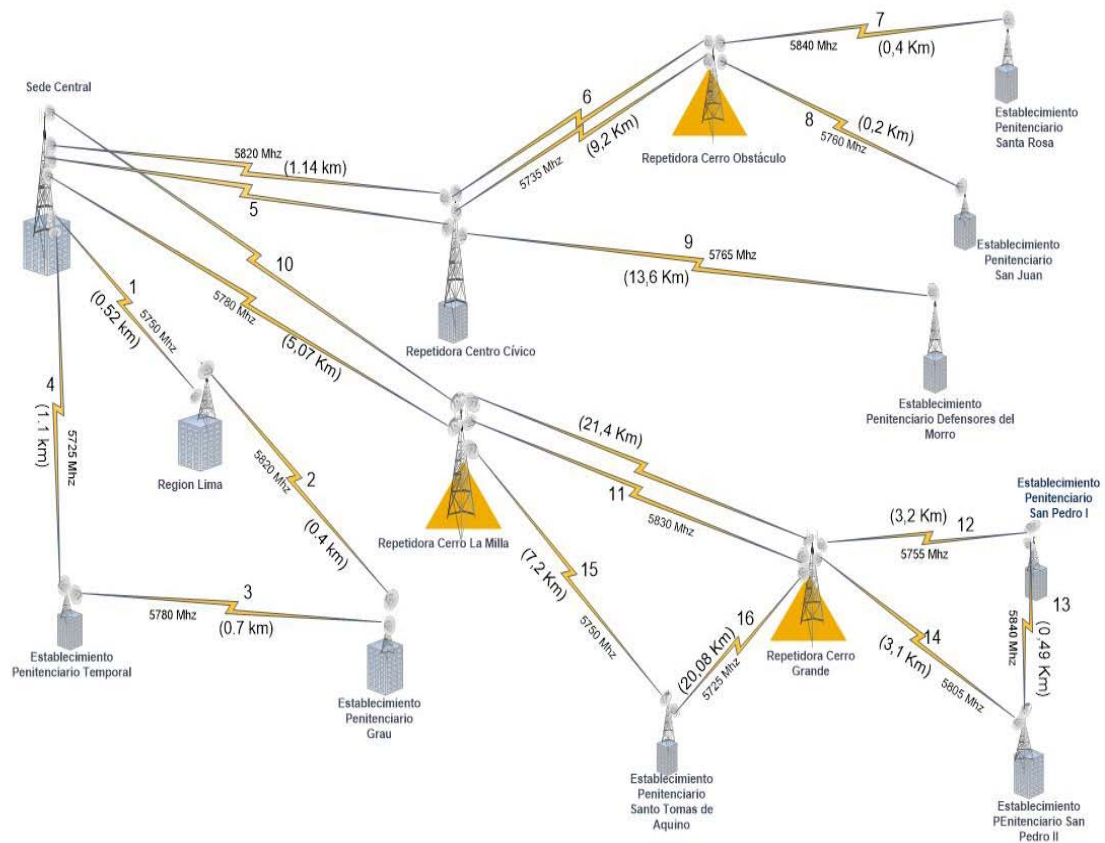


Fig. 3.36. Sistema de Radio Enlace de los Establecimientos Penitenciarios de Lima y Callao

De acuerdo al “Sistema de Radio Enlace de los Establecimientos Penitenciario de Lima y Callao” que se desea implementar, mostrado en el gráfico de arriba y a los resultados obtenidos en la construcción del Sistema simulado, se ha obtenido los resultados mostrados en la tabla de abajo cuya información brindada me permite poder realizar la implementación de dicho Sistema. Los datos obtenidos son aproximados por lo cual la ganancia de las antenas tiene un rango así como la potencia de transmisión de los equipos permitiéndome elegir el mejor valor en el campo de acuerdo a los diferentes factores de atenuación.

ENLACE					
Nº	TIPO	Sedes	Distancia	Frecuencia	Ganancia de las Antenas
1	1+0	Sede Central-Región Lima	0,52 Km	5750 Mhz	25 dBi
2	1+0	Región Lima-EP. Grau	0,4 Km	5820 Mhz	22 dBi
3	1+0	EP. Grau-EP. Temporal	0,7 Km	5780 Mhz	22 dBi
4	1+0	EP. Temporal-Sede Central	1,1 Km	5725 Mhz	25 dBi
5	1+1	Sede Central-Rep. Centro Cívico	1,14 Km	5820 Mhz	25 dBi
6	1+1	Rep. Centro Cívico-Rep. Cerro Obstáculo	9,2 Km	5735 Mhz	27 dBi
7	1+0	Rep. Cerro Obstáculo-EP. Santa Rosa	0,4 Km	5840 Mhz	22 dBi
8	1+0	Rep. Cerro Obstáculo-EP. San Juan	0,2 Km	5760 Mhz	22 dBi
9	1+0	Rep. Centro Cívico-EP. Defensores del Morro	13,6 Km	5765 Mhz	27 dBi
10	1+1	Sede Central-Rep. Cerro la Milla	5,07 Km	5780 Mhz	34 dBi

11	1+1	Rep. Cerro la Milla- Rep. Cerro Grande	21,4 Km	5830 Mhz	34 dBi
12	1+0	Rep. Cerro Grande-EP. San Pedro I	3,2 Km	5755 Mhz	25 dBi
13	1+0	EP. San Pedro I-EP. San Pedro II	0,49 Km	5840 Mhz	22 dBi
14	1+0	Rep. Cerro Grande-EP. San Pedro II	3,1 km	5805 Mhz	25 dBi
15	1+0	Rep. Cerro la Milla-EP. Santo Tomas de Aquino	7,2 Km	5750 Mhz	27 dBi
16	1+0	Rep. Cerro Grande-EP. Santo Tomas de Aquino	20,08 Km	5725 Mhz	34 dBi

Tabla 3.3.Resultados I

ENLACE					
Nº	TIPO	Sedes	Ptx	Prx	Throughput
1	1+0	Sede Central-Región Lima	23 dBm	-37,0 dBm	200 Mbps
2	1+0	Región Lima-EP. Grau	23 dBm	-41,8 dBm	150 Mbps
3	1+0	EP. Grau-EP. Temporal	23 dBm	-45,3 dBm	150 Mbps
4	1+0	EP. Temporal-Sede Central	23 dBm	-41,4 dBm	200 Mbps
5	1+1	Sede Central-Rep. Centro Cívico	23 dBm	-37,4 dBm	300 Mbps
6	1+1	Rep. Centro Cívico- Rep. Cerro Obstáculo	25 dBm	-55,6 dBm	300 Mbps

7	1+0	Rep. Cerro Obstáculo-EP. Santa Rosa	23 dBm	-38,8 dBm	150 Mbps
8	1+0	Rep. Cerro Obstáculo-EP. San Juan	23 dBm	-34,3 dBm	150 Mbps
9	1+0	Rep. Centro Civico-EP. Defensores del Morro	25 dBm	-52,9 dBm	150 Mbps
10	1+1	Sede Central-Rep. Cerro la Milla	27 dBm	-33,7 dBm	300 Mbps
11	1+1	Rep. Cerro la Milla-Rep. Cerro Grande	30 dBm	-44,5 dBm	300 Mbps
12	1+0	Rep. Cerro Grande-EP. San Pedro I	23 dBm	-44,8 dBm	150 Mbps
13	1+0	EP. San Pedro I-EP. San Pedro II	23 dBm	-32,7 dBm	150 Mbps
14	1+0	Rep. Cerro Grande-EP. San Pedro II	23 dBm	-45,3 dBm	150 Mbps
15	1+0	Rep. Cerro la Milla-EP. Santo Tomas de Aquino	25 dBm	-47,4 dBm	250 Mbps
16	1+0	Rep. Cerro Grande-EP. Santo Tomas de Aquino	27 dBm	-40,5 dBm	250 Mbps

Tabla 3.4. Resultados II

CONCLUSIONES

1. Implementar infraestructura para crear la red inalámbrica de banda ancha con tecnología WiMAX para los enlaces de microondas de los Establecimientos Penitenciarios requiere de un estudio previo.
2. Para garantizar la disponibilidad de del video en la red de los Establecimientos Penitenciarios es necesario considerar escenarios de contingencia que simulen la pérdida de conexiones ante cualquier eventualidad.
3. La calidad, estabilidad y ancho de banda real de un Sistema de Radio Enlace WIMAX para la transmisión de video de los Establecimientos Penitenciarios dependerá de la potencia de transmisión y ganancia de la antena.
4. No es bueno basarnos en un escenario ideal para realizar el diseño y las simulaciones del Sistema de Radio Enlaces con el tráfico de video, porque podemos encontrarnos con valores no esperados al momento de empezar a operar los enlaces.
5. El ancho de banda que brindan los equipos en las especificaciones técnicas no es un valor real, ya que dependerá de otros factores como: distancia, ganancia de la antena, saturación del espectro radioeléctrico y alineamiento de las antenas.
6. Debido a que el espectro radioeléctrico en frecuencia de banda no licenciada es impredecible y que en cualquier momento puede presentar problemas de estabilidad, es necesario tener un control remoto de los equipos que deben ser alimentados con energía eléctrica estabilizada y con un periodo de autonomía toda vez que transportan imágenes de gran importancia de los Establecimientos Penitenciarios.

RECOMENDACIONES

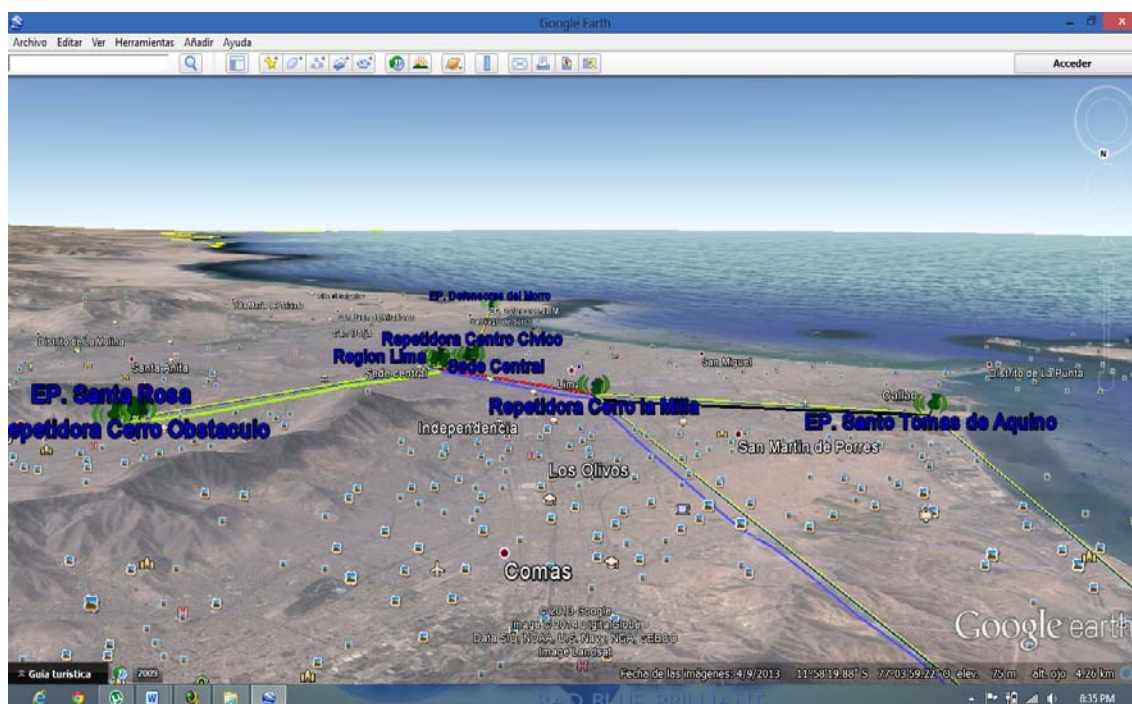
1. Se recomienda realizar previamente la etapa de planificación, análisis y simulación de la red con el propósito de evaluar de forma virtual el comportamiento de los enlaces para optimizar costos.
2. Los enlaces de Back up o redundantes que se proponen soportan eficientemente el tráfico de video dando una mejor disponibilidad al Sistema de Radio Enlaces.
3. Para obtener los valores de la potencia de transmisión y ganancia de la antena es necesario e importante realizar los cálculos y las simulaciones respectivas.
4. El diseño del radioenlace se debe realizar teniendo en cuenta las peores condiciones, para evitar que sufran cortes de comunicación cuando exista mayores atenuaciones de la señal.
5. Para obtener el ancho de banda real de un Sistema de Radio Enlace se deberá usar software generadores de tráfico que me permita simular el enlace con carga y que a la vez me permitan medir el ancho de banda real en operación como el iperf, jperf, Tfggen, Mikrotik Bandwidth test.
6. Es necesario tener el acceso remoto vía web a los equipos de comunicaciones del Sistema de radio Enlace para poder ver los logs ante una caída de la conexión así como la reconfiguración de los parámetros ante un evento que genere inestabilidad del enlace. Teniendo conexión con los equipos me permite tener un monitoreo de mi red de Radio Enlaces utilizando un software que me permiten hacer dicho monitoreo, entre estos software tenemos PRTG, IPSWITCH WHATSUP GOLD PREMIUM en la plataforma Windows y NAGIOS en la plataforma LINUX.

BIBLIOGRAFIA

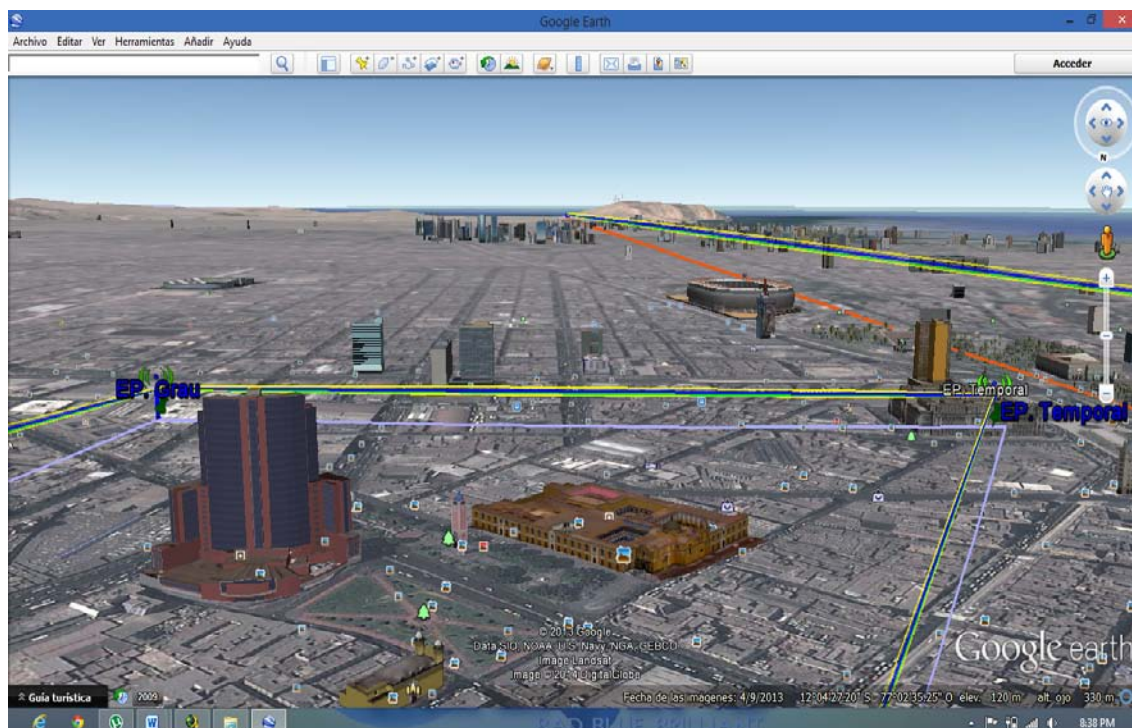
- Almeida, D. (2010). *Análisis de Propagación de Señal de la Red WiMAX (IEEE 802.16TM - 2004) en el Campus Politécnico de la ESPE*. ESPE, Quito.
- Empretel. (2004). *Propagación y Enlaces*. Mexico: Empretel, Empresa de Telecomunicaciones SA de CV.
- Garroppo, R. G., Giordano, S., y Iacono, D. (2009). *Experimental and Simulation Study of a WiMAX System in the Sea Port Scenario*. Documento presentado en IEEE International Conference on Communications.
- Hernández López, O., Avilez Rosas, D., y Ortega Solís, C. (2009). *Diseño de Enlace para redes basadas en el estándar IEEE 802.16TM*. Instituto Politécnico Nacional, México Df.
- Laias, E., y Awan, I. (2010). *An interactive QoS framework for fixed WiMAX networks*. Documento presentado en Simulation Modelling Practice and Theory.
- Sánchez Sierra, C. (2007). *Diseño e implementación con DSP de un modulador Wimax*. Universidad de Cataluña, Cataluña.
- Sharma, P. K., y Singh, R. K. (2010). Comparative Analysis of Propagation Path loss Models with Field Measured Data. *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 2, 6.
- Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed, *Fundamentals of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking*, Edit. Prentice Hall.
- IEEE Computer Society y la IEEE Microwave Theory and Techniques Society, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16:*
- *Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, Edit. IEEE.
- Ron Olexa, *Implementing 802.11, 802.16, and 802.20 Wireless Networks*, Edit. Elsevier.

- Wimax-technologyforbroadbandwirelessaccess2007johnwiley&sons, Edit.johnwiley&sonsLtd.
- Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd edition, Theodore S. Rappaport Edit. Prentice Hall, 2002.
- HongSeok Choi, HeonIl Lee, ChongHo Park, Rocky HyongRock Park, SK Telesys, KangIlKoh, SiHoonRyu, Wonseok Jung, JuSik Lee, SK Telecom, “STC Macro-Diversity Transmission”, en IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, agosto 2004.
- V. Erceg, Zyray Wireless Inc., K.V.S. Hari, Stanford University, M.S. Smith,
- Nortel Networks, D.S. Baum, Stanford University, P. Soma, Iospan Wireless, L.J. Greenstein, Winlab, Rutgers Univ., D.G. Michelson, UBC, S. Ghassemzadeh, AT&T Labs, A.J. Rustako, R.S. Roman, K.P. Sheikh, Sprint, C. Tappenden, Nortel Networks, J.M. Costa, Nortel Networks, C.
- Bushue, Sprint, A. Sarajedini, BeamReach Networks, R. Schwartz, BeamReach Networks, D. Branlund, BeamReach Networks, T. Kaitz, Alvarion Ltd., D. Trinkwon, “Channel Models for Fixed Wireless Applications”, en IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, junio 2003.
- **The ARRL Handbook for Radio Amateurs** Published by: The American Radio Relay League ARRL Order No. 9760 (ISBN 0-87259-976-0)
- <http://www.itlalaguna.edu.mx/Academico/Carreras/electronica/COMUNICACION%20DE%20DATOS/Unidad%20II/UNIDAD%20II-8.pdf>
- <http://tier.cs.berkeley.edu/wiki>
- <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>
- <http://www.netstumbler.com>
- <http://wireless.ictp.it>
- http://www.dipbadajoz.es/agenda/tablon/jornadaWIFI/doc/tecnologias_wifi_wmax.pdf

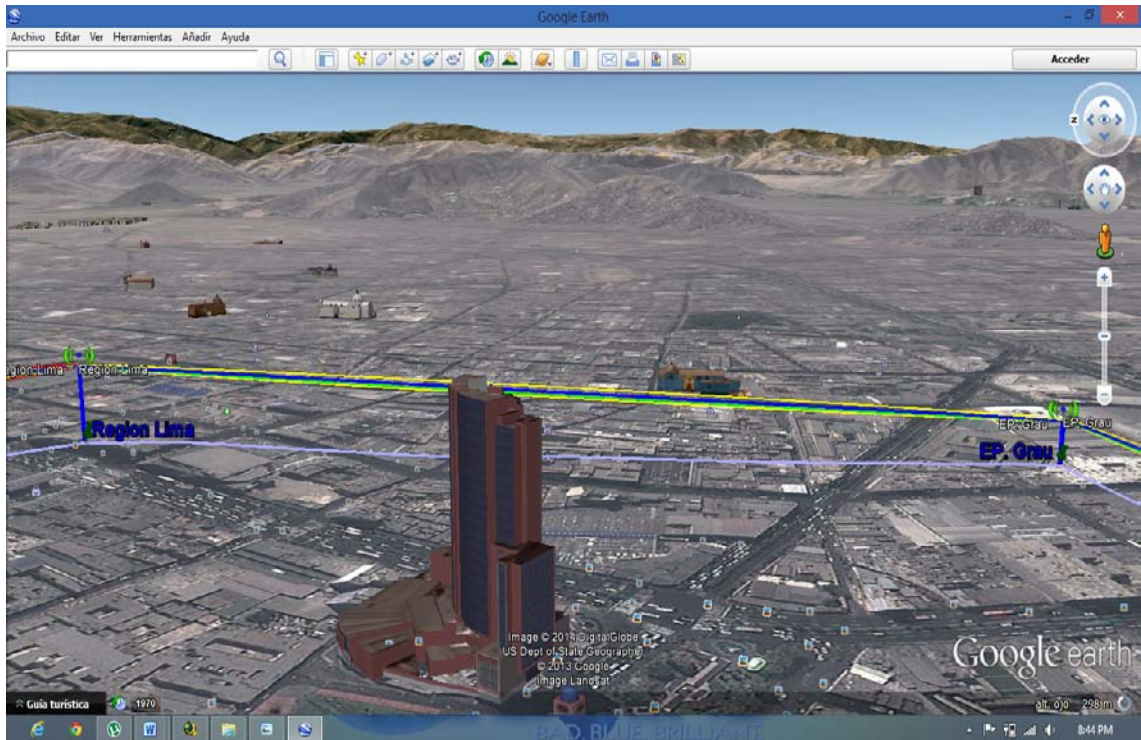
ANEXOS 1



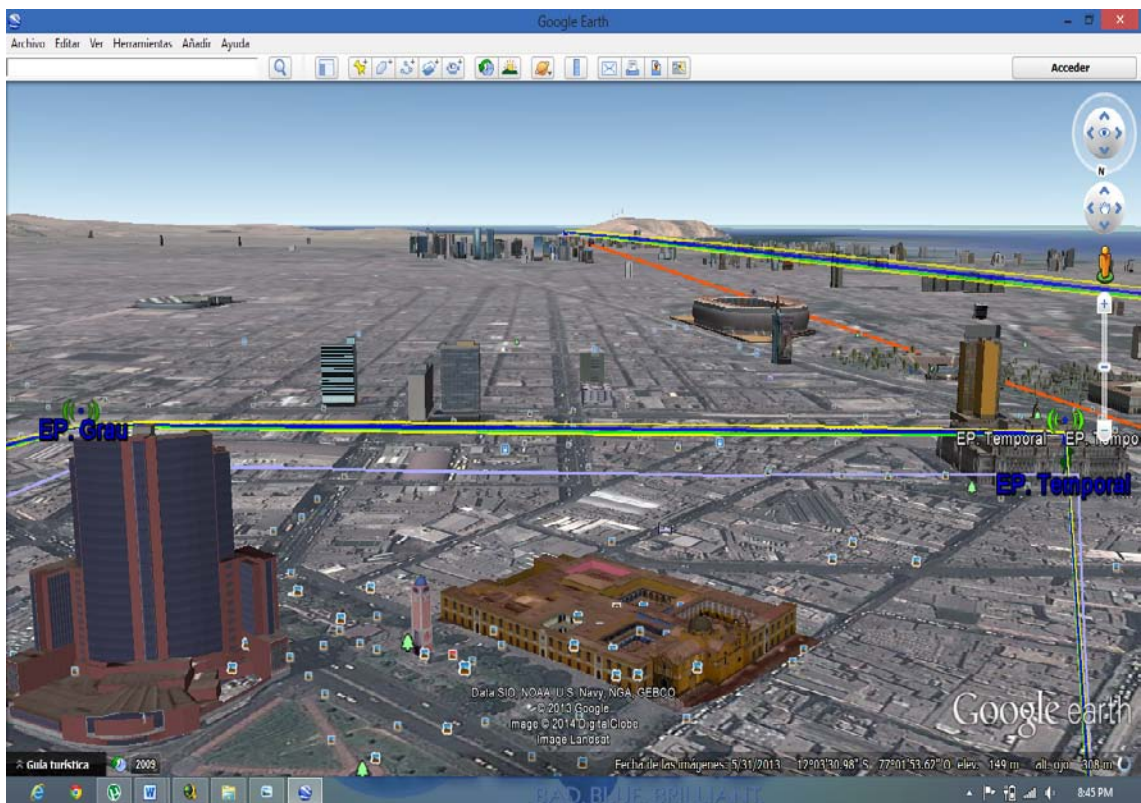
Interconexión de los Establecimientos Penitenciarios de Lima y Callao



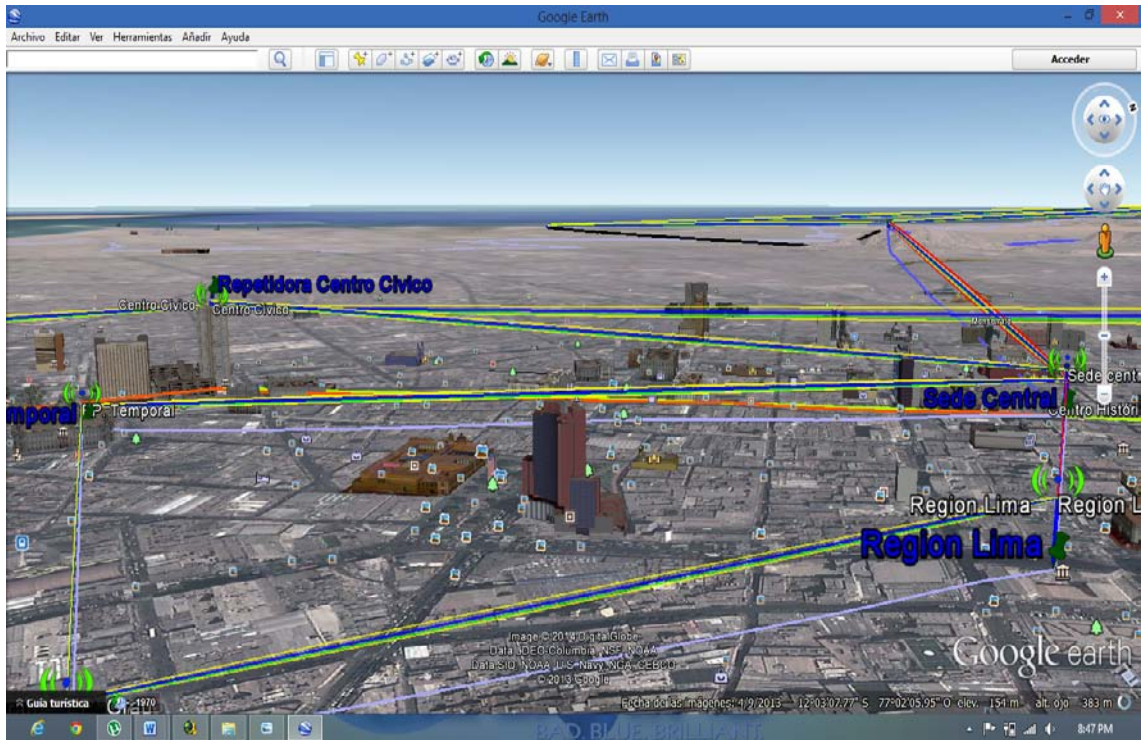
Interconexión de Sede Central y Región Lima



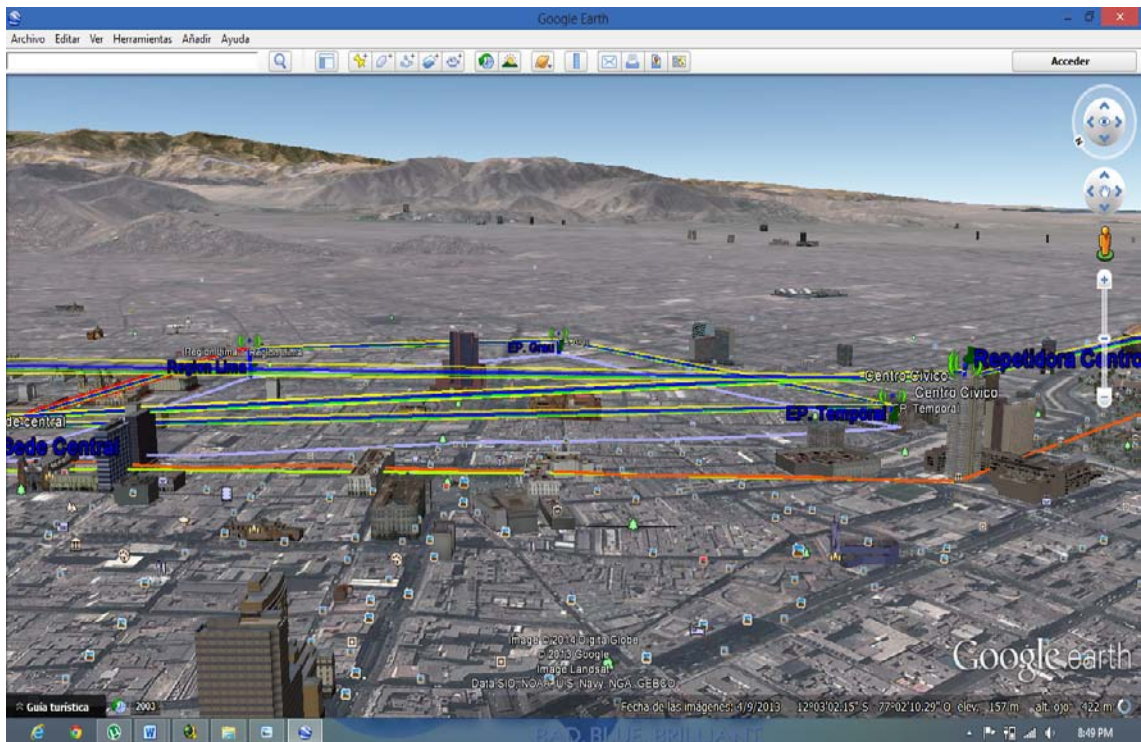
Interconexión de Región Lima y EP. Grau



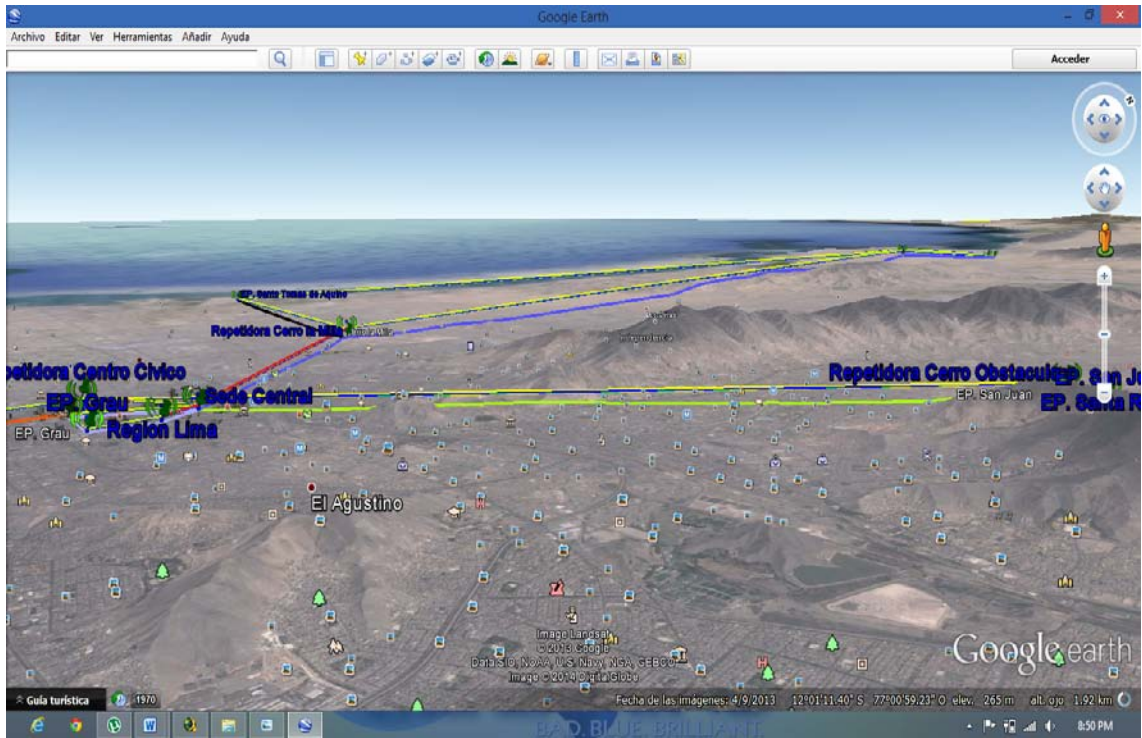
Interconexión de EP. Grau y EP. Temporal



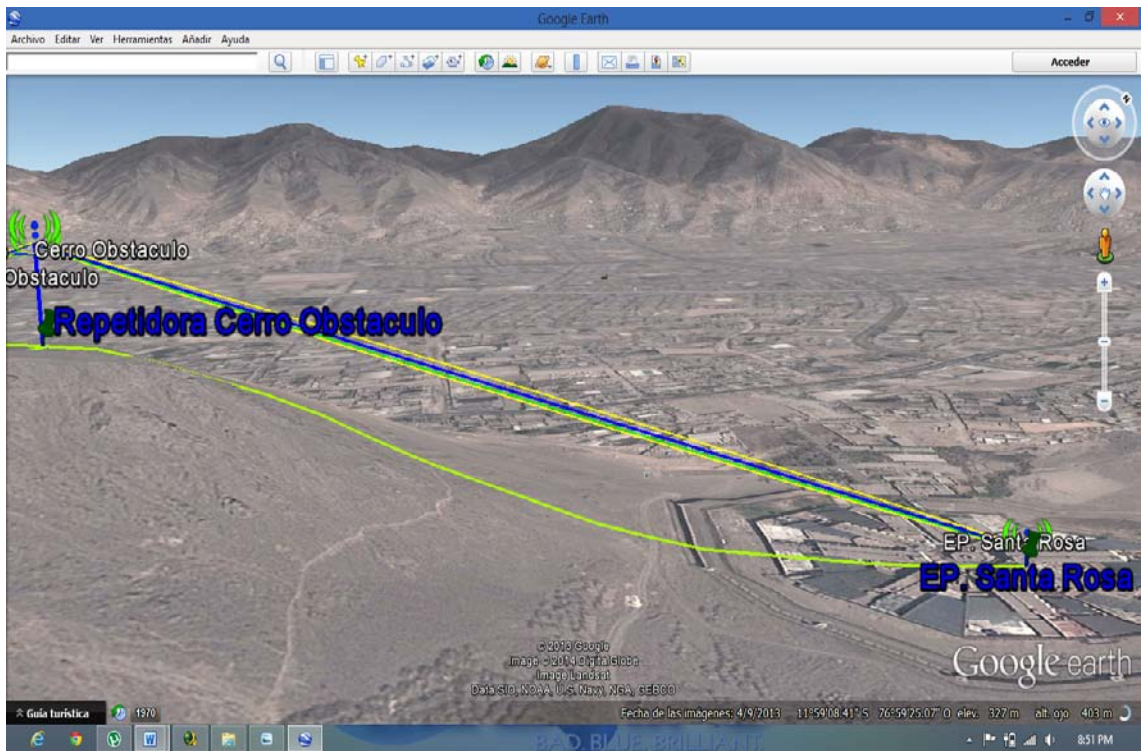
Interconexión de EP. Temporal y Sede Central



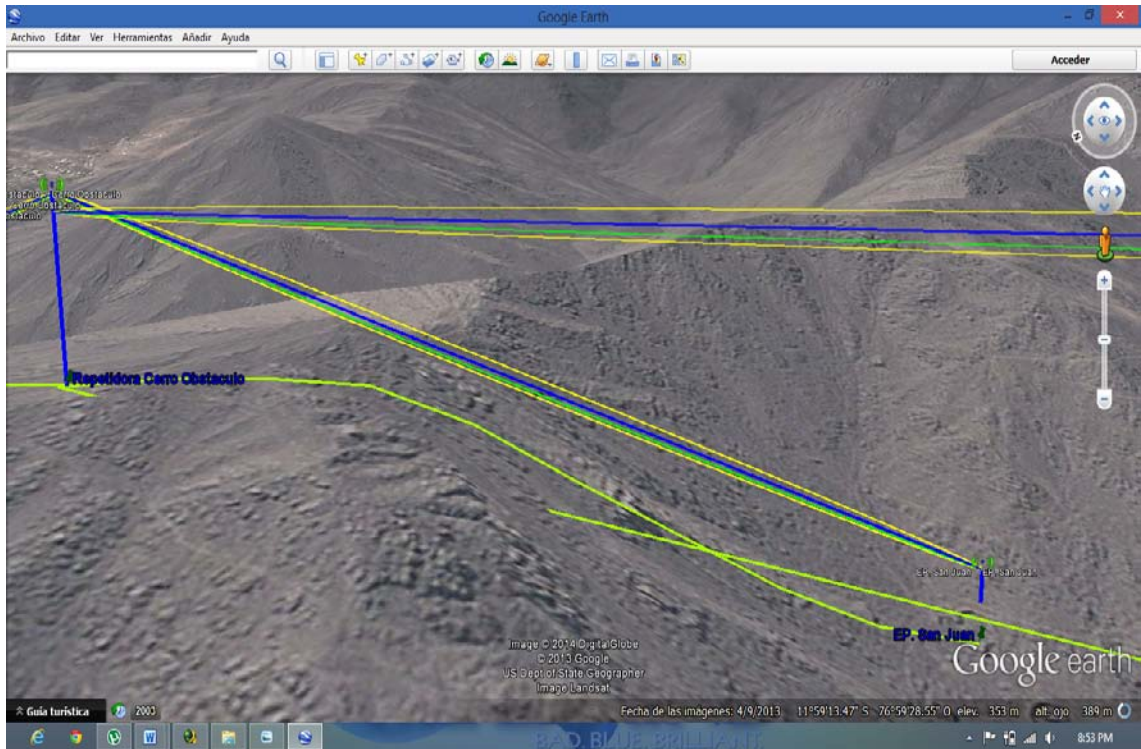
Interconexión de Sede Central y Repetidora Centro Cívico



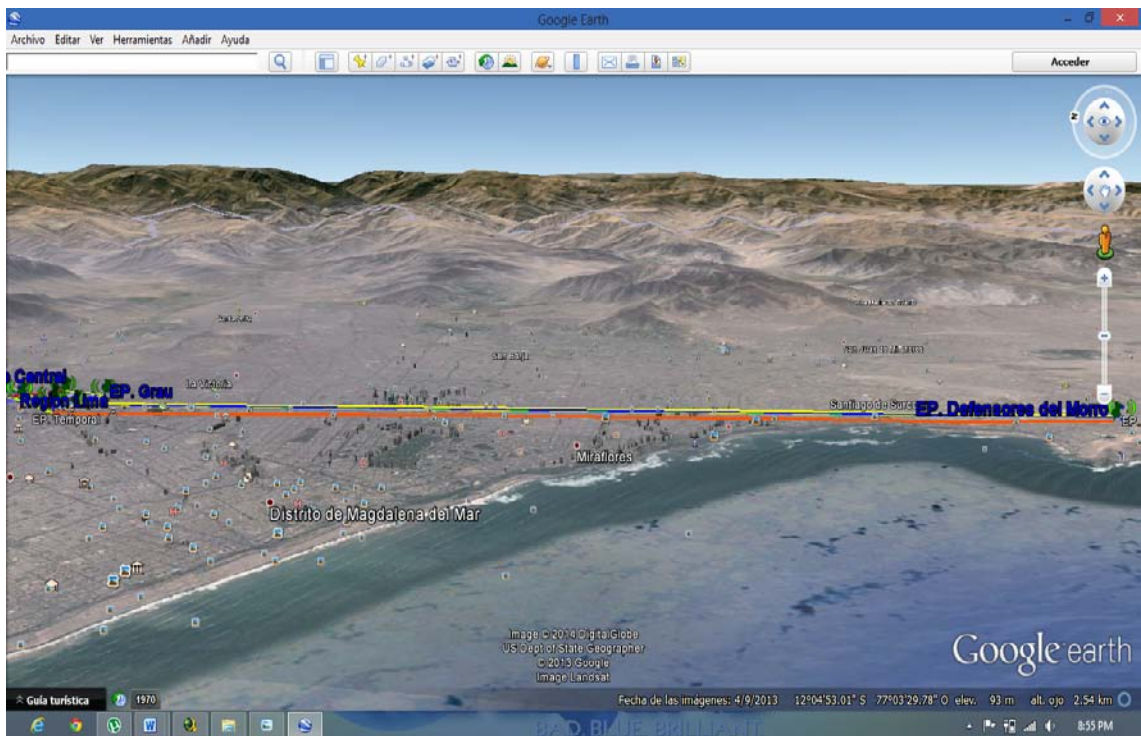
Interconexión de Repetidora Centro Cívico y Repetidora Cerro Obstáculo



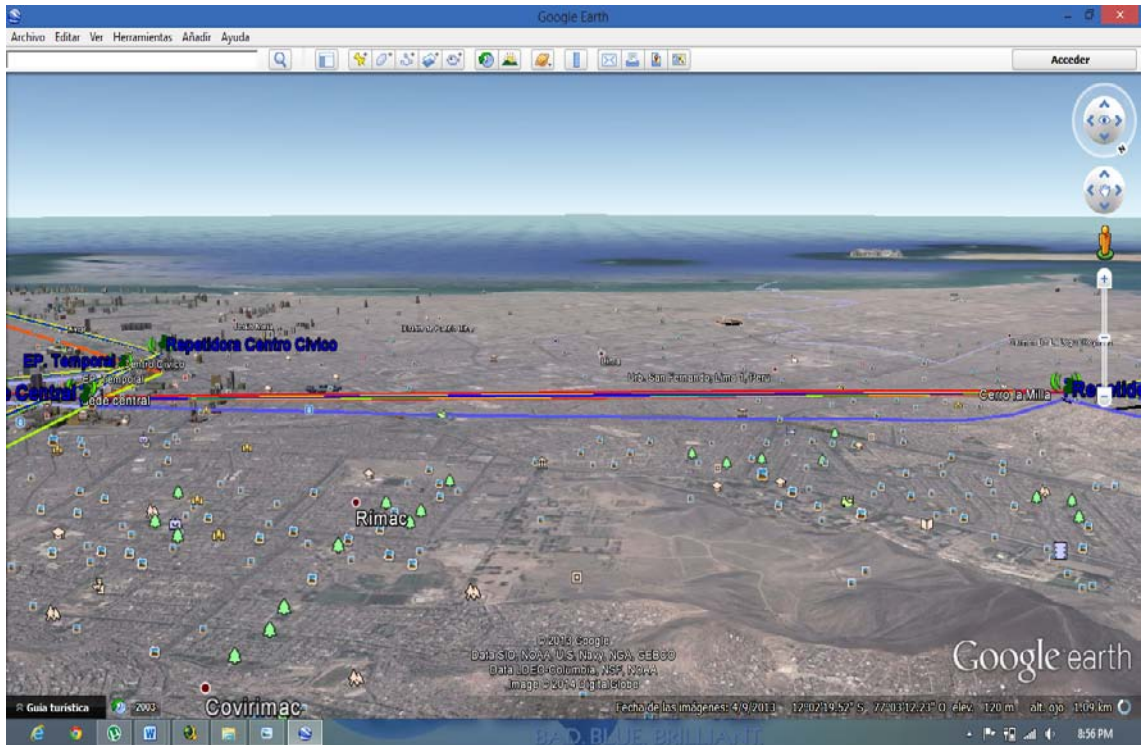
Interconexión de Repetidora Cerro Obstáculo y EP. Santa Rosa



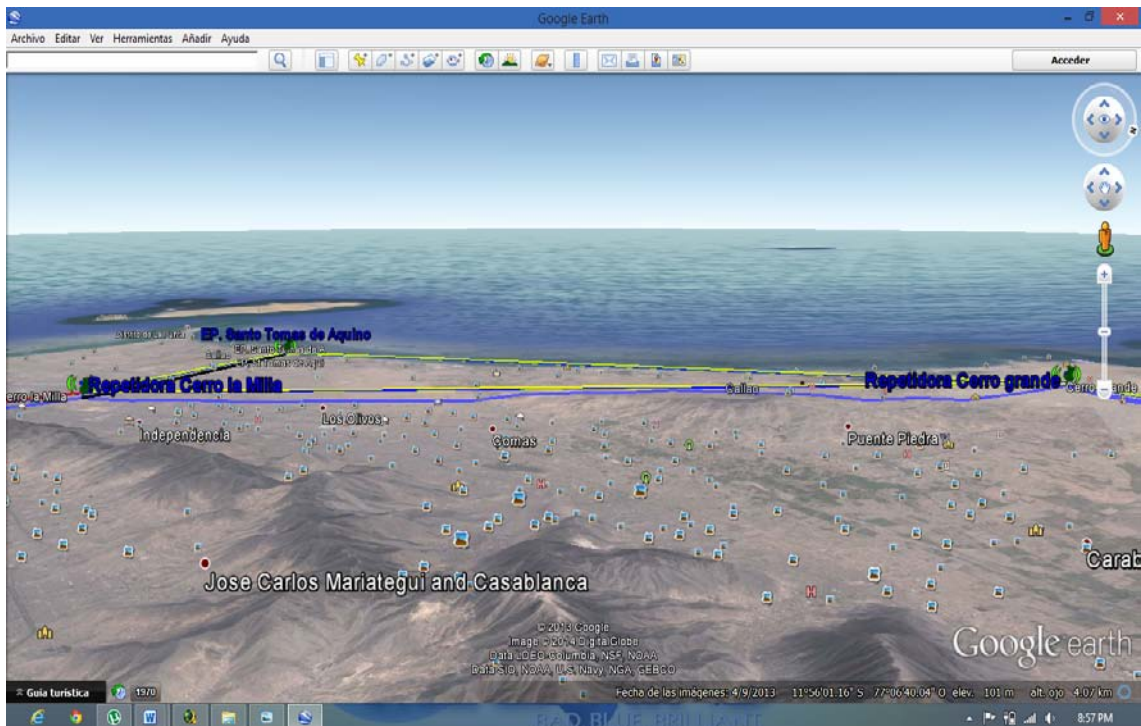
Interconexión de Repetidora Cerro Obstáculo y EP. San Juan



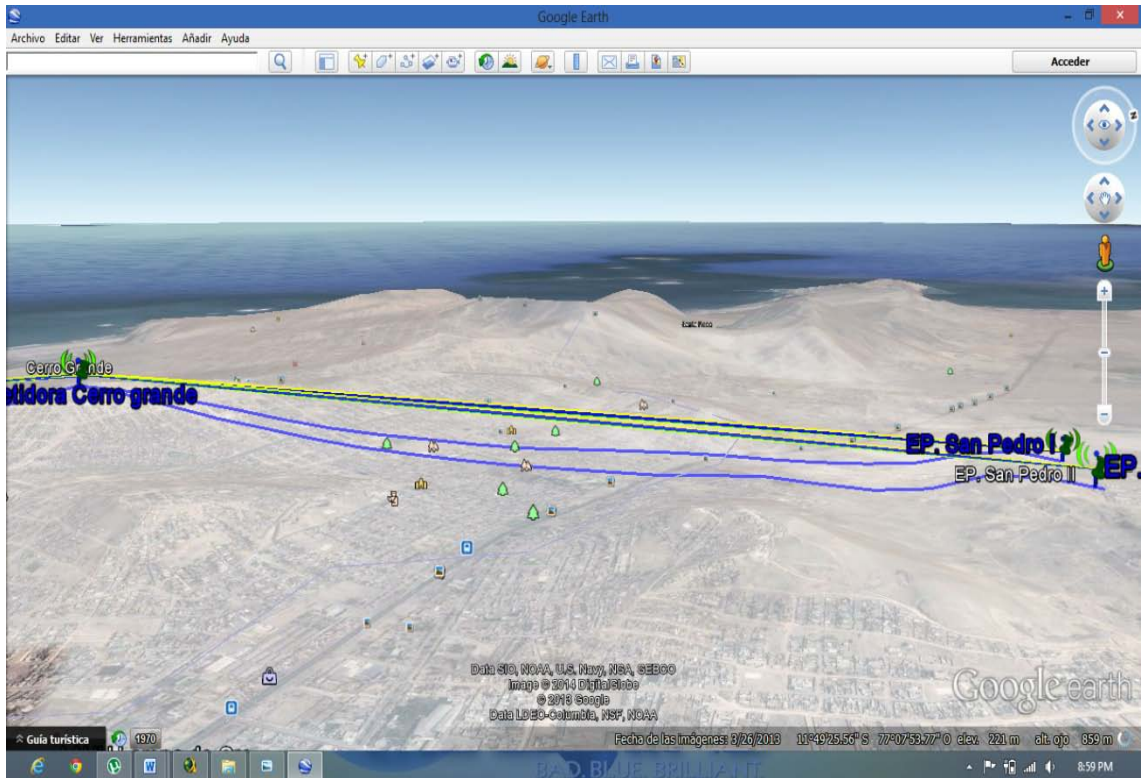
Interconexión de Repetidora Centro Cívico y EP. Defensores del Morro



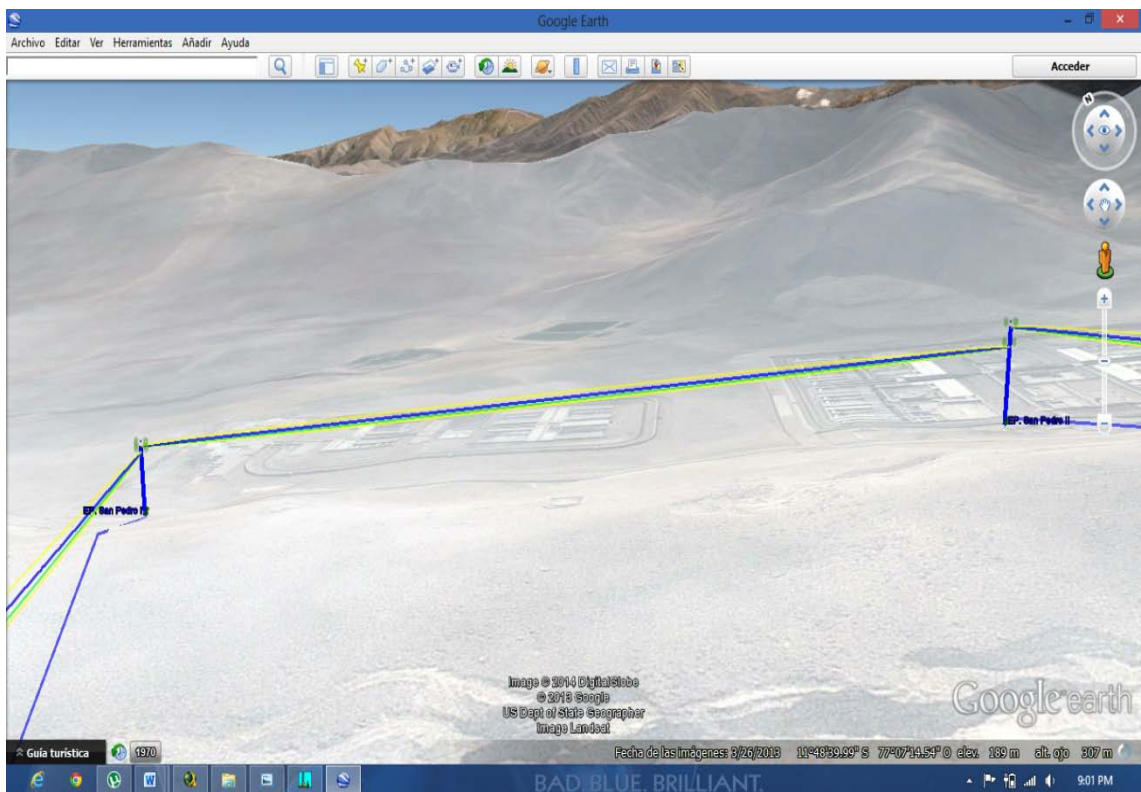
Interconexión de Sede Central y Repetidora Cerro la Milla



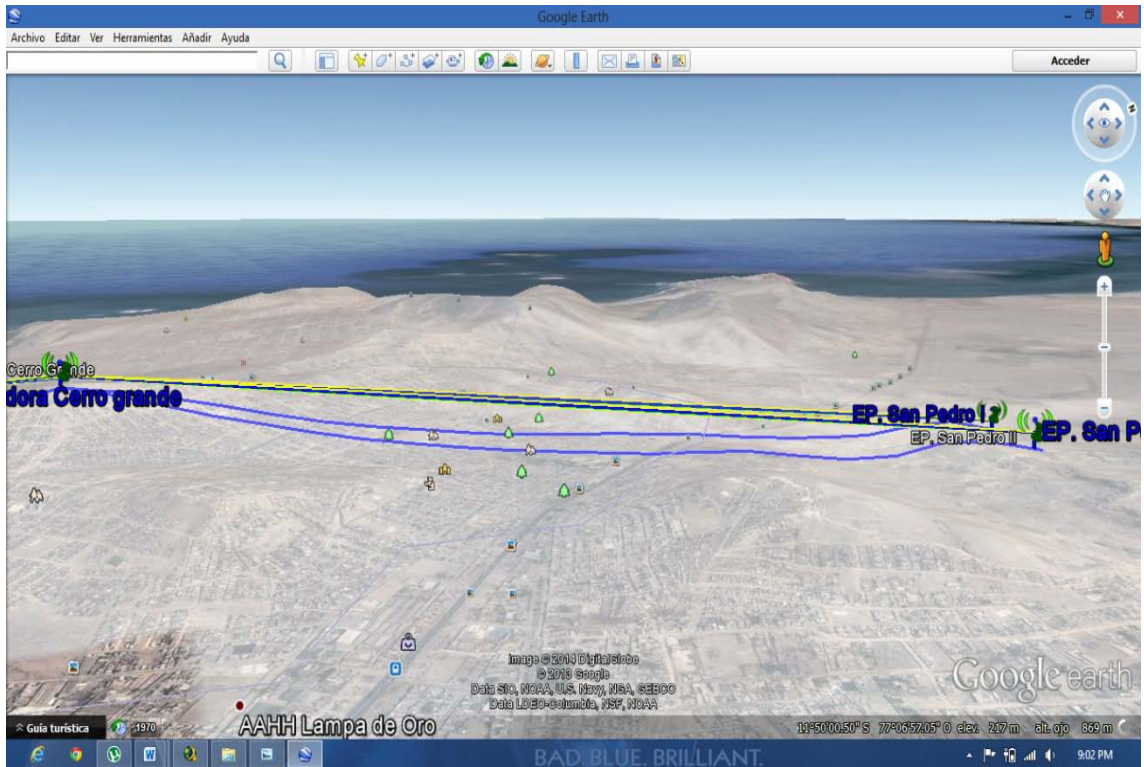
Interconexión de Repetidora Cerro la Milla y Repetidora Cerro Grande



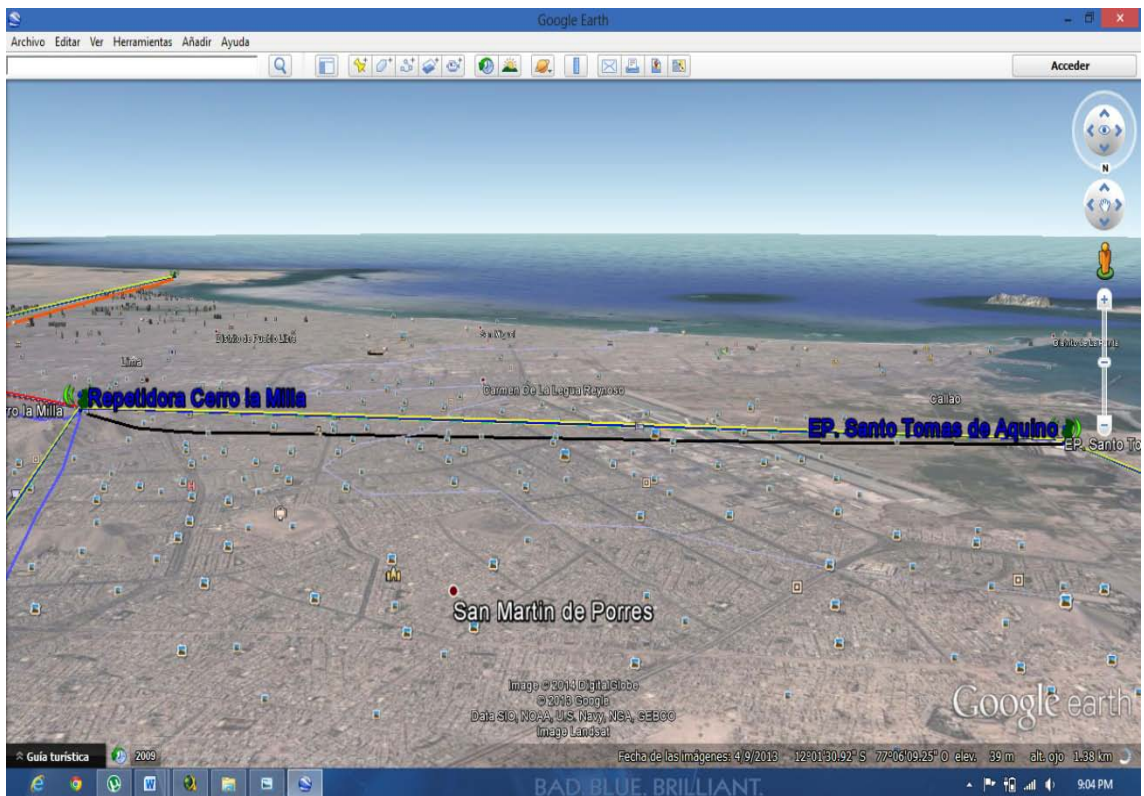
Interconexión de Repetidora Cerro Grande y EP. San Pedro I



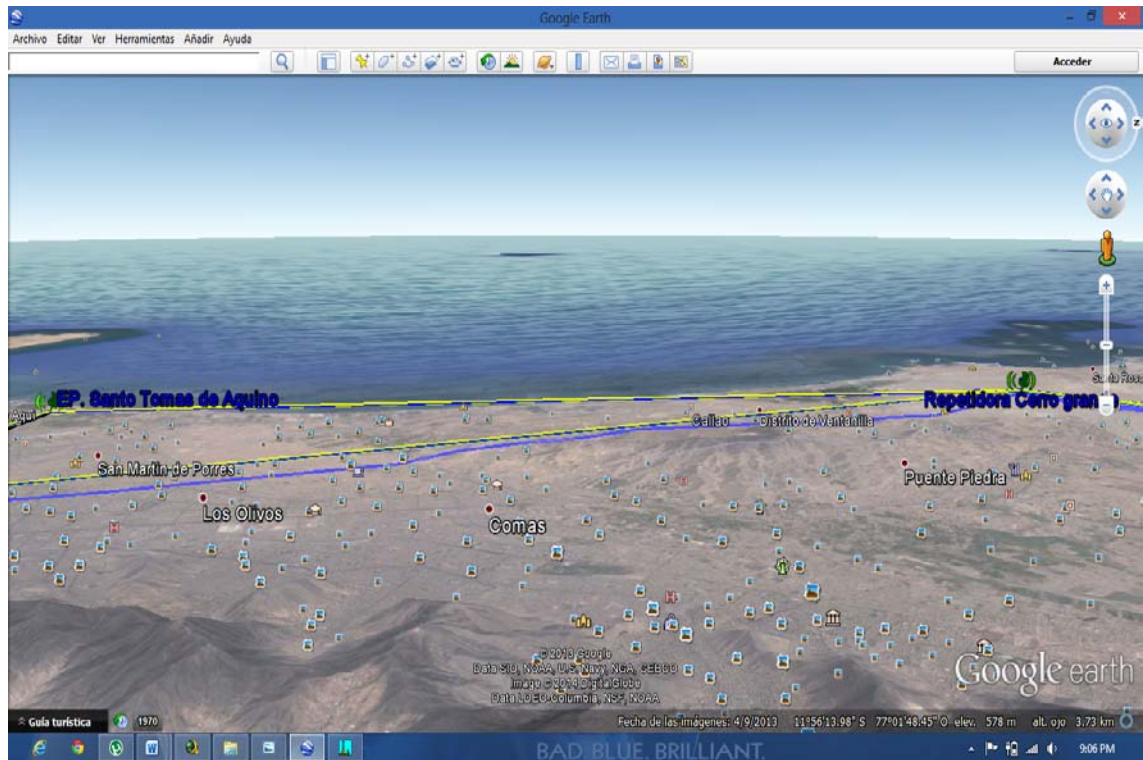
Interconexión de EP. San Pedro I y EP. San Pedro II



Interconexión de Repetidora Cerro Grande y EP. San Pedro II



Interconexión de Repetidora Cerro la Milla y EP. Santo Tomas de Aquino



Interconexión de Repetidora Cerro Grande y EP. Santo Tomas de Aquino

ANEXO 2

LINKS DE DATASHEET DE ALGUNAS MARCAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS ENLACES DE MICROONDAS

- http://www.radwin.com/contentManagement/uploadedFiles/fileGallery/Brochures/RADWIN2000/RW2000_PB.pdf
- http://www.afrikanet.com/Products_Files/RDL_2000_Datasheet.pdf
- http://www.motorolasolutions.com/web/Business/Products/Wireless%20Broadband%20Networks/Point-to-Point/PTP%202000/Documents/Static%20files/GPS%20WB%20PTP%20SolutionsGuide_%20200.pdf
- http://us.sourcesecurity.com/docs/fullspec/DS_0809_QB8100_US.pdf
- <http://www.ceragon.com/products-ceragon/packet-hybrid-microwave/fibeair-ip-10c>
- <http://www.ceragon.com/products-ceragon/small-cells-hauling/2013-11-05-11-19-34/fibeair-ip-20g>
- <http://www.ceragon.com/products-ceragon/small-cells-hauling/2013-11-05-11-19-34/fibeair-ip-20n>
- http://www.wavekrom.com/pdf/prod/bh/Datasheet_Wavekrom2000_Series_rev_eng.pdf
- http://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf
- <http://mexico.data-alliance.net/servlet/-strse-166/RocketDish-5G-34-34dBi/Detail>
- http://dl.ubnt.com/datasheets/rocketmgps/Rocket_M_GPS_Datasheet.pdf