

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**

**FACULTAD DE ELECTRONICA DIGITAL Y TELECOMUNICACIONES**



**PROYECTO DE GRADO**

**ESTUDIO Y DISEÑO DE RADIO ENLACES CON UN SISTEMA NO LICENCIADO (WIRELESS), PARA LAS ONCE VALVULAS DE BLOQUEO QUE SON PARTE DEL SISTEMA DE OLEODUCTO TRANSECUTORIANO Y DESARROLLAR LA IMPLEMENTACION DEL ENLACE DE LA VALVULA DE BLOQUEO N°6.**

**JOSE ANDRES ROJAS VILLACIS**

**TUTOR: ING. JOSE ROBLES SALAZAR MBA**

**Martes, 30 de Agosto del 2011**

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el desarrollo de un estudio y diseño de radio enlaces con un sistema no licenciado Wireless<sup>1</sup>, para las once válvulas de bloqueo que son parte del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano, implementando el enlace de la válvula de bloqueo N°6 exclusivamente, esta implementación de radio enlace hizo posible la comunicación entre la válvula número seis y el Sistema de Telecomunicaciones del Oleoducto Transecuatoriano.

Los estudios realizados permiten evitar la intervención directa de los técnicos a cada una de las válvulas.

Para el desarrollo del proyecto fue necesario recopilar información sobre la posición de las repetidoras del Sistema SCADA y se efectuó el estudio para la elaboración de una integración de servicio de voz y datos que permita ampliar el servicio a video de vigilancia de cada una de las válvulas de bloqueo.

---

<sup>1</sup> Es una tecnología que permite la conexión de dos dispositivos a través de ondas de radio, sin la necesidad del uso de cables. La tecnología Wireless (Comunicaciones Inalámbricas), permite la creación de ondas de radio en frecuencias sin licencia, lo que evita al operar el problema de las licencias o la autorización del agente regulador de las comunicaciones; <http://www.informatica-hoy.com.ar/redes-inalambricas-wifi/Que-es-la-tecnologia-Wireless.php>

## **ABSTRACT**

This project is developing a study and design of a radio link with an unlicensed system (wireless) for eleven block valves that are part of the Transecuadorian-Pipeline System, implementing the link block valve No. 6 only, this implementation radio communication made possible link between valve number six and Telecommunication Systems Pipeline Transecuadorian.

Studies designed to avoid direct intervention of technicians to each of the valves.

For the development of the project was necessary to collect information on the position of SCADA System repeaters and the study was conducted to develop an integration of voice and data services that expand the video surveillance service to each of the block valves.

## TABLA DE CONTENIDO

### CAPITULO I

#### INTRODUCCION

1.1 ANTECEDENTES .....	2
1.2 PROBLEMA INVESTIGADO .....	3
1.2.1 Problema Principal .....	6
1.2.2 Problemas Secundarios .....	7
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	7
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	7
1.5 OBJETIVOS .....	8
1.5.1 Objetivo Principal .....	8
1.5.2 Objetivos Específicos .....	9
1.6 METODOLOGIA CIENTIFICA .....	9

### CAPITULO II

#### MARCO TEORICO

2.1. PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS .....	12
2.1.1 Ondas Electromagnéticas .....	12
2.1.2 Características Principales de las Onda Electromagnética .....	13
2.1.2.1 Frecuencia ( f ) .....	13

2.1.2.2	Longitud de onda ( $\lambda$ ) .....	14
2.1.2.3	Amplitud ( A ) .....	16
2.1.3	Espectro de las Ondas Electromagnéticas .....	16
2.1.4	Efectos de las Radiaciones Electromagnéticas.....	18
2.1.5	Propagación de las Ondas de Radio.....	19
2.2.	RADIOENLACES .....	21
2.2.1	Características Generales de un Radioenlace .....	21
2.2.2	Estructura General de un Radioenlace .....	22
2.2.3	Parámetros Básicos de un Radioenlace .....	23
2.2.4	Desvanecimiento en Radioenlaces .....	25
2.2.5	Confiabilidad de un Radioenlace.....	29
2.2.6	Planificación de un Radioenlace .....	31
2.2.7	Elección del Trayecto .....	32
2.2.8	Cálculo de las Alturas de las Torres.....	37
2.3.	ANTENAS.....	41
2.3.1.	Conceptos Generales .....	41
2.3.2.	Parámetros de una Antena .....	44
2.3.2.1	Impedancia.....	44
2.3.2.2	Directividad y Ganancia de Potencia .....	45
2.3.2.3	Polarización.....	46
2.3.2.4	Ancho de Banda.....	47
2.3.2.5	Concepto de PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva ).....	47

2.4. MODULACION .....	48
2.4.1. Introducción.....	48
2.4.2. Modulación Digital.....	50
2.4.2.1 Modulación PSK (Phase Shift Keying) .....	51
2.4.2.2 Modulación BPSK .....	51
2.4.2.3 Modulación QPSK.....	52
2.4.2.4 Modulación QAM.....	54
2.4.3. Multiplexación Por División De Frecuencias Ortogonales (OFDM).55	
2.5. WIRELESS .....	56

### CAPITULO III

#### CALCULOS DE LOS RADIO ENLACES

3.1. CARACTERISTICA DE LOS ENLACES.....	60
3.1.1 Válvula de Bloqueo Existente Uno (VBE1) .....	60
3.1.2 Válvula de Bloqueo Existente Dos (VBE2).....	61
3.1.3 Válvula de Bloqueo Existente Tres (VBE3) .....	62
3.1.4 Válvula de Bloqueo Existente Cuatro (VBE4) .....	63
3.1.5 Válvula de Bloqueo Existente Cinco (VBE5) .....	64
3.1.6 Válvula de Bloqueo Existente Seis (VBE6) .....	66
3.1.7 Válvula de Bloqueo Existente Siete (VBE7).....	68
3.1.8 Válvula de Bloqueo Existente Ocho (VBE8) .....	69
3.1.9 Válvula de Bloqueo Existente Nueve (VBE9).....	71

3.1.10	Válvula de Bloqueo Existente Diez (VBE10)	73
3.1.11	Válvula de Bloqueo Existente Once (VBE11)	74
3.2.	ESTRUCTURA DE LOS ENLACES	77
3.2.1	VBE1	77
3.2.1.1	Enlace VBE1 – TECPEC	77
3.2.1.2	Enlace TECPEC – LUMBAQUI	82
3.2.2	VBE2	87
3.2.2.1.	Enlace VBE2 – St.ROSA	87
3.2.3	VBE3	92
3.2.3.1	Enlace VBE3 – VBE4	92
3.2.4	VBE4	97
3.2.4.1.	Enlace VBE4 – MIRAVALLE	97
3.2.5	VBE5	101
3.2.5.1.	Enlace VBE5 – MIRAVALLE	101
3.2.5.2.	Enlace GUAJALO – MIRAVALLE	105
3.2.6	VBE6	110
3.2.6.1.	Enlace VBE6 – FAISANES	110
3.2.6.2.	Enlace CHIGUILPE - FAISANES	115
3.2.7	VBE7	120
3.2.7.1.	Enlace VBE7 – ALLURIQUIN	120
3.2.7.2.	Enlace ALLURIQUIN - CHIGUILPE	123
3.2.8	VBE8	127

3.2.8.1.	Enlace VBE8 – CHIGUILPE.....	127
3.2.9	VBE9.....	132
3.2.9.1.	Enlace VBE9 – BACK9 .....	132
3.2.9.2.	Enlace QUININDE – BACK9.....	137
3.2.10	VBE10.....	142
3.2.10.1	Enlace VBE10 – ZAPALLO.....	142
3.2.10.2	Enlace VBE11 - ZAPALLO.....	147
3.2.11	VBE11.....	151
3.2.11.1.	Enlace TNQ10 – VBE11 .....	151
3.2.11.2.	Enlace TNQ1 – TNQ10.....	155
3.3.	CALCULOS DE PROPAGACIÓN DE LOS ENLACES.....	160
3.3.1	VBE1.....	160
3.3.1.1	Calculo de RSSI en el enlace VBE1 - TECPEC.....	160
3.3.1.2	Calculo de RSSI en el enlace TECPEC – LUMBAQUI .....	163
3.3.2	VBE2.....	166
3.3.2.1	Calculo de RSSI en el enlace VBE2 – St.ROSA.....	166
3.3.3	VBE3.....	168
3.3.3.1	Calculo de RSSI en el enlace VBE4 – VBE3 .....	168
3.3.4	VBE4.....	170
3.3.4.1	Calculo de RSSI del enlace VBE4 –MIRAVALLE .....	170
3.3.5	VBE5.....	172
3.3.5.1	Calculo de RSSI del enlace VBE5 – MIRAVALLE. ....	172

3.3.5.2	Calculo de RSSI del enlace GUAJALO – MIRAVALLE.....	174
3.3.6	VBE6.....	176
3.3.6.1	Calculo de RSSI del enlace VBE6 – FAISANES.....	176
3.3.6.2	Calculo de RSSI del enlace CHIGUILPE – FAISANES.....	178
3.3.7	VBE7.....	180
3.3.7.1	Calculo de RSSI del enlace VBE7 – ALLURIQUIN.....	181
3.3.7.2	Calculo de RSSI del enlace ALLURIQUIN – CHIGUILPE.....	183
3.3.8	VBE8.....	185
3.3.8.1	Calculo de RSSI del enlace VBE8 – CHIGUILPE.....	185
3.3.9	VBE9.....	187
3.3.9.1	Calculo de RSSI del enlace VBE9 – BACK9.....	187
3.3.9.2	Calculo de RSSI del enlace BACK9 – QUININDE.....	189
3.3.10	VBE10.....	191
3.3.10.1	Calculo de RSSI del enlace VBE10 – ZAPALLO.....	191
3.3.10.2	Calculo de RSSI del enlace VBE11 - ZAPALLO.....	193
3.3.11	VBE11.....	195
3.3.11.1	Calculo de RSSI del enlace TNQ10 – VBE11.....	195
3.3.11.2	Calculo de RSSI del enlace TNQ1 – TNQ10.....	197
3.4.	CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS.....	199
3.5.	COSTO REFERENCIAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL ENLACE DE LA VBE6 – FAISANES – CHIGUILPE.....	200
3.5.1.1	Desglose de Rubros.....	201
3.5.1.2	Especificaciones Técnicas de los Rubros.....	202

3.5.1.3	Costo Referencial del enlace de la VBE6 – FAISANES – CHIGUILPE.....	204
3.5.1.4	Costo Referencial Total del Proyecto.....	205

## CAPITULO IV

### IMPLEMENTACION DEL ENLACE DE LA VBE6

4.1	PRUEBA DE LOS EQUIPOS EN LABORATORIO.....	207
4.1.1	Características de los Equipos de Laboratorio.....	207
4.1.2	Validación de componentes del radio enlace con equipos de laboratorio. ....	209
4.1.2.1	Prueba de Atenuación del cable LMR-400.....	210
4.1.2.2	Pruebas de los parámetros del radio ALVARION BREEZENET B14.....	215
4.2	INSTALACIÓN DEL LOS EQUIPOS EN EL SITIO.....	225
4.3	ALINEACIÓN DE ANTENAS.....	227
4.4	COMPARACIÓN DE LOS DATOS TEÓRICOS CON LOS REALES ...	229
	CONCLUSIONES .....	233
	RECOMENDACIONES .....	235
	GLOSARIO .....	237
	ANEXO 1 .....	242
	ANEXO 2 .....	244

ANEXO 3 .....	245
ANEXO 4 .....	246
ANEXO 5 .....	246
ANEXO 6 .....	246

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

En el capítulo presente se describe los aspectos generales que guiaron a la elaboración de este proyecto, a continuación se enuncian los antecedentes, que publican una breve descripción del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano, el problema investigado, que detalla cual es la situación tecnológica actual del Sistema de Telecomunicaciones del Oleoducto Transecuatoriano con respecto a las once válvulas de bloqueo, haciendo evidente los problemas que conlleva la falta de los radios enlaces. La formulación del problema, que de manera general es el por qué de la realización de este proyecto, la justificación, objetivos del proyecto y la metodología científica aplicada para su realización.

## 1.1 ANTECEDENTES

El Oleoducto Transecuatoriano se inicia en el manifold (caja) de válvulas de los tanques de 250.000 bbl de la estación de bombeo No. 1 conocida como Lago Agrio, ubicada en la ciudad de Nueva Loja, provincia de Sucumbíos a 297 metros de altura sobre el nivel del mar y termina en las bridas (accesorios para conectar tuberías con equipos o accesorios) de conexión a los Buque Tanques (B/T) de las monoboyas "X" e "Y" del Terminal Marítimo de Balao, en el Océano Pacífico, Esmeraldas.

Está compuesto de 497,73 Km. de tubería, 6 estaciones de bombeo, 4 estaciones reductoras de presión, 2 líneas submarinas de carga de 6,9 kilómetros aproximadamente.

El Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE) consta de 6 estaciones de bombeo:

Lago Agrio

Lumbaqui

Salado

Baeza

Papallacta

Quinindé

Cuatro estaciones reductoras de presión:

San Juan

Chiriboga

La Palma

Santo Domingo

Y el Terminal Marítimo de Balao (líneas de carga).

Todas estas localidades se encuentran unidas gracias al sistema de telecomunicaciones, que es fundamental para la coordinación de las operaciones del SOTE, por cuanto proporciona el servicio de teléfono rojo (multiconferencia entre todas las 10 estaciones y el Terminal marítimo).

## 1.2 PROBLEMA INVESTIGADO

*El sistema de telecomunicaciones del SOTE consta de varios enlaces de microonda digital con capacidad de 16 E<sub>1</sub> en el Backbone y de 4 E<sub>1</sub> en los enlaces secundarios.<sup>2</sup>*

La tubería del SOTE tiene aproximadamente 497,7 Km de recorrido. El ducto atraviesa las tres regiones naturales del Ecuador (muchas zonas sensibles, como reservas ecológicas), cruzando la cordillera de los Andes a una altura de 4064 metros, cerca de la Virgen en Papallacta.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Petroecuador, revista Mapa del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano y sus Avances Tecnológicos.

<sup>3</sup> <http://www.sote.com.ec/sote/portal/main.do?code=21>.

El SOTE cuenta con un sistema SCADA<sup>4</sup> (Supervisory Control And Data Acquisition, Control y Adquisición de Datos de Supervisión) para el control y adquisición de datos y se encuentra proyectado a largo plazo en tres fases:

Fase I.- Consiste en el cambio total de instrumentación en cada unidad de bombeo de todas las estaciones, con protocolo FIELDBUS<sup>5</sup>.

Fase II.- Integración de todos los datos de la estación en su respectivo cuarto de control mediante el software DELTAV<sup>6</sup>.

Fase III.- Integración de los datos de cada estación en un solo cuarto de control ubicado en Lago Agrio con posibilidad de uno en Guajaló. En esta fase también se debe incluir el monitoreo y control remoto del área de tanques del terminal Marítimo de Balao, así como de las once válvulas de bloqueo.<sup>7</sup>

En sitios estratégicos se ubican once válvulas que en la actualidad son operadas manualmente.

No existen estudios de microonda ni un control y monitoreo remoto para cada una de las válvulas de bloqueo. En los sucesos de ruptura que se han dado en el SOTE<sup>8</sup>, el tiempo de viaje de los técnicos hacia la válvula más cercana, toma

---

<sup>4</sup> y <sup>5</sup> Glosario

<sup>6</sup> Glosario

<sup>7</sup> Petroecuador, revista Mapa del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano y sus Avances Tecnológicos.

<sup>8</sup> y <sup>9</sup> Glosario

mucho retraso en las acciones a tomarse, lo que genera impactos ambientales graves.

Paralelamente a la ejecución de las fases I y II, el sistema de comunicaciones reestructura la topología para dedicar en el Backbone<sup>9</sup> ramificaciones, dedicados solamente a los datos del SCADA.

Actualmente se halla en ejecución la Fase III. Todos los datos de las estaciones se hallan ya dentro de la red SCADA, así como los del área de tanques.

Las válvulas de bloqueo todavía no tienen ningún tipo de instrumentación ni equipo de comunicación.

Los estudios para realizar los enlaces desde las repetidoras de microonda a cada una de las válvulas complementarán conjuntamente con las empresas contratistas SEIN control integración y la competencia switching y routing la ejecución del la FASE III.

La válvula N° 1 está ubicada en el cruce del río Aguarico, Provincia de Sucumbíos.

La válvula N° 2 está ubicada en Santa Rosa, Provincia del Napo.

La válvula N° 3, ubicada en el sector el Tablón, Provincia de Pichincha.

La válvula N° 4, ubicada en el sector el Inga Alto, Provincia de Pichincha.

---

La válvula N° 5, ubicada en Sangolqui sector San Rafael.

La válvula N° 6 ubicada en Dos Ríos, Provincia Santo Domingo de los Tsháchilas.

Las válvulas N° 7 y 8, ubicadas en Alluriquín y Tinalandia respectivamente, Provincia Santo Domingo de los Tsháchilas.

La válvula N° 9, ubicada cercanamente a Quinindé, Provincia de Esmeraldas.

La válvula N°10, ubicada en Viche, Provincia de Esmeraldas.

La válvula N° 11 ubicada en la recta de Winchele, Provincia de Esmeraldas.

La válvula N° 6, ubicada en las cercanías de la población DOS RÍOS Provincia de SANTO DOMINGO DE LOS TSHÁCHILAS carece de un radio enlace con el Sistema de Telecomunicaciones del Oleoducto Transecuatoriano.

Encontrándose en un lugar completamente inaccesible, ubicado en el fondo de un barranco, rodeado por peñas y sistemas montañosos.

Debido a la falta de presupuesto el SOTE requiere que el enlace se realice bajo una banda de frecuencia que no sea licenciada.

### **1.2.1 Problema Principal**

El Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE), carece de estudios de un sistema de radio enlaces para la integración de las once válvulas de bloqueo con el Sistema de Telecomunicaciones del Oleoducto Transecuatoriano, dificultando el manejo remoto de dichas válvulas desde Lago Agrio.

### **1.2.2 Problemas Secundarios**

- El difícil acceso a la ubicación de la válvula de bloqueo número seis ocasiona complicaciones en la implementación del proyecto con el Sistema de Telecomunicaciones del Oleoducto Transecuatoriano.
- Al no tener un acceso remoto, los técnicos deben viajar a cada una de las válvulas para cerrarlas manualmente.
- Se desconoce la información y posición de las repetidoras del sistema SCADA
- No existe estudios técnicos para elaborar una integración de servicio de voz y datos que permita ampliar el servicio a video de vigilancia de cada una de las válvulas de bloqueo.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿El estudio y diseño de un sistema de radio enlaces para la integración de las once válvulas de bloqueo con el Sistema de Telecomunicaciones del Oleoducto Transecuatoriano facilitará el manejo remoto de dichas válvulas desde Lago Agrio?

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La investigación propuesta buscará comprobar la teoría y conceptos sobre estudios de radio enlaces, y del sistema wireless, demostrando su validez en enlaces punto a punto. Además analizar y estudiar un tipo de modulación que

resolverá los inconvenientes de comunicación de cada enlace. Esto, permitirá contrastar diferentes conceptos referidos a radio enlaces bajo el sistema wireless y de esa manera incentivar a la utilización de un sistema no licenciado para la realización de radio enlaces que directamente influirá en la economía de las empresas. Con la implementación del enlace de la válvula de bloqueo N°6 se pudo comprobar la teoría y conceptos con la realidad.

Al desarrollar los once estudios de radio enlace, Petroecuador podrá implementar sin ningún contratiempo la comunicación de las válvulas con el Sistema de Telecomunicaciones del Oleoducto Transecuatoriano, optimizando el tiempo de las acciones a tomar ante una eventualidad o emergencia. Además, el estudio se realizará para banda ancha, logrando a futuro la implementación de video vigilancia, que será útil para verificar la seguridad de las válvulas y los sucesos que podrían ocurrir en ellas.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo Principal**

Realizar los estudios y diseños de radio enlaces con un sistema no licenciado (wireless), para las once válvulas de bloqueo que son parte del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano y desarrollar la implementación del enlace de la válvula de bloqueo N°6.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Implementar el radio enlace entre la válvula de bloqueo número seis con el Sistema de Telecomunicaciones del Oleoducto Transecuatoriano.
- Efectuar los estudios de los radios enlaces para evitar la intervención directa de los técnicos a cada una de las válvulas.
- Recopilar información sobre la posición de las repetidoras del Sistema SCADA.
- Desarrollar el estudio para la transportación del servicio de voz y datos que permita ampliar el servicio a video de vigilancia de cada una de las válvulas de bloqueo.

### **1.6 METODOLOGIA CIENTIFICA**

En el proyecto se emplearon métodos de investigación tales como:

El método de investigación documental que permitió la recopilación de información, la misma que fue clasificada y estudiada.

Métodos inductivo y deductivo para el diseño y cálculos de los radio enlaces.

El método de observación utilizado para la toma de datos que se realizó en las visitas de campo a cada una de las válvulas de bloqueo del Oleoducto Transecuatoriano y que sirvió para la verificación del funcionamiento del radio enlace de la válvula N°6.

Y el método experimental que fue útil para la validación del estudio realizado, mediante pruebas que comprobaron el funcionamiento del enlace de comunicaciones de la válvula N°6.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

En este capítulo se describen las bases teóricas en las cuales se sustentó la investigación del proyecto, con las cuales se consiguió un correcto entendimiento en cuanto a comunicaciones inalámbricas se refiere, siendo necesario profundizar en temas como: teoría electromagnética, radio enlaces, antenas, modulación digital.

Los conceptos, fórmulas, ecuaciones, gráficas y tablas de datos se recopilaron de fuentes bibliográficas como: libros de comunicaciones, páginas y portales de internet y Normas ITU.

## 2.1. PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

En esta sección se revisará información acerca de las ondas electromagnéticas, sus características principales como son: frecuencia, longitud de onda y amplitud. También se repasará el espectro radioeléctrico, los efectos de las radiaciones electromagnéticas sobre el ser humano y se finalizará con la propagación de las ondas de radio.

### 2.1.1 Ondas Electromagnéticas<sup>10</sup>

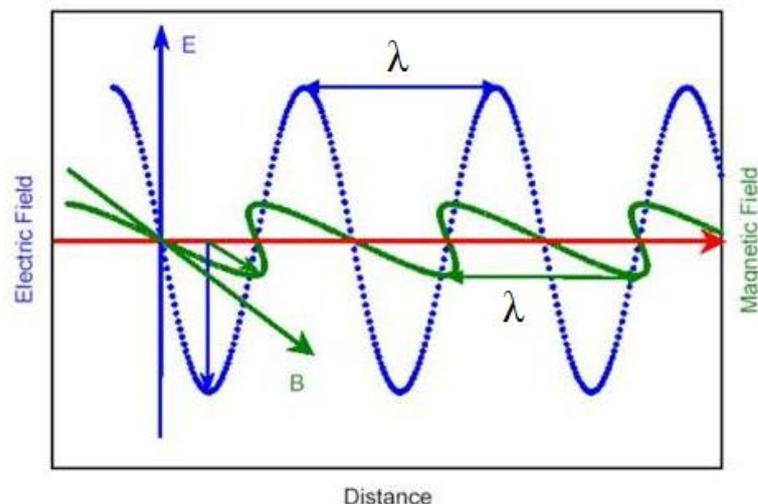
Son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse. Se irradian en el vacío a una velocidad constante, muy alta ( $c = 300\,000\,000$  km/s) pero no infinita. Una onda electromagnética tiene un componente de campo eléctrico y otro de campo magnético, se propagan mediante la oscilación entre ellas. Las dos componentes tienen la misma longitud de onda y frecuencia, pero viajan en planos perpendiculares entre sí.

Las ondas electromagnéticas se reflejan, refractan y presentan fenómenos de difracción (similar a las de la luz).

---

<sup>10</sup> Ondas Electromagnéticas, Radiaciones Electromagnéticas,

[http://perio.unlp.edu.ar/tecnologias/ciencia/radiaciones\\_electromagneticas.htm](http://perio.unlp.edu.ar/tecnologias/ciencia/radiaciones_electromagneticas.htm).



**Figura 2.1.1 Campos Eléctrico (E) y Magnético (B) de una Onda Electromagnética.**

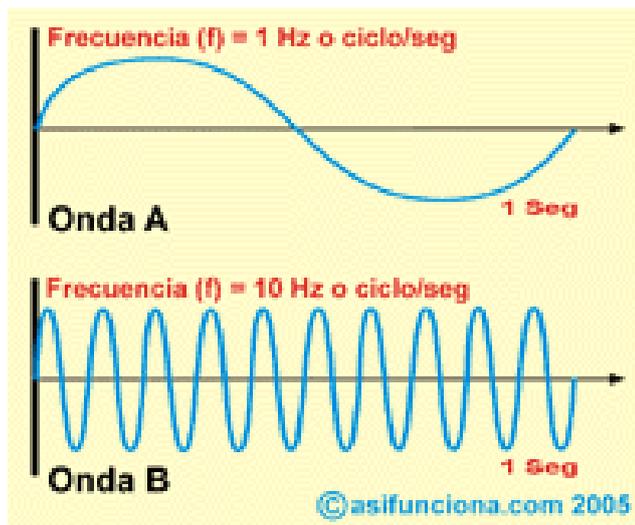
## 2.1.2 Características Principales de las Onda Electromagnética<sup>11</sup>

Las tres características principales de las ondas que constituyen el espectro electromagnético son:

### 2.1.2.1 Frecuencia ( f )

La frecuencia de una onda responde a un fenómeno físico que se repite cíclicamente un número determinado de veces durante un segundo de tiempo, tal como se puede observar en la Figura 2.1.2:

<sup>11</sup> <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r27546.DOC>



**Figura 2.1.2 A.- Onda senoidal de un ciclo o Hertz (Hz) por segundo.**

**B.- Onda senoidal de 10 ciclos o Hertz por segundo.**

La frecuencia de esas ondas se representan con la letra (  $f$  ) y su unidad de medida es el ciclo o Hertz (Hz) por segundo.

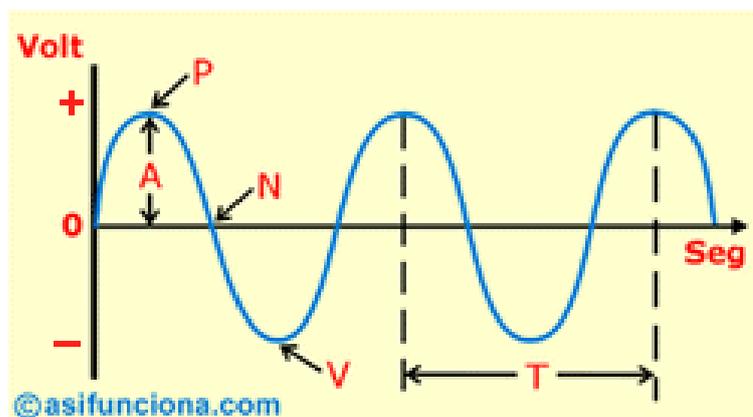
### 2.1.2.2 Longitud de onda ( $\lambda$ )

Las ondas electromagnéticas se propagan por el espacio de forma similar a como lo hace el agua cuando tiramos una piedra a un estanque, es decir, generando ondas a partir del punto donde cae la piedra y extendiéndose hasta la orilla.

Cuando tiramos una piedra en un estanque de agua, se generan ondas similares a las radiaciones propias del espectro electromagnético.

Tanto las ondas que se producen por el desplazamiento del agua, como las ondas electromagnéticas poseen picos o crestas, así como valles o vientres. La distancia horizontal existente entre dos picos consecutivos, dos valles

consecutivos, o también el doble de la distancia existente entre un nodo y otro de la onda electromagnética, medida en múltiplos o submúltiplos del metro (m), constituye lo que se denomina “longitud de onda”.



**Figura 2.1.3 Características principales de una Onda Electromagnética.**

- **P.-** Pico o cresta: valor máximo de signo positivo (+) que toma la onda sinusoidal cada medio ciclo a partir del punto “0”. Ese valor aumenta o disminuye a medida que la amplitud “A” de la propia onda crece o decrece positivamente por encima del valor “0”.
- **V.-** Valle o vientre: valor máximo de signo negativo (–) que toma la onda senoidal cada medio ciclo cuando desciende y atraviesa el punto “0”. El valor de los valles aumenta o disminuye a medida que la amplitud “A” de la propia onda crece o decrece negativamente por debajo del valor “0”.
- **T.-** Período: tiempo en segundos que transcurre entre el paso de dos picos o dos valles por un mismo punto.
- **N.-** Nodo: Valor “0” de la onda senoidal.

- La longitud de una onda del espectro electromagnético se representa por medio de la letra griega lambda (  $\lambda$  ) y su valor se puede hallar empleando la siguiente fórmula matemática:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \textbf{Ecuación 1}$$

De donde:

- $\lambda$  = Longitud de onda en metros.
- $c$  = Velocidad de la luz en el vacío ( $3 \times 10^8$  m/s).
- $f$  = Frecuencia de la onda en Hertz (Hz).

### **2.1.2.3 Amplitud ( A )**

La amplitud constituye el valor máximo que puede alcanzar la cresta o pico de una onda. El punto de menor valor recibe el nombre de valle o vientre, mientras que el punto donde el valor se anula al pasar, se conoce como “nodo” o “cero”.

### **2.1.3 Espectro de las Ondas Electromagnéticas<sup>12</sup>**

El espectro radioeléctrico se subdivide en nueve bandas de frecuencias, que se designan por números enteros, en orden creciente, de acuerdo con la tabla 2.1.1. Dado que la unidad de frecuencia es el Hertzio (Hz), las frecuencias se expresan:

---

<sup>12</sup> Conatel, Resolución 165-04 de Marzo 2008, Plan Nacional de Frecuencias, Capítulo II. Atribución de Bandas de Frecuencias, Pág. 18.

- En kilohertzios (kHz) hasta 3000 kHz, inclusive;
- En megahertzios (MHz) por encima de 3 MHz hasta 3000 MHz, inclusive;
- En gigahertzios (GHz) por encima de 3 GHz hasta 3000 GHz, inclusive;

Número de la banda	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior )	Subdivisión métrica correspondiente	Símbolos (en inglés)	Denominación
4	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas	VLf	Muy baja frecuencia
5	30 a 300 kHz	Ondas kilométricas	LF	Baja frecuencia
6	300 a 3000 kHz	Ondas hectométricas	MF	Media frecuencia
7	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	HF	Alta frecuencia
8	30 a 300 MHz	Ondas métricas	VHF	Muy alta frecuencia
9	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas	UHF	Ultra alta frecuencia
10	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	SHF	Súper alta frecuencia
11	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	EHF	Extremadamente alta frecuencia
12	300 a 3000 GHz	Ondas decimilimétricas		

**Tabla 2.1.1 Espectro Electromagnético respecto al Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador.**

En la banda de frecuencia 5 725 – 5 850 MHz, la nota nacional **EQA. 90**<sup>13</sup> expone, que también operan sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha y enlaces de Radiodifusión que utilizan Spread Spectrum<sup>14</sup> sin protección contra interferencias perjudiciales.

#### **2.1.4 Efectos de las Radiaciones Electromagnéticas**<sup>15</sup>

La especie humana vive en un manantial electromagnético natural, el campo geomagnético y los fenómenos ondulatorios electromagnéticos atmosféricos. Además, se deben añadir los producidos por la actividad humana. En un principio estos estaban referidos a las torres eléctricas, algunos aparatos electrodomésticos, usos industriales específicos y los radares. En los últimos años se ha apreciado un incremento sin precedentes de fuentes de Campos Electromagnéticos (CEM) utilizados con fines diferentes. El grado de producción ha alcanzado niveles tales que los expertos alertan de una contaminación electromagnética ambiental (electrosmog) y obviamente incidirá de algún modo sobre la salud humana.

Los CEM sobre la base de la longitud y frecuencia de sus ondas se subdividen en varios tipos, por lo que se puede hablar de un espectro electromagnético. Nos referiremos a las que comprenden de 30 MHz a 300 GHz y en este grupo se incluyen los teléfonos celulares, hornos de microonda, antenas de

---

<sup>13</sup> Conatel, Resolución 165-04 de Marzo 2008, Plan Nacional de Frecuencias, Capítulo III. Notas al Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, Pág. 120.

<sup>14</sup> Glosario

<sup>15</sup> [http://www.sagan-gea.org/hojared\\_radiacion/paginas/Radiacion\\_no%20ionizante.html](http://www.sagan-gea.org/hojared_radiacion/paginas/Radiacion_no%20ionizante.html)

estaciones de televisión, los radares en general y los radiolocalizadores en particular.

Las radiaciones de elevada frecuencia son más peligrosas porque destruyen los enlaces atómicos entre las moléculas logrando provocar daños en el material genético de las células y promover el desarrollo de enfermedades cancerígenas.

### **2.1.5 Propagación de las Ondas de Radio<sup>16</sup>**

Para instalar una red inalámbrica y, en particular, ubicar los puntos de acceso a fin de obtener el máximo alcance posible, se deben conocer algunos datos con respecto a la propagación de las ondas de radio.

Las ondas de radio se propagan en línea recta en varias direcciones al mismo tiempo. En vacío, las ondas de radio se propagan a 3,108 m/s.

En cualquier otro medio, la señal se vuelve más débil debido a:

#### **2.1.5.1. Refracción**

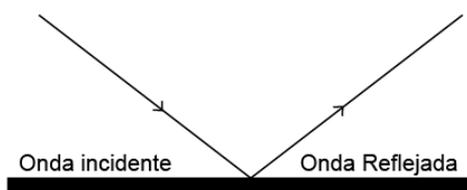
Las ondas de radio están expuestas a sufrir una desviación en su trayectoria cuando atraviesan de un medio a otro con densidad distinta, en comunicaciones este efecto sucede cuando las ondas electromagnéticas atraviesan las distintas capas de la atmósfera variando su trayectoria en un cierto ángulo.

---

<sup>16</sup> [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/peredo\\_a\\_s/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo1.pdf)

### 2.1.5.2. Reflexión

Las ondas de radio atraviesan las diversas capas de la atmósfera, desde la tropósfera hasta la ionósfera y si los índices de refractividad de cada una de estas capas son muy diferentes. Estos distintos índices pueden llegar a producir reflexión total, siendo las frecuencias de VHF, SHF y superiores las más propensas a esta desviación de trayectoria.



***Figura 2.1.4 Onda Reflejada producida por la reflexión de una Onda Incidente.***

### 2.1.5.3. Dispersión

El efecto de la dispersión ocurre cuando las ondas de radio atraviesan alguna masa de electrones o pequeñas gotas de agua en áreas suficientemente grandes. En comunicaciones de radio es importante mencionar que la dispersión de la señal generada por lluvia depende de la comparación del tamaño de la longitud de onda de la señal y el diámetro de la gota de lluvia. Si el diámetro de la gota de lluvia es menor a la longitud de onda, la atenuación será pequeña, pero ésta se incrementará si el diámetro de la gota supera a la longitud de onda de la señal. Generalmente la refracción se produce solamente a determinados ángulos. Este efecto es similar al que le ocurre a la luz intentando atravesar la niebla.

#### **2.1.5.4. Difracción**

Se puede entender a la difracción como el esparcimiento de las ondas en los límites de una superficie, esto quiere decir que para que exista la difracción tiene que haber un obstáculo, así es como este fenómeno permite que parte de la señal llegue al otro lado del objeto. Este fenómeno es de gran utilidad para las *zonas de sombra de señal* que pueden ser producidas por grandes edificios o montañas.

#### **2.1.5.5. Absorción de ondas de radio**

Cuando una onda de radio se topa con un obstáculo, parte de su energía se absorbe y se convierte en otro tipo de energía, mientras que otra parte se atenúa y sigue propagándose. Es posible que otra parte se refleje.

## **2.2. RADIOENLACES**

### **2.2.1 Características Generales de un Radioenlace<sup>17</sup>**

Un radioenlace es un sistema de transmisión de información que utilizan las ondas electromagnéticas a través de un medio no guiado como es el espacio, para efectuar enlaces punto a punto. Normalmente se utilizan frecuencias elevadas, SHF (Super High Frequency – Frecuencia Súper Alta), por sobre los 3 GHz, aunque también existen radio enlaces que usan frecuencias portadoras inferiores, en las bandas de VHF y baja de UHF.

---

<sup>17</sup><http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/presentaciones/radioenlaces-07.pdf>

Los enlaces se suelen utilizar casi siempre con línea de vista (LOS<sup>18</sup> - Line Of Sight) entre las antenas de emisión y recepción.

### 2.2.2 Estructura General de un Radioenlace<sup>19</sup>

Básicamente un enlace vía microondas consiste en tres componentes fundamentales: el TRANSMISOR, el RECEPTOR y el MEDIO DE TRANSPORTE.

El Transmisor es el responsable de modular una señal digital a la frecuencia utilizada para transmitir, el Canal Aéreo representa un camino abierto entre el transmisor y el receptor, y como es de esperarse el receptor es el encargado de capturar la señal transmitida y llevarla de nuevo a señal digital.

El factor limitante de la propagación de la señal en enlaces microondas es la distancia que se debe cubrir entre el transmisor y el receptor, además esta distancia debe estar libre de obstáculos. Otro aspecto que se debe señalar es que en estos enlaces, la línea de vista entre el receptor y el transmisor debe tener una altura mínima sobre los obstáculos en la vía, para compensar este efecto se utilizan torres para ajustar dichas alturas.

El **Site Survey**<sup>20</sup> corresponde a la primera etapa de cualquier proyecto y consiste en el levantamiento en campo de las condiciones ambientales, de

---

<sup>18</sup> Glosario

<sup>19</sup> <http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/123456789/531/2/T10455CAP1.pdf>

<sup>20</sup> Glosario

superficies como tipo de terreno, de accesibilidad vial y de energía eléctrica, en donde pretendemos implementar la tecnología.

### 2.2.3 Parámetros Básicos de un Radioenlace

Son aquellos involucrados en la ecuación para el cálculo de potencia entregada a la entrada del receptor. (RSSI<sup>21</sup> - Received Signal Strength Indicator - Indicador de intensidad de la señal de recepción)

$$RSSI(dBm) = G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB)$$

#### **Ecuación 2**

Donde intervienen directamente

- Ganancia entregada por el transmisor.

$$G_{TX} = (dBm)$$

- Pérdidas en las guías de onda del transmisor y receptor.

$$L_{GTX}, L_{GRX} = (dB)$$

- Ganancias de las antenas del transmisor y del receptor.

$$G_{ATX}, G_{ARX} = (dBi)^{22}$$

---

<sup>21</sup> Glosario

<sup>22</sup> Gain (dBi) = Gain (dBd) + 2.15

- Pérdidas en el espacio libre (FSL – free space lost).

$$FSL = (dB)$$

$$FSL = 92.4 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km) \quad \text{Ecuación 3}$$

- Perdidas en los circuitos de acoplamiento (misceláneos) del transmisor y receptor

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = (dB)$$

- Potencia entregada a la entrada del receptor RSSI.

$$RSSI = (dBm)$$

- Potencia mínima utilizable o Sensibilidad U (dB) o Potencia umbral del receptor.<sup>23</sup>

Indica el valor mínimo de potencia que es necesario para que sea posible decodificar/extraer los "bits lógicos" de la señal de radio, (BER de  $10^{-3}$  y  $10^{-6}$ ), y mantener una cierta tasa de transferencia. Cuanto menor sea la sensibilidad, mejor es el receptor de radio.

La sensibilidad del receptor generalmente es un dato del equipo.

- Margen respecto al umbral  $M_U$  (dBm)<sup>24</sup>

<sup>23</sup> [http://montevideolibre.org/manuales:libros:mmtk:capitulo\\_4.3#sensibilidad\\_del\\_receptor](http://montevideolibre.org/manuales:libros:mmtk:capitulo_4.3#sensibilidad_del_receptor)

<sup>24</sup> <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1284/3/T%2011173%20>

Se obtiene de la diferencia entre la potencia de recepción y la sensibilidad del receptor y se calcula con la ecuación 3:

$$M_U = \text{RSSI}^{25} - U \quad \textbf{Ecuación 4}$$

Se puede decir que el valor de RSSI debe ser mayor que U para que funcione un radioenlace, esta es una condición necesaria pero no suficiente debido a que no garantiza que el valor de  $M_U$  sea capaz de cubrir el desvanecimiento.

#### 2.2.4 Desvanecimiento en Radioenlaces

Un desvanecimiento es una distorsión provocada por las variaciones de las características físicas del canal que tiene como resultado una disminución de la potencia recibida.

Una señal al propagarse como una onda electromagnética por la atmósfera terrestre puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, además de la pérdida normal en la trayectoria. Esas pérdidas se pueden atribuir a diversos fenómenos, que incluyen efectos de corto y largo plazo.

Esta variación en la pérdida de la señal se llama desvanecimiento y se puede atribuir a perturbaciones meteorológicas como lluvia, granizo, etc. Para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de

---

<sup>25</sup> RSSI, es la cantidad de potencia entregada a la entra del receptor.

transmisión a la pérdida en trayectoria normal. A esta pérdida se le llama margen de desvanecimiento (*Fade Margin - FM*).<sup>26</sup>

*La propagación por trayectorias múltiples y la sensibilidad del terreno* son características no ideales como también menos predecibles en la propagación de las ondas de radio y tienen una influencia directa en el cálculo del desvanecimiento.

Interviene además, el objetivo o factor de calidad para una confiabilidad (R) de un sistema anual especificado, para un sistema sin diversidad y sin protección.<sup>27</sup>

De tal forma, el margen de desvanecimiento (FM) es:

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad \textbf{Ecuación 5}$$

---

<sup>26</sup>

<http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/1284/3/T%2011173%20CAPITULO%202.pdf>

<sup>27</sup> TOMASI, Wayne (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Editorial Pearson. Pag 368.

La tabla 2 muestra el significado de cada término de la Ecuación 5.

Término	Significado	Factores
<b>30 log d</b>	Efecto de trayectoria múltiple	d Distancia visual entre antenas, Km.
<b>10 log (6 AB f)</b>	Sensibilidad del terreno	A Factor de rugosidad.
		B Factor climático.
		f Frecuencia de operación, GHz.
<b>10 log (1 - R)</b>	El objetivo de confiabilidad	R confiabilidad en tanto por uno (99.99%=0.9999) <sup>28</sup> .
		(1 - R) Indisponibilidad

**Tabla 2.2.1 Composición y valores del margen de desvanecimiento.**

De acuerdo a la tabla anterior podemos analizar los datos contenidos, para clasificar cada uno de los tipos de terreno a las normas internacionales dadas por la ITU, el cual desarrolla un conjunto de categorías de superficie del terreno que se utilizarán de la misma forma en todas las aplicaciones.<sup>29</sup>

<sup>28</sup>TOMASI, Wayne (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Editorial Pearson. Pag 368.

<sup>29</sup> <http://www.radiocomunicaciones.net/pdf/planificacion-radioenlace-cartografia-digital.pdf>

- Factor de Rugosidad o factor topográfico (A):

4 = espejos de agua, ríos muy anchos o sobre terrenos muy lisos.

3 = sembrados densos; pastizales; arenales.

2 = bosques (la propagación va por encima).

1 = terreno normal.

0.25 = terreno rocoso disperejo.

- Factor Climático establecido en las peores condiciones meteorológicas hasta buen clima, clima despejado 25°C (B):

1 = áreas marinas o con condiciones de peor mes, anualizadas.

0.5 = áreas tropicales calientes y húmedas.

0.25 = áreas mediterráneas de clima normal.

0.125 = áreas montañosas de clima seco y fresco.

El objetivo de confiabilidad se define como la indisponibilidad del sistema y es el porcentaje de tiempo que un enlace se interrumpe por consecuencia del desvanecimiento.

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$Mu \geq FM$$

### 2.2.5 Confiabilidad de un Radioenlace<sup>30</sup>

La confiabilidad o disponibilidad es la capacidad de un componente, equipo o sistema de no fallar durante un determinado periodo de tiempo, es decir es el porcentaje de tiempo en el cual un radio enlace estará disponible. Ésta no sólo se relaciona con la prevención de caídas por desvanecimiento, sino incluso con la percepción de "caída" desde el punto de vista del usuario: cualquier circunstancia que nos impida trabajar productivamente con el sistema – desde tiempos de respuesta prolongados, escasa asistencia técnica o falta de estaciones de trabajo disponibles – es considerada como un factor de baja disponibilidad.

En este proyecto final de grado nos vamos a referirnos únicamente a la confiabilidad por prevención del desvanecimiento.

La Ecuación 6 permite calcular la Confiabilidad:

$$\text{Confiabilidad} = \left( \frac{(A-B)}{A} \right) \times 100\% \qquad \textbf{Ecuación 6}$$

Donde:

A = Horas comprometidas de disponibilidad: 24 x 365 = 8760 Horas/año.

B = Número de horas fuera de línea (Horas de "caída del sistema" durante el tiempo de disponibilidad comprometido). Por ejemplo: 15

---

<sup>30</sup> <http://everac99.wordpress.com/2008/08/19/alta-disponibilidad-que-es-y-como-se-logra/>

horas por falla en un disco (mantenimiento correctivo) + 9 horas por mantenimiento preventivo no planeado.

Así entonces aplicando la Ecuación 6:

$$\text{Confiabilidad} = \left( \frac{(8760 \text{ h} - 24 \text{ h})}{8760 \text{ h}} \right) \times 100\% = 99.726\%$$

Cuando se realicen negociaciones para definir objetivos de disponibilidad con los usuarios, es necesario hacerlos conscientes de las implicaciones técnicas y económicas, como se muestra en la Tabla 2.2.2

Confiabilidad (%)	Tiempo offline <sup>31</sup> /año	Tiempo offline/mes	Tiempo offline/día
<b>99.9%</b>	8.8 hrs	43.8 min	1.46 min
<b>99.99%</b>	52.6 min	4.4 min	8.6 s
<b>99.999%</b>	5.26 min	26.3 s	0.86 s
<b>99.9999%</b>	31.5 s	2.62 s	0.08 s

**Tabla 2.2.2 Confiabilidad para un sistema 24x7 y tiempos de caída (Indisponibilidad)**

Podemos calcular la confiabilidad (R) real del sistema a partir de la Ecuación 5 y reemplazando FM por M<sub>U</sub>.

---

<sup>31</sup> Glosario

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{MU}{10}} \quad \text{Ecuación 7}$$

### 2.2.6 Planificación de un Radioenlace<sup>32</sup>

Los radio enlaces de microondas se realizan sólo si existe una línea de vista del receptor (LOS, Line Of Sight), proveen conectividad de una manera sencilla y práctica entre dos o más sitios.

LOS implica que la antena en un extremo del radio enlace debe poder "ver" la antena del otro extremo.

El diseño de un radio enlace de microondas con LOS involucra cuatro pasos básicos:

- Elección de los sitio de instalación
- Levantamiento del perfil del terreno entre los dos sitios y cálculo de la altura de la estructura para la antena
- Cálculo completo del radio enlace, estudio de la trayectoria del mismo y los efectos a los que se encuentra expuesto.
- Prueba posterior a la instalación del radio enlace, y su posterior puesta en servicio con tráfico real.

---

<sup>32</sup> <http://www.radiocomunicaciones.net/radio-enlaces.html>

## 2.2.7 Elección del Trayecto<sup>33</sup>

### Emplazamientos

En primer lugar se determina los emplazamientos de las estaciones terminales<sup>34</sup> y de las estaciones repetidoras<sup>35</sup>. Estas estarán condicionadas a imperativos geográficos, redes de comunicación existentes, frecuencia de trabajo, exigencias de calidad, facilidad de acceso y de suministro de energía.

### Distancias entre repetidoras

La distancia entre repetidoras o entre terminales depende de las necesidades del cliente. Considerando que a mayor distancia entre repetidoras mayor es la pérdida por espacio libre y a menor distancia menor es la pérdida en espacio libre.

### Obtención de coordenadas geográficas

La obtención de longitud, latitud y altitud será mediante la utilización de los planos cartográficos a diferentes escalas o por la ayuda de un GPS, este último implica tener que viajar al lugar mismo del posible emplazamiento, permiten determinar la ruta completa del radioenlace, mostrando la ubicación de los repetidores y el trayecto completo.

---

<sup>33</sup> <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/presentaciones/radioenlaces-07.pdf>

<sup>34</sup> y <sup>35</sup> Glosario

Ayudando a la localización de posibles obstáculos y elementos significativos sobre el mapa.

- Escalas recomendadas

1:50 000 , 1:25 000.

El software Google Earth también permite la obtención de coordenadas geográficas de una manera sencilla, con tan solo ubicar el cursor en el punto del posible emplazamiento.

Además de ser un software gratuito, Google Earth hace posible la visualización de imágenes en 3D del planeta, combinando imágenes de satélite, mapas y el motor de búsqueda de Google que permite ver imágenes a escala de un lugar específico del planeta.<sup>36</sup>

### **Trazado del Perfil.**

Una vez decidido los puntos de ubicación de las estructuras para las antenas, procedemos a usar el software SPLAT.

SPLAT es una poderosa herramienta desarrollada por John A. Magliacane, KD2BD y licenciada como GPLv2 para cálculo y trazado de enlaces de radiocomunicaciones y predicción de línea de vista y cobertura usando los

---

<sup>36</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](http://es.wikipedia.org/wiki/Google_Earth)

mapas SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission - El transbordador en la misión de radar topográfico).<sup>37</sup>

SRTM es un proyecto internacional realizado en febrero del 2000, liderado por la National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA)<sup>38</sup>, y ofrecen una resolución de 3 segundos de arco, alrededor de 93m en Ecuador.

En este caso usaremos el SPLAT para trazar el diagrama de perfiles (uno por par de repetidoras), donde se incluye la curvatura ficticia de la tierra (factor K) y se une mediante una recta los extremos del trayecto observando si existe o no LOS.

Google Earth y SPLAT no usan la misma fuente de datos de elevación. Sin embargo, su diferencia es sumamente pequeña.

En la siguiente página en internet:

[http://members.chello.at/stephen.joung/indexGoogleHeights\\_v3\\_2.html](http://members.chello.at/stephen.joung/indexGoogleHeights_v3_2.html)

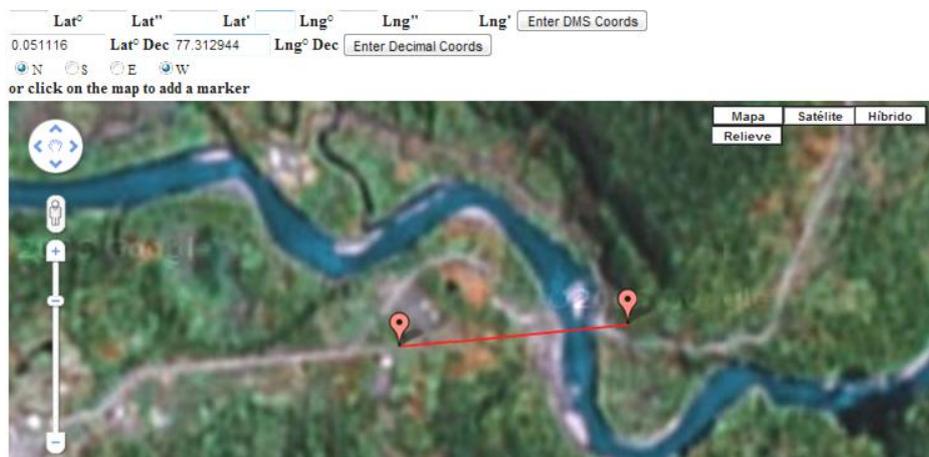
Se puede comparar los datos de elevación de Google Earth con los datos de elevación SRTM3 usados por SPLAT.

---

<sup>37</sup> <http://charlesescobar.com/?p=144#more-144>

<sup>38</sup> <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>

### Compare Google Elevation Data with SRTM3 Elevation Data



**Figura 2.2.1 Ubicación de los sitios A y B entre los que se va a obtener el perfil de terreno.**

En la Figura 2.2.1, se observa una tabla en dicha página, donde se debe introducir el par de coordenadas geográficas una por una, es decir primero las del SITIO A y luego las del SITIO B, pero en decimales, debido a que en esta página existe una falla al introducir las coordenadas en DMS (Grados, Minutos y Segundos).

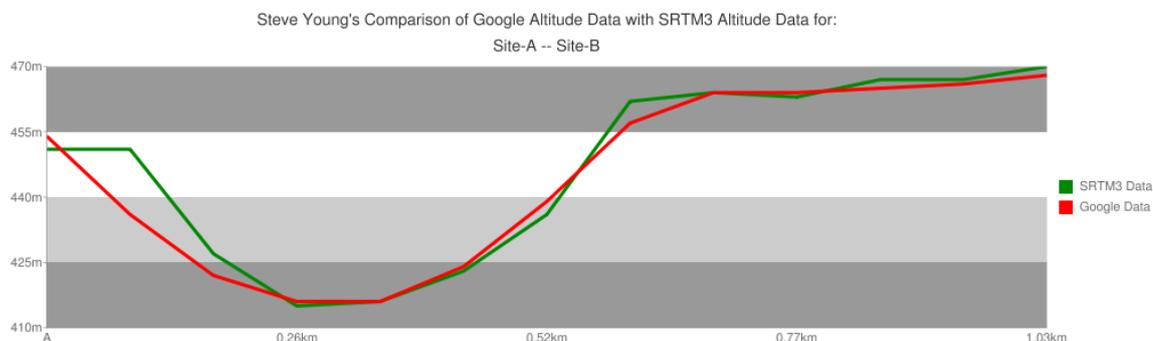
A continuación, al lado derecho de la página, se llenará automáticamente otra tabla mostrada en la Figura 2.2.2 para los sitio A y B.

If you want to name sites enter them here without any whitespace

Site-A	Site-A	Site-B	Site-B
0.05206300°	Lat-A -77.30372700°	Long-A	
0° 3' 7.427"	Lat-A -77° -19' 46.583"	Long-A	
451	m Elevation-A SRTM3	454	m Elevation-B Google
0.05111600°	Lat-B -77.31294400°	Long-B	
0° 3' 4.018"	Lat-B -77° -19' 13.402"	Long-B	
470	m Elevation-B SRTM3	468	m Elevation-B Google
1.030	km Distance A-B		
264.134°	Bearing A-B	84.134°	Bearing B-A

**Figura 2.2.2 Tabla de características de los sitios de A y B generada automáticamente.**

Y por debajo de esta, se trazará dos perfiles, Figura 2.2.3, desde el sitio A al sitio B. La línea roja es el perfil trazado por Google Earth y la línea verde traza el perfil con los datos de los mapas SRTM3.



**Figura 2.2.3 Perfil de terreno generado, Línea Verde perfil con mapas SRTM3, Línea Roja perfil con mapas de Google.**

Se aprecia muy claramente la diferencia mínima que tienen. Y por esta razón es posible usar las coordenadas de Google Earth como datos de coordenadas a usar en SPLAT.

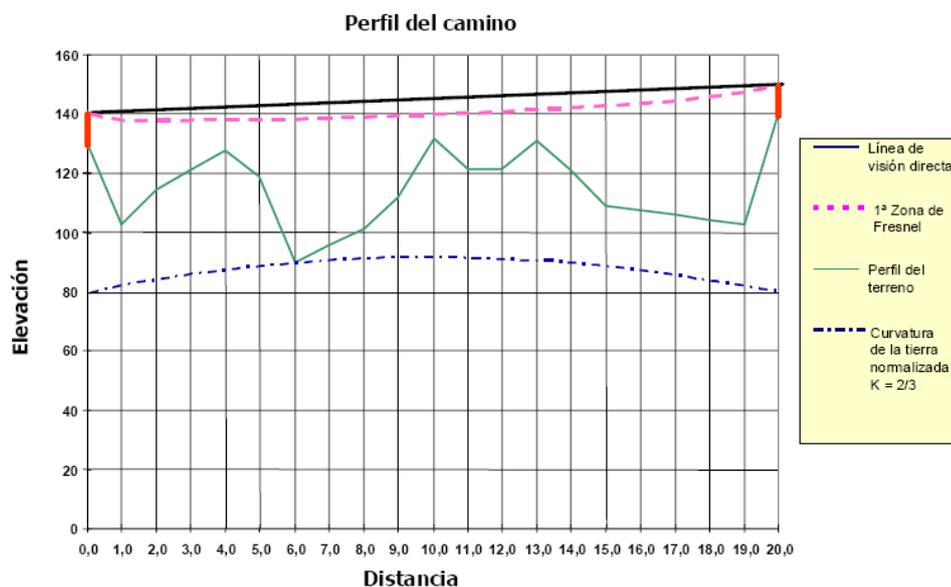
### **Condiciones de despejamiento (CLEARANCE)**

Para considerar que existe visibilidad directa y que por lo tanto el trayecto se encuentra libre de obstáculos, la distancia entre la línea recta que une las antenas o línea de vista (Line of sight) y el perfil del terreno debe cumplir.

- Para  $K = 4/3$ , (atmósfera estándar), lo ideal es que la primera zona de Fresnel ( $r_{F1}$ ) no esté obstruida, pero normalmente es suficiente despejar el 60% del radio de la primera zona de Fresnel para tener un enlace satisfactorio.

- Para  $K = 2/3$ , debe liberarse el 60% de el radio de la primera zona de Fresnel.
- Esto es suficiente con comprobar las condiciones anteriores en el punto más crítico del perfil.

En el caso de que no se cumpla el despejamiento se puede aumentar razonablemente la altura de las torres para salvar dichos obstáculos.



**Figura 2.2.3 Perfil de terreno con la primera zona de Fresnel despejada en**

$$K=2/3.^{39}$$

## 2.2.8 Cálculo de las Alturas de las Torres

Antes de determinar la altura de las antenas, se debe calcular el radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

<sup>39</sup> <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/presentaciones/radioenlaces-07.pdf>

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2 \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- $r_{F1}$  = Es el radio de la primera zona de Fresnel (m).
- $d_1$  = Distancia desde el transmisor al obstáculo (m).
- $d_2$  = Distancia desde el *obstáculo* al transmisor (m).
- $d$  = Distancia total del *enlace* o vano (m).

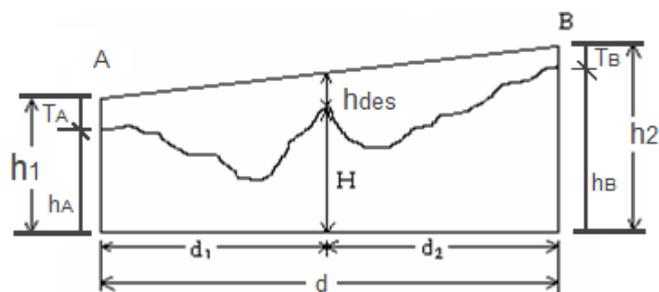
### **Margen de despeje sobre obstáculo**

Se denomina despeje sobre obstáculo o factor de tolerancia a la distancia  $h_{des}$ , de la figura 2.2.4, y asegura que la zona de Fresnel no esté obstruida.

El despeje sobre el obstáculo se realizará en el punto más crítico; es decir, donde exista o pudiera existir mayor obstrucción de línea de vista a lo largo de todo el trayecto.

En la práctica, basta con que el margen de despeje sobre el obstáculo ( $h_{des}$ ) sea mayor al radio de la primera zona de Fresnel ( $r_{F1}$ ) en el mismo punto, con lo que se asegura que no exista obstrucción.

Si  $h_{des} > r_{F1}$ , entonces no existe obstrucción.



**Figura 2.2.4 Perfil del trayecto de propagación del radioenlace.**

En el perfil del trayecto de propagación del radioenlace, el margen de despeje exacto sobre el obstáculo entre la línea central del trayecto de propagación y la arista del obstáculo se obtiene mediante la Ecuación 9.

$$h_{des} = h_1 + \frac{d_1}{d} \cdot (h_2 - h_1) - \left( H + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a} \right) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

- $h_{des}$  = Despeje sobre el obstáculo (m).
- $H$  = Altura de obstáculo (m.s.n.m.)
- $h_1$  = Altura del punto de recepción (m.s.n.m.).
- $h_2$  = Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.).
- $T_A$  = Altura de la torre para la antena de recepción (m).
- $T_B$  = Altura de la torre para la antena de transmisión (m).
- $h_A$  = Altura del terreno en el punto de recepción (m.s.n.m.).
- $h_B$  = Altura del terreno en el punto de transmisión (m.s.n.m.).

- $d_1$  = Distancia del punto de recepción al obstáculo **(Km)**.
- $d_2$  = Distancia del obstáculo al punto de transmisión **(Km)**.
- $d$  = Distancia total del trayecto **(Km)**.
- $K$  = Coeficiente del radio efectivo de la Tierra, este valor es igual a  $2/3$  o  $4/3$ .
- $a$  = Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$h_{des}(m) = 9 m + r_{F1}(m)$ , debido a que en la zona en la que se desarrollaran los radios enlaces existen arboles de hasta 7(m), y por seguridad se determino de 9 (m), sumándose a este el valor correspondiente a  $r_{F1}$ . Obteniendo así el valor real de  $h_{des}$

Determinado el despeje sobre el obstáculo se procederá a calcular la altura de las antenas.

De la ecuación 9, se obtiene:

$$h_2 = \frac{d \cdot (h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a})}{d_1} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$$h_1 = h_A + T_A \quad \text{Ecuación 11}$$

Siendo el valor de  $T_A$  dado por la persona que realiza el cálculo, quien deberá ser consciente de establecer un valor sujeto a posibilidades económicas y físicas.

Finalmente se obtendrá el valor de  $h_2$ , despejando de este  $T_B$  que es la altura de la torre para la antena.

$$h_2 = h_B + T_B \quad \textbf{Ecuación 12}$$

En casos de que exista línea de vista segura entre los puntos a enlazar, es decir, no hubiese obstáculos o posibles obstáculos, la altura mínima a la que se debe colocar una antena se determinará con la Ecuación 13.

$$T_{min} = 5 \cdot \lambda + \frac{1}{2} D \quad \textbf{Ecuación 13}$$

Donde:

- $T_{min}$  = Altura mínima de torre para antena cuando hay línea de vista segura (m).
- $D$  = Diámetro de la antena (m).

$T_{min}$  es variable debido a que el cálculo no toma en cuenta obstáculos que estén demasiado cerca al emplazamiento, como por ejemplo: muros, arboles, casas, etc.

## 2.3. ANTENAS

### 2.3.1. Conceptos Generales<sup>40</sup>

Una antena es el elemento que permite adaptar a la línea de transmisión (cables conductores paralelos, cables coaxiales o guías de ondas), de un

---

<sup>40</sup> RAMIREZ ARTUNDUAGA, Jaime (2007). ANTENAS, Conceptos básicos simplificados de funcionamiento y diseño. Editorial Bonaventuriana. (Primera Edición). Bogotá. Pg. 21-22

transmisor y/o de un receptor, con el medio ambiente (espacio libre o superficie terrestre) por el cual se transfieren las señales de radio que manejan estos equipos.

Con lo descrito anteriormente se podría considerar a una antena como un “transductor<sup>41</sup>” consistente en aquel dispositivo físico que convierte a la energía o señal eléctrica, generada por el transmisor, en energía electromagnética o señal de radio, que se propaga a través del espacio o superficie terrestre, en el caso de que esté trabajando en modo de transmisión y en sentido contrario, si está trabajando en modo de recepción.

De esta manera se podría entender que una antena, en modo de transmisión, es un transductor que convierte las señales eléctricas en señales de radio, y en modo de recepción es un transductor que convierte las señales de radio en señales eléctricas.



**Figura 2.3.1 Reflector parabólico con radomo.**<sup>42</sup>

---

<sup>41</sup> Glosario

<sup>42</sup> [http://www.radiowavesinc.com/other/3.5\\_GHz\\_Catalog\\_%28Spanish\\_Version%29.pdf](http://www.radiowavesinc.com/other/3.5_GHz_Catalog_%28Spanish_Version%29.pdf)

En cuanto a las estaciones repetidoras se las puede clasificar en activos o pasivos.<sup>43</sup>

- **Activos:** En ellos se recibe la señal en la frecuencia de portadora y se la baja a una frecuencia intermedia (FI) para amplificarla y retransmitirla en la frecuencia de salida. No hay demodulación y son transceptores.
- **Pasivos:** Se comportan como espejos que reflejan la señal y se los puede dividir en pasivos convencionales, que son una pantalla reflectora y los pasivos back-back, que están constituidos por dos antenas espalda a espalda. Se los utiliza en ciertos casos para salvar obstáculos aislados y de corta distancia.



**Figura 2.3.2 Antena direccional 5.8 GHz, 19 dBi, Flat Panel.<sup>44</sup>**

### **Construcción**

Toda antena debe ser construida con material conductor, porque, para que pueda radiar señales de radio debe fluir por la misma corriente eléctrica (modo

---

<sup>43</sup> <http://www.radiocomunicaciones.net/radio-enlaces.html>

<sup>44</sup> <http://www.superblinks.net/pages/antena/productos.php?nombre=HG5819P>

de transmisión) y por la misma razón debe ser conductora<sup>45</sup>, para que una señal de radio induzca<sup>46</sup> sobre la misma una señal eléctrica (modo de recepción).

### **2.3.2. Parámetros de una Antena**

Las antenas se caracterizan por una serie de parámetros y los involucrados en este estudio están descritos a continuación:

#### **2.3.2.1 Impedancia**

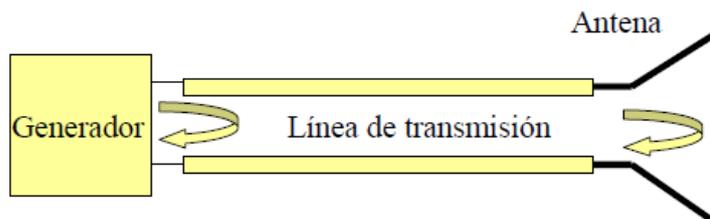
Una antena se tendrá que conectar a un transmisor y/o receptor y deberá radiar el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas. Para esto se debe adaptar la antena al transmisor para una máxima transferencia de potencia, y se suele hacer a través de una línea de transmisión (cable desde la antena hasta el transmisor o receptor o Pigtail). Esta línea también influirá en la adaptación, debiéndose considerar su impedancia característica, atenuación y longitud.<sup>47</sup> Por esta razón, se observa en los catálogos la impedancia en la salida de antena del transmisor o receptor para acoplar una línea de transmisión o pigtail que tenga la misma impedancia del transmisor o receptor y finalmente acoplarla a la antena. Esta última deberá tener una impedancia de entrada (dato definido por el fabricante) igual a la del transmisor o receptor y de la línea de transmisión.

---

<sup>45</sup> Conductor - Glosario

<sup>46</sup> Inducir - Glosario

<sup>47</sup> <http://www.monografias.com/trabajos6/ante/ante.shtml#para>



**Figura 2.3.3 Acoplado entre generador, línea de transmisión y antena.**



**Figura 2.3.4 Pigtail.<sup>48</sup>**

### 2.3.2.2 Directividad y Ganancia de Potencia<sup>49</sup>

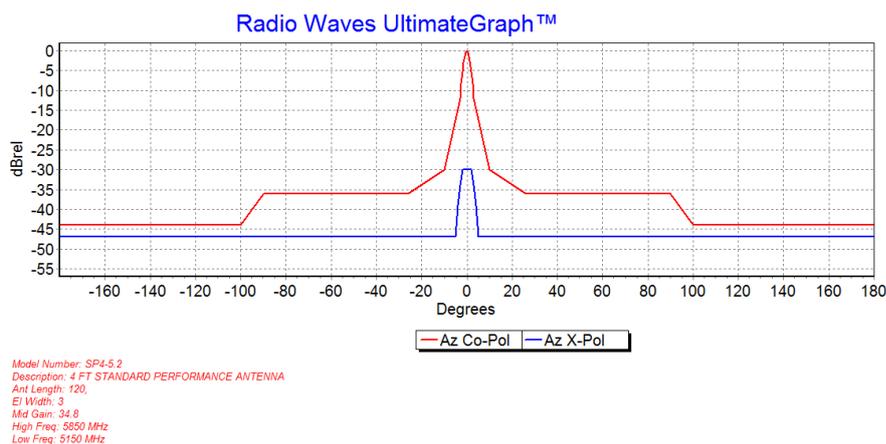
Los términos ganancia directiva y ganancia de potencia con frecuencia no se comprenden y por lo tanto se utilizan incorrectamente.

La ganancia directiva o directividad es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia.

<sup>48</sup> <http://www.sxriore.com/p/Pigtail.html>

<sup>49</sup> <http://www.frm.utn.edu.ar/comunicaciones/antenas.html#IND>

El patrón de radiación para la densidad de potencia relativa de una antena es realmente un patrón de ganancia directiva si la referencia de la densidad de potencia se toma de una antena de referencia estándar, que por lo general es una antena isotrópica. La máxima ganancia directiva se llama Directividad.



**Figura 2.3.5 Patrón de radiación de una antena.**

La ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva excepto que se utiliza el total de potencia que alimenta a la antena (es decir, que se toma en cuenta la eficiencia de la antena).

### 2.3.2.3 Polarización

La polarización de una antena se refiere solo a la orientación del campo eléctrico radiado desde ésta. Una antena puede polarizarse en forma lineal (por lo general, polarizada horizontal o vertical), en forma elíptica o circular. Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está

polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico radiado gira en un patrón elíptico, está polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, está polarizada circularmente.

#### **2.3.2.4 Ancho de Banda**

El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es "satisfactoria"<sup>50</sup>. Por ejemplo, una antena con un ancho de banda de 10.9 GHz a 12.8 GHz está diseñada para captar todas las frecuencias comprendidas entre los dos límites citados, lo que implica que tiene un ancho de banda de 1.9 GHz a partir de 10.9 GHz<sup>51</sup>.

#### **2.3.2.5 Concepto de PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva )<sup>52</sup>**

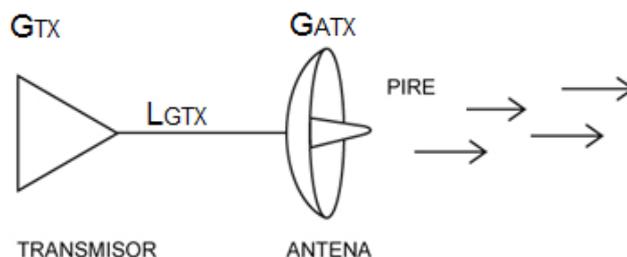
La PIRE, es una medida que indica la fuerza con que una señal es transmitida hacia un receptor. La ecuación de PIRE muestra que la potencia isotrópica radiada efectiva es la combinación de la potencia del transmisor con la ganancia de la antena, además, entre el transmisor y la antena se generan pérdidas causadas por los cables y conectores que unen a estos dos elementos. La figura 2.3.6 Muestra la ubicación donde se genera la potencia isotrópica radiada efectiva

---

<sup>50</sup> <http://www.frm.utn.edu.ar/comunicaciones/antenas.html#IND>

<sup>51</sup> <http://antenared.com/2009/06/antenas-parabolicas-ancho-de-banda-relacion-senal-a-ruido-factor-de-potencia/>

<sup>52</sup> [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/peredo\\_a\\_s/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/peredo_a_s/capitulo3.pdf)



**Figura 2.3.6 Factores que generan la PIRE.**

Potencia isotrópica radiada efectiva en decibeles<sup>53</sup>

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}(dBm) + G_{ATX/ATR}(dBi) - L_{GTX/GTR}(dB) - MISE_{TX/TR}(dB)$$

#### **Ecuación 14**

Un radiador isotrópico es una antena ficticia y puntual, capaz de radiar la misma potencia en todas las direcciones (omnidireccional). El interés de la antena isotrópica viene dado por su empleo como radiador de referencia.

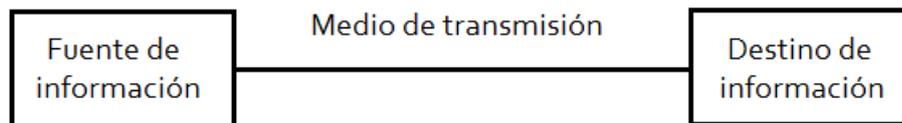
## **2.4. MODULACION**

### **2.4.1. Introducción<sup>54</sup>**

Un sistema de comunicaciones electrónicas comprende tres secciones principales: una fuente, un destino y un medio de transmisión. Figura 2.4.1.

<sup>53</sup> [http://www.rediris.es/eventos/foro-wifi/2008/wifi\\_salud\\_2.pdf](http://www.rediris.es/eventos/foro-wifi/2008/wifi_salud_2.pdf)

<sup>54</sup> TOMASI, Wayne (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Editorial Pearson. Pag 467.



**Figura 2.4.1 Diagrama de bloques simplificado de un sistema de comunicaciones electrónicas.**

La información se propaga a través de un sistema de comunicaciones en forma de símbolos que pueden ser *analógicos*, como la voz humana, la información de las imágenes de video, o la música; o bien pueden ser *digitales*, como los números codificados en un sistema binario, los códigos alfanuméricos, los símbolos gráficos, los códigos de operación de microprocesadores o la información de bases de datos.

Sin embargo, y con mucha frecuencia, la información de la fuente no es apta para ser transmitida en su forma original y se debe convertir a una forma más apta antes de transmitirla.

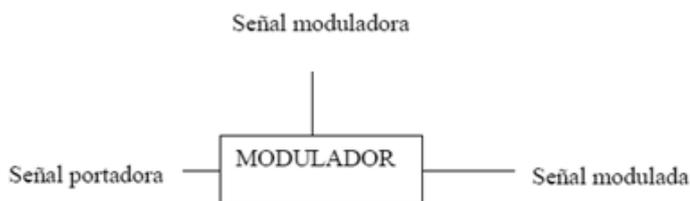
La información analógica de los sistemas de comunicaciones digitales se convierte a forma digital antes de ser transmitida, y con los sistemas de comunicaciones analógicos, los datos digitales se convierten en señales analógicas antes de transmitirlos.

La *modulación* analógica es un sistema tradicional de comunicaciones electrónicas y usa técnicas convencionales como las de *Modulación de Amplitud (AM)*, *Modulación de Frecuencia (FM)* y *Modulación en Fase (PM)* que se están sustituyendo rápidamente por sistemas de comunicaciones digital, más modernos, que tienen notables ventajas sobre los sistemas analógicos

tradicionales: facilidad de procesamiento, facilidad de multiplexado e inmunidad al ruido.

La *modulación digital* usa diferentes técnicas como: manipulación por desplazamiento de frecuencia (*FSK-Frecuency-Shift Keying*), manipulación por desplazamiento de fase (*PSK-Phase-Shift Keying*), modulación de amplitud en cuadratura (*QAM-Quadrature Amplitude Modulation*).

#### 2.4.2. Modulación Digital



**Figura 2.4.2 Esquema de modulación.**

La transmisión en banda ancha es una técnica en la cual los datos son transmitidos usando una señal portadora (tal como una onda sinusoidal), la cual es modulada de acuerdo a la información digital (señal en banda base o señal moduladora) que se desea transmitir, convirtiéndose la señal digital en una forma analógica para la transmisión.

En el lado del receptor mediante el proceso de demodulación la señal recibida es convertida nuevamente al formato digital. Mediante el proceso de modulación, la señal original (en banda base o señal moduladora) se traslada desde la gama de frecuencias en banda base a la gama de frecuencias de la onda portadora.

Al usar modulación se puede conseguir mayores alcances en la transmisión. La modulación digital es entonces el proceso de introducir en la amplitud, frecuencia, fase o una combinación de estos parámetros de una onda portadora, la información digital en banda base.

A continuación, los distintos tipos de modulación digital utilizados para OFDM:

#### **2.4.2.1 Modulación PSK (Phase Shift Keying)**

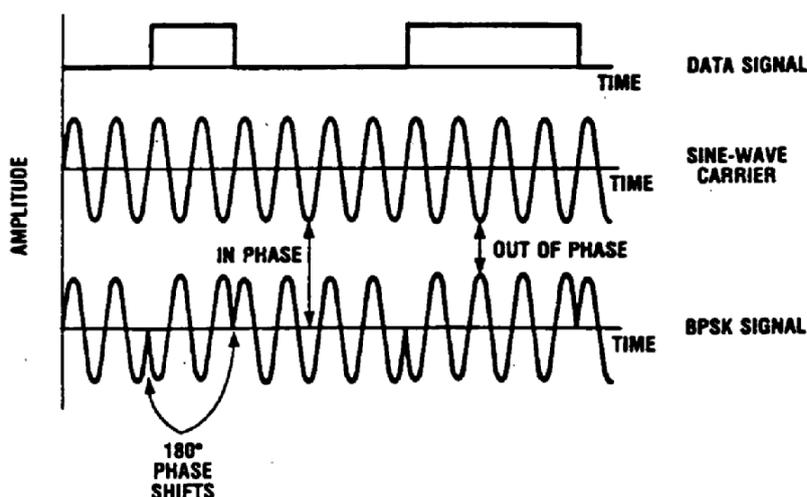
Aunque PSK no es usado directamente, es la base para entender otros sistemas de modulación de fase multinivel. Es una modulación muy eficiente ampliamente utilizada en radio digital por sus características de amplitud constante, insensibilidad a variaciones de nivel, buen desempeño contra errores.

En la modulación PSK, es la fase de la portadora la que cambia de acuerdo a la señal binaria en banda base.

#### **2.4.2.2 Modulación BPSK**

En este caso se tienen dos fases diferentes, asignándose una de ellas a los 1s (unos) y la otra a los 0s (ceros), la separación entre fases adyacentes es de 180 grados.

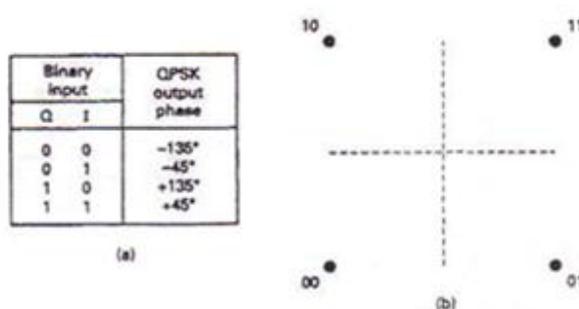
En el dominio del tiempo la portadora modulada para el caso BPSK se vería como lo muestra la Figura 2.4.3.



**Figura 2.4.3 Modulación BPSK.**<sup>55</sup>

### 2.4.2.3 Modulación QPSK

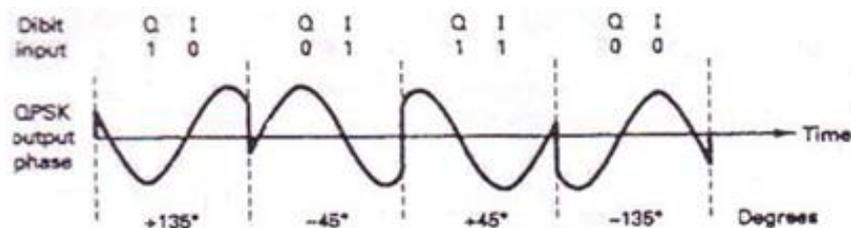
Una señal modulada QPSK utiliza cuatro fases diferentes para la señal portadora y se conoce como modulación de fase en cuadratura o modulación de fase cuaternaria. En este tipo de modulación los bits de la señal digital se toman de 2 en 2 en cada fase y estarán separados 90 grados, tal como lo muestra el diagrama de constelación de la Figura 2.4.4 (b).



**Figura 2.4.4 Modulación QPSK. (a) Fases y (b) diagrama de constelación.**<sup>56</sup>

<sup>55</sup><http://www.ingelec.uns.edu.ar/fsc2718//Laboratorios%20de%20PAM%20-%20PCM%20y%20ASK%20-%20BPSK.ppt>

La forma de la señal modulada QPSK en el dominio del tiempo sería como lo muestra la Figura 2.4.5



**Figura 2.4.5 Señal modulada QPSK en función del tiempo.**

La codificación multinaria se deriva de la codificación Binaria.

La M representa un dígito ó número de codificaciones. La técnica BPSK es un sistema binarios donde solo hay 2 condiciones posibles de salida "1" y "0" es decir que esos sistemas son de  $M=2$ .

Con la modulación digital es ventajoso codificar con  $M>2$  ejemplo en el sistema QPSK hay 4 niveles de salida luego hay 4 fases.

Si hay 8 posibles salidas  $M=8$  podemos resumir con:

$$N = \log_2 M = \text{Número de bits}$$

$$M = \text{Número de condiciones posibles de Salida con } N \text{ bits.}$$

Si se entran 2 bits en un modulador, antes de cambiar la salida:

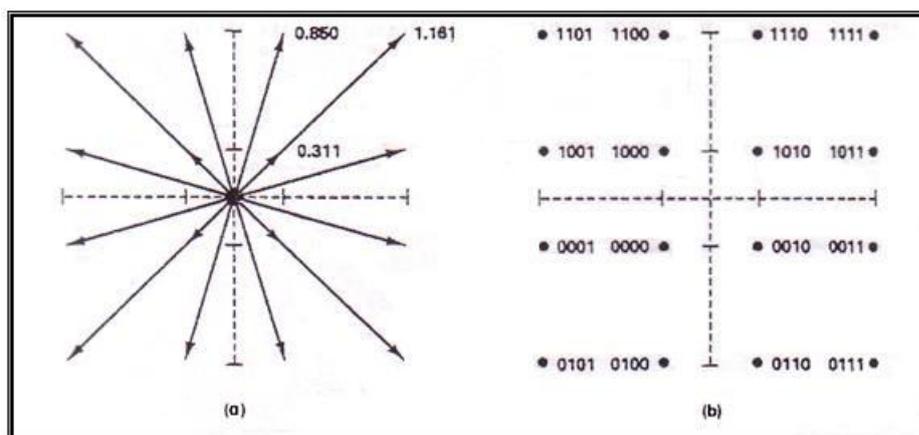
$$2 = \log_2 M \quad 2^2 = M = 4 \quad \text{Es decir con 2 bits hay 4 condiciones de salida diferentes. Si } N=3 \quad M=8$$

<sup>56</sup> <http://html.rincondelvago.com/modulacion-digital.html>

### 2.4.2.4 Modulación QAM

Una modulación QAM involucra la variación simultáneamente de dos parámetros de la onda portadora: amplitud y fase. Es posible considerar a la modulación QAM como una extensión de la modulación PSK, donde las dos señales en banda base son generadas independientemente, en consecuencia se establecen dos canales en cuadratura completamente independientes.

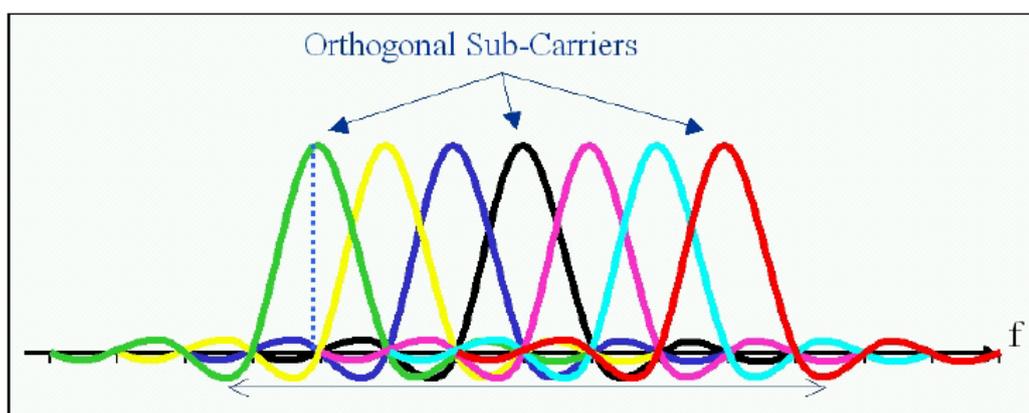
Si se tienen 2 niveles en cada canal se tendría el caso de una señal 4 QAM que sería idéntico al caso 4 PSK. Sin embargo, sistemas QAM de mayor orden ( $M > 4$ ) son diferentes a los sistemas de múltiples fases PSK. En contraste con la señal PSK, QAM no tiene envolvente constante, pues en QAM los niveles de cada canal son seleccionados independientemente. En la figura 2.4.6 se muestra (a) Diagrama fasorial y (b) Diagrama de constelación de una modulación 16 QAM.



**Figura 2.4.6 Modulación 16 QAM (a) Diagrama fasorial, (b) Diagrama de constelación.**

### 2.4.3. Multiplexación Por División De Frecuencias Ortogonales (OFDM).<sup>57</sup>

OFDM es una técnica de comunicación que divide un canal, de frecuencia, en un número determinado de bandas de frecuencias separadas equidistantemente, en cada banda se transmite una sub-portadora que transporta una porción de la información del usuario. Cada sub-portadora es ortogonal al resto, dándole el nombre a esta técnica de multiplexación por división de frecuencia. Ortogonalidad significa que la frecuencia central de una sub-portadora coincide con los nodos de las otras sub-portadoras, es decir, permite que el espectro de cada una estén traslapadas y no exista interferencia, aumentando la eficiencia del uso del espectro debido a que no se utilizan bandas de separación entre sub-portadoras, como se ilustra en la figura 2.4.7.

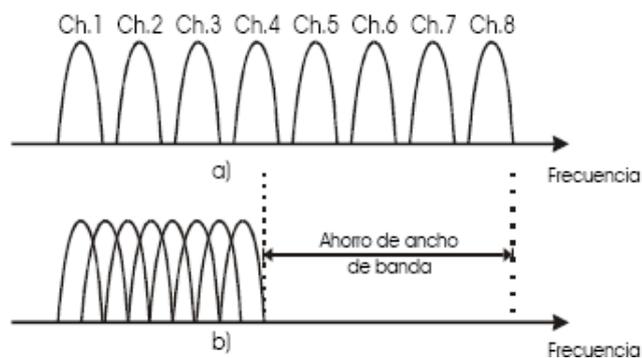


**Figura 2.4.7 Sub-portadoras ortogonales permiten traslape de sus espectros sin interferencias.**

<sup>57</sup> BREEZEACCESS VL, Beyond the Non Line of Sight, JULIO 2003, Manual de ALVARION.

Un sistema OFDM toma un flujo de datos y lo divide en  $N$  flujos paralelos, cada uno a un tasa  $1/N$  de la original. Luego cada flujo es modulado (BPSK, QPSK o QAM), obteniendo la señal en el dominio del tiempo a transmitir. Por ejemplo, si se utiliza un sistema con 100 sub-portadoras y se transmite un solo flujo con una tasa de 1 Mbps (Mega Bytes por Segundo), este es convertido en 100 flujos de 10 Kbps (Kilo Bytes por Segundo). Al crear flujos de datos paralelos más lentos, provoca que la duración de cada símbolo de la modulación aumente en un factor de 100.

Esto permite obtener un mayor throughput (Rendimiento) con menos requerimiento de ancho de banda, Figuras 2.4.8.



**Figura 2.4.8 a) Técnica multiportadora convencional, b) Modulación OFDM.**

## 2.5. WIRELESS<sup>58</sup>

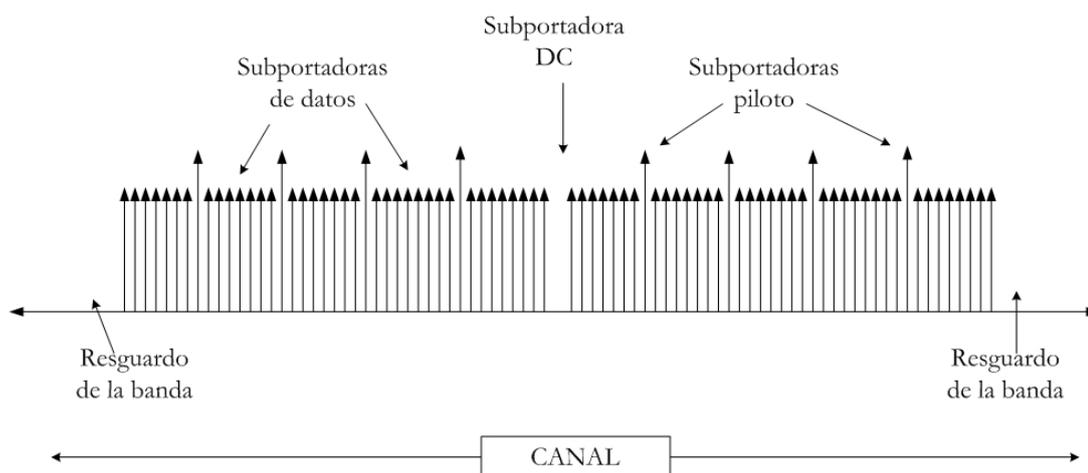
Se denomina Wireless a las comunicaciones inalámbricas, en las que se utilizan modulación de ondas electromagnéticas, radiaciones o medios ópticos.

<sup>58</sup> <http://www.configurarequipos.com/wireless.php>

Estas se propagan por el espacio vacío sin medio físico que comunique cada uno de los extremos de la transmisión.

WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access - Interoperabilidad mundial para acceso por microondas), está pensado principalmente como tecnología de “última milla” y se puede usar para enlaces de acceso, MAN o incluso WAN.

En la capa física del estándar 802.16-2004 se especifica la interfaz Wireless MAN-OFDM, en la cual se establece que se utilizan 256 sub-portadoras, de las cuales 192 son utilizadas para datos, 8 son pilotos y 56 son nulas. Las sub-portadoras pilotos son utilizadas como referencia para minimizar los desplazamientos de frecuencia y fase. Por último las 56 sub-portadoras nulas son utilizadas para resguardo de la banda y la frecuencia DC, que corresponde a la frecuencia central del canal. Figura



**Figura Diagrama con las sub-portadoras de OFDM.**

El estándar 802.16-2004 utiliza OFDM, por la capacidad de gestionar los diferentes retardos que se producen en señales que padecen multitrayecto y por que realiza la combinación de múltiples portadoras solapadas espectralmente de manera que no se producen interferencias entre ellas.

### **Ventajas que tiene Wireless frente al cable**

Principalmente permite conectarnos libremente sin estar atados a un cable, lo que proporciona más movilidad y la posibilidad de conectarse muchas personas sin el problema que puede presentar el cable al tener que cablearse físicamente para conectar puntos.

Pero no todo son ventajas, existen desventajas como podría ser la seguridad de las conexiones y precio, por suerte cada vez los productos vienen con más medidas de seguridad y más baratos.

## **CAPITULO III**

### **CALCULOS DE LOS RADIO ENLACES**

En este capítulo se desarrolla el diseño de los radio enlaces para las once válvulas de bloqueo existentes en el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano, siendo necesario realizar visitas de campo para determinar las características de cada uno de los emplazamientos, continuando con el análisis de línea de vista y despeje de la zona de Fresnel con ayuda del software SPLAT y posteriormente los cálculos de propagación de los enlaces diseñados.

### 3.1. CARACTERISTICA DE LOS ENLACES

Se determinó de la rutas de los radio enlaces y emplazamientos de las torres para las antenas de las once válvulas de bloqueo existentes en el Sistema de Oleoducto Transecuatoriano hacia la repetidora más cercana.

#### 3.1.1 Válvula de Bloqueo Existente Uno (VBE1)

Se encuentra ubicada luego de la población de Lumbaquí, en la vía a Lago Agrio y tiene las siguientes coordenadas geográficas.

VBE1: 0° 3' 7.43" N; 77° 18' 13.42" W / 438 m.s.n.m

Se determino la siguiente ruta:

La VBE1 enlazado con TECPEC y de este hacia la Estación LUMBAQUÍ.

Al realizar el **SITE SURVEY** se observo:

La VBE1 se encuentra dentro de un cubículo con acceso a energía eléctrica.

En Tecpec existe una torre de 40 m. de altura, vía de acceso y fluido eléctrico.

En la Estación Lumbaquí se encuentra ubicada la torre de comunicaciones del SOTE que tiene 18 m. de altura, vía de acceso y fluido eléctrico.

Coordenadas Geográficas de Tecpec y la Estación Lumbaquí o Lumbaquí:

TECPEC: 0° 3' 6.02" N; 77° 18' 46.6" W / 470 m.s.n.m.

LUMBAQUÍ: 0° 0' 48.81" S; 77° 25' 22.86" W / 899 m.s.n.m.



**Figura 3.1.1 Ubicación en Google Earth de la VBE1 y TECPEC.**



**Figura 3.1.2 Ubicación en Google Earth de TECPEC y LUMBAQUI**

### 3.1.2 Válvula de Bloqueo Existente Dos (VBE2)

Ubicada luego de la población de Santa Rosa, en la vía a Lago Agrio, tiene las siguientes coordenadas geográficas.

VBE2: 0° 18' 24.66" S; 77° 47' 1.01" W / 1482 m.s.n.m

Se determino la siguiente ruta:

Desde la VBE2 hacia SANTA ROSA que es el nombre del punto terminal de comunicaciones del SOTE.

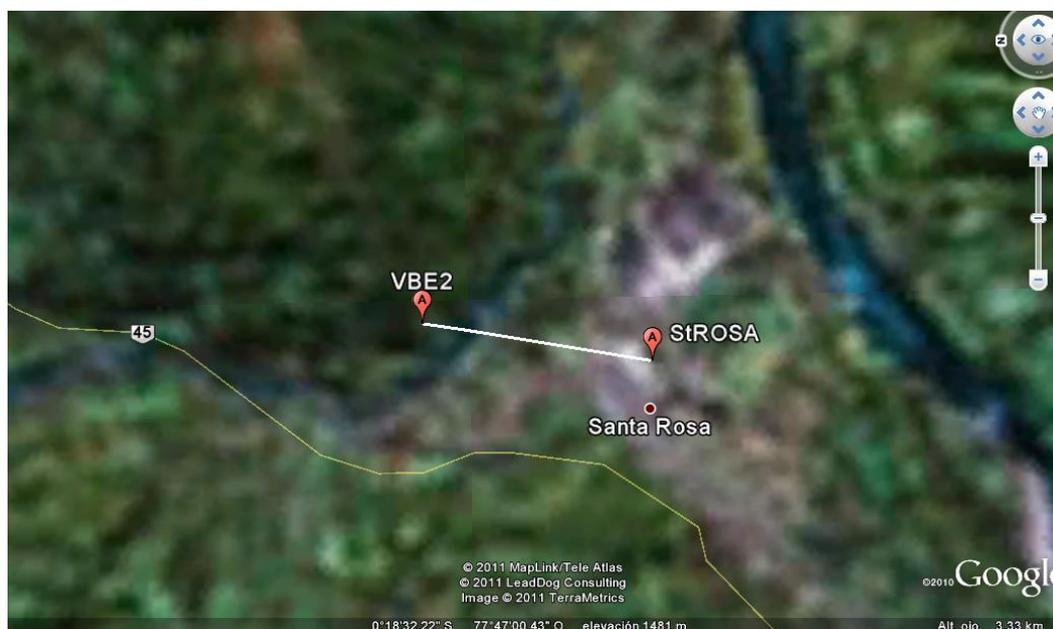
Al realizar el **SITE SURVEY** se observo:

La VBE2 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene acceso de energía eléctrica.

En Santa Rosa existe una torre de 30 m, vía de acceso y fluido eléctrico.

Coordenadas geográficas de Santa Rosa:

SANTA ROSA: 0° 18' 38.99" S; 77° 47' 3.67" W / 1492 m.s.n.m



**Figura 3.1.3 Ubicación en Google Earth de la VBE2 y StROSA.**

### 3.1.3 Válvula de Bloqueo Existente Tres (VBE3)

Se encuentra situada a un costado hacia arriba de la carretera Pifo – Pintag y tiene las siguientes coordenadas geográficas:

VBE3: 0° 17' 46.87" S; 78° 18' 13.93" W / 3161 m.s.n.m.

Se determino la siguiente ruta:

Desde la VBE3 hacia la VBE4.

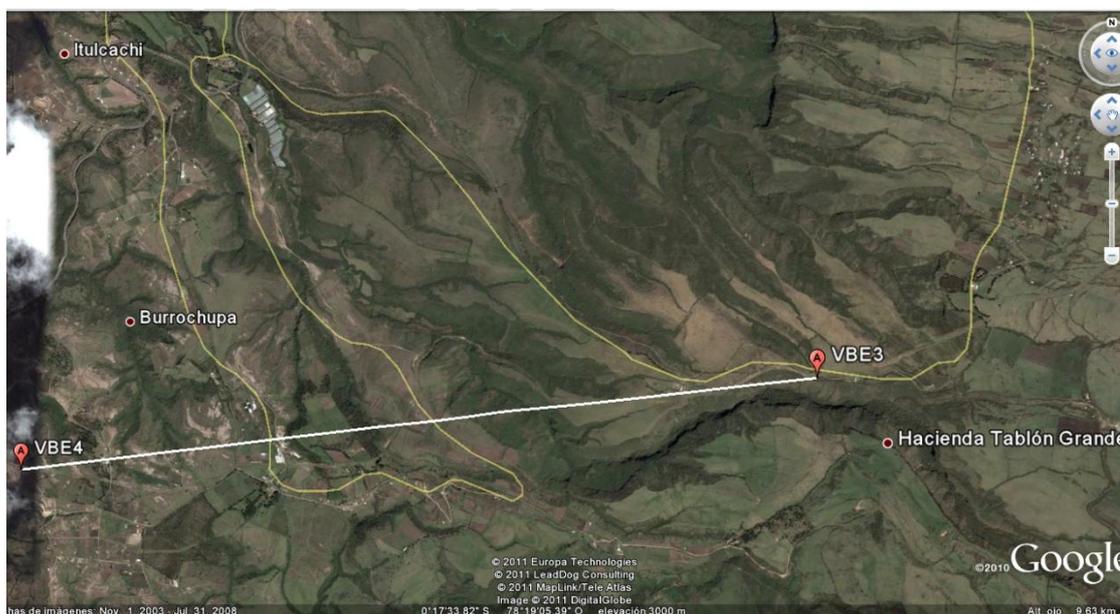
Al realizar el **SITE SURVEY** se observó:

La VBE3 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene acceso a fluido eléctrico.

La VBE4 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene acceso a energía eléctrica.

Coordenadas geográficas de la VBE4:

VBE4: 0° 18' 7.92" S; 78° 21' 4" W / 2786 m.s.n.m.



**Figura 3.1.4 Ubicación en Google Earth de la VBE3 y la VBE4.**

### 3.1.4 Válvula de Bloqueo Existente Cuatro (VBE4)

Está ubicada más arriba de la estación de Itulcachi de Petrocomercial, en la vía Pifo – Pintag y tiene las siguientes coordenadas geográficas.

VBE4: 0° 18' 7.92" S; 78° 21' 4" W / 2786 m.s.n.m.

Se determinó la siguiente ruta:

Desde la VBE4 hacia MIRAVALLE.

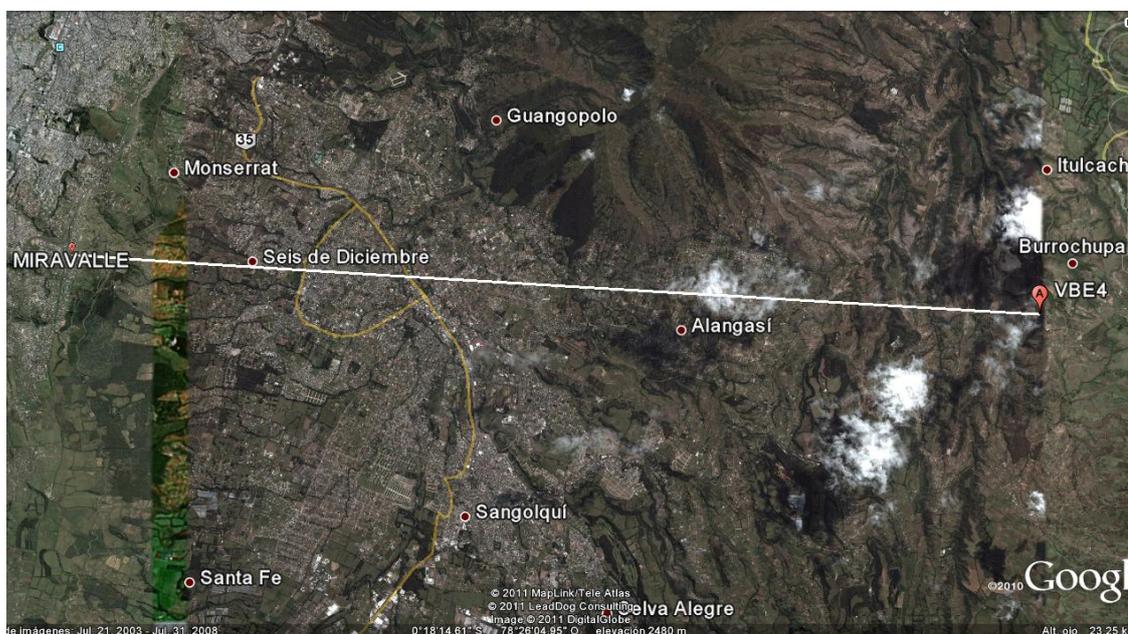
Al realizar el **SITE SURVEY** se observo:

La VBE4 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene acceso a energía eléctrica.

En Miravalle se encuentra una torre de 18 m., fluido eléctrico y fácil accesibilidad.

Coordenadas geográficas de Miravalle:

MIRAVALLE: 0° 17' 30.97" S; 78° 31' 5.94" W / 3181 m.s.n.m



**Figura 3.1.5 Ubicación en Google Earth de la VBE4 y MIRAVALLE.**

### 3.1.5 Válvula de Bloqueo Existente Cinco (VBE5)

Situada a un barrio aledaño a la vía El triangulo – El Tingo y tiene las siguientes coordenadas geográficas.

VBE5: 0° 17' 6.67" S; 78° 27' 25.57" W / 2439 m.s.n.m.

Se determino la siguiente ruta:

Desde la VBE5 hacia MIRAVALLE y de este a GUAJALO que es el nombre de la repetidora del sistema de comunicaciones del SOTE.

Al realizar el **SITE SURVEY** se observo:

La VBE5 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y dispone fluido eléctrico.

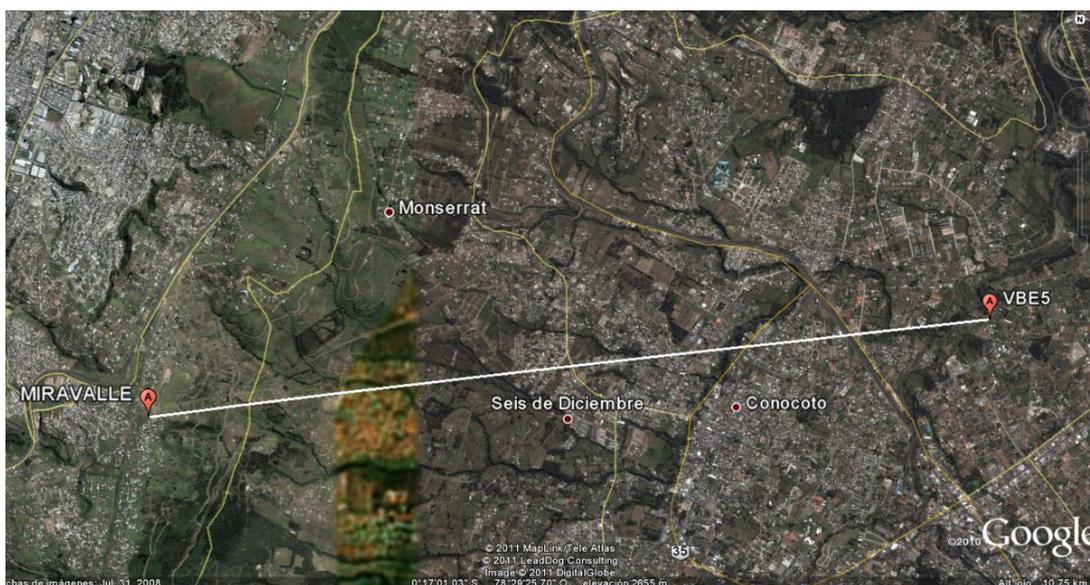
En Miravalle existe una torre de 18 m., fluido eléctrico y fácil accesibilidad.

En el campamento de Guajalo existe una torre de 18 m., fluido eléctrico y fácil accesibilidad.

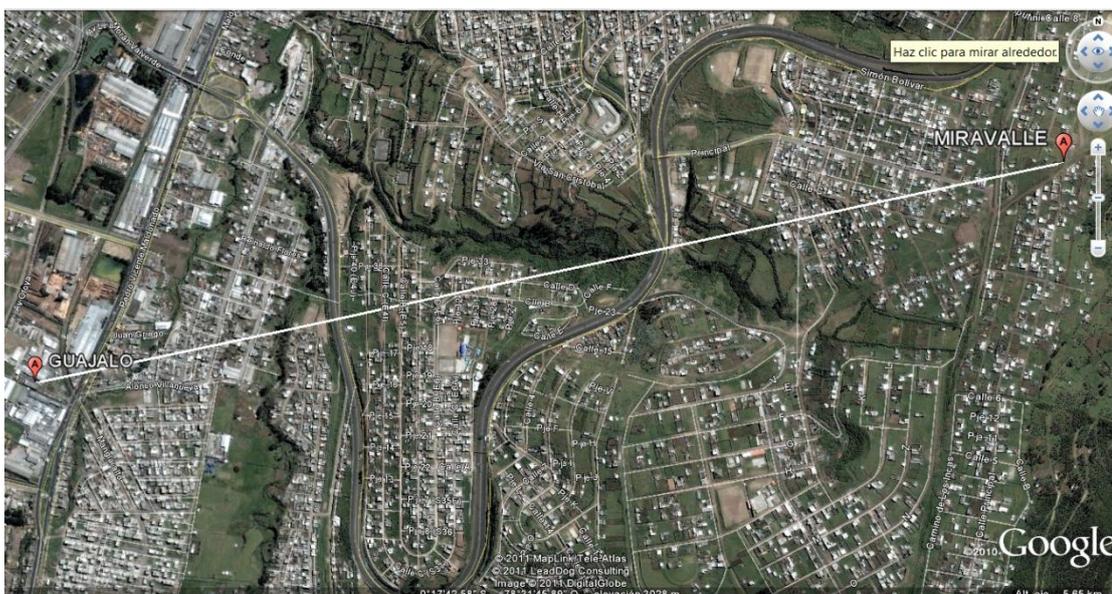
Coordenadas geográficas de Miravalle y Guajalo:

MIRAVALLE: 0° 17' 30.97" S; 78° 31' 5.94" W / 3181 m.s.n.m.

GUAJALO: 0° 17' 49.49" S; 78° 32' 32.41" W / 2904 m.s.n.m.



**Figura 3.1.6 Ubicación en Google Earth de la VBE5 y MIRAVALLE.**



**Figura 3.1.7 Ubicación en Google Earth de MIRAVALLE y GUAJALO.**

### 3.1.6 Válvula de Bloqueo Existente Seis (VBE6)

Ubicada luego de la estación La Palma, en la vía antigua a Santo Domingo de los Tsáchilas y tiene las siguientes coordenadas geográficas.

VBE6: 0° 18' 8.53" S; 78° 53' 31.24" W / 1308 m.s.n.m.

Se determino la siguiente ruta:

Desde la VBE6 hacia FAISANES y de este a CHIGUILPE.

Al realizar el SITE SURVEY se observo:

La VBE6 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene acceso a energía eléctrica.

En Faisanes existe una torre de 40 m., fluido eléctrico y difícil accesibilidad.

En Chiguilpe Alto existe una torre de 18 m., fluido eléctrico y fácil accesibilidad.

Coordenadas geográficas de Faisanes y Chiguilpe:

FAISANES: 0° 17' 44.36" S; 78° 53' 10.18" W / 1463 m.s.n.m.

CHIGUILPE: 0° 17' 45.28" S; 79° 5' 11.80" W / 1143 m.s.n.m.



**Figura 3.1.8 Ubicación en Google Earth de la VBE6 y FAISANES.**



**Figura 3.1.9 Ubicación en Google Earth de FAISANES y CHIGUILPE.**

### 3.1.7 Válvula de Bloqueo Existente Siete (VBE7)

Ubicada a lado norte de la población de Alluriquín, a un costado de la vía a Santo Domingo de los Tsáchilas y tiene las siguientes coordenadas geográficas.

VBE7: 0° 19' 7.57" S; 78° 59' 17.65" W / 773 m.s.n.m.

Se determino la siguiente ruta:

Desde la VBE7 hacia ALLURIQUIN y de este a CHIGUILPE que es el nombre de la repetidora del sistema de comunicaciones del SOTE.

Al realizar el SITE SURVEY se observo:

La VBE7 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene una torre de 30 m y acceso a energía eléctrica.

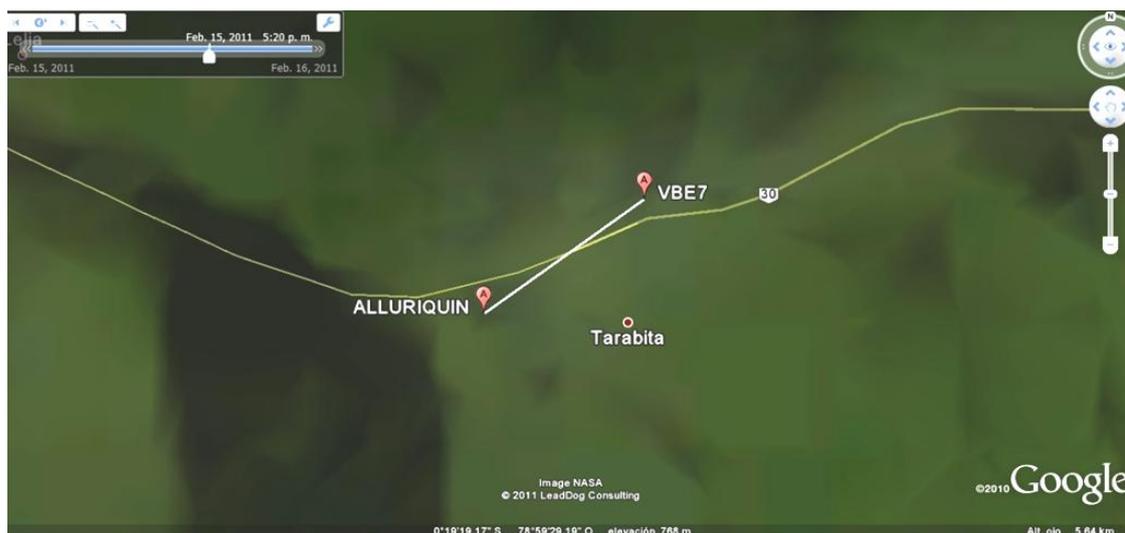
En Alluriquín existe únicamente una torre de 30 m., sin fluido eléctrico pero con accesibilidad.

En Chiguilpe existe una torre de 18 m., fluido eléctrico y fácil accesibilidad.

Coordenadas Geográficas de Alluriquín y Chiguilpe:

ALLURIQUÍN: 0° 19' 25.79" S; 78° 59' 42.79" W / 885 m.s.n.m.

CHIGUILPE: 0° 17' 45.28" S; 79° 5' 11.80" W / 1143 m.s.n.m.



**Figura 3.1.10 Ubicación en Google Earth de la VBE7 y ALLURIQUIN.**



**Figura 3.1.11 Ubicación en Google Earth de ALLURIQUIN y CHIGUILPE.**

### 3.1.8 Válvula de Bloqueo Existente Ocho (VBE8)

Ubicada cerca de la estación de Santo Domingo a un costado de la vía a Santo Domingo de los Tsáchilas, tiene las siguientes coordenadas geográficas.

VBE8: 0° 17' 22.40" S; 79° 3' 40.32" W / 622 m.s.n.m.

Se determino la siguiente ruta:

Desde la VBE8 hacia CHIGUILPE que es el nombre de la repetidora del sistema de comunicaciones del SOTE.

Al realizar el SITE SURVEY se observo:

La VBE8 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene acceso a energía eléctrica.

En Chiguilpe existe una torre de 18 m., fluido eléctrico y fácil accesibilidad.

Coordenadas geográficas de Chiguilpe:

CHIGUILPE: 0° 17' 45.28" S; 79° 5' 11.80" W / 1143 m.s.n.m.



**Figura 3.1.12 Ubicación en Google Earth de la VBE8 y CHIGUILPE.**

### 3.1.9 Válvula de Bloqueo Existente Nueve (VBE9)

Ubicada a la salida de Quininde, al costado izquierdo de la vía a Esmeraldas, tiene las siguientes coordenadas geográficas:

VBE9: 0° 19' 40.28" N; 79° 28' 34.15" W / 102 m.s.n.m.

Se determino la siguiente ruta:

Desde la VBE9 hacia BACK9 y de este a la Estación QUININDE que es el nombre de la repetidora del sistema de comunicaciones del SOTE.

Al realizar el SITE SURVEY se observo:

La VBE9 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene acceso a energía eléctrica.

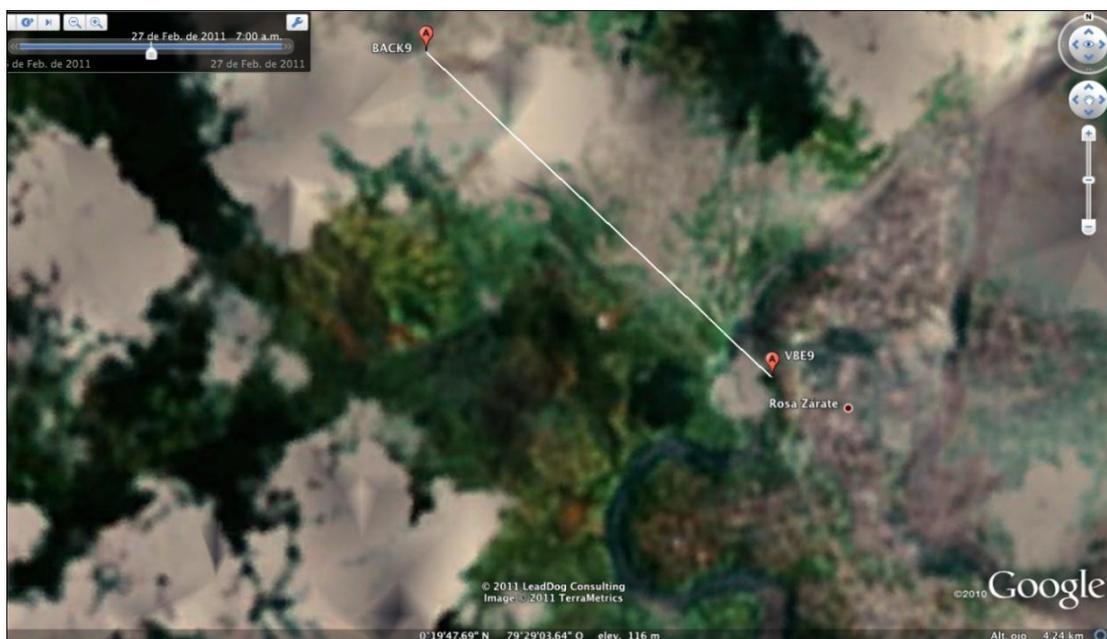
En BACK9 existe únicamente fácil accesibilidad.

La Estación Quininde tiene una torre de 42 m., tiene fluido eléctrico y fácil accesibilidad.

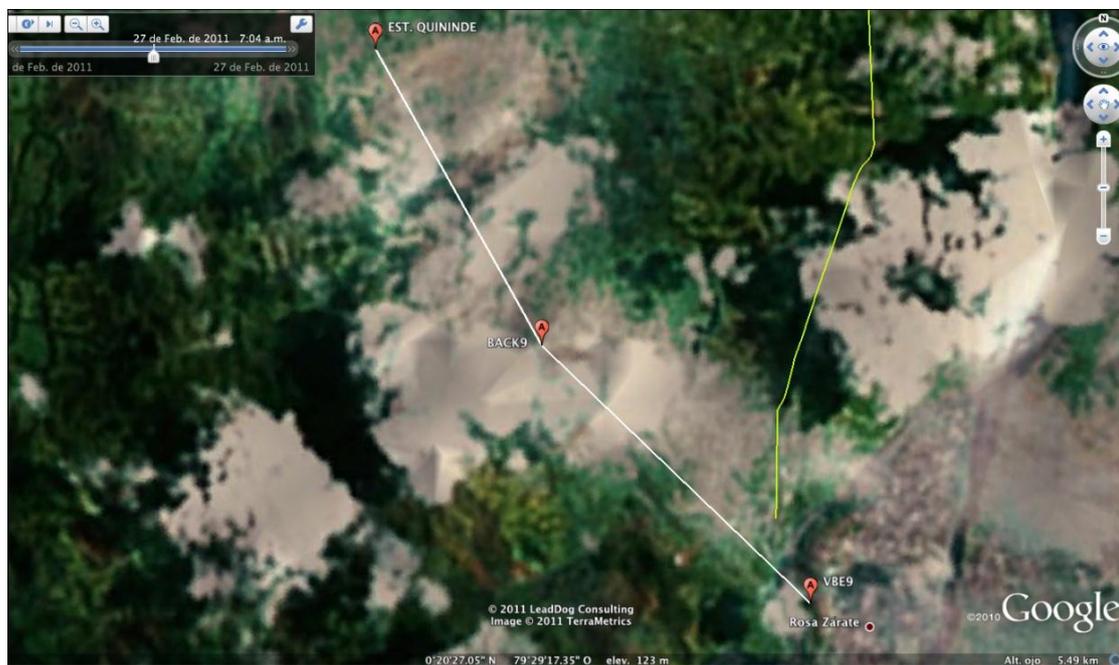
Coordenadas geográficas del BACK9 y la Estación Quininde:

BACK9: 0° 20' 21.35" N; 79° 29' 5.07" W / 112 m.s.n.m.

EST. QUININDE: 0° 21' 17.44" N; 79° 29' 49.71" W / 104 m.s.n.m.



**Figura 3.1.13 Ubicación en Google Earth de la VBE9 y BACK9.**



**Figura 3.1.14 Ubicación en Google Earth de BACK9 y EST.QUINIDE.**

### 3.1.10 Válvula de Bloqueo Existente Diez (VBE10)

Ubicada a 500 metros del lado izquierdo antes del puente de la población de Viche en la vía Viche – Esmeraldas, tiene las siguientes coordenadas geográficas:

VBE10: 0° 39' 18.47" N; 79° 32' 47.91" W / 51 m.s.n.m.

Se determino la siguiente ruta:

Desde la VBE10 al cerro ZAPALLO y de este a la VBE11.

Al realizar el SITE SURVEY se observo:

La VBE10 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene fluido eléctrico.

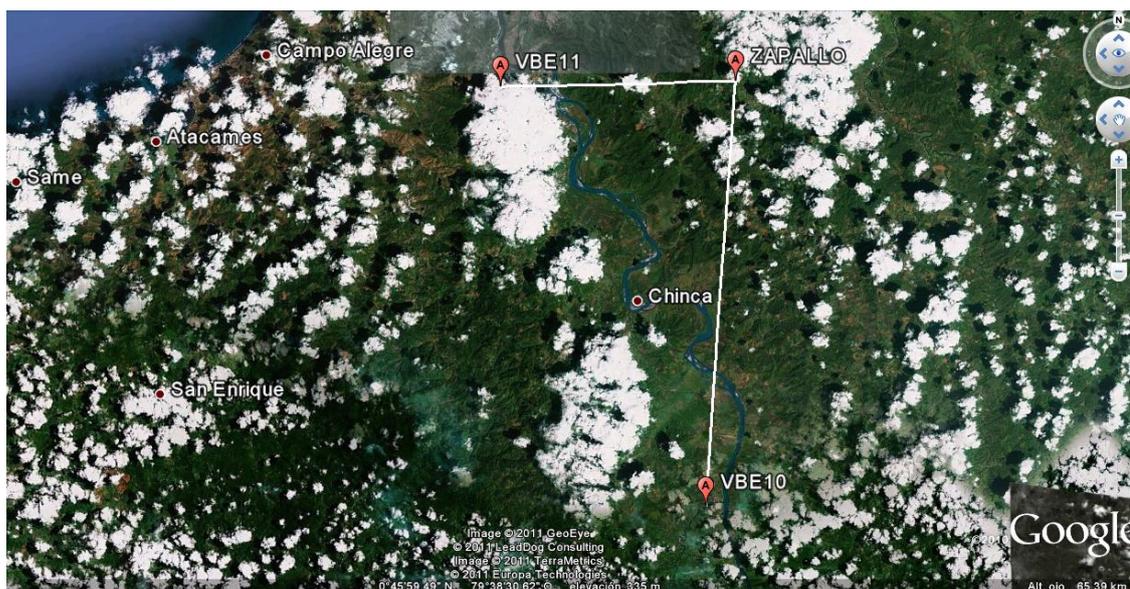
En ZAPALLO existen diferentes torres, fluido eléctrico y fácil accesibilidad.

La VBE11 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene fluido eléctrico.

Coordenadas geográficas de ZAPALLO y de la VBE11:

ZAPALLO: 0° 53' 6.46" N; 79° 31' 52.72" W / 623 m.s.n.m.

VBE11: 0° 52' 58.20" N; 79° 39' 25.81" W / 208 m.s.n.m.



**Figura 3.1.15 Ubicación en Google Earth de la VBE10, ZAPALLO y de la VBE11.**

### 3.1.11 Válvula de Bloqueo Existente Once (VBE11)

Ubicada luego de la Y a San Mateo y Esmeraldas, en la vía a Esmeraldas, tiene las siguientes coordenadas geográficas.

VBE11: 0° 52' 58.20" N; 79° 39' 25.81" W / 208 m.s.n.m.

Se determino la siguiente ruta:

Desde la VBE11 hacia TNQ10 y de este al TNQ1.

Al realizar el SITE SURVEY se observo:

La VBE11 se encuentra resguardada dentro de un cubículo y tiene fluido eléctrico.

En el TNQ10 existe una torre de 40 m., tiene fluido eléctrico y fácil accesibilidad.

En el TNQ1 existe una torre de 18 m., tiene fluido eléctrico y fácil accesibilidad.

Coordenadas geográficas de TNQ10 y TNQ1:

TNQ10: 0° 57' 2.99" N; 79° 41' 42.22" W / 198 m.s.n.m.

TNQ1: 0° 57' 40.96" N; 79° 41' 24.98" W / 145 m.s.n.m.



**Figura 3.1.16 Ubicación en Google Earth de VBE11 y TNQ10.**



**Figura 3.1.17 Ubicación en Google Earth del TNQ10 y TNQ1.**

### Resumen de las Coordenadas de los Emplazamientos.

En la Tabla 3.1.1 se observa un resumen de las coordenadas geográficas de cada uno de los puntos de emplazamientos que se van a enlazar.

Emplazamientos	Coordenadas Geográficas	Altura del terreno
<b>VBE1</b>	0° 3' 7.43" N; 77° 18' 13.42" W	438
<b>TECPEC</b>	0° 3' 6.02" N; 77° 18' 46.6" W	470
<b>LUMBAQUI</b>	0° 0' 48.81" S; 77° 25' 22.86" W	899
<b>VBE2</b>	0° 18' 24.66" S; 77° 47' 1.01" W	1482
<b>St.ROSA</b>	0° 18' 38.99" S; 77° 47' 3.67" W	1492
<b>VBE3</b>	0° 17' 46.87" S; 78° 18' 13.93" W	3161
<b>VBE4</b>	0° 18' 7.92" S; 78° 21' 4" W	2786
<b>MIRAVALLE</b>	0° 17' 30.97" S; 78° 31' 5.94" W	3181
<b>VBE5</b>	0° 17' 6.67" S; 78° 27' 25.57" W	2439
<b>GUAJALO</b>	0° 17' 49.49" S; 78° 32' 32.41" W	2904
<b>VBE6</b>	0° 18' 8.53" S; 78° 53' 31.24" W	1308
<b>FAISANES</b>	0° 17' 44.36" S; 78° 53' 10.18" W	1463
<b>CHIGUILPE</b>	0° 17' 45.28" S; 79° 5' 11.80" W	1143
<b>VBE7</b>	0° 19' 7.57" S; 78° 59' 17.65" W	773
<b>ALLURIQUIN</b>	0° 19' 25.79" S; 78° 59' 42.79" W	885
<b>VBE8</b>	0° 17' 22.40" S; 79° 3' 40.32" W	622
<b>VBE9</b>	0° 19' 40.28" N; 79° 28' 34.15" W	102
<b>BACK9</b>	0° 20' 21.35" N; 79° 29' 5.07" W	112
<b>EST. QUININDE</b>	0° 21' 17.44" N; 79° 29' 49.71" W	104
<b>VBE10</b>	0° 39' 18.47" N; 79° 32' 47.91" W	51
<b>ZAPALLO</b>	0° 53' 6.46" N; 79° 31' 52.72" W	623
<b>VBE11</b>	0° 52' 58.20" N; 79° 39' 25.81" W	208
<b>TNQ10</b>	0° 57' 2.99" N; 79° 41' 42.22" W	198
<b>TNQ1</b>	0° 57' 40.96" N; 79° 41' 24.98" W	145

**Tabla 3.1.1 Resumen de las coordenadas geográficos (WGS84) de los emplazamientos.**

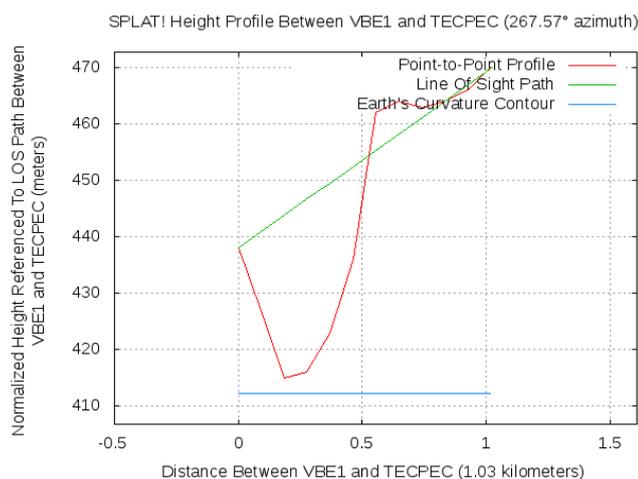
## 3.2. ESTRUCTURA DE LOS ENLACES

En esta parte se realizará el análisis de línea de vista (LOS)<sup>59</sup>, despeje de la zona de Fresnel y altura de las torres para las antenas. El software SPLAT, servirá de apoyo para el análisis de los puntos antes mencionados, los datos de las diferentes válvulas se usarán para que SPLAT genere los diagramas de perfil de terreno, línea de vista y zona de Fresnel. Los perfiles de terreno generados por SPLAT, son graficados tomando en cuenta la curvatura ficticia de la tierra para una zona tropical, es decir,  $K=4/3$ .

### 3.2.1 VBE1

#### 3.2.1.1 Enlace VBE1 – TECPEC

En la figura 3.2.1, se puede ver el perfil de terreno entre la VBE1 y TECPEC, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo, lo que nos llevará a calcular la altura de las antenas.



**Figura 3.2.1 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre VBE1 - TECPEC.**

<sup>59</sup> Line Of Sight – Línea De Vista

En la figura 3.2.2, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la VBE1 y TECPEC, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: TECPEC
Site location: 0.0517 North / 77.3129 West (0° 3' 6" N / 77° 18' 46" W)
Ground elevation: 470.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 470.00 meters AMSL
Distance to VBE1: 0.19 kilometers
Azimuth to VBE1: 87.57 degrees
Depression angle to VBE1: -1.7910 degrees
Depression angle to the first obstruction: -1.4438 degrees
-----
Receiver site: VBE1
Site location: 0.0521 North / 77.3037 West (0° 3' 7" N / 77° 18' 13" W)
Ground elevation: 438.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 438.00 meters AMSL
Distance to TECPEC: 1.03 kilometers
Azimuth to TECPEC: 267.57 degrees
Elevation angle to TECPEC: +1.7841 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +2.4721 degrees
-----
Between VBE1 and TECPEC, SPLAT! detected obstructions at:
0.0521 N, 77.3037 W, 0.00 kilometers, 438.00 meters AMSL
0.0518 N, 77.3088 W, 0.56 kilometers, 462.00 meters AMSL
0.0518 N, 77.3096 W, 0.66 kilometers, 464.00 meters AMSL
Antenna at VBE1 must be raised to at least 15.54 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.2 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre la VBE1 y TECPEC.**

	f (GHz)	d (Km)	d <sub>1</sub> (Km)	d <sub>2</sub> (Km)	h <sub>A</sub> (m) VBE1	h <sub>B</sub> (m) TECPEC	H (m)
<b>VBE1 - Tecpec</b>	5,7875	1,03	0.56	0,47	438	470	462

**Tabla 3.2.1 Resumen de los datos generados por Splat entre la VBE1 y TECPEC.**

En la Tabla 3.2.1 se muestra un resumen de los datos generados por Splat, lo que nos permitirá calcular la altura de las antenas.

Antes de determinar la altura de las antenas, se debe calcular el radio de la primera zona de Fresnel ( $r_{F1}$ ) a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2 \quad \text{Ec. 8.}$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c \text{ (velocidad de la luz)}}{f \text{ (frecuencia)}} = \frac{3 \cdot 10^8 [\text{m/s}]}{5.7875 \cdot 10^9 [\text{Hz}]} = 0.0518 [\text{m}] \quad \text{Ec. 1.}$$

$d_1$  = distancia en metros de la VBE1 al obstáculo = 560 [m]

$d_2$  = distancia en metros del obstáculo a TECPEC = 470 [m]

$d$  = distancia en metros de la VBE1 a TECPEC = 1030 [m]

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{560 \cdot 470}{1030}} ; 1030 = 560 + 470$$

$$r_{F1} = 3.639 [\text{m}]$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 3.639$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 2.184 [\text{m}]$$

El despeje sobre el obstáculo se realizará en el punto más crítico; es decir, donde exista o pudiera existir mayor obstrucción de línea de vista a lo largo de todo el trayecto.

Definimos un margen de despeje sobre el obstáculo ( $h_{des}$ ).

$h_{des}[m] = 9 [m] + 60\% \cdot r_{F1}[m]$ , debido a que en la zona en la que se desarrollaran los radios enlaces existen arboles de hasta 7m, y por seguridad se determino de 9 m, sumándose a este el valor correspondiente a 60% de  $r_{F1}$ .  
Obteniendo así el valor real del  $h_{des}$ .

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena (TA).

$$h_2 = \frac{d \cdot (h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a})}{d_1} \quad Ec. 10.$$

Datos:

$$h_{des} = 9[m] + 60\% \cdot r_{F1} = 9[m] + 2.184[m] = 11.184[m]$$

$H =$  altura del obstáculo en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) = 462 [m.s.n.m.]

$h_1 =$  la altura del punto de recepción en metros sobre el nivel del mar ( $h_A$ ) más la altura en metros de la torre para la antena de recepción ( $T_A$ ), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 438[m. s. n. m.] + 5[m] = 443[m. s. n. m.] \quad Ec. 11.$$

$$h_A = 438 [m.s.n.m.]$$

$$T_A = 5 [m]$$

$h_2 =$  la altura del punto de transmisión en metros sobre el nivel del mar ( $h_B$ ) más la altura en metros de la torre para la antena de *transmisión* ( $T_B$ ), se calcula con la Ecuación 12.

$$h_B = 470 [m.s.n.m.]$$

$T_B =$  Altura de la torre para la antena de transmisión (m).

$$d_1 = 0.56 [Km]$$

$$d_2 = 0.47 \text{ [Km]}$$

$$d = 1.03 \text{ [Km]}$$

$$K = 4/3 = 1.333$$

$a$  = Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{1.03 \cdot \left( 11.184 - 443 + 462 + 443 \frac{0.560}{1.03} + \frac{0.56 \cdot 0.47}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{0.56}$$

$$h_2 = 498.516 \text{ [m. s. n. m]}$$

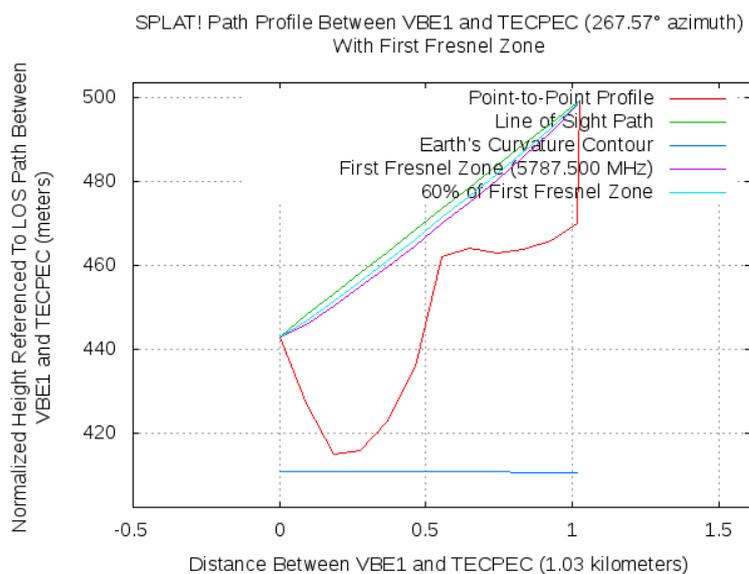
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B \quad \text{Ec. 12.}$$

$$498.516 = 470 + T_B$$

$$T_B = 28.516 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.3 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.3 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre VBE1 y TECPEC.**

La Figura 3.2.4 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

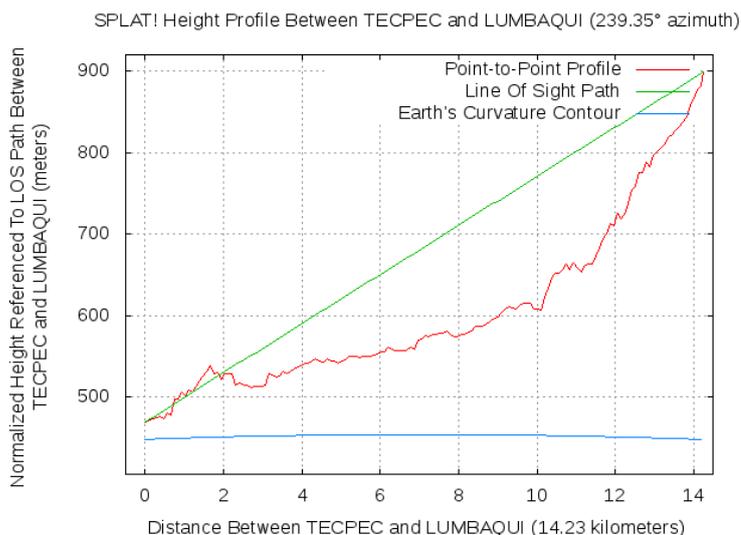
-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: TECPEC
Site location: 0.0517 North / 77.3129 West (0° 3' 6" N / 77° 18' 46" W)
Ground elevation: 470.00 meters AMSL
Antenna height: 28.52 meters AGL / 498.52 meters AMSL
Distance to VBE1: 0.19 kilometers
Azimuth to VBE1: 87.57 degrees
Depression angle to VBE1: -3.1057 degrees
-----
Receiver site: VBE1
Site location: 0.0521 North / 77.3037 West (0° 3' 7" N / 77° 18' 13" W)
Ground elevation: 438.00 meters AMSL
Antenna height: 5.00 meters AGL / 443.00 meters AMSL
Distance to TECPEC: 1.03 kilometers
Azimuth to TECPEC: 267.57 degrees
Elevation angle to TECPEC: +3.0988 degrees
-----
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.4 Archivo de datos del enlace entre VBE1 y TECPEC.**

### 3.2.1.2 Enlace TECPEC – LUMBAQUI

En la figura 3.2.5, se puede ver el perfil de terreno entre TECPEC y LUMBAQUI, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.5 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre TECPEC y LUMBAQUÍ.**

En la figura 3.2.6, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la TECPEC y LUMBAQUI, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: LUMBAQUI
Site location: 0.0136 South / 77.4230 West (0° 0' 48" S / 77° 25' 22" W)
Ground elevation: 899.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 899.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 36.66 meters
Distance to TECPEC: 2.69 kilometers
Azimuth to TECPEC: 59.35 degrees
Depression angle to TECPEC: -1.7758 degrees
Depression angle to the first obstruction: -1.7605 degrees
-----
Receiver site: TECPEC
Site location: 0.0517 North / 77.3129 West (0° 3' 6" N / 77° 18' 46" W)
Ground elevation: 470.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 470.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -119.47 meters
Distance to LUMBAQUI: 14.23 kilometers
Azimuth to LUMBAQUI: 239.35 degrees
Elevation angle to LUMBAQUI: +1.6798 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +2.0847 degrees
-----
Between TECPEC and LUMBAQUI, SPLAT! detected obstructions at:
    0.0517 N, 77.3129 W, 0.00 kilometers, 470.00 meters AMSL
    0.0480 N, 77.3191 W, 0.79 kilometers, 497.00 meters AMSL
    0.0451 N, 77.3241 W, 1.44 kilometers, 519.00 meters AMSL
    0.0446 N, 77.3248 W, 1.53 kilometers, 530.00 meters AMSL

Antenna at TECPEC must be raised to at least 16.76 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.6 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre TECPEC y LUMBAQUI.**

	f (GHz)	d (Km)	d <sub>1</sub> (Km)	d <sub>2</sub> (Km)	h <sub>A</sub> (m) TECPEC	h <sub>B</sub> (m) LUMBAQUI	H (m)
<b>Tecpec - Lumbaquí</b>	5,7875	14,23	1.53	12.7	470	899	530

**Tabla 3.2.2 Resumen de los datos generados por Splat entre TECPEC y LUMBAQUI.**

En la Tabla 3.2.2 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2 \quad \text{Ec. 8.}$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [\text{m/s}]}{5.7875 \cdot 10^9 [\text{Hz}]} = 0.0518 [\text{m}] \quad \text{Ec. 1}$$

$$d_1 = 1530 [\text{m}]$$

$$d_2 = 12700 [\text{m}]$$

$$d = 14230 [\text{m}]$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{1530 \cdot 12700}{14230}} ; 14230 = 1530 + 12700$$

$$r_{F1} = 8.413 [\text{m}]$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 8.413$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 5.048 [\text{m}]$$

El despeje sobre el obstáculo se realizará en el punto más crítico; es decir, donde exista o pudiera existir mayor obstrucción de línea de vista a lo largo de todo el trayecto.

Definimos un  $h_{des} [\text{m}] = 9 [\text{m}] + 60\% \cdot r_{F1} [\text{m}]$ , debido a que en la zona en la que se desarrollaran los radios enlaces existen arboles de hasta 7m, y por seguridad se determino de 9 m, sumándose a este el valor correspondiente a 60% de  $r_{F1}$ . Obteniendo así el valor real de  $h_{des}$ .

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena ( $T_A$ ).

$$h_2 = \frac{d \cdot \left( h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a} \right)}{d_1} \quad \text{Ec. 10.}$$

Datos:

$$h_{des} = 9[m] + 60\% \cdot r_{F1} = 9[m] + 5.048[m] = 14.048[m]$$

$$H = 530 [m.s.n.m.]$$

$h_1$  = Altura del punto de recepción en metros sobre el nivel del mar ( $h_A$ ) más la altura de la torre de recepción ( $T_A$ ), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 470[m.s.n.m.] + 29.3[m] = 499.3[m.s.n.m.] \quad \text{Ec. 11.}$$

$$h_A = 470 [m.s.n.m.]$$

$$T_A = 29.3 [m]$$

$h_2$  = Altura del punto de transmisión en metros sobre el nivel del mar ( $h_B$ ) más la altura de la torre de transmisión ( $T_B$ ), se calcula con la Ecuación 12.

$$h_B = 899 [m.s.n.m.]$$

$T_B$  = Altura de la torre para la antena de transmisión (m).

$$d_1 = 1.53 [\text{Km}]$$

$$d_2 = 12.7 [\text{Km}]$$

$$d = 14.23 [\text{Km}]$$

$$K = 4/3 = 1.333$$

$a$  = Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{14.23 \cdot \left( 14.048 - 449.3 + 530 + 449.3 \frac{1.53}{14.23} + \frac{1.53 \cdot 12.7}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{1.53}$$

$$h_2 = 915.495[m.s.n.m.]$$

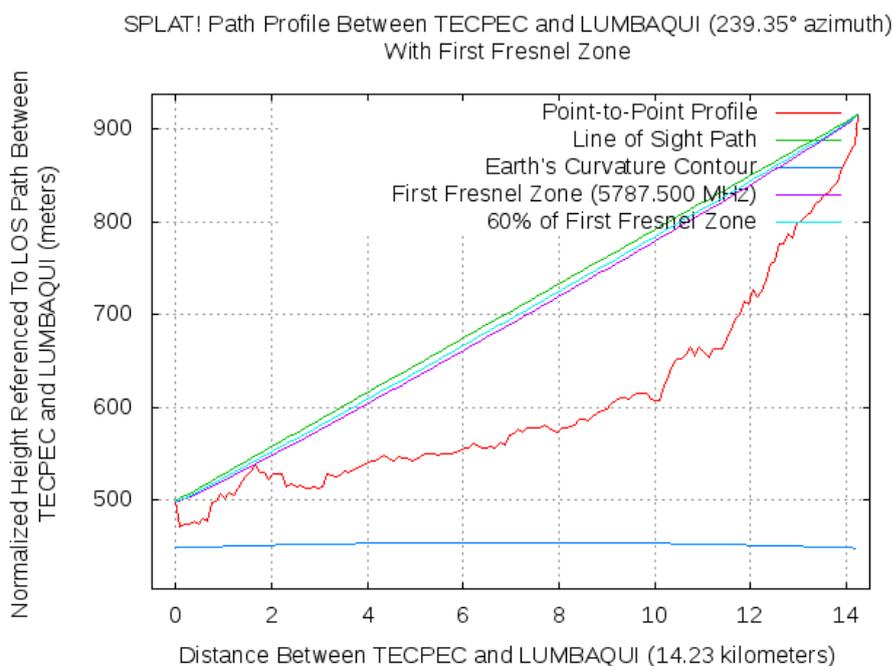
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B \quad \text{Ec.12.}$$

$$915.495 = 899 + T_B$$

$$T_B = 16.495[\text{m}]$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.7 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.7 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre TECPEC y LUMBAQUÍ.**

La Figura 3.2.8 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: LUMBAQUI
Site location: 0.0136 South / 77.4230 West (0° 0' 48" S / 77° 25' 22" W)
Ground elevation: 899.00 meters AMSL
Antenna height: 16.50 meters AGL / 915.50 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 53.15 meters
Distance to TECPEC: 2.69 kilometers
Azimuth to TECPEC: 59.35 degrees
Depression angle to TECPEC: -1.7242 degrees
-----
Receiver site: TECPEC
Site location: 0.0517 North / 77.3129 West (0° 3' 6" N / 77° 18' 46" W)
Ground elevation: 470.00 meters AMSL
Antenna height: 29.30 meters AGL / 499.30 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -90.17 meters
Distance to LUMBAQUI: 14.23 kilometers
Azimuth to LUMBAQUI: 239.35 degrees
Elevation angle to LUMBAQUI: +1.6283 degrees
-----
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

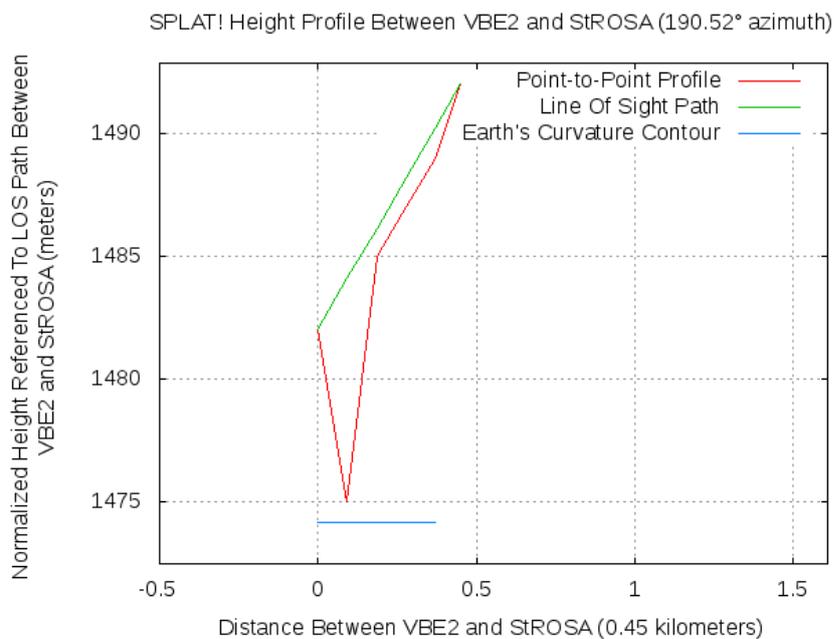
```

**Figura 3.2.8 Archivo de datos del enlace entre TECPEC Y LUMBAQUI.**

## 3.2.2 VBE2

### 3.2.2.1. Enlace VBE2 – St.ROSA

En la figura 3.2.9, se puede ver el perfil de terreno entre la VBE2 y St.ROSA, además se observa la línea de vista que existe entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.9 Perfil de terreno entre la VBE2 y St.ROSA.**

En la figura 3.2.10, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la VBE2 y St.ROSA, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, no se observa datos sobre obstrucción de línea de vista debido a que no existen obstáculos entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: StROSA
Site location: 0.3108 South / 77.7844 West (0° 18' 38" S / 77° 47' 3" W)
Ground elevation: 1492.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 1492.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -607.87 meters
Distance to VBE2: 0.09 kilometers
Azimuth to VBE2: 10.52 degrees
Depression angle to VBE2: -1.2743 degrees
-----
Receiver site: VBE2
Site location: 0.3069 South / 77.7836 West (0° 18' 24" S / 77° 47' 1" W)
Ground elevation: 1482.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 1482.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -614.92 meters
Distance to StROSA: 0.45 kilometers
Azimuth to StROSA: 190.52 degrees
Elevation angle to StROSA: +1.2712 degrees
-----
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.10 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre VBE2 y St.ROSA.**

	f (GHz)	d (Km)	d <sub>1</sub> (Km)	d <sub>2</sub> (Km)	h <sub>A</sub> (m) VBE2	h <sub>B</sub> (m) St.ROSA	H (m)
<b>VBE2 – St.ROSA.</b>	5,7875	0.45	0.181	0.269	1482	1492	1485

**Tabla 3.2.3 Resumen de los datos generados por Splat entre VBE2 y St.ROSA.**

En la Tabla 3.2.3 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2 \quad \text{Ec. 8.}$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [m/s]}{5.7875 \cdot 10^9 [Hz]} = 0.0518 [m]$$

$$d_1 = 181 [m]$$

$$d_2 = 269 [m]$$

$$d = 450 [m]$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{181 \cdot 269}{450}} ; 450 = 181 + 269$$

$$r_{F1} = 2.368 [m]$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 2.368$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 1.421 [m]$$

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena (TA).

$$h_2 = \frac{d \cdot (h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot d})}{d_1} \quad \text{Ec. 10.}$$

Datos:

$$h_{des} = 9 [m] + 60\% \cdot r_{F1} = 9 [m] + 1.421 [m] = 10.421 [m]$$

$$H = 1485 [m.s.n.m.]$$

$h_1$  = Altura del punto de recepción (m.s.n.m.), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 1482[m.s.n.m.] + 5[m] = 1487[m.s.n.m.]$$

$$h_A = 1482 [m.s.n.m.]$$

$$T_A = 5 [m]$$

$h_2 =$  Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.).

$$h_B = 1492 [m.s.n.m.]$$

$T_B =$  Altura de la torre para la antena de transmisión (m).

$$d_1 = 0.181 \text{ [Km]}$$

$$d_2 = 0.269 \text{ [Km]}$$

$$d = 0.45 \text{ [Km]}$$

$$K = 4/3 = 1.333$$

$a =$  Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{0.45 \cdot \left( 10.421 - 1487 + 1485 + 1487 \frac{0.181}{0.450} + \frac{0.181 \cdot 0.269}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{0.181}$$

$$h_2 = 1507.936[m.s.n.m.]$$

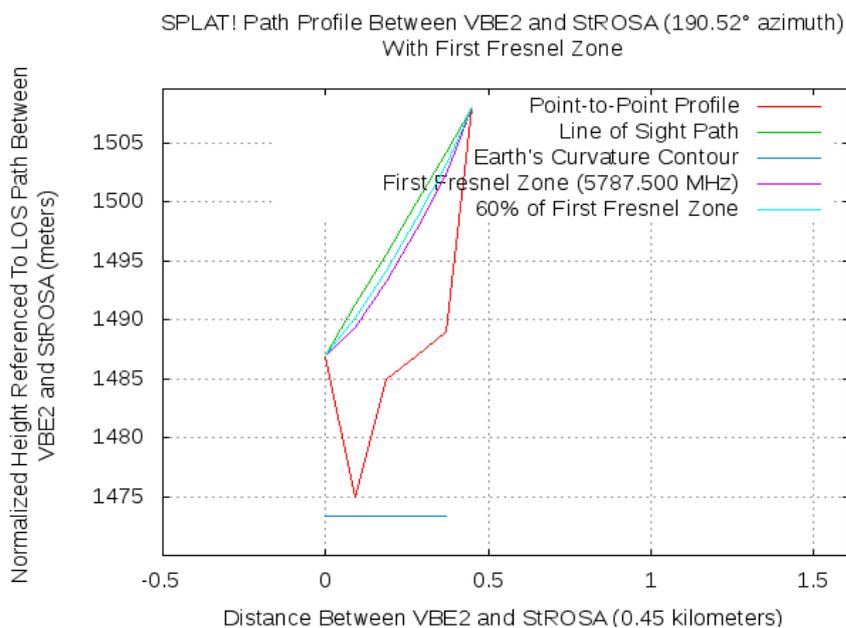
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B$$

$$1507.936 = 1492 + T_B$$

$$T_B = 15.936[m]$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.11 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.11 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel  
entre la VBE2 y StROSA.**

La Figura 3.2.12 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

---[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]---
-----
Transmitter site: StROSA
Site location: 0.3108 South / 77.7844 West (0° 18' 38" S / 77° 47' 3" W)
Ground elevation: 1492.00 meters AMSL
Antenna height: 15.94 meters AGL / 1507.94 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -591.93 meters
Distance to VBE2: 0.09 kilometers
Azimuth to VBE2: 10.52 degrees
Depression angle to VBE2: -2.6669 degrees
-----
Receiver site: VBE2
Site location: 0.3069 South / 77.7836 West (0° 18' 24" S / 77° 47' 1" W)
Ground elevation: 1482.00 meters AMSL
Antenna height: 5.00 meters AGL / 1487.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -609.92 meters
Distance to StROSA: 0.45 kilometers
Azimuth to StROSA: 190.52 degrees
Elevation angle to StROSA: +2.6639 degrees
-----
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

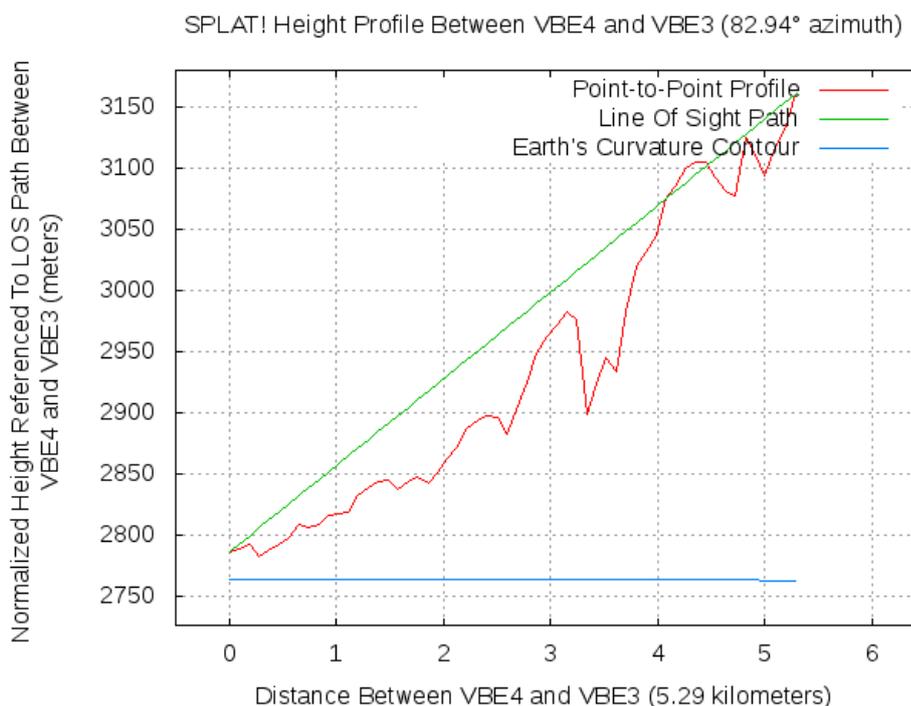
```

**Figura 3.2.12 Archivo de datos del enlace entre VBE2 Y StROSA.**

### 3.2.3 VBE3

#### 3.2.3.1 Enlace VBE3 – VBE4

En la figura 3.2.13, se puede ver el perfil de terreno entre la VBE4 y la VBE3, además se observa la línea de vista obstruida que existe entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.13 Perfil de terreno entre la VBE4 y VBE3.**

En la figura 3.2.14, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la VBE4 y VBE3, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: VBE3
Site location: 0.2964 South / 78.3039 West (0° 17' 46" S / 78° 18' 13" W)
Ground elevation: 3161.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 3161.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -132.50 meters
Distance to VBE4: 1.00 kilometers
Azimuth to VBE4: 262.94 degrees
Depression angle to VBE4: -4.0802 degrees
Depression angle to the first obstruction: -3.7840 degrees
-----

Receiver site: VBE4
Site location: 0.3022 South / 78.3511 West (0° 18' 7" S / 78° 21' 3" W)
Ground elevation: 2786.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 2786.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -233.34 meters
Distance to VBE3: 5.29 kilometers
Azimuth to VBE3: 82.94 degrees
Elevation angle to VBE3: +4.0446 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +4.0508 degrees
-----

Between VBE4 and VBE3, SPLAT! detected obstructions at:
    0.2976 S, 78.3138 W,  4.18 kilometers, 3085.00 meters AMSL
    0.2975 S, 78.3130 W,  4.27 kilometers, 3100.00 meters AMSL

Antenna at VBE4 must be raised to at least 59.74 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.14 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre VBE4 y VBE3.**

	f (GHz)	d (Km)	d <sub>1</sub> (Km)	d <sub>2</sub> (Km)	h <sub>A</sub> (m) VBE4	h <sub>B</sub> (m) VBE3	H (m)
<b>VBE4 – VBE3</b>	5,7875	5.29	4.29	1	2786	3161	3100

**Tabla 3.2.4 Resumen de los datos generados por Splat entre VBE4 y VBE3.**

En la Tabla 3.2.4 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [m/s]}{5.7875 \cdot 10^9 [Hz]} = 0.0518 [m]$$

$$d_1 = 4290 [m]$$

$$d_2 = 1000 [m]$$

$$d = 5290 [m]$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{4290 \cdot 1000}{5290}} ; 5290 = 4290 + 1000$$

$$r_{F1} = 6.484 [m]$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 6.484$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 3.890 [m]$$

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena ( $T_A$ ).

$$h_2 = \frac{d \cdot \left( h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a} \right)}{d_1}$$

Datos:

$$h_{des} = 9 [m] + 60\% \cdot r_{F1} = 9 [m] + 3.890 [m] = 12.890 [m]$$

$$H = 3100 [m.s.n.m.]$$

$h_1$  = Altura del punto de recepción (m.s.n.m.), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 2786[m.s.n.m.] + 18[m] = 2804[m.s.n.m.]$$

$$h_A = 2786 [m.s.n.m.]$$

$$T_A = 18 [m]$$

$h_2 =$  Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.).

$$h_B = 3161 [m.s.n.m.]$$

$T_B =$  Altura de la torre para la antena de transmisión (m).

$$d_1 = 4.29 [Km]$$

$$d_2 = 1.00 [Km]$$

$$d = 5.29 [Km]$$

$$K = 4/3 = 1.333$$

$a =$  Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{5.29 \cdot \left( 12.890 - 2804 + 3100 + 2804 \frac{4.29}{5.29} + \frac{4.29 \cdot 1.00}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{4.29}$$

$$h_2 = 3184.893 [m.s.n.m.]$$

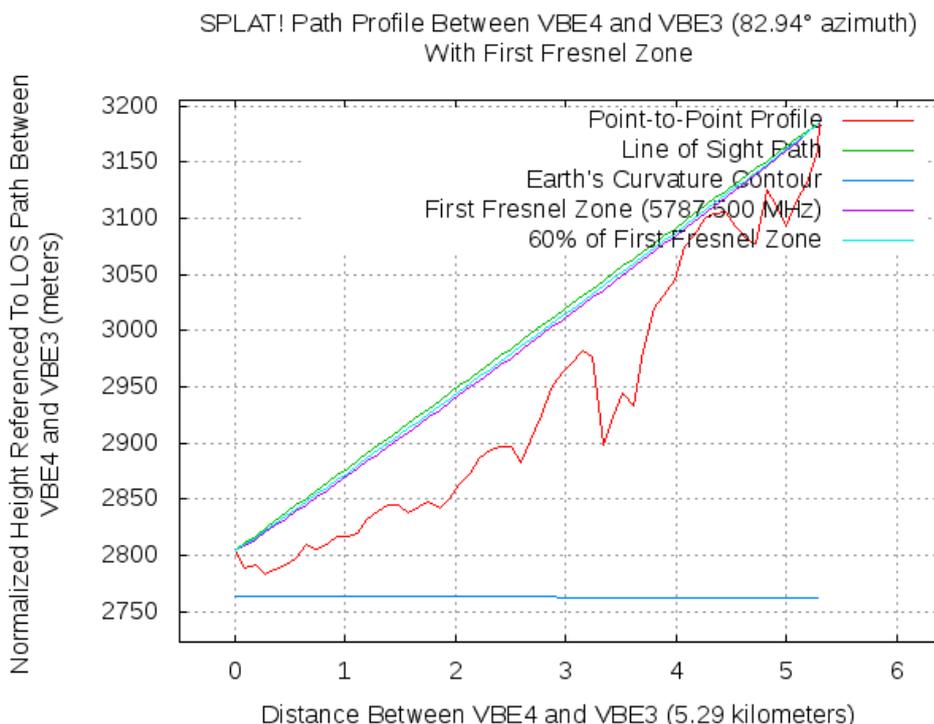
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B$$

$$3184.893 = 3161 + T_B$$

$$T_B = 23.893 [m]$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.15 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.15 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre la VBE4 y la VBE3.**

La Figura 3.2.16 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: VBE3
Site location: 0.2964 South / 78.3039 West (0° 17' 46" S / 78° 18' 13" W)
Ground elevation: 3161.00 meters AMSL
Antenna height: 23.89 meters AGL / 3184.89 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -108.61 meters
Distance to VBE4: 1.00 kilometers
Azimuth to VBE4: 262.94 degrees
Depression angle to VBE4: -4.1442 degrees
-----
Receiver site: VBE4
Site location: 0.3022 South / 78.3511 West (0° 18' 7" S / 78° 21' 3" W)
Ground elevation: 2786.00 meters AMSL
Antenna height: 18.00 meters AGL / 2804.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -215.34 meters
Distance to VBE3: 5.29 kilometers
Azimuth to VBE3: 82.94 degrees
Elevation angle to VBE3: +4.1086 degrees
-----

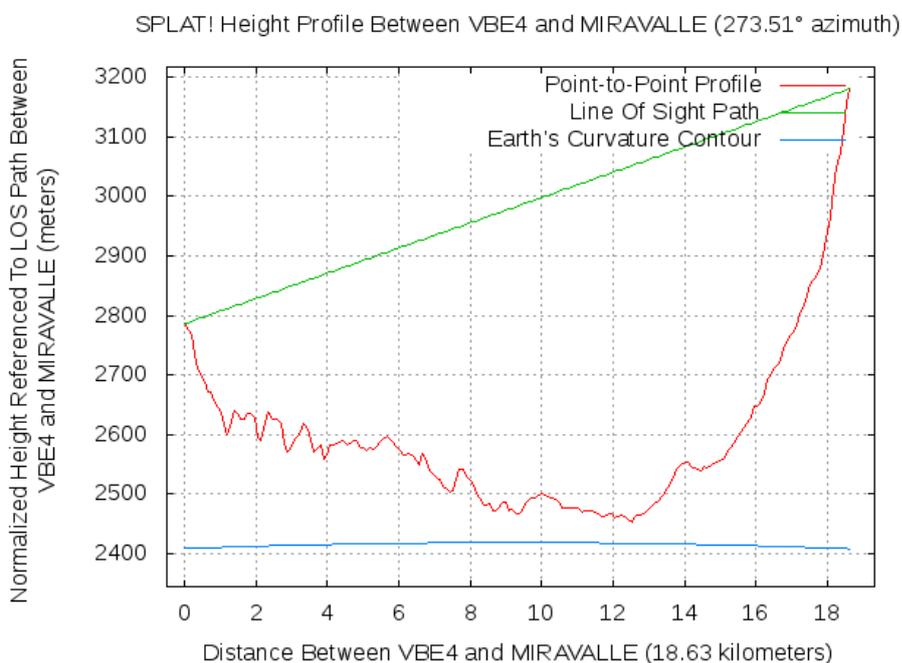
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.16 Archivo de datos del enlace entre la VBE4 y la VBE3**

### 3.2.4 VBE4

#### 3.2.4.1. Enlace VBE4 – MIRAVALLE

En la figura 3.2.17, se puede ver el perfil de terreno entre la VBE4 y MIRAVALLE, además se observa la línea de vista que existe entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.17 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre la VBE4 y MIRAVALLE.**

En la figura 3.2.18, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la VBE4 y MIRAVALLE, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: MIRAVALLE
Site location: 0.2919 South / 78.5183 West (0° 17' 30" S / 78° 31' 5" W)
Ground elevation: 3181.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 3181.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 235.06 meters
Distance to VBE4: 3.53 kilometers
Azimuth to VBE4: 93.51 degrees
Depression angle to VBE4: -1.2778 degrees
-----

Receiver site: VBE4
Site location: 0.3022 South / 78.3511 West (0° 18' 7" S / 78° 21' 3" W)
Ground elevation: 2786.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 2786.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -233.34 meters
Distance to MIRAVALLE: 18.63 kilometers
Azimuth to MIRAVALLE: 273.51 degrees
Elevation angle to MIRAVALLE: +1.1522 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +1.1524 degrees
-----

No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.18 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre la VBE4 y MIRAVALLE.**

Como se puede observar en las figuras 3.2.17 y 3.2.18 no existe ningún obstáculo que pueda obstruir la línea de vista al menos que este lo bastamente cerca a alguno de los puntos, en este caso basta con solo aplicar la Ecuación 13.

$$T_{min} = 5 \cdot \lambda + \frac{1}{2} D \quad \text{Ec. 13.}$$

Donde:

D = diámetro de la antena en metros, se realizará el cálculo con la antena de mayor diámetro.

T min= altura mínima de torre para antena cuando se tiene línea de vista sin obstrucción.

El diámetro de la antena es un dato del fabricante y en este caso se va a usar una antena de marca RADIOWAVES, tipo PARABOLICA y modelo SP4-5.2. El diámetro de esta antena es de 4(pie - ft) es decir 1.2 (m).

$$T_{min} = 5 \cdot 0.0518 + \frac{1}{2} 1.2$$

$$T_{min} = 0.86$$

Por lo tanto la altura mínima a la que deben estar las antenas es de 0.86 m. en los extremos del enlace.

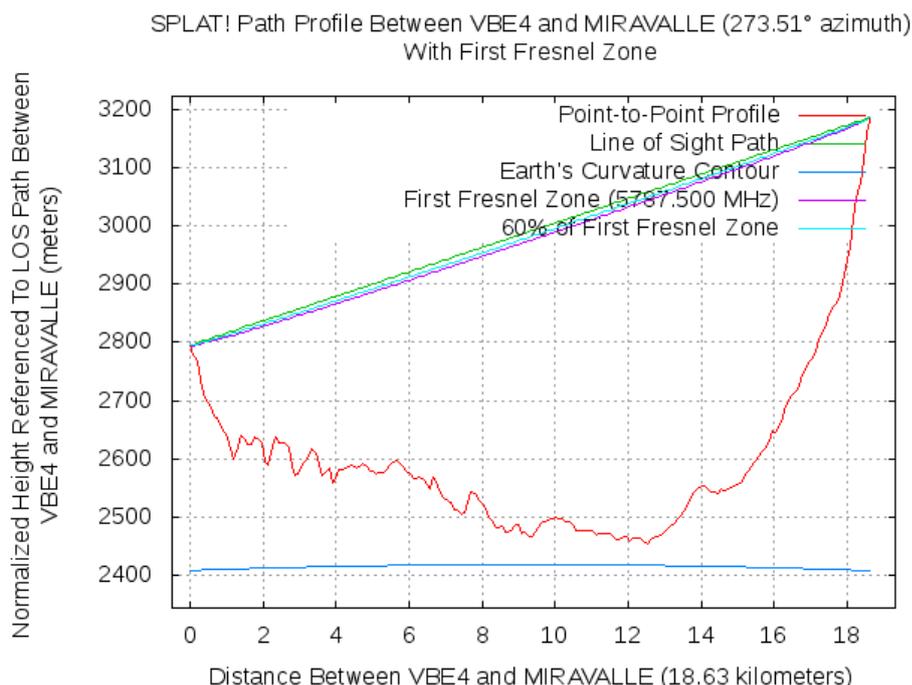
La altura de  $T_{min}$  no es suficiente debido a que en el sitio de la VBE4 existen arboles de 7 m. en la misma dirección del enlace obstruyendo la línea de vista. Y en MIRAVALLE existe también un muro de 3 metros que obstruye la línea de vista.

Por las razones anteriores se determino la altura de las antenas en la VBE4 de 9m y en Miravalle a 9 m.

$$T_A = 9 \text{ [m]}$$

$$T_B = 9 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.19 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.19 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre la VBE4 y MIRAVALLE.**

La Figura 3.2.20 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

---[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]---

-----
Transmitter site: MIRAVALLE
Site location: 0.2919 South / 78.5183 West (0° 17' 30" S / 78° 31' 5" W)
Ground elevation: 3181.00 meters AMSL
Antenna height: 9.00 meters AGL / 3190.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 244.06 meters
Distance to VBE4: 3.53 kilometers
Azimuth to VBE4: 93.51 degrees
Depression angle to VBE4: -1.2778 degrees

-----

Receiver site: VBE4
Site location: 0.3022 South / 78.3511 West (0° 18' 7" S / 78° 21' 3" W)
Ground elevation: 2786.00 meters AMSL
Antenna height: 9.00 meters AGL / 2795.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -224.34 meters
Distance to MIRAVALLE: 18.63 kilometers
Azimuth to MIRAVALLE: 273.51 degrees
Elevation angle to MIRAVALLE: +1.1522 degrees

-----

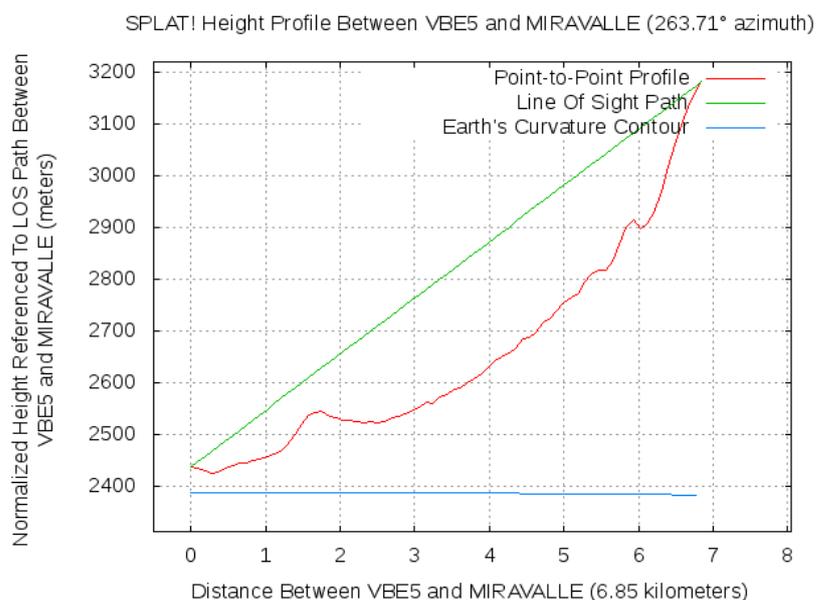
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.20 Archivo de datos del enlace entre la VBE4 y MIRAVALLE.**

### 3.2.5 VBE5

#### 3.2.5.1. Enlace VBE5 – MIRAVALLE

En la figura 3.2.21, se puede ver el perfil de terreno entre la VBE5 y MIRAVALLE, además se observa la línea de vista que existe entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.21 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre la VBE5 y MIRAVALLE.**

En la figura 3.2.22, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la VBE5 y MIRAVALLE, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, no se observa datos sobre obstrucción de línea de vista debido a que no existen obstáculos entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: MIRAVALLE
Site location: 0.2919 South / 78.5183 West (0° 17' 30" S / 78° 31' 5" W)
Ground elevation: 3181.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 3181.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 235.06 meters
Distance to VBE5: 1.30 kilometers
Azimuth to VBE5: 83.71 degrees
Depression angle to VBE5: -6.2431 degrees
-----

Receiver site: VBE5
Site location: 0.2852 South / 78.4571 West (0° 17' 6" S / 78° 27' 25" W)
Ground elevation: 2439.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 2439.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -344.69 meters
Distance to MIRAVALLE: 6.85 kilometers
Azimuth to MIRAVALLE: 263.71 degrees
Elevation angle to MIRAVALLE: +6.1972 degrees
-----

Between VBE5 and MIRAVALLE, SPLAT! detected obstructions at:
0.2852 S, 78.4571 W, 0.00 kilometers, 2439.00 meters AMSL

Antenna at VBE5 must be raised to at least 0.30 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.22 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre VBE5 y MIRAVALLE.**

Como se puede observar en las figuras 3.2.21 y 3.2.22 no existe ningún obstáculo que pueda obstruir la línea de vista al menos que este lo bastante cerca a alguno de los puntos, en este caso basta con solo aplicar la Ecuación 13.

$$T_{min} = 5 \cdot \lambda + \frac{1}{2} D \quad \text{Ec. 13.}$$

Donde:

D = diámetro de la antena en metros, se instalará la misma antena en los extremos del enlace.

T min = altura mínima de torre para antena cuando se tiene línea de vista sin obstrucción.

El diámetro de la antena es un dato de fabricante y en este caso se va a usar una antena de marca RADIOWAVES, tipo PARABOLICA y modelo SP1-5.2. El diámetro de esta antena es de 1(pie - ft) es decir 0.3 (m).

$$T_{min} = 5 \cdot 0.0518 + \frac{1}{2} 0.3$$

$$T_{min} = 0.41$$

Por lo tanto la altura mínima a la que deben estar las antenas es de 0.41 m en los extremos del enlace.

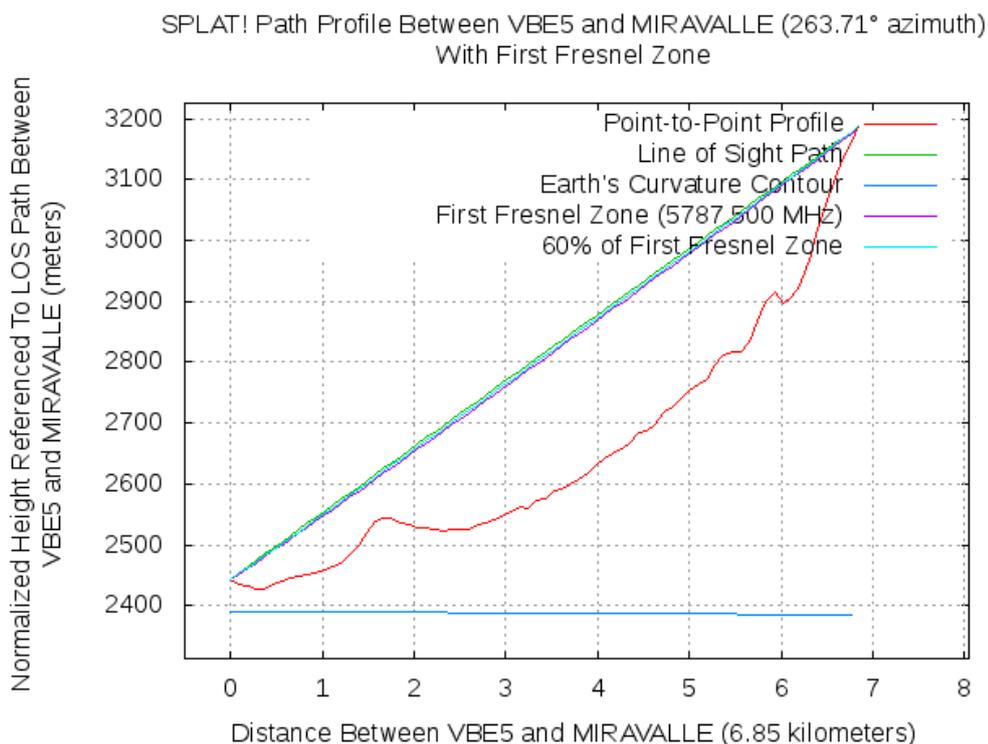
La altura de  $T_{min}$  no es suficiente debido a que en el sitio de la VBE5 existe una caseta de 2.50 m. de altura en la misma dirección del enlace obstruyendo la línea de vista. Y en MIRAVALLE existe también un muro de 3 metros que obstruye la línea de vista.

Por las razones anteriores se determino la altura de las antenas en la VBE5 de 5m y en Miravalle a 7 m, debido a que en el **punto 3.2.4.1** la antena en MIRAVALLE se ubicó en 5m.

$$T_A = 5 \text{ [m]}$$

$$T_B = 7 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.23 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.23 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre la VBE5 y MIRAVALLE.**

La Figura 3.2.24 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

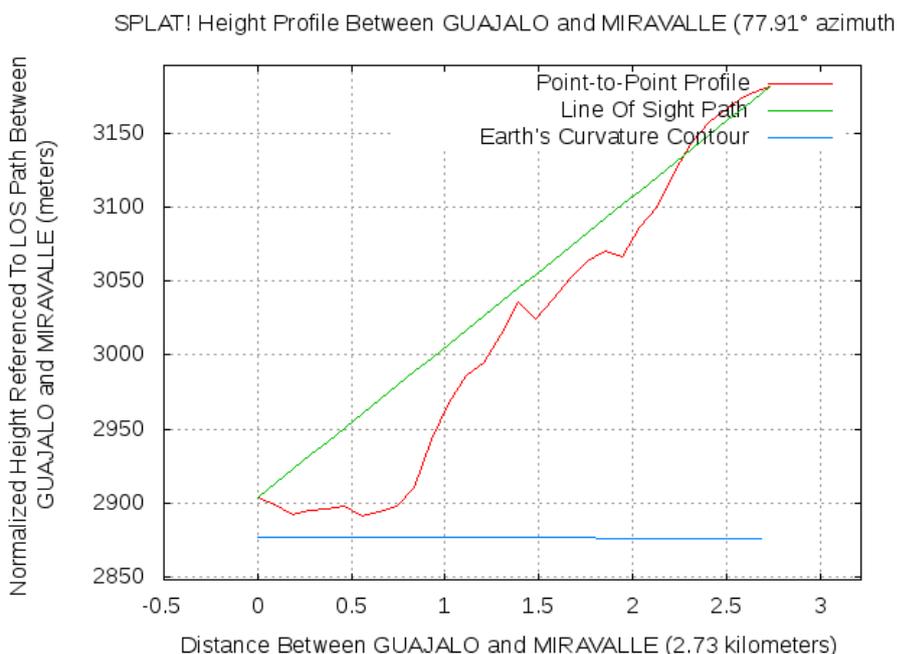
```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: MIRAVALLE
Site location: 0.2919 South / 78.5183 West (0° 17' 30" S / 78° 31' 5" W)
Ground elevation: 3181.00 meters AMSL
Antenna height: 7.00 meters AGL / 3188.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 242.06 meters
Distance to VBE5: 1.30 kilometers
Azimuth to VBE5: 83.71 degrees
Depression angle to VBE5: -6.2599 degrees
-----
Receiver site: VBE5
Site location: 0.2852 South / 78.4571 West (0° 17' 6" S / 78° 27' 25" W)
Ground elevation: 2439.00 meters AMSL
Antenna height: 5.00 meters AGL / 2444.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -339.69 meters
Distance to MIRAVALLE: 6.85 kilometers
Azimuth to MIRAVALLE: 263.71 degrees
Elevation angle to MIRAVALLE: +6.2140 degrees
-----
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.24 Archivo de datos del enlace entre la VBE5 y MIRAVALLE.**

### 3.2.5.2. Enlace GUAJALO – MIRAVALLE

En la figura 3.2.25, se puede ver el perfil de terreno entre la GUAJALO y MIRAVALLE, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.25 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre GUAJALO y MIRAVALLE.**

En la figura 3.2.26, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de GUAJALO y MIRAVALLE, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: MIRAVALLE
Site location: 0.2919 South / 78.5183 West (0° 17' 30" S / 78° 31' 5" W)
Ground elevation: 3181.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 3181.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 235.06 meters
Distance to GUAJALO: 0.52 kilometers
Azimuth to GUAJALO: 257.91 degrees
Depression angle to GUAJALO: -5.8294 degrees
Depression angle to the first obstruction: -4.3328 degrees
-----
Receiver site: GUAJALO
Site location: 0.2971 South / 78.5423 West (0° 17' 49" S / 78° 32' 32" W)
Ground elevation: 2904.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 2904.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -133.55 meters
Distance to MIRAVALLE: 2.73 kilometers
Azimuth to MIRAVALLE: 77.91 degrees
Elevation angle to MIRAVALLE: +5.8111 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +5.9634 degrees
-----
Between GUAJALO and MIRAVALLE, SPLAT! detected obstructions at:
0.2971 S, 78.5423 W, 0.00 kilometers, 2904.00 meters AMSL
0.2926 S, 78.5216 W, 2.36 kilometers, 3145.00 meters AMSL
0.2925 S, 78.5208 W, 2.45 kilometers, 3159.00 meters AMSL
0.2923 S, 78.5199 W, 2.55 kilometers, 3167.00 meters AMSL
0.2921 S, 78.5191 W, 2.64 kilometers, 3176.00 meters AMSL
Antenna at GUAJALO must be raised to at least 130.15 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.26 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre GUAJALO y MIRAVALLE.**

	f (GHz)	d (Km)	d <sub>1</sub> (Km)	d <sub>2</sub> (Km)	h <sub>A</sub> (m) GUAJALO	h <sub>B</sub> (m) MIRAVALLE	H (m)
<b>GUAJALO – MIRAVALLE.</b>	5,7875	2.73	2.45	0.28	2904	3181	3159

**Tabla 3.2.5 Resumen de los datos generados por Splat entre GUAJALO y MIRAVALLE.**

En la Tabla 3.2.5 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [m/s]}{5.7875 \cdot 10^9 [Hz]} = 0.0518 [m]$$

$$d_1 = 2450 [m]$$

$$d_2 = 280 [m]$$

$$d = 2730 [m]$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{2450 \cdot 280}{2730}} ; 2730 = 2450 + 280$$

$$r_{F1} = 3.609 [m]$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 3.609$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 2.165 [m]$$

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena ( $T_A$ ).

$$h_2 = \frac{d \cdot \left( h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot d} \right)}{d_1}$$

Datos:

$$h_{des} = 9 [m] + 60\% \cdot r_{F1} = 9 [m] + 2.165 [m] = 11.165 [m]$$

$$H = 3159 [m.s.n.m.]$$

$h_1$  = Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 2904 [m.s.n.m.] + 17.5 [m] = 2921.5 [m.s.n.m.]$$

$$h_A = 2904 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$$T_A = 17.5 \text{ [m]}$$

$h_2$  = Altura del punto de recepción (m.s.n.m.).

$$h_B = 3181 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$T_B$  = Altura de la torre para la antena de recepción (m).

$$d_1 = 2.45 \text{ [Km]}$$

$$d_2 = 0.28 \text{ [Km]}$$

$$d = 2.73 \text{ [Km]}$$

$$K = 4/3 = 1.333$$

$a$  = Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{2.73 \cdot \left( 11.165 - 2921.5 + 3159 + 2921.5 \frac{2.45}{2.73} + \frac{2.45 \cdot 0.28}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{2.45}$$

$$h_2 = 3198.584 \text{ [m. s. n. m]}$$

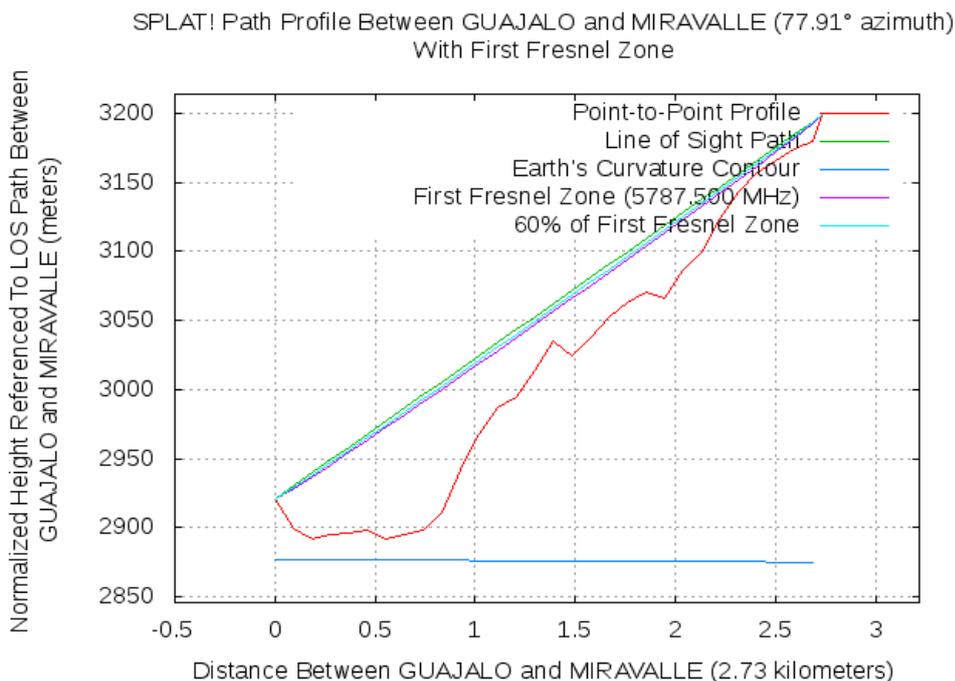
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B$$

$$3198.584 = 3181 + T_B$$

$$T_B = 17.584 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.27 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.27 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre GUAJALO y MIRAVALLE.**

La Figura 3.2.28 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

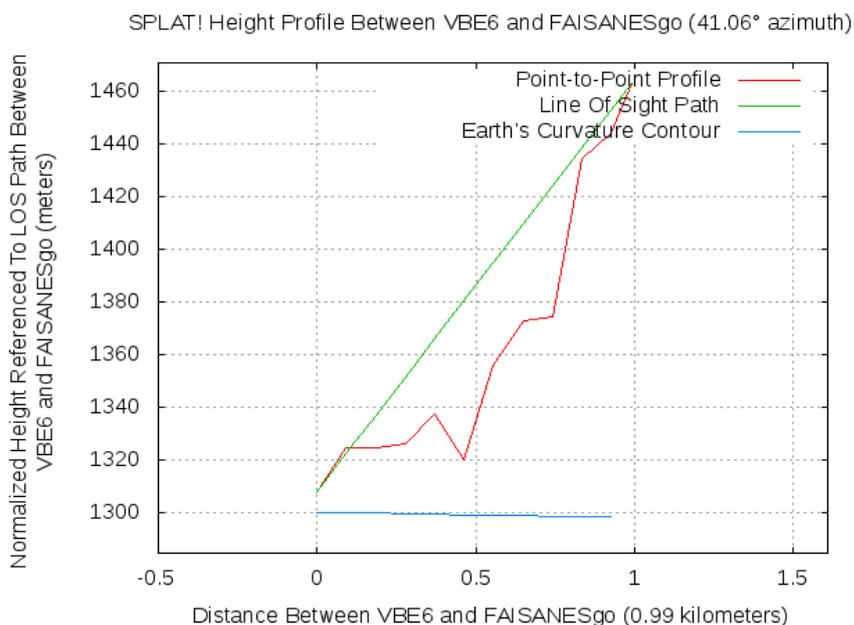
-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: MIRAVALLE
Site location: 0.2919 South / 78.5183 West (0° 17' 30" S / 78° 31' 5" W)
Ground elevation: 3181.00 meters AMSL
Antenna height: 17.58 meters AGL / 3198.58 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 252.64 meters
Distance to GUAJALO: 0.52 kilometers
Azimuth to GUAJALO: 257.91 degrees
Depression angle to GUAJALO: -5.8312 degrees
-----
Receiver site: GUAJALO
Site location: 0.2971 South / 78.5423 West (0° 17' 49" S / 78° 32' 32" W)
Ground elevation: 2904.00 meters AMSL
Antenna height: 17.50 meters AGL / 2921.50 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -116.05 meters
Distance to MIRAVALLE: 2.73 kilometers
Azimuth to MIRAVALLE: 77.91 degrees
Elevation angle to MIRAVALLE: +5.8128 degrees
-----
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.28 Archivo de datos del enlace entre la GUAJALO y MIRAVALLE**

### 3.2.6 VBE6

#### 3.2.6.1. Enlace VBE6 – FAISANES

En la figura 3.2.29, se puede ver el perfil de terreno entre la VBE6 y FAISANES, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.29 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre la VBE6 y FAISANES.**

En la figura 3.2.30, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de VBE6 y FAISANES, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: FAISANESgo
Site location: 0.2957 South / 78.8862 West (0° 17' 44" S / 78° 53' 10" W)
Ground elevation: 1463.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 1463.00 meters AMSL
Distance to VBE6: 0.19 kilometers
Azimuth to VBE6: 221.06 degrees
Depression angle to VBE6: -9.0090 degrees
Depression angle to the first obstruction: -8.3774 degrees
-----

Receiver site: VBE6
Site location: 0.3024 South / 78.8920 West (0° 18' 8" S / 78° 53' 31" W)
Ground elevation: 1308.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 1308.00 meters AMSL
Distance to FAISANESgo: 0.99 kilometers
Azimuth to FAISANESgo: 41.06 degrees
Elevation angle to FAISANESgo: +9.0024 degrees
-----

Between VBE6 and FAISANESgo, SPLAT! detected obstructions at:
    0.2969 S, 78.8873 W, 0.80 kilometers, 1436.00 meters AMSL

Antenna at VBE6 must be raised to at least 10.97 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.30 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre VBE6 y FAISANES.**

	f (GHz)	d (Km)	d <sub>1</sub> (Km)	d <sub>2</sub> (Km)	h <sub>A</sub> (m) VBE6	h <sub>B</sub> (m) FAISANES	H (m)
<b>VBE6 - FAISANES</b>	5,7875	0.990	0.125	0.865	1308	1463	1325

**Tabla 3.2.6 Resumen de los datos generados por Splat entre VBE6 y FAISANES.**

En la Tabla 3.2.6 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [m/s]}{5.7875 \cdot 10^9 [Hz]} = 0.0518 [m]$$

$$d_1 = 125 \text{ [m]}$$

$$d_2 = 865 \text{ [m]}$$

$$d = 990 \text{ [m]}$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{125 \cdot 865}{990}} ; 990 = 125 + 865$$

$$r_{F1} = 2.379 \text{ [m]}$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 2.379$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 1.428 \text{ [m]}$$

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena ( $T_A$ ).

$$h_2 = \frac{d \cdot \left( h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a} \right)}{d_1}$$

Datos:

$$h_{des} = 9 \text{ [m]} + 60\% \cdot r_{F1} = 9 \text{ [m]} + 1.428 \text{ [m]} = 10.428 \text{ [m]}$$

$$H = 1325 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$h_1$  = Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 1308 \text{ [m.s.n.m.]} + 5.5 \text{ [m]} = 1313.5 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$$h_A = 1308 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$$T_A = 5.5 \text{ [m]}$$

$h_2$  = Altura del punto de recepción (m.s.n.m.).

$$h_B = 1463 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$T_B$  = Altura de la torre para la antena de recepción (m).

$$d_1 = 0.125 \text{ [Km]}$$

$$d_2 = 0.865 \text{ [Km]}$$

$$d = 0.990 \text{ [Km]}$$

$$K = 4/3 = 1.333$$

$a$  = Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{0.99 \cdot \left( 10.428 - 1313.5 + 1325 + 1313.5 \frac{0.125}{0.99} + \frac{0.125 \cdot 0.865}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{0.125}$$

$$h_2 = 1487.167 \text{ [m.s.n.m.]}$$

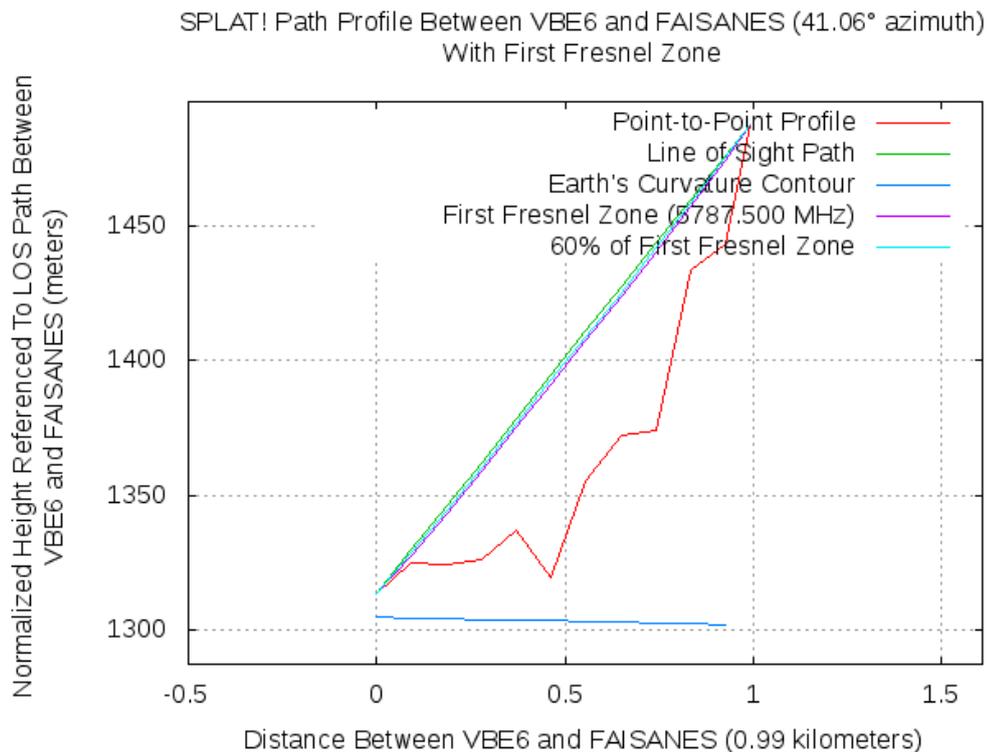
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B$$

$$1487.167 = 1463 + T_B$$

$$T_B = 24.167 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.31 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel. Por efectos visuales la figura se encuentra realizada desde Faisanes hacia la VBE6.



**Figura 3.2.31 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre la VBE6 y FAISANES.**

La Figura 3.2.32 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

---[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]---
-----
Transmitter site: FAISANES
Site location: 0.2957 South / 78.8862 West (0° 17' 44" S / 78° 53' 10" W)
Ground elevation: 1463.00 meters AMSL
Antenna height: 24.17 meters AGL / 1487.17 meters
Distance to VBE6: 0.19 kilometers
Azimuth to VBE6: 221.06 degrees
Depression angle to VBE6: -10.1043 degrees
-----

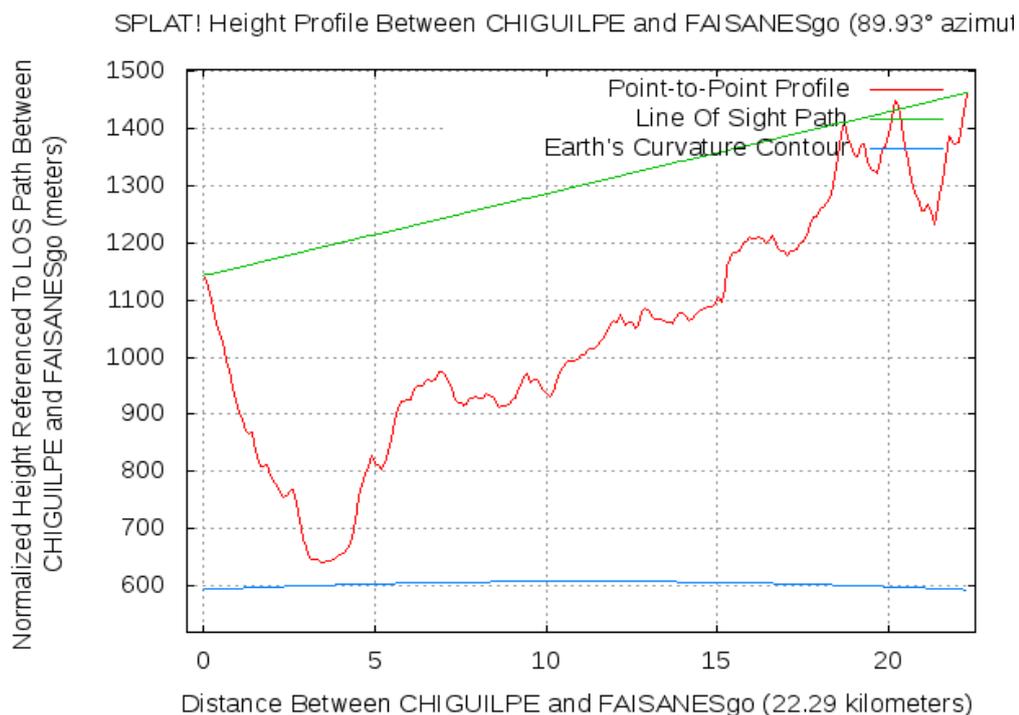
Receiver site: VBE6
Site location: 0.3024 South / 78.8920 West (0° 18' 8" S / 78° 53' 31" W)
Ground elevation: 1308.00 meters AMSL
Antenna height: 5.50 meters AGL / 1313.50 meters AMSL
Distance to FAISANES: 0.99 kilometers
Azimuth to FAISANES: 41.06 degrees
Elevation angle to FAISANES: +10.0977 degrees
-----

No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.32 Archivo de datos del enlace entre la VBE6 y FAISANES.**

### 3.2.6.2. Enlace CHIGUILPE - FAISANES

En la figura 3.2.33, se puede ver el perfil de terreno entre la CHIGUILPE y FAISANES, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.33 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre la CHIGUILPE y FAISANES.**

En la figura 3.2.34, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de CHIGUILPE y FAISANES, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: FAISANES
Site location: 0.2957 South / 78.8862 West (0° 17' 44" S / 78° 53' 10" W)
Ground elevation: 1463.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 1463.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 49.50 meters
Distance to CHIGUILPE: 4.22 kilometers
Azimuth to CHIGUILPE: 269.93 degrees
Depression angle to CHIGUILPE: -0.8977 degrees
Depression angle to the first obstruction: -0.7095 degrees
-----

Receiver site: CHIGUILPE
Site location: 0.2959 South / 79.0866 West (0° 17' 45" S / 79° 5' 11" W)
Ground elevation: 1143.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 1143.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 295.59 meters
Distance to FAISANES: 22.29 kilometers
Azimuth to FAISANES: 89.93 degrees
Elevation angle to FAISANES: +0.7474 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +0.7884 degrees
-----

Between CHIGUILPE and FAISANES, SPLAT! detected obstructions at:
    0.2959 S, 79.0866 W, 0.00 kilometers, 1143.00 meters AMSL
    0.2957 S, 78.9053 W, 20.16 kilometers, 1445.00 meters AMSL

Antenna at CHIGUILPE must be raised to at least 158.50 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.34 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre CHIGUILPE y FAISANES.**

	f (GHz)	d (Km)	d <sub>1</sub> (Km)	d <sub>2</sub> (Km)	h <sub>A</sub> (m) CHIGUILPE	h <sub>B</sub> (m) FAISANES	H (m)
<b>CHIGUILPE-FAISANES</b>	5,7875	22.29	20.16	2.13	1143	1463	1445

**Tabla 3.2.7 Resumen de los datos generados por Splat entre CHIGUILPE y FAISANES.**

En la Tabla 3.2.7 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [m/s]}{5.7875 \cdot 10^9 [Hz]} = 0.0518 [m]$$

$$d_1 = 20160 [m]$$

$$d_2 = 2130 [m]$$

$$d = 22290 [m]$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{20160 \cdot 2130}{22290}} ; 22290 = 20160 + 2130$$

$$r_{F1} = 9.993 [m]$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 9.993$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 5.996 [m]$$

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena ( $T_A$ ).

$$h_2 = \frac{d \cdot \left( h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a} \right)}{d_1}$$

Datos:

$$h_{des} = 9 [m] + 60\% \cdot r_{F1} = 9 [m] + 5.996 [m] = 14.996 [m]$$

$$H = 1445 [m.s.n.m.]$$

$h_1$  = Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 1143 [m.s.n.m.] + 17 [m] = 1160 [m.s.n.m.]$$

$$h_A = 1143 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$$T_A = 17 \text{ [m]}$$

$h_2$  = Altura del punto de recepción (m.s.n.m.).

$$h_B = 1463 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$T_B$  = Altura de la torre para la antena de recepción (m).

$$d_1 = 20.16 \text{ [Km]}$$

$$d_2 = 2.13 \text{ [Km]}$$

$$d = 22.29 \text{ [Km]}$$

$$K = 4/3 = 1.333$$

$a$  = Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{22.29 \cdot \left( 14.996 - 1160 + 1445 + 1160 \frac{20.16}{22.29} + \frac{20.16 \cdot 2.13}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{20.16}$$

$$h_2 = 1491.695 \text{ [m.s.n.m.]}$$

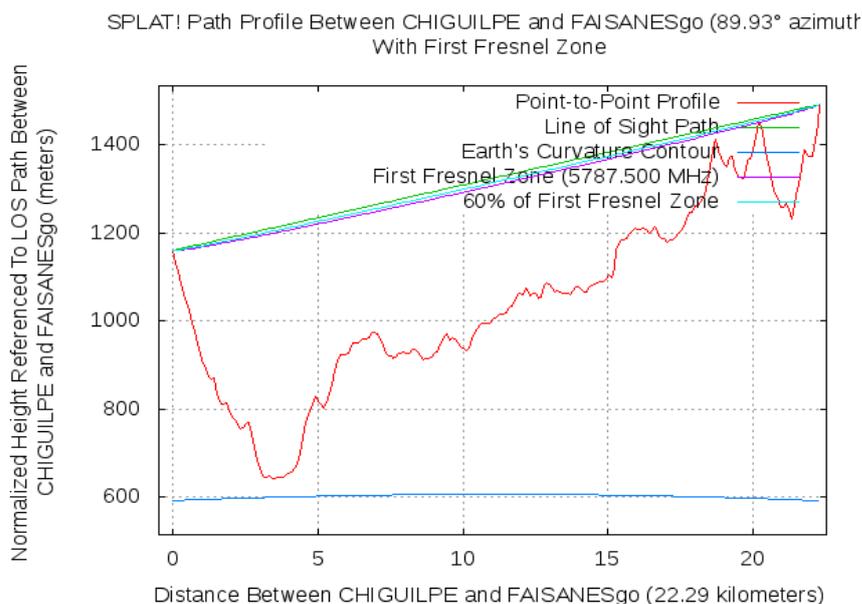
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B$$

$$1491.695 = 1463 + T_B$$

$$T_B = 28.695 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.35 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.35 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre CHIGUILPE y la FAISANES.**

La Figura 3.2.36 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

---[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]---

-----
Transmitter site: FAISANES
Site location: 0.2957 South / 78.8862 West (0° 17' 44" S / 78° 53' 10" W)
Ground elevation: 1463.00 meters AMSL
Antenna height: 28.69 meters AGL / 1491.70 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 78.19 meters
Distance to CHIGUILPE: 4.22 kilometers
Azimuth to CHIGUILPE: 269.93 degrees
Depression angle to CHIGUILPE: -0.9278 degrees

-----

Receiver site: CHIGUILPE
Site location: 0.2959 South / 79.0866 West (0° 17' 45" S / 79° 5' 11" W)
Ground elevation: 1143.00 meters AMSL
Antenna height: 17.00 meters AGL / 1160.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 312.59 meters
Distance to FAISANES: 22.29 kilometers
Azimuth to FAISANES: 89.93 degrees
Elevation angle to FAISANES: +0.7775 degrees

-----

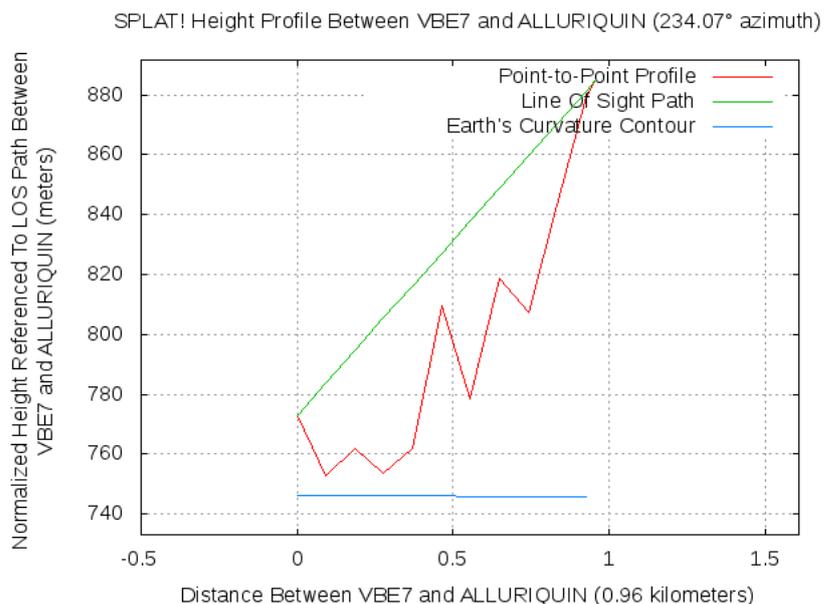
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.36 Archivo de datos del enlace entre CHIGUILPE y FAISANES**

### 3.2.7 VBE7

#### 3.2.7.1. Enlace VBE7 – ALLURIQUIN

En la figura 3.2.37, se puede ver el perfil de terreno entre la VBE7 y ALLURIQUIN, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.37 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre la VBE7 y ALLURIQUIN.**

En la figura 3.2.38, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la VBE7 y ALLURIQUIN, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, no se observa datos sobre obstrucción de línea de vista debido a que no existen obstáculos entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: ALLURIQUIN
Site location: 0.3238 South / 78.9952 West (0° 19' 25" S / 78° 59' 42" W)
Ground elevation: 885.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 885.00 meters AMSL
Distance to VBE7: 0.18 kilometers
Azimuth to VBE7: 54.07 degrees
Depression angle to VBE7: -6.7096 degrees
-----
Receiver site: VBE7
Site location: 0.3188 South / 78.9882 West (0° 19' 7" S / 78° 59' 17" W)
Ground elevation: 773.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 773.00 meters AMSL
Distance to ALLURIQUIN: 0.96 kilometers
Azimuth to ALLURIQUIN: 234.07 degrees
Elevation angle to ALLURIQUIN: +6.7031 degrees
-----
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.38 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre VBE7 y ALLURIQUIN.**

Como se puede observar en las figuras 3.2.37 y 3.2.38 no existe ningún obstáculo que pueda obstruir la línea de vista al menos que este lo bastantemente cerca a alguno de los puntos, en este caso basta con solo aplicar la Ecuación 13.

$$T_{min} = 5 \cdot \lambda + \frac{1}{2} D \quad \text{Ec. 13.}$$

Donde:

D = diámetro de la antena en metros, se instalará la misma antena en los extremos del enlace.

T min = altura mínima de torre para antena cuando se tiene línea de vista sin obstrucción.

El diámetro de la antena es un dato de fabricante y en este caso se va a usar una antena de marca RADIOWAVES, tipo PARABOLICA y modelo SP6-5.2.

El diámetro de esta antena es de 6 (pie - ft) es decir 1.8 (m).

$$T_{min} = 5 \cdot 0.0518 + \frac{1}{2} 1.8$$

$$T_{min} = 1.16$$

Por lo tanto la altura mínima a la que deben estar las antenas es de 1.16 m en los extremos del enlace.

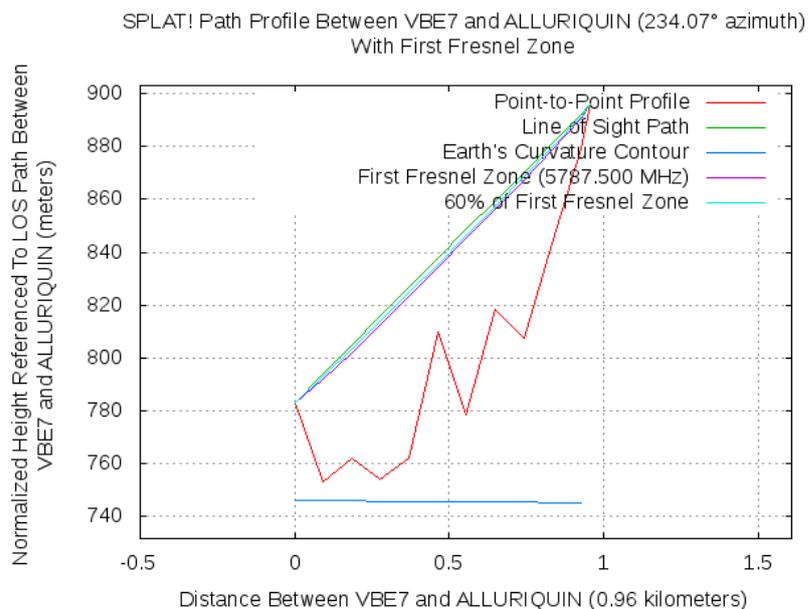
La altura de  $T_{min}$  no es suficiente debido a que en el sitio de la VBE7 existen arboles de 8 m. de altura en la misma dirección del enlace obstruyendo la línea de vista. Y en ALLURIQUIN existe también arboles de 9 m. que obstruye la línea de vista.

Por las razones anteriores se determino la altura de las antenas en la VBE7 de 10 m y en ALLURIQUIN a 11 m.

$$T_A = 10 \text{ [m]}$$

$$T_B = 11 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.39 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.39 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre la VBE7 y ALLURIQUIN**

La Figura 3.2.40 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

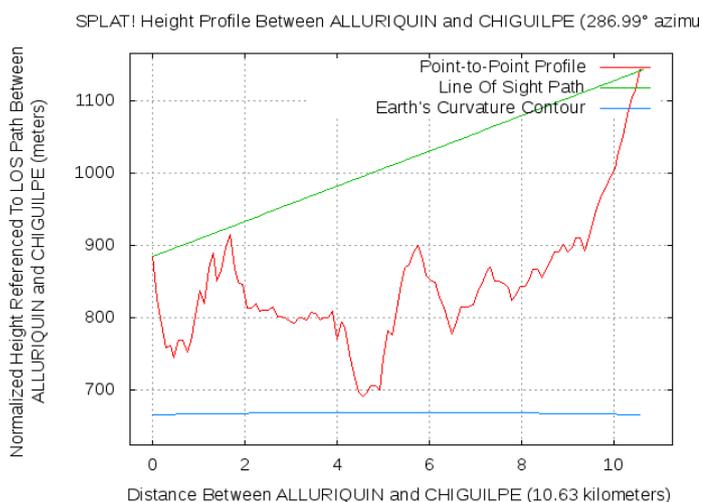
-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: ALLURIQUIN
Site location: 0.3238 South / 78.9952 West (0° 19' 25" S / 78° 59' 42" W)
Ground elevation: 885.00 meters AMSL
Antenna height: 11.00 meters AGL / 896.00 meters AMSL
Distance to VBE7: 0.18 kilometers
Azimuth to VBE7: 54.07 degrees
Depression angle to VBE7: -6.7697 degrees
-----
Receiver site: VBE7
Site location: 0.3188 South / 78.9882 West (0° 19' 7" S / 78° 59' 17" W)
Ground elevation: 773.00 meters AMSL
Antenna height: 10.00 meters AGL / 783.00 meters AMSL
Distance to ALLURIQUIN: 0.96 kilometers
Azimuth to ALLURIQUIN: 234.07 degrees
Elevation angle to ALLURIQUIN: +6.7633 degrees
-----
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.40 Archivo de datos del enlace entre la VBE7 y ALLURIQUIN.**

### 3.2.7.2. Enlace ALLURIQUIN - CHIGUILPE

En la figura 3.2.41, se puede ver el perfil de terreno entre ALLURIQUIN y CHIGUILPE, además se observa la línea de vista que existe entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.41 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre ALLURIQUIN y CHIGUILPE.**

En la figura 3.2.42, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de ALLURIQUIN y CHIGUILPE, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, no se observa datos sobre obstrucción de línea de vista debido a que no existen obstáculos entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: CHIGUILPE
Site location: 0.2959 South / 79.0866 West (0° 17' 45" S / 79° 5' 11" W)
Ground elevation: 1143.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 1143.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 295.59 meters
Distance to ALLURIQUIN: 2.01 kilometers
Azimuth to ALLURIQUIN: 106.99 degrees
Depression angle to ALLURIQUIN: -1.4271 degrees
-----

Receiver site: ALLURIQUIN
Site location: 0.3238 South / 78.9952 West (0° 19' 25" S / 78° 59' 42" W)
Ground elevation: 885.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 885.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -293.77 meters
Distance to CHIGUILPE: 10.63 kilometers
Azimuth to CHIGUILPE: 286.99 degrees
Elevation angle to CHIGUILPE: +1.3554 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +1.3638 degrees
-----

Between ALLURIQUIN and CHIGUILPE, SPLAT! detected obstructions at:
      0.3238 S, 78.9952 W, 0.00 kilometers, 885.00 meters AMSL
Antenna at ALLURIQUIN must be raised to at least 0.30 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.42 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre ALLURIQUIN y CHIGUILPE.**

Como se puede observar en las figuras 3.2.41 y 3.2.42 no existe ningún obstáculo que pueda obstruir la línea de vista al menos que este lo bastante cerca a alguno de los puntos, en este caso basta con solo aplicar la Ecuación 13.

$$T_{min} = 5 \cdot \lambda + \frac{1}{2} D \quad \text{Ec. 13.}$$

Donde:

D = diámetro de la antena en metros, se instalará la misma antena en los extremos del enlace.

$T_{min}$  = altura mínima de torre para antena cuando se tiene línea de vista sin obstrucción.

El diámetro de la antena es un dato de fabricante y en este caso se va a usar una antena de marca RADIOWAVES, tipo PARABOLICA y modelo SP6-5.2.

El diámetro de esta antena es de 6 (pie - ft) es decir 1.8 (m).

$$T_{min} = 5 \cdot 0.0518 + \frac{1}{2} 1.8$$

$$T_{min} = 1.16$$

Por lo tanto la altura mínima a la que deben estar las antenas es de 1.16 m en los extremos del enlace.

La altura de  $T_{min}$  no es suficiente debido a que en el sitio de ALLURIQUIN existen arboles de 9 de altura en la misma dirección del enlace obstruyendo la línea de vista. Y en CHIGUILPE existe también arboles de 7 metros que obstruye la línea de vista.

Por las razones anteriores se determino la altura de la antena en ALLURIQUIN a 11 m. debido a que en el **punto 3.2.7.1** la altura de la torre para la antena en ALLURIQUIN es de 11 m., además en este sitio se realizara un back-to-back de antenas, por lo tanto estas dos antenas deben estar cerca.

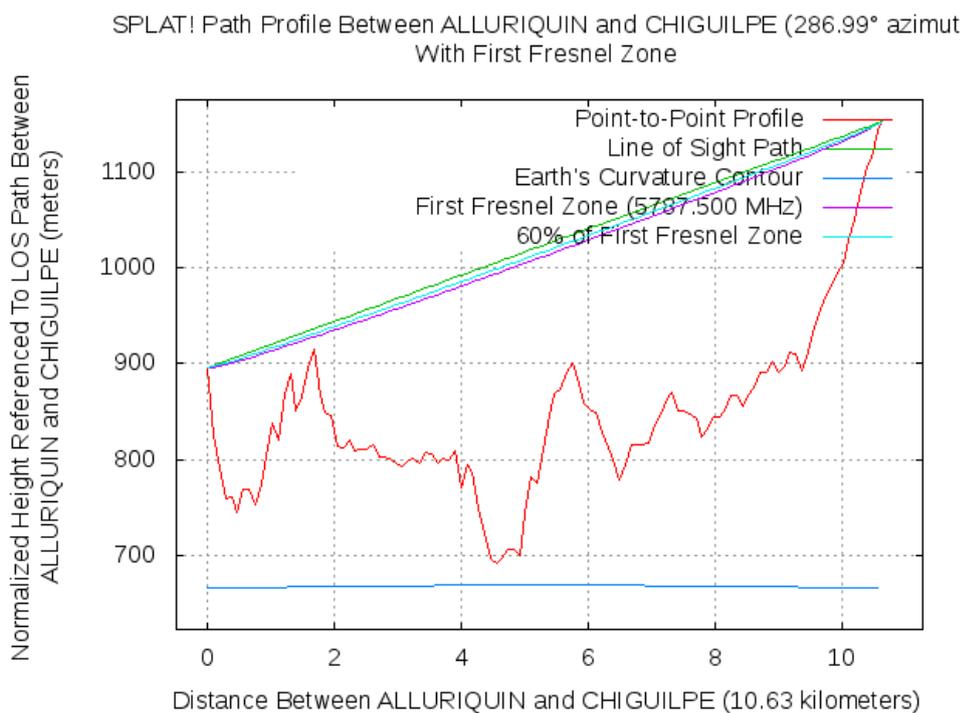
La altura de la torre para antena en CHIGUILPE es a 9 m.

$$T_A = 11 \text{ [m]}$$

$$T_B = 9 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat.

En la Figura 3.2.43 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.43 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel  
entre ALLURIQUIN y CHIGUILPE.**

La Figura 3.2.44 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----

Transmitter site: CHIGUILPE
Site location: 0.2959 South / 79.0866 West (0° 17' 45" S / 79° 5' 11" W)
Ground elevation: 1143.00 meters AMSL
Antenna height: 9.00 meters AGL / 1152.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 304.59 meters
Distance to ALLURIQUIN: 2.01 kilometers
Azimuth to ALLURIQUIN: 106.99 degrees
Depression angle to ALLURIQUIN: -1.4163 degrees

Receiver site: ALLURIQUIN
Site location: 0.3238 South / 78.9952 West (0° 19' 25" S / 78° 59' 42" W)
Ground elevation: 885.00 meters AMSL
Antenna height: 11.00 meters AGL / 896.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -282.77 meters
Distance to CHIGUILPE: 10.63 kilometers
Azimuth to CHIGUILPE: 286.99 degrees
Elevation angle to CHIGUILPE: +1.3446 degrees

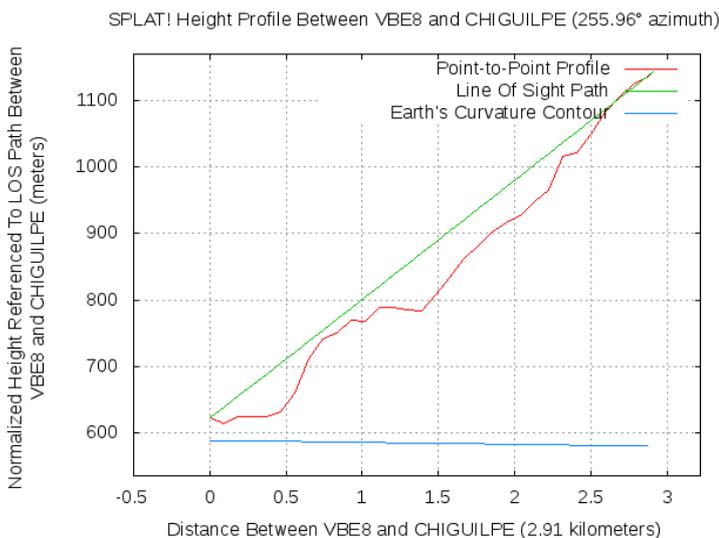
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.44 Archivo de datos del enlace entre ALLURIQUIN y CHIGUILPE.**

**3.2.8 VBE8**

**3.2.8.1. Enlace VBE8 – CHIGUILPE**

En la figura 3.2.45, se puede ver el perfil de terreno entre VBE8 y CHIGUILPE, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.45 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre VBE8 y CHIGUILPE.**

En el grafico 3.2.46, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la VBE8 y CHIGUILPE, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: CHIGUILPE
Site location: 0.2959 South / 79.0866 West (0° 17' 45" S / 79° 5' 11" W)
Ground elevation: 1143.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 1143.00 meters AMSL
Distance to VBE8: 0.55 kilometers
Azimuth to VBE8: 75.96 degrees
Depression angle to VBE8: -10.3140 degrees
Depression angle to the first obstruction: -9.6295 degrees
-----
Receiver site: VBE8
Site location: 0.2896 South / 79.0612 West (0° 17' 22" S / 79° 3' 40" W)
Ground elevation: 622.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 622.00 meters AMSL
Distance to CHIGUILPE: 2.91 kilometers
Azimuth to CHIGUILPE: 255.96 degrees
Elevation angle to CHIGUILPE: +10.2946 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +10.3602 degrees
-----
Between VBE8 and CHIGUILPE, SPLAT! detected obstructions at:
0.2955 S, 79.0850 W, 2.73 kilometers, 1112.00 meters AMSL
0.2957 S, 79.0858 W, 2.82 kilometers, 1132.00 meters AMSL
Antenna at VBE8 must be raised to at least 175.87 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.46 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre VBE8 y CHIGUILPE.**

	f (GHz)	d (Km)	d <sub>1</sub> (Km)	d <sub>2</sub> (Km)	h <sub>A</sub> (m) VBE8	h <sub>B</sub> (m) CHIGUILPE	H (m)
<b>VBE8- CHIGUILPE</b>	5,7875	2.91	2.8	0.11	622	1143	1130

**Tabla 3.2.8 Resumen de los datos generados por Splat entre VBE8 y CHIGUILPE.**

En la Tabla 3.2.8 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [\text{m/s}]}{5.7875 \cdot 10^9 [\text{Hz}]} = 0.0518 [\text{m}]$$

$$d_1 = 2800 [\text{m}]$$

$$d_2 = 110 [\text{m}]$$

$$d = 2910 [\text{m}]$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{2800 \cdot 110}{2910}} ; 2910 = 2800 + 110$$

$$r_{F1} = 2.342 [\text{m}]$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 2.342$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 1.405 [\text{m}]$$

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena ( $T_A$ ).

$$h_2 = \frac{d \cdot \left( h_{\text{des}} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a} \right)}{d_1}$$

Datos:

$$h_{\text{des}} = 9 [\text{m}] + 60\% \cdot r_{F1} = 9 [\text{m}] + 1.405 [\text{m}] = 10.405 [\text{m}]$$

$$H = 1130 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$h_1$  = Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 622 \text{ [m. s. n. m.]} + 5.5 \text{ [m]} = 627.5 \text{ [m. s. n. m.]}$$

$$h_A = 622 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$$T_A = 5.5 \text{ [m]}$$

$h_2$  = Altura del punto de recepción (m.s.n.m.).

$$h_B = 1143 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$T_B$  = Altura de la torre para la antena de recepción (m).

$$d_1 = 2.8 \text{ [Km]}$$

$$d_2 = 0.11 \text{ [Km]}$$

$$d = 2.91 \text{ [Km]}$$

$$K = 4/3 = 1.333$$

$a$  = Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{2.91 \cdot \left( 10.405 - 627.5 + 1130 + 627.5 \frac{2.8}{2.91} + \frac{2.8 \cdot 8.011}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{2.8}$$

$$h_2 = 1160.555 \text{ [m. s. n. m]}$$

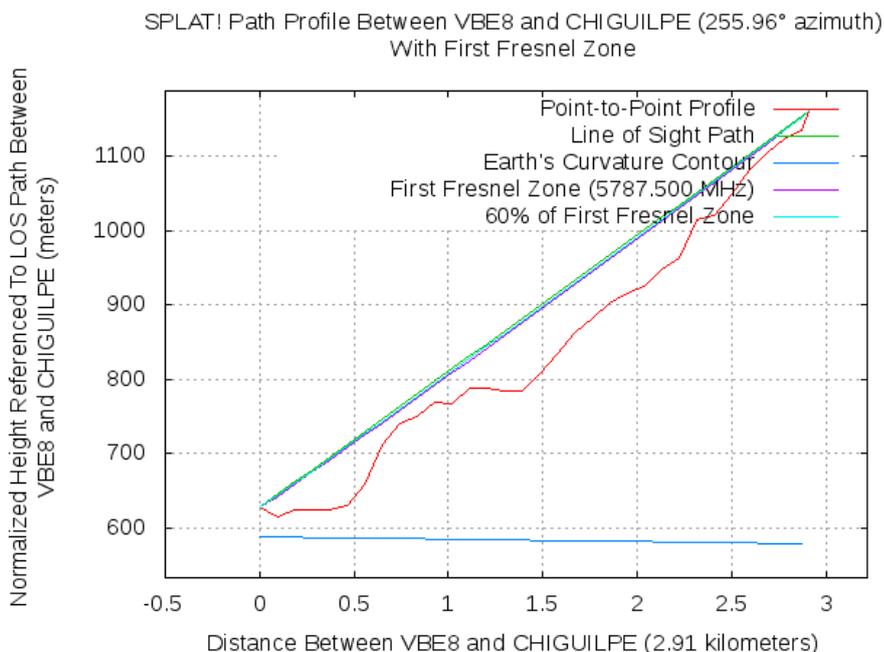
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B$$

$$1160.555 = 1143 + T_B$$

$$T_B = 17.555 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.47 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.47 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre la VBE8 y CHIGUILPE.**

La Figura 3.2.48 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

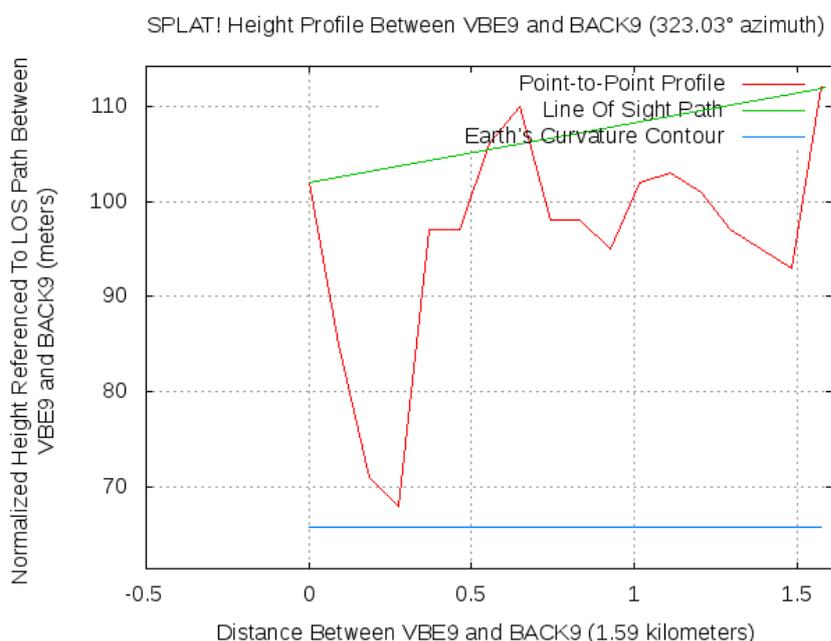
---[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]---
-----
Transmitter site: CHIGUILPE
Site location: 0.2959 South / 79.0866 West (0° 17' 45" S / 79° 5' 11" W)
Ground elevation: 1143.00 meters AMSL
Antenna height: 17.56 meters AGL / 1160.56 meters AMSL
Distance to VBE8: 0.55 kilometers
Azimuth to VBE8: 75.96 degrees
Depression angle to VBE8: -10.5551 degrees
-----
Receiver site: VBE8
Site location: 0.2896 South / 79.0612 West (0° 17' 22" S / 79° 3' 40" W)
Ground elevation: 622.00 meters AMSL
Antenna height: 5.50 meters AGL / 627.50 meters AMSL
Distance to CHIGUILPE: 2.91 kilometers
Azimuth to CHIGUILPE: 255.96 degrees
Elevation angle to CHIGUILPE: +10.5358 degrees
-----
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.48 Archivo de datos del enlace entre la VBE8 y CHIGUILPE.**

### 3.2.9 VBE9

#### 3.2.9.1. Enlace VBE9 – BACK9

En la figura 3.2.49, se puede ver el perfil de terreno entre VBE9 y BACK9, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.49 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre VBE9 y BACK9.**

En la figura 3.2.50, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la VBE9 y BACK9, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

---=[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]---
-----
Transmitter site: BACK9
Site location: 0.3393 North / 79.4847 West (0° 20' 21" N / 79° 29' 5" W)
Ground elevation: 112.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 112.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -17.09 meters
Distance to VBE9: 0.30 kilometers
Azimuth to VBE9: 143.03 degrees
Depression angle to VBE9: -0.3662 degrees
Depression angle to the first obstruction: -0.1268 degrees
-----

Receiver site: VBE9
Site location: 0.3279 North / 79.4762 West (0° 19' 40" N / 79° 28' 34" W)
Ground elevation: 102.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 102.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -26.82 meters
Distance to BACK9: 1.59 kilometers
Azimuth to BACK9: 323.03 degrees
Elevation angle to BACK9: +0.3555 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +0.4103 degrees
-----

Between VBE9 and BACK9, SPLAT! detected obstructions at:
    0.3279 N, 79.4762 W, 0.00 kilometers, 102.00 meters AMSL
    0.3319 N, 79.4792 W, 0.57 kilometers, 106.00 meters AMSL
    0.3326 N, 79.4797 W, 0.66 kilometers, 110.00 meters AMSL

Antenna at VBE9 must be raised to at least 6.71 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.50 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre VBE9 y BACK9.**

	f(GHz)	d(Km)	d1(Km)	d2(Km)	h <sub>A</sub> (m) VBE9	h <sub>B</sub> (m) BACK9	H (m)
<b>VBE9 - BACK9</b>	5,7875	1.59	0.66	0.93	102	112	110

**Tabla 3.2.9 Resumen de los datos generados por Splat entre la VBE9 y BACK9.**

En la Tabla 3.2.9 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [\text{m/s}]}{5.7875 \cdot 10^9 [\text{Hz}]} = 0.0518 [\text{m}]$$

$$d_1 = 660 [\text{m}]$$

$$d_2 = 930 [\text{m}]$$

$$d = 1590 [\text{m}]$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{660 \cdot 930}{1590}} ; 1590 = 660 + 930$$

$$r_{F1} = 4.473 [\text{m}]$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 4.473$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 2.684 [\text{m}]$$

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena ( $T_A$ ).

$$h_2 = \frac{d \cdot \left( h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a} \right)}{d_1}$$

Datos:

$$h_{des} = 9[\text{m}] + 60\% \cdot r_{F1} = 9[\text{m}] + 2.684 [\text{m}] = 11.684 [\text{m}]$$

$$H = 110 [\text{m.s.n.m.}]$$

$h_1$  = Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 102 [\text{m. s. n. m.}] + 4 [\text{m}] = 106 [\text{m. s. n. m.}]$$

$$h_A = 102 [\text{m.s.n.m.}]$$

$$T_A = 4 \text{ [m]}$$

$h_2$  = Altura del punto de recepción (m.s.n.m.).

$$h_B = 112 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$T_B$  = Altura de la torre para la antena de recepción (m).

$$d_1 = 0.660 \text{ [Km]}$$

$$d_2 = 0.930 \text{ [Km]}$$

$$d = 1590 \text{ [Km]}$$

$$K = 4/3 = 1.333$$

$a$  = Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{1590 \cdot \left( 11.684 - 106 + 110 + 106 \frac{0.66}{1590} + \frac{0.66 \cdot 0.930}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{0.66}$$

$$h_2 = 143.784 \text{ [m. s. n. m]}$$

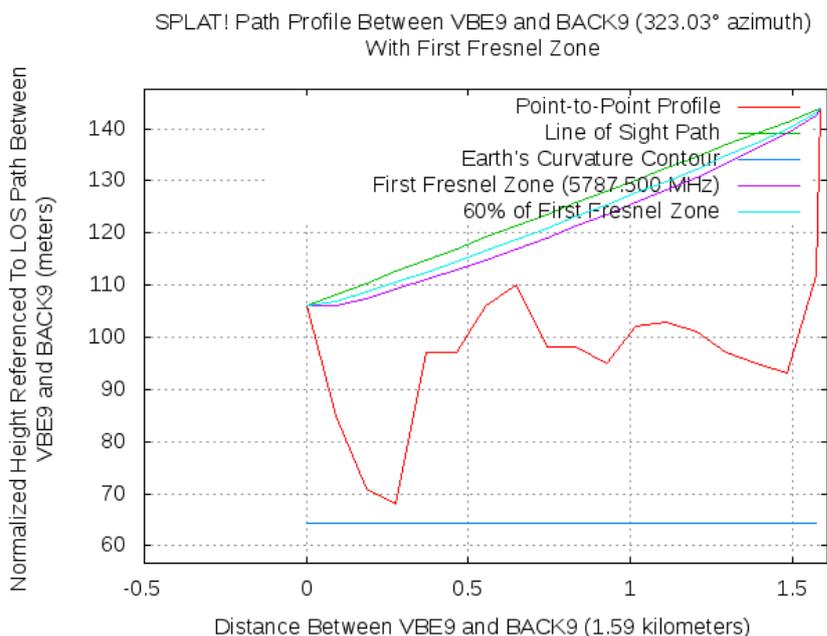
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B$$

$$143.784 = 112 + T_B$$

$$T_B = 31.784 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.51 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.51 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre la VBE9 y BACK9.**

La Figura 3.2.52 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

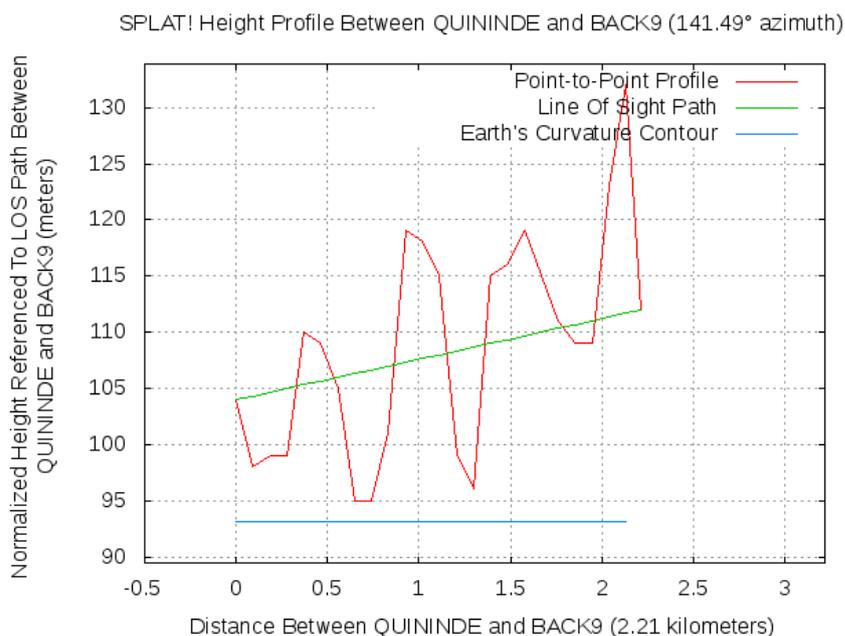
```

---[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]---
-----
Transmitter site: BACK9
Site location: 0.3393 North / 79.4847 West (0° 20' 21" N / 79° 29' 5" W)
Ground elevation: 112.00 meters AMSL
Antenna height: 31.78 meters AGL / 143.78 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 14.69 meters
Distance to VBE9: 0.30 kilometers
Azimuth to VBE9: 143.03 degrees
Depression angle to VBE9: -1.3688 degrees
-----
Receiver site: VBE9
Site location: 0.3279 North / 79.4762 West (0° 19' 40" N / 79° 28' 34" W)
Ground elevation: 102.00 meters AMSL
Antenna height: 4.00 meters AGL / 106.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -22.82 meters
Distance to BACK9: 1.59 kilometers
Azimuth to BACK9: 323.03 degrees
Elevation angle to BACK9: +1.3581 degrees
-----
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.52 Archivo de datos del enlace entre la VBE9 y BACK9.**

### 3.2.9.2. Enlace QUININDE – BACK9

En la figura 3.2.53, se puede ver el perfil de terreno entre QUININDE y BACK9, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.53 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre QUININDE y BACK9.**

En la figura 3.2.54, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de QUININDE y BACK9, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----

Transmitter site: BACK9
Site location: 0.3393 North / 79.4847 West (0° 20' 21" N / 79° 29' 5" W)
Ground elevation: 112.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 112.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -17.09 meters
Distance to QUININDE: 0.42 kilometers
Azimuth to QUININDE: 321.49 degrees
Depression angle to QUININDE: -0.2145 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +3.4020 degrees

Receiver site: QUININDE
Site location: 0.3548 North / 79.4971 West (0° 21' 17" N / 79° 29' 49" W)
Ground elevation: 104.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 104.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -30.85 meters
Distance to BACK9: 2.21 kilometers
Azimuth to BACK9: 141.49 degrees
Elevation angle to BACK9: +0.1995 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +0.9262 degrees

Between QUININDE and BACK9, SPLAT! detected obstructions at:
0.3523 N, 79.4951 W, 0.36 kilometers, 110.00 meters AMSL
0.3517 N, 79.4946 W, 0.45 kilometers, 119.00 meters AMSL
0.3484 N, 79.4920 W, 0.92 kilometers, 119.00 meters AMSL
0.3438 N, 79.4884 W, 1.57 kilometers, 119.00 meters AMSL
0.3406 N, 79.4858 W, 2.03 kilometers, 123.00 meters AMSL
0.3399 N, 79.4853 W, 2.12 kilometers, 132.00 meters AMSL

Antenna at QUININDE must be raised to at least 486.46 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.54 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre QUININDE y BACK9.**

	f (GHz)	d (Km)	d1 (Km)	d2 (Km)	h <sub>A</sub> (m) QUININDE	h <sub>B</sub> (m) BACK9	H (m)
<b>QUININDE- BACK9</b>	5,7875	2.21	2.12	0.09	104	112	132

**Tabla 3.2.10 Resumen de los datos generados por Splat entre QUININDE y BACK9.**

En la Tabla 3.2.10 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [\text{m/s}]}{5.7875 \cdot 10^9 [\text{Hz}]} = 0.0518 \text{ [m]}$$

$$d_1 = 2120 \text{ [m]}$$

$$d_2 = 90 \text{ [m]}$$

$$d = 2210 \text{ [m]}$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{2120 \cdot 90}{2210}} ; 2210 = 2120 + 90$$

$$r_{F1} = 2.115 \text{ [m]}$$

Para  $K = 2/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 2.115$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 1.269 \text{ [m]}$$

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena ( $T_A$ ).

$$h_2 = \frac{d \cdot \left( h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a} \right)}{d_1}$$

Datos:

$$h_{des} = 9[\text{m}] + 60\% \cdot r_{F1} = 9[\text{m}] + 1.269[\text{m}] = 10.269[\text{m}]$$

$$H = 132 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$h_1$  = Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 104 \text{ [m. s. n. m.]} + 15 \text{ [m]} = 119 \text{ [m. s. n. m.]}$$

$$h_A = 104 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$$T_A = 15 \text{ [m]}$$

$h_2$  = Altura del punto de recepción (m.s.n.m.).

$h_B = 112$  [m.s.n.m.]

$T_B$  = Altura de la torre para la antena de recepción (m).

$d_1 = 2.12$  [Km]

$d_2 = 0.09$  [Km]

$d = 2.21$  [Km]

$K = 4/3 = 1.333$

$a$  = Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{2.21 \cdot \left( 10.269 - 119 + 132 + 119 \frac{2.12}{2.21} + \frac{2.12 \cdot 0.09}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{2.12}$$

$h_2 = 143.257$  [m. s. n. m]

De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

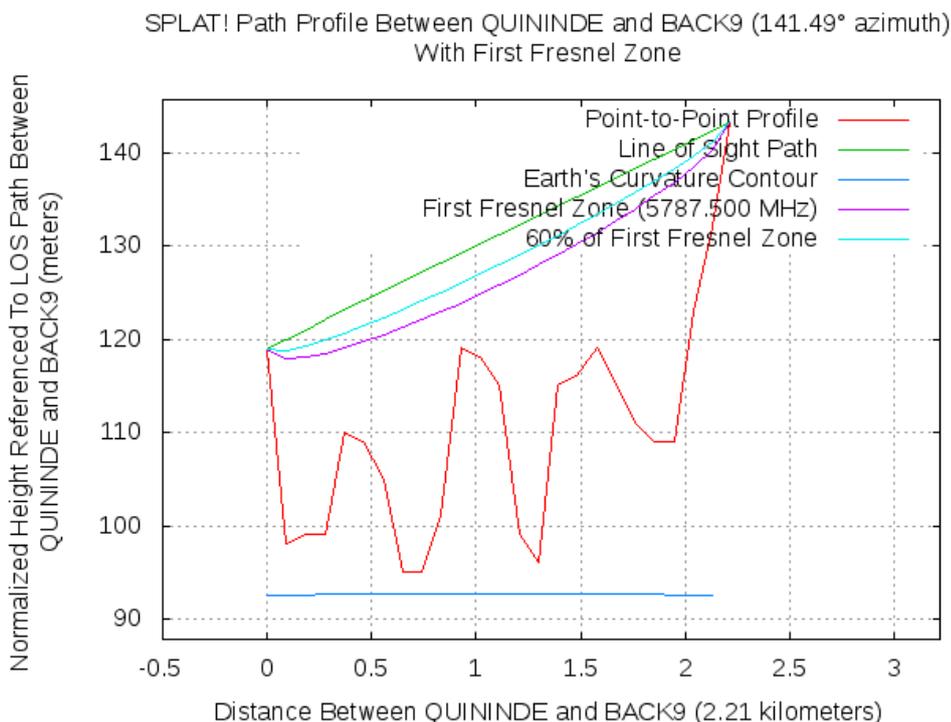
$$h_2 = h_B + T_B$$

$$143.257 = 112 + T_B$$

$$T_B = 31.257 \text{ [m]}$$

La altura de la torre para la antena en BACK9 ( $T_B$ ) es igual a 31.257 m. y en el **punto 3.2.9.1** la altura de la torre para la antena en BACK9 es igual a 31.784 m., Se encuentra a la misma altura debido a que en este sitio se realizará un back-to-back de antenas, por lo tanto deben estar cerca.

Con  $T_A$  y  $T_B$  procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.55 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.55 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre la QUININDE y VBE9.**

La Figura 3.2.56 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

---=[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]---

-----
Transmitter site: BACK9
Site location: 0.3393 North / 79.4847 West (0° 20' 21" N / 79° 29' 5" W)
Ground elevation: 112.00 meters AMSL
Antenna height: 31.26 meters AGL / 143.26 meters AMSL
Antenna height above average terrain: 14.17 meters
Distance to QUININDE: 0.42 kilometers
Azimuth to QUININDE: 321.49 degrees
Depression angle to QUININDE: -0.6351 degrees

-----

Receiver site: QUININDE
Site location: 0.3548 North / 79.4971 West (0° 21' 17" N / 79° 29' 49" W)
Ground elevation: 104.00 meters AMSL
Antenna height: 15.00 meters AGL / 119.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -15.85 meters
Distance to BACK9: 2.21 kilometers
Azimuth to BACK9: 141.49 degrees
Elevation angle to BACK9: +0.6202 degrees

-----

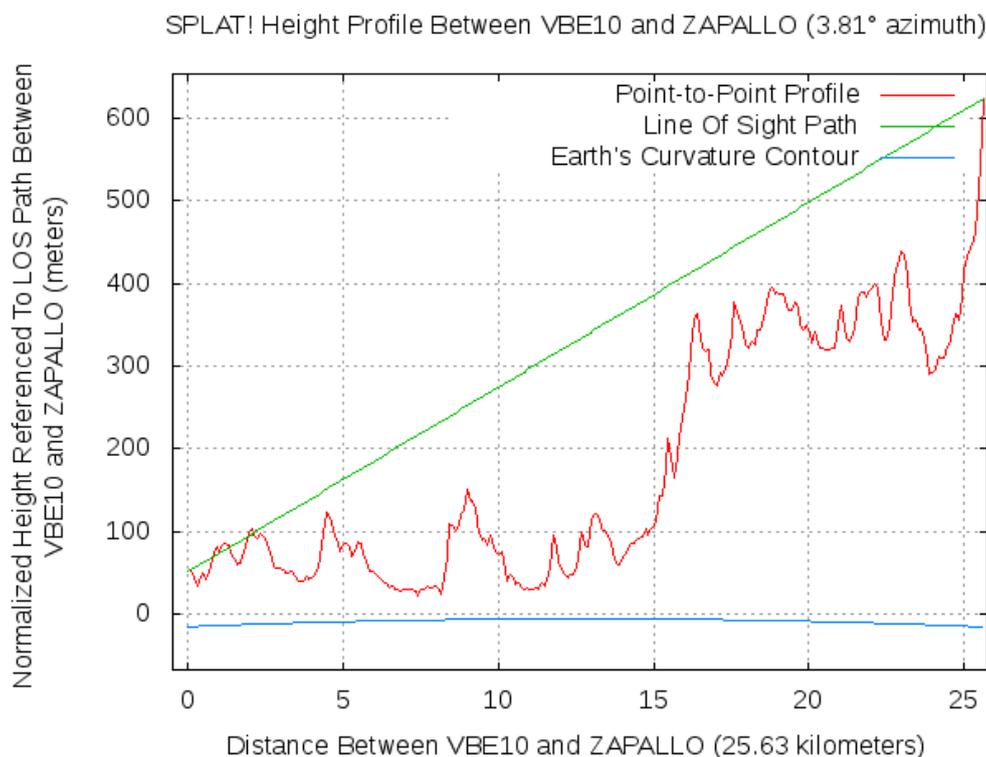
No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.56 Archivo de datos del enlace entre QUININDE y VBE9.**

### 3.2.10 VBE10

#### 3.2.10.1 Enlace VBE10 – ZAPALLO

En la figura 3.2.57, se puede ver el perfil de terreno entre VBE10 y ZAPALLO, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.57 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre la VBE10 y ZAPALLO.**

En la figura 3.2.58, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la VBE10 y ZAPALLO, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: ZAPALLO
Site location: 0.8851 North / 79.5313 West (0° 53' 6" N / 79° 31' 52" W)
Ground elevation: 623.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 623.00 meters AMSL
Distance to VBE10: 4.85 kilometers
Azimuth to VBE10: 183.81 degrees
Depression angle to VBE10: -1.3651 degrees
Depression angle to the first obstruction: -1.3479 degrees
-----

Receiver site: VBE10
Site location: 0.6551 North / 79.5466 West (0° 39' 18" N / 79° 32' 47" W)
Ground elevation: 51.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 51.00 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -135.96 meters
Distance to ZAPALLO: 25.63 kilometers
Azimuth to ZAPALLO: 3.81 degrees
Elevation angle to ZAPALLO: +1.1922 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +1.4400 degrees
-----

Between VBE10 and ZAPALLO, SPLAT! detected obstructions at:
    0.6551 N, 79.5466 W, 0.00 kilometers, 51.00 meters AMSL
    0.6556 N, 79.5466 W, 0.06 kilometers, 54.00 meters AMSL
    0.6623 N, 79.5462 W, 0.80 kilometers, 72.00 meters AMSL
    0.6631 N, 79.5461 W, 0.89 kilometers, 81.00 meters AMSL

Antenna at VBE10 must be raised to at least 11.89 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.58 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre la VBE10 y ZAPALLO.**

	f (GHz)	d (Km)	d <sub>1</sub> (Km)	d <sub>2</sub> (Km)	h <sub>A</sub> (m) VBE10	h <sub>B</sub> (m) ZAPALLO	H (m)
<b>VBE10 - ZAPALLO</b>	5,7875	25.63	0.89	24.74	51	623	81

**Tabla 3.2.11 Resumen de los datos generados por Splat entre la VBE10 y ZAPALLO.**

En la Tabla 3.2.11 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [\text{m/s}]}{5.7875 \cdot 10^9 [\text{Hz}]} = 0.0518 \text{ [m]}$$

$$d_1 = 890 \text{ [m]}$$

$$d_2 = 24740 \text{ [m]}$$

$$d = 25630 \text{ [m]}$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{890 \cdot 24740}{25630}} ; 25630 = 890 + 24740$$

$$r_{F1} = 6.673 \text{ [m]}$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 6.673$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 4.004 \text{ [m]}$$

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena ( $T_A$ ).

$$h_2 = \frac{d \cdot \left( h_{des} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a} \right)}{d_1}$$

Datos:

$$h_{des} = 9 \text{ [m]} + 60\% \cdot r_{F1} = 9 \text{ [m]} + 4.004 \text{ [m]} = 13.004 \text{ [m]}$$

$$H = 81 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$h_1$  = Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 51 \text{ [m.s.n.m.]} + 23.83 \text{ [m]} = 74.83 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$$h_A = 51 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$$T_A = 23.83 \text{ [m]}$$

$h_2 =$  Altura del punto de recepción (m.s.n.m.).

$$h_B = 623 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$T_B =$  Altura de la torre para la antena de recepción (m).

$$d_1 = 0.89 \text{ [Km]}$$

$$d_2 = 24.74 \text{ [Km]}$$

$$d = 25.63 \text{ [Km]}$$

$$K = 4/3 = 1333$$

$a =$  Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{25.63 \cdot \left( 13.004 - 74.83 + 81 + 74.83 \frac{0.89}{25.63} + \frac{0.89 \cdot 24.74}{2 \cdot 1.333 \cdot 6370} \right)}{0.89}$$

$$h_2 = 627.034 \text{ [m. s. n. m]}$$

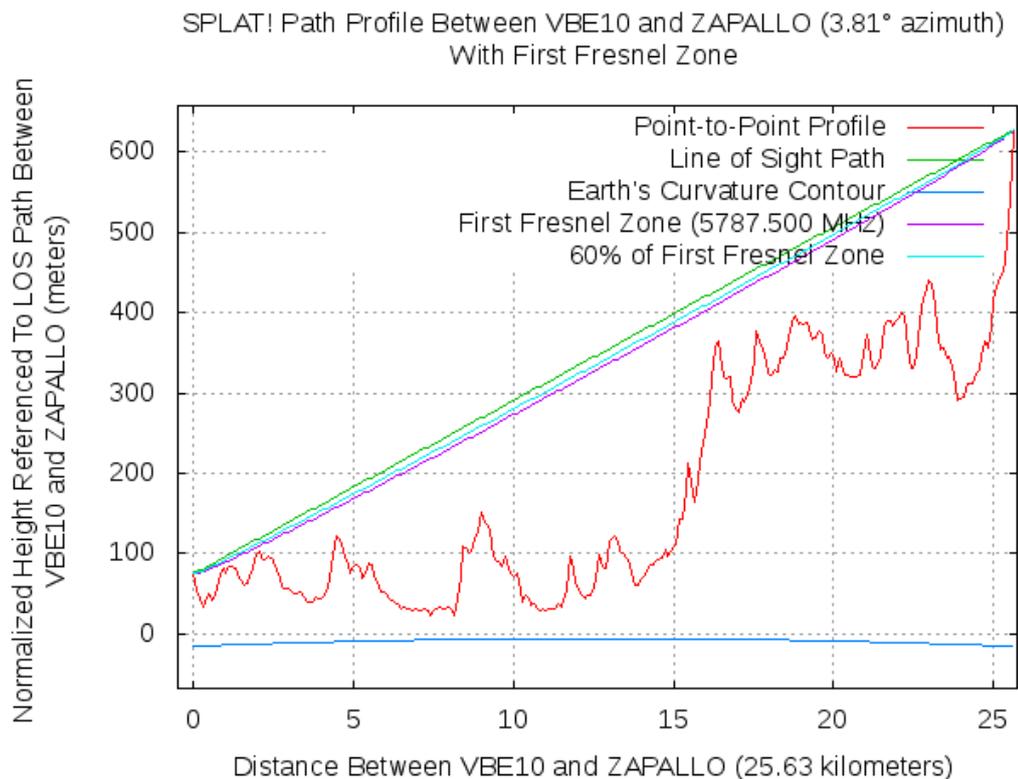
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B$$

$$627.034 = 623 + T_B$$

$$T_B = 4.034 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.59 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.59 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre la VBE10 y ZAPALLO.**

La Figura 3.2.60 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: ZAPALLO
Site location: 0.8851 North / 79.5313 West (0° 53' 6" N / 79° 31' 52" W)
Ground elevation: 623.00 meters AMSL
Antenna height: 4.03 meters AGL / 627.03 meters AMSL
Distance to VBE10: 4.85 kilometers
Azimuth to VBE10: 183.81 degrees
Depression angle to VBE10: -1.3209 degrees
-----

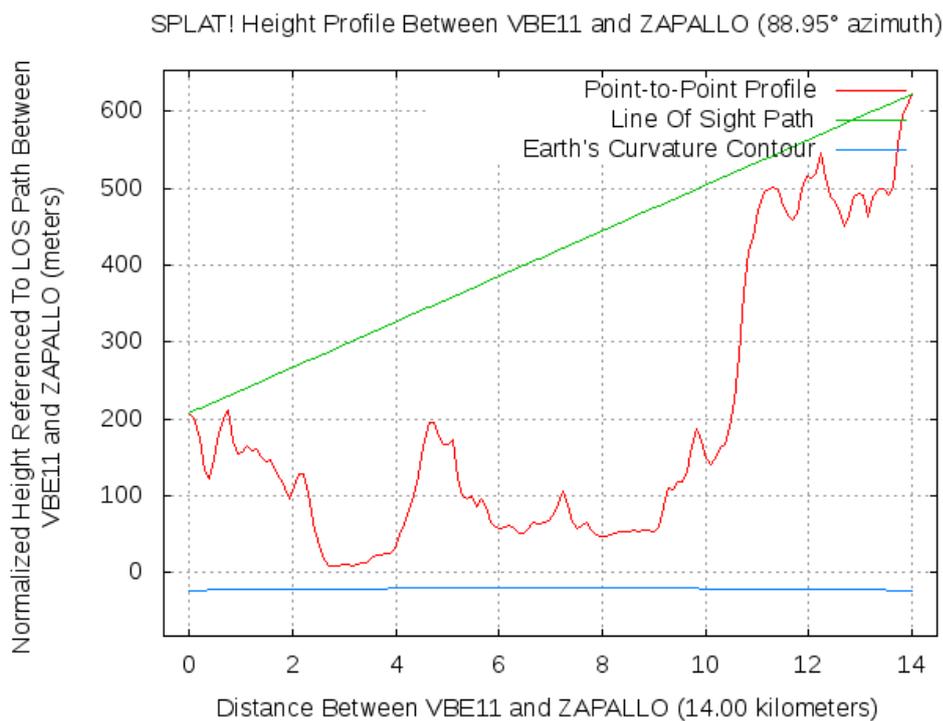
Receiver site: VBE10
Site location: 0.6551 North / 79.5466 West (0° 39' 18" N / 79° 32' 47" W)
Ground elevation: 51.00 meters AMSL
Antenna height: 23.83 meters AGL / 74.83 meters AMSL
Antenna height above average terrain: -112.13 meters
Distance to ZAPALLO: 25.63 kilometers
Azimuth to ZAPALLO: 3.81 degrees
Elevation angle to ZAPALLO: +1.1480 degrees
-----

No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.60 Archivo de datos del enlace entre la VBE10 y ZAPALLO.**

### 3.2.10.2 Enlace VBE11 - ZAPALLO

En la figura 3.2.61, se puede ver el perfil de terreno entre la VBE11 y ZAPALLO, además se observa la línea de vista que existe entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.61 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre la VBE11 y ZAPALLO.**

En el gráfico 3.2.62, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de la VBE11 y ZAPALLO, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, no se observa datos sobre obstrucción de línea de vista debido a que no existen obstáculos entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: ZAPALLO
Site location: 0.8851 North / 79.5313 West (0° 53' 6" N / 79° 31' 52" W)
Ground elevation: 623.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 623.00 meters AMSL
Distance to VBE11: 2.65 kilometers
Azimuth to VBE11: 268.96 degrees
Depression angle to VBE11: -1.7463 degrees
-----

Receiver site: VBE11
Site location: 0.8828 North / 79.6572 West (0° 52' 58" N / 79° 39' 25" W)
Ground elevation: 208.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 208.00 meters AMSL
Distance to ZAPALLO: 14.00 kilometers
Azimuth to ZAPALLO: 88.95 degrees
Elevation angle to ZAPALLO: +1.6519 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +1.6526 degrees
-----

Between VBE11 and ZAPALLO, SPLAT! detected obstructions at:
      0.8828 N, 79.6572 W,  0.00 kilometers, 208.00 meters AMSL

Antenna at VBE11 must be raised to at least 0.30 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.62 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre la VBE11 y ZAPALLO.**

Como se puede observar en las figuras 3.2.61 y 3.2.62 no existe ningún obstáculo que pueda obstruir la línea de vista al menos que este lo bastantemente cerca a alguno de los puntos, en este caso basta con solo aplicar la Ecuación 13.

$$T_{min} = 5 \cdot \lambda + \frac{1}{2} D \quad \text{Ec. 13.}$$

Donde:

D = diámetro de la antena en metros, se realizara el cálculo con la antena de mayor diámetro.

T min = altura mínima de torre para antena cuando se tiene línea de vista sin obstrucción.

El diámetro de la antena es un dato de fabricante y en este caso se usará una antena marca RADIOWAVES, tipo PARABOLICA y modelo SP4-5.2. El diámetro de esta antena es de 4 (pie - ft) es decir 1.2 (m).

$$T_{min} = 5 \cdot 0.0518 + \frac{1}{2} 1.2$$

$$T_{min} = 0.86$$

Por lo tanto la altura mínima a la que deben estar las antenas es de 0.86 m en los extremos del enlace.

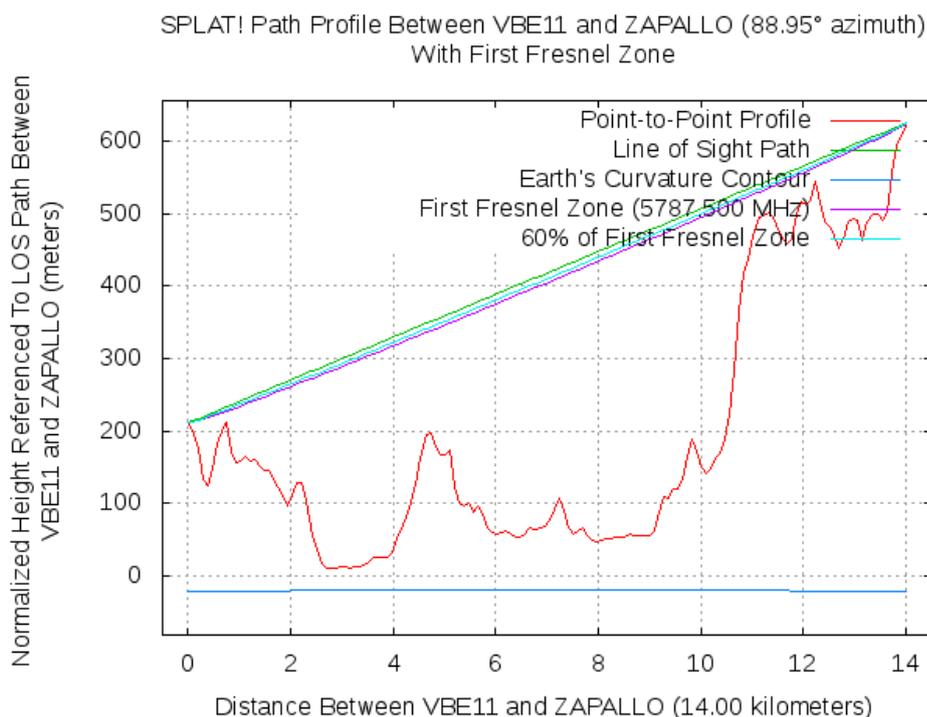
La altura de  $T_{min}$  no es suficiente debido a que en el sitio de ZAPALLO existen casetas de 2 m. de altura en la misma dirección del enlace obstruyendo la línea de vista. Y en la VBE11 existe un cubículo de 2.5 m. que obstruye la línea de vista.

Por las razones anteriores se determino la altura de las antenas en ZAPALLO a 3 m y en la VBE11 a 3 m.

$$T_A = 3 \text{ [m]}$$

$$T_B = 3 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.63 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.63 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel  
entre la VBE11 y ZAPALLO.**

La Figura 3.2.64 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]----
-----
Transmitter site: ZAPALLO
Site location: 0.8851 North / 79.5313 West (0° 53' 6" N / 79° 31' 52" W)
Ground elevation: 623.00 meters AMSL
Antenna height: 3.00 meters AGL / 626.00 meters AMSL
Distance to VBE11: 2.65 kilometers
Azimuth to VBE11: 268.96 degrees
Depression angle to VBE11: -1.7463 degrees
-----

Receiver site: VBE11
Site location: 0.8828 North / 79.6572 West (0° 52' 58" N / 79° 39' 25" W)
Ground elevation: 208.00 meters AMSL
Antenna height: 3.00 meters AGL / 211.00 meters AMSL
Distance to ZAPALLO: 14.00 kilometers
Azimuth to ZAPALLO: 88.95 degrees
Elevation angle to ZAPALLO: +1.6519 degrees
-----

No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

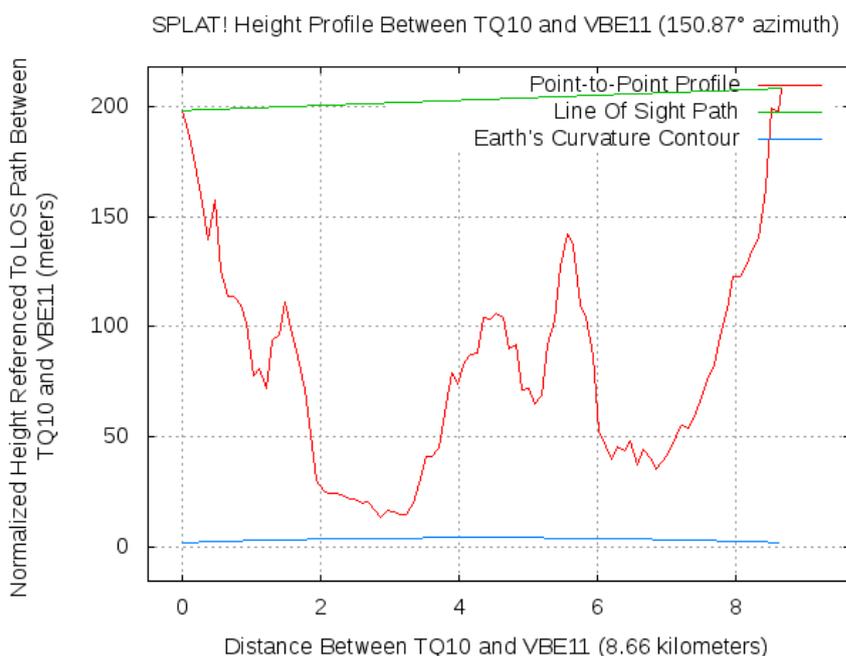
```

**Figura 3.2.64 Archivo de datos del enlace entre la VBE11 y ZAPALLO.**

### 3.2.11 VBE11

#### 3.2.11.1. Enlace TNQ10 – VBE11

En la figura 3.2.65, se puede ver el perfil de terreno entre el TNQ10 y la VBE11, además se observa la línea de vista que existe entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.65 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre TNQ10 y VBE11.**

En la figura 3.2.66, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos de el TNQ10 y la VBE11, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, no se observa datos sobre obstrucción de línea de vista debido a que no existe obstáculos entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----
-----
Transmitter site: VBE11
Site location: 0.8828 North / 79.6572 West (0° 52' 58" N / 79° 39' 25" W)
Ground elevation: 208.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 208.00 meters AMSL
Distance to TQ10: 1.64 kilometers
Azimuth to TQ10: 330.87 degrees
Depression angle to TQ10: -0.1246 degrees
-----
Receiver site: TQ10
Site location: 0.9508 North / 79.6951 West (0° 57' 2" N / 79° 41' 42" W)
Ground elevation: 198.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 198.00 meters AMSL
Distance to VBE11: 8.66 kilometers
Azimuth to VBE11: 150.87 degrees
Elevation angle to VBE11: +0.0078 degrees
-----
Between TQ10 and VBE11, SPLAT! detected obstructions at:
      0.9508 N, 79.6951 W,  0.00 kilometers, 198.00 meters AMSL
Antenna at TQ10 must be raised to at least 0.30 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.66 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre el TNQ10 y la VBE11.**

Como se puede observar en las figuras 3.2.65 y 3.2.66 no existe ningún obstáculo que pueda obstruir la línea de vista al menos que este lo bastantemente cerca a alguno de los puntos, en este caso basta con solo aplicar la Ecuación 13.

$$T \min = 5 \cdot \lambda + \frac{1}{2} D \quad \text{Ec. 13.}$$

Donde:

D = diámetro de la antena en metros, se instalará la misma antena en los extremos del enlace.

T min = altura mínima de torre para antena cuando se tiene línea de vista sin obstrucción.

El diámetro de la antena es un dato de fabricante y en este caso se va a usar una antena de marca RADIOWAVES, tipo PARABOLICA y modelo SP1-5.2. El diámetro de esta antena es de 1 (pie - ft) es decir 0.3 (m).

$$T_{min} = 5 \cdot 0.0518 + \frac{1}{2} 0.3$$

$$T_{min} = 0.41$$

Por lo tanto la altura mínima a la que deben estar las antenas es de 0.41 m en los extremos del enlace.

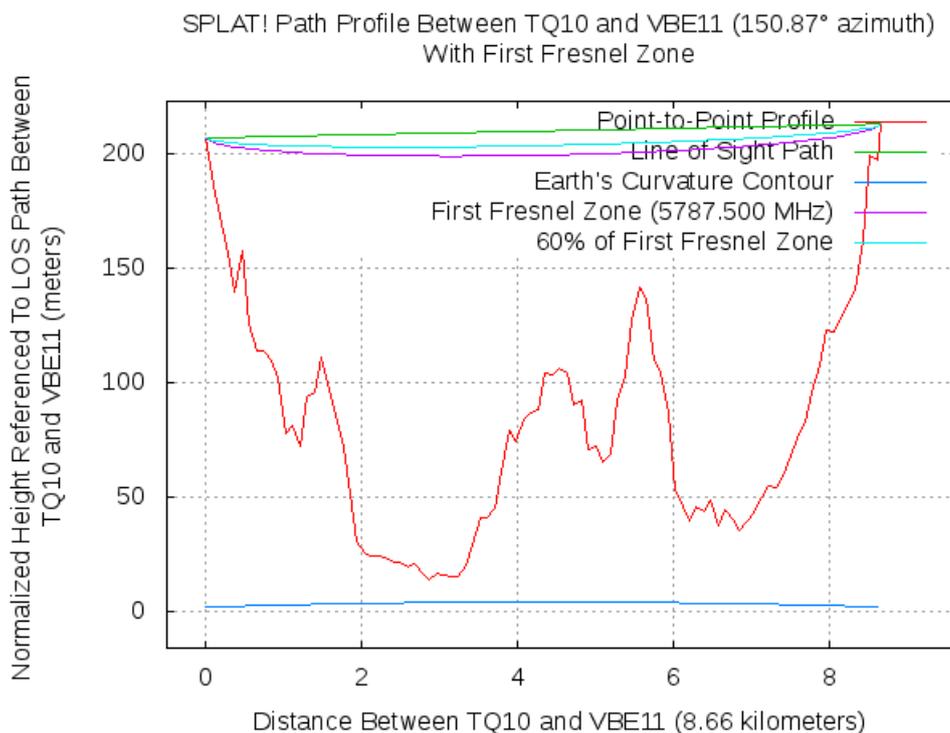
La altura de  $T_{min}$  no es suficiente debido a que en el sitio del TNQ10 existen arboles de 7 m. de altura en la misma dirección del enlace obstruyendo la línea de vista. Y en la VBE11 existe un cubículo de 2.5 m. que obstruye la línea de vista.

Por las razones anteriores se determino la altura de las antenas en TNQ10 de 9 m y en la VBE11 a 5 m.

$$T_A = 9 \text{ [m]}$$

$$T_B = 5 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.67 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.67 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre TNQ10 y VBE11.**

La Figura 3.2.68 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----

Transmitter site: VBE11
Site location: 0.8828 North / 79.6572 West (0° 52' 58" N / 79° 39' 25" W)
Ground elevation: 208.00 meters AMSL
Antenna height: 5.00 meters AGL / 213.00 meters AMSL
Distance to TQ10: 1.64 kilometers
Azimuth to TQ10: 330.87 degrees
Depression angle to TQ10: -0.0689 degrees

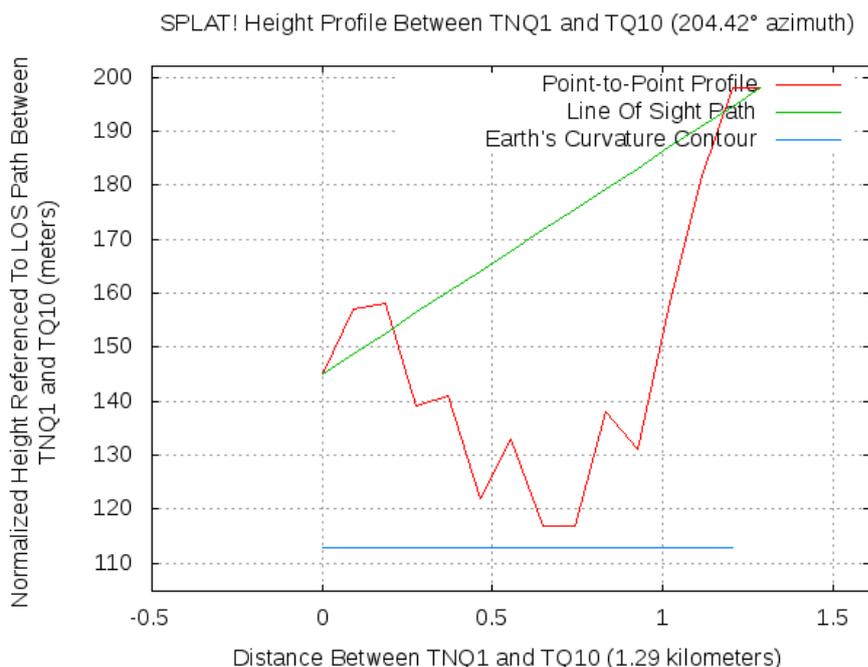
Receiver site: TQ10
Site location: 0.9508 North / 79.6951 West (0° 57' 2" N / 79° 41' 42" W)
Ground elevation: 198.00 meters AMSL
Antenna height: 9.00 meters AGL / 207.00 meters AMSL
Distance to VBE11: 8.66 kilometers
Azimuth to VBE11: 150.87 degrees
Elevation angle to VBE11: +0.0105 degrees

No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.68 Archivo de datos del enlace entre TNQ10 y VBE11.**

### 3.2.11.2. Enlace TNQ1 – TNQ10

En la figura 3.2.69, se puede ver el perfil de terreno entre TNQ1 y TNQ10, además se observa que la línea de vista se encuentra obstruida entre los dos puntos a nivel de suelo.



**Figura 3.2.69 Perfil de terreno y trazado de línea de vista entre el TNQ1 y el TNQ10.**

En la figura 3.2.70, se observa un documento generado por SPLAT, donde se puede apreciar los datos del TNQ1 y el TNQ10, la distancia entre los dos puntos en el análisis del sitio del receptor, los diferentes obstáculos entre los puntos y una sugerencia de altura de la antena en el sitio del receptor para que exista línea de vista entre los puntos.

```

-----[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]-----

Transmitter site: TQ10
Site location: 0.9508 North / 79.6951 West (0° 57' 2" N / 79° 41' 42" W)
Ground elevation: 198.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 198.00 meters AMSL
Distance to TNQ1: 0.24 kilometers
Azimuth to TNQ1: 24.42 degrees
Depression angle to TNQ1: -2.3669 degrees
Depression angle to the first obstruction: -2.2558 degrees

Receiver site: TNQ1
Site location: 0.9614 North / 79.6903 West (0° 57' 40" N / 79° 41' 24" W)
Ground elevation: 145.00 meters AMSL
Antenna height: 0.00 meters AGL / 145.00 meters AMSL
Distance to TQ10: 1.29 kilometers
Azimuth to TQ10: 204.42 degrees
Elevation angle to TQ10: +2.3495 degrees
Elevation angle to the first obstruction: +4.0210 degrees

Between TNQ1 and TQ10, SPLAT! detected obstructions at:
    0.9614 N, 79.6903 W, 0.00 kilometers, 145.00 meters AMSL
    0.9607 N, 79.6906 W, 0.08 kilometers, 157.00 meters AMSL

Antenna at TNQ1 must be raised to at least 9.45 meters AGL
to clear all obstructions detected by SPLAT!
    
```

**Figura 3.2.70 Archivo de datos generado por Splat del enlace entre el TNQ1 y TNQ10.**

	f (GHz)	d (Km)	d <sub>1</sub> (Km)	d <sub>2</sub> (Km)	h <sub>A</sub> (m) TNQ1	h <sub>B</sub> (m) TNQ10	H (m)
<b>TNQ1– TNQ10</b>	5,7875	1.29	0.09166	1.19834	145	198	157

**Tabla 3.2.12 Resumen de los datos generados por Splat entre el TNQ1 y el TNQ10.**

En la Tabla 3.2.12 se muestra un resumen de los datos generados por Splat que se van a utilizar para los siguientes cálculos.

Cálculo del radio de la primera zona de Fresnel a través de la Ecuación 8.

$$r_{F1} = \sqrt{\lambda \cdot \frac{d_1 \cdot d_2}{d}} ; d = d_1 + d_2$$

Datos:

$\lambda$  = Longitud de onda en metros se calcula con la Ecuación 1.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 [\text{m/s}]}{5.7875 \cdot 10^9 [\text{Hz}]} = 0.0518 \text{ [m]}$$

$$d_1 = 91.66 \text{ [m]}$$

$$d_2 = 1198.34 \text{ [m]}$$

$$d = 1290 \text{ [m]}$$

$$r_{F1} = \sqrt{0.0518 \cdot \frac{91.66 \cdot 1198.34}{1290}} ; 1290 = 91.66 + 1198.34$$

$$r_{F1} = 2.101 \text{ [m]}$$

Para  $K = 4/3$ , debe liberarse el 60% del radio de la primera zona de Fresnel.

$$60\% \cdot r_{F1} = 0.6 \cdot 2.101$$

$$60\% \cdot r_{F1} = 1.261 \text{ [m]}$$

A continuación la Ecuación 10 determinará un valor de altura de torre para antena ( $T_A$ ).

$$h_2 = \frac{d \cdot \left( h_{\text{des}} - h_1 + H + h_1 \frac{d_1}{d} + \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot K \cdot a} \right)}{d_1}$$

Datos:

$$h_{\text{des}} = 7[\text{m}] + 60\% \cdot r_{F1} = 7[\text{m}] + 1.261[\text{m}] = 8.261[\text{m}]$$

$$H = 157 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$h_1$  = Altura del punto de transmisión (m.s.n.m.), se calcula con la Ecuación 11.

$$h_1 = h_A + T_A = 145 \text{ [m. s. n. m.]} + 16.5 \text{ [m]} = 161.5 \text{ [m. s. n. m.]}$$

$$h_A = 145 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$$T_A = 16.5 \text{ [m]}$$

$h_2$  = Altura del punto de recepción (m.s.n.m.).

$$h_B = 198 \text{ [m.s.n.m.]}$$

$T_B$  = Altura de la torre para la antena de recepción (m).

$$d_1 = 0.09166 \text{ [Km]}$$

$$d_2 = 1.19834 \text{ [Km]}$$

$$d = 1.29 \text{ [Km]}$$

$$K = 4/3 = 0.666$$

$a$  = Radio de la Tierra igual a 6370 Km.

$$h_2 = \frac{1.29 \cdot \left( 8.261 - 161.5 + 157 + 161.5 \frac{0.09166}{1.29} + \frac{0.09166 \cdot 1.19834}{2 \cdot 0.666 \cdot 6370} \right)}{0.09166}$$

$$h_2 = 214.425 \text{ [m. s. n. m]}$$

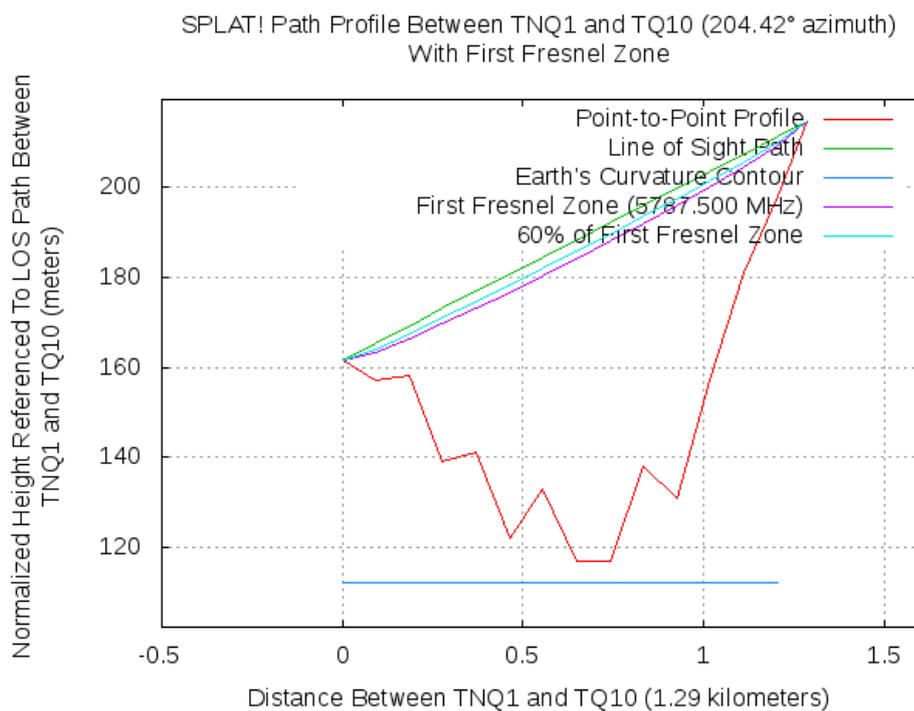
De la Ecuación 12 se determinará  $T_B$ .

$$h_2 = h_B + T_B$$

$$214.425 = 198 + T_B$$

$$T_B = 16.425 \text{ [m]}$$

Con  $T_A$  y  $T_B$  se procede a trabajar nuevamente con Splat. En la Figura 3.2.71 se observa el diagrama de perfil de terreno, línea de vista a la altura de la torre para antena y trazado del 60% de la zona de Fresnel.



**Figura 3.2.71 Perfil de terreno y trazado del 60% de la zona de Fresnel entre TNQ1 y TNQ10.**

La Figura 3.2.72 muestra el archivo de datos generado por Splat, donde se observa la altura calculada para las torres de antenas en los dos sitios.

```

---=[ SPLAT! v1.2.1 Path Analysis ]---

-----
Transmitter site: TQ10
Site location: 0.9508 North / 79.6951 West (0° 57' 2" N / 79° 41' 42" W)
Ground elevation: 198.00 meters AMSL
Antenna height: 16.42 meters AGL / 214.43 meters AMSL
Distance to TNQ1: 0.24 kilometers
Azimuth to TNQ1: 24.42 degrees
Depression angle to TNQ1: -2.3592 degrees
-----

Receiver site: TNQ1
Site location: 0.9614 North / 79.6903 West (0° 57' 40" N / 79° 41' 24" W)
Ground elevation: 145.00 meters AMSL
Antenna height: 16.50 meters AGL / 161.50 meters AMSL
Distance to TQ10: 1.29 kilometers
Azimuth to TQ10: 204.42 degrees
Elevation angle to TQ10: +2.3505 degrees
-----

No obstructions to LOS path due to terrain were detected by SPLAT!

```

**Figura 3.2.72 Archivo de datos del enlace entre TNQ1 y TNQ10.**

### 3.3. CALCULOS DE PROPAGACIÓN DE LOS ENLACES

Los cálculos de potencia entregada a la entrada del receptor (RSSI) se los realizará a través de la Ecuación 2 y servirán para analizar las pérdidas de potencia a lo largo del trayecto del radioenlace.

#### 3.3.1 VBE1

##### 3.3.1.1 Calculo de RSSI en el enlace VBE1 - TECPEC

$$RSSI(dBm) = G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB)$$

*Ec. 2*

Datos:

$$G_{TX} = \text{Ganancia del transmisor} = 21[dBm]$$

$$L_{GTX}, L_{GRX} = \text{Perdidas en el cable de transmisión y recepción}$$

El modelo del cable que se va a utilizar es el LMR-400 de marca TIMESMICROWAVE. Este cable al trabajar en 5800 [MHz] tiene un pérdida de 35.5 [dB] por cada 100 [m] (ANEXO 1). La distancia a la que se colocará los radios de las antenas es de 1 m. por lo tanto:

$$\begin{array}{cc} 100 \text{ m.} & 35.5 \text{ dB} \\ 1 \text{ m.} & x \end{array}$$

$$x = \frac{1 [m] \cdot 35.5 [dB]}{100[m]} = 0.355 \text{ dB por cada metro de cable.}$$

$$L_{GTX} = L_{GRX} = 0.355 [dB]$$

$$G_{ATX}, G_{ARX} = \text{Ganancia de las antenas de transmisión y recepción.}$$

La marca de antenas que se usarán en ambos extremos del enlace es RADIOWAVES, tipo PARABOLICA y modelo SP1-5.2. El diámetro de esta antena es de 1 [pie – ft] es decir 0.3 [m].

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 22.5 [dBi]$$

*FSL = Las pérdidas en el espacio libre se calcula a través de la Ecuación*

*3.*

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km) \quad \text{Ec. 3}$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 1.03$$

$$FSL = 107.947[dB]$$

*MISE<sub>TX</sub> , MISE<sub>TR</sub> = Pérdidas en los conectores del transmisor y receptor*

$$MISE_{TX} = MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

Antes de calcular el RSSI se calculará el PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva) a través de la Ecuación 14.

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador (CONATEL) define en la RESOLUCION 417-15-CONATEL-2005 que los sistemas que operen en la banda de 5725 - 5850 MHz pueden emplear antenas de transmisión con ganancia direccional mayor a 6 dBi y de hasta 23 dBi sin la correspondiente reducción en la potencia pico de salida del transmisor.

Si emplean ganancia direccional en la antena mayor a 23 dBi, será requerida una reducción de 1 dB en la potencia pico del transmisor por cada dB que la ganancia de la antena exceda a los 23 dBi. La potencia pico de salida del transmisor considerada es 1000 mW, es decir una ganancia de 30 dBm.

Por lo tanto, el PIRE máximo que debemos tener es de 53 dBm.

$$\text{PIRE (dB)} = G_{\text{TX/RX}}[\text{dBm}] + G_{\text{ATX/ATR}}[\text{dBi}] - L_{\text{GTX/GTR}}[\text{dB}] - \text{MISE}_{\text{TX/TR}}[\text{dB}]$$

*Ec. 14*

$$\text{PIRE (dB)} = 21[\text{dBm}] + 22.5[\text{dBi}] - 0.355[\text{dB}] - 1.5[\text{dB}]$$

$$\text{PIRE (dB)} = 41.64 [\text{dBm}] \leq 53 [\text{dBm}]$$

El valor de PIRE esta dentro del rango permitido por la CONATEL.

$$RSSI(\text{dBm}) = 21 - 0.355 + 22.5 - 1.5 - 107.947 + 22.5 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(\text{dBm}) = -45.657 [\text{dBm}]$$

Se puede decir que el valor de RSSI debe ser mayor que U para que funcione un radioenlace

El margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ ) se calcula a través de la Ecuación 4.

$$M_U = RSSI - U \quad \text{Ec. 4}$$

Datos:

$$U = \text{Sensibilidad dato del equipo transmisor} = -85 [\text{dB}]$$

$$M_U = -45.657 - (-85)$$

$$M_U = 39.34[\text{dBm}]$$

El Margen de Desvanecimiento (FM) del radio enlace se calcula a través de la Ecuación 5.

$$FM(\text{dB}) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad \text{Ec. 5}$$

Datos:

$$A = \text{Factor de rigurosidad} = 1$$

$$B = \text{Factor climático} = 0.5$$

$R = \text{confiabilidad deseada} = 0.9999$

$d = 1.03 \text{ [Km]}$

$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$

$$FM(\text{dB}) = 30 \log 1.03 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(\text{dB}) = -17.22 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$Mu \geq FM$$

$$39.34[\text{dBm}] \geq -17.22[\text{dB}]$$

Si cumple la condición.

Una vez cumplida la condición procedemos a calcular la confiabilidad (R) real del sistema a través de la Ecuación 7.

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{Mu}{10}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 1.03 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{-17.22}{10}} = 0.99999999978$$

$$R[\%] = 99.999999978 \%$$

### 3.3.1.2 Cálculo de RSSI en el enlace TECPEC – LUMBAQUI

$$\begin{aligned} RSSI(\text{dBm}) = & G_{TX}(\text{dBm}) - L_{GTx}(\text{dB}) + G_{ATx}(\text{dBi}) - MISE_{Tx}(\text{dB}) - FSL(\text{dB}) \\ & + G_{ARx}(\text{dBi}) - MISE_{TR}(\text{dB}) - L_{GRx}(\text{dB}) \end{aligned}$$

Datos:

$$G_{TX} = 19[\text{dBm}]$$

$$L_{GTx} = L_{GRx} = 0.355 \text{ [dB]}$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 34.9 [dBi]$$

La marca de antenas que se usarán en ambos extremos del enlace es RADIOWAVES, tipo PARABOLICA y modelo SP4-5.2. El diámetro de esta antena es de 4 [pie – ft] es decir 1.2 [m].

*FSL* = Las perdidas en el espacio libre se calcula con la Ecuación 3.

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 14.23$$

$$FSL = 130.754 [dB]$$

$$MISE_{TX} = MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

Se calcula el valor de PIRE.

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTx/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 19 [dBm] + 34.9 [dBi] - 0.355[dB] - 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = 52.045 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

El valor de PIRE esta dentro del rango permitido por la CONATEL.

$$RSSI(dBm) = 19 - 0.355 + 34.9 - 1.5 - 130.754 + 34.9 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -45.664 [dBm]$$

Se puede decir que el valor de RSSI debe ser mayor que U para que funcione un radioenlace

El margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ ) se calcula a través de la Ecuación 4.

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 \text{ [dB]}$$

$$M_U = -45.664 - (-85)$$

$$M_U = 39.34 \text{ [dBm]}$$

El Margen de Desvanecimiento (FM) del radio enlace se calcula con la Ecuación 5.

$$FM(\text{dB}) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 14.23 \text{ [Km]}$$

$$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$$

$$FM(\text{dB}) = 30 \log 14.23 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(\text{dB}) = 16.99 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$M_u \geq FM$$

$$39.34 \text{ [dBm]} \geq 16.99 \text{ [dB]}$$

Si cumple la condición.

Una vez cumplida la condición procedemos a calcular la confiabilidad (R) real del sistema a través de la Ecuación 7.

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{M_u}{10}}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 14.23 + \log (6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{39.34}{10}} = 0.999999417$$

$$R[\%] = 99.9999417 \%$$

### 3.3.2 VBE2

#### 3.3.2.1 Calculo de RSSI en el enlace VBE2 – St.ROSA.

$$\begin{aligned} RSSI(dBm) = & G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ & + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB) \end{aligned}$$

Datos:

$$G_{TX} = 21[dBm]$$

$$L_{GTX} = L_{GRX} = 0.355 [dB]$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 22.5 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 0.45$$

$$FSL = 100.754 [dB]$$

$$MISE_{TX} = MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

Se calcula el valor de PIRE.

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 21 [dBm] + 22.5 [dBi] - 0.355 [dB] - 1.5 [dB]$$

$$PIRE (dB) = 41.645 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

El valor de PIRE esta dentro del rango permitido por la CONATEL.

$$RSSI(dBm) = 21 - 0.355 + 22.5 - 1.5 - 100.754 + 22.5 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -38.464 [dBm]$$

Se puede decir que el valor de RSSI debe ser mayor que U para que funcione un radioenlace

El margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ ) se calcula a través de la Ecuación 4.

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 \text{ [dB]}$$

$$M_U = -38.464 - (-85)$$

$$M_U = 46.54 \text{ [dBm]}$$

El Margen de Desvanecimiento (FM) del radio enlace se calcula a través de la Ecuación 5.

$$FM(\text{dB}) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 0.45 \text{ [Km]}$$

$$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$$

$$FM(\text{dB}) = 30 \log 0.45 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(\text{dB}) = -28.01 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$M_u \geq FM$$

$$46.54[dBm] \geq -28.01 [dB]$$

Si cumple la condición.

Una vez cumplida la condición procedemos a calcular la confiabilidad (R) real del sistema a través de la Ecuación 7.

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{Mu}{10}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 0.45 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{46.54}{10}} = 0.999999999999$$

$$R[\%] = 99.9999999999 \%$$

### 3.3.3 VBE3

#### 3.3.3.1 Calculo de RSSI en el enlace VBE4 – VBE3

$$\begin{aligned} RSSI(dBm) = & G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ & + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB) \end{aligned}$$

Datos:

$$G_{TX} = 21[dBm]$$

$$L_{GTX} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 22.5 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 5.29$$

$$FSL = 122.159 [dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 21 [dBm] + 22.5 [dBi] - 0.355 [dB] - 1.5 [dB]$$

$$PIRE (dB) = 41.645 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 21 - 0.355 + 22.5 - 1.5 - 122.159 + 22.5 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -59.869 [dBm]$$

Se puede decir que el valor de RSSI debe ser mayor que U para que funcione un radioenlace

El margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ ) se calcula a través de la Ecuación 4.

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -59.869 - (-85)$$

$$M_U = 25.13 [dBm]$$

El Margen de Desvanecimiento (FM) del radio enlace se calcula a través de la Ecuación 5.

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 5.29 [Km]$$

$$f = 5.7875 [GHz]$$

$$FM(dB) = 30 \log 5.29 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = 4.10 [dB]$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$Mu \geq FM$$

$$25.13[dBm] \geq 4.10 [dB]$$

Si cumple la condición.

Una vez cumplida la condición procedemos a calcular la confiabilidad (R) real del sistema a través de la Ecuación 7.

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{Mu}{10}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 5.29 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{25.13}{10}} = 0.999999211$$

$$R[\%] = 99.9999211 \%$$

### 3.3.4 VBE4

#### 3.3.4.1 Cálculo de RSSI del enlace VBE4 –MIRAVALLE

$$\begin{aligned} RSSI(dBm) = & G_{TX}(dBm) - L_{GTx}(dB) + G_{ATx}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ & + G_{ARx}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRx}(dB) \end{aligned}$$

Datos:

$$G_{TX} = 19[dBm]$$

$$L_{GTx} = L_{GRx} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATx} = G_{ARx} = 34.9 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 18.63$$

$$FSL = 133.094[dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE(dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE(dB) = 19[dBm] + 34.9[dBi] - 0.355[dB] - 1.5[dB]$$

$$PIRE(dB) = 52.045[dBm] \leq 53[dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 21 - 0.355 + 22.5 - 1.5 - 133.094 + 34.9 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -48.004[dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85[dB]$$

$$M_U = -48.004 - (-85)$$

$$M_U = 37[dBm]$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 18.63 [Km]$$

$$f = 5.7875 [GHz]$$

$$FM(dB) = 30 \log 18.63 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = 20.50[dB]$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$Mu \geq FM$$

$$37[dBm] \geq 20.5[dB]$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{Mu}{10}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 18.63 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{37}{10}} = 0.99999775$$

$$R[\%] = 99.999775 \%$$

### 3.3.5 VBE5

#### 3.3.5.1 Calculo de RSSI del enlace VBE5 – MIRAVALLE.

$$\begin{aligned} RSSI(dBm) = & G_{TX}(dBm) - L_{GTx}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ & + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB) \end{aligned}$$

Datos:

$$G_{TX} = 21[dBm]$$

$$L_{GTx} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 22.5 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km) =$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 6.85 =$$

$$FSL = 124.404[dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 21 [dBm] + 22.5 [dBi] - 0.355 [dB] - 1.5 [dB]$$

$$PIRE (dB) = 41.645 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 21 - 0.355 + 22.5 - 1.5 - 124.404 + 22.5 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -62.114 [dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -62.114 - (-85)$$

$$M_U = 22.89 [dBm]$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 6.85 [Km]$$

$$f = 5.7875 [GHz]$$

$$FM(dB) = 30 \log 6.85 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = 7.47 [dB]$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$Mu \geq FM$$

$$22.89[dBm] \geq 7.47 [dB]$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{Mu}{10}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 6.85 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{22.89}{10}} = 0.99999712$$

$$R[\%] = 99.999712 \%$$

### 3.3.5.2 Cálculo de RSSI del enlace GUAJALO – MIRAVALLE.

$$\begin{aligned} RSSI(dBm) = & G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ & + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB) \end{aligned}$$

Datos:

$$G_{TX} = 21[dBm]$$

$$L_{GTX} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 22.5 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 2.73$$

$$FSL = 116.413[dB]$$

$$MISE_{TX} = MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 21 [dBm] + 22.5 [dBi] - 0.355 [dB] - 1.5 [dB]$$

$$PIRE (dB) = 41.645 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 21 - 0.355 + 22.5 - 1.5 - 116.413 + 22.5 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -54.123 [dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -54.123 - (-85)$$

$$M_U = 30.88 [dBm]$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 2.73 [Km]$$

$$f = 5.7875 [GHz]$$

$$FM(dB) = 30 \log 2.73 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = -4.52 [dB]$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$Mu \geq FM$$

$$30.88[dBm] \geq -4.52 [dB]$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{Mu}{10}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 2.73 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{30.88}{10}} = 0.9999999711$$

$$R[\%] = 99.99999711 \%$$

### 3.3.6 VBE6

#### 3.3.6.1 Cálculo de RSSI del enlace VBE6 – FAISANES.

$$\begin{aligned} RSSI(dBm) = & G_{TX}(dBm) - L_{GTx}(dB) + G_{ATx}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ & + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB) \end{aligned}$$

Datos:

$$G_{TX} = 21[dBm]$$

$$L_{GTx} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATx} = G_{ARX} = 22.5 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 0.99$$

$$FSL = 107.603 [dB]$$

$$MISE_{TX} = MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 21 [dBm] + 22.5 [dBi] - 0.355 [dB] - 1.5 [dB]$$

$$PIRE (dB) = 41.645 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 21 - 0.355 + 22.5 - 1.5 - 107.603 + 22.5 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -45.313 [dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -45.313 - (-85)$$

$$M_U = 39.69 [dBm]$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 0.99 [Km]$$

$$f = 5.7875 [GHz]$$

$$FM(dB) = 30 \log 0.99 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = -17.73 [dB]$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$Mu \geq FM$$

$$39.69 [dBm] \geq -17.73 [dB]$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{Mu}{10}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 0.99 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{39.69}{10}} = 0.99999999982$$

$$R[\%] = 99.999999982 \%$$

### 3.3.6.2 Cálculo de RSSI del enlace CHIGUILPE – FAISANES.

$$\begin{aligned} RSSI(dBm) = & G_{TX}(dBm) - L_{GTx}(dB) + G_{ATx}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ & + G_{ARx}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRx}(dB) \end{aligned}$$

Datos:

$$G_{TX} = 19[dBm]$$

$$L_{GTx} = L_{GRx} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATx} = G_{ARx} = 34.9 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 22.29$$

$$FSL = 134.652[dB]$$

$$MISE_{TX} = MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTx/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 19 [dBm] + 34.9 [dBi] - 0.355 [dB] - 1.5 [dB]$$

$$PIRE (dB) = 52.045 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 19 - 0.355 + 34.9 - 1.5 - 134.652 + 34.9 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -49.562 [dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -49.562 - (-85)$$

$$M_U = 35.44 [dBm]$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 22.29 [Km]$$

$$f = 5.7875 [GHz]$$

$$FM(dB) = 30 \log 22.29 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = 22.84 [dB]$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$Mu \geq FM$$

$$35.44 [dBm] \geq 22.84 [dB]$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{Mu}{10}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 22.29 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{35.44}{10}} = 0.99999450$$

$$R[\%] = 99.999450 \%$$

### 3.3.7 VBE7

El enlace de la VBE7 hacia ALURIQUIN y de este hacia CHIGUILPE se lo realizará a través de un BACK-TO-BACK de antenas en ALLURIQUIN.

El cálculo del RSSI (Receive Signal Strength Indication – Indicador de fuerza de señal de recepción) para el enlace entre VBE7 y ALLURIQUIN es igual al modelo que hemos venido desarrollando en los anteriores enlaces, pero, para el enlace entre ALLURIQUIN y CHIGUILPE el RSSI se calculará con una ganancia de potencia del transmisor igual al RSSI del enlace entre VBE7 y ALLURIQUIN.

Un BACK-TO-BACK de antenas es un repetidor pasivo, es decir que únicamente tendrá elementos pasivos como lo son dos antenas unidas a través de un cable.

### 3.3.7.1 Cálculo de RSSI del enlace VBE7 – ALLURIQUIN.

$$RSSI(dBm) = G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB)$$

Datos:

$$G_{TX} = 16[dBm]$$

$$L_{GTX} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 37.9 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 0.96$$

$$FSL = 107.335[dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 16 [dBm] + 37.9 [dBi] - 0.355[dB] - 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = 52.045 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 16 - 0.355 + 37.9 - 1.5 - 107.335 + 37.9 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -19.245 [dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -19.245 - (-85)$$

$$M_U = 65.75 [dBm]$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 0.96 \text{ [Km]}$$

$$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$$

$$FM(dB) = 30 \log 0.96 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = -18.14 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$Mu \geq FM$$

$$65.75[dBm] \geq -18.14 \text{ [dB]}$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{Mu}{10}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 1.03 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{65.75}{10}} = 0.999999999999$$

$$R[\%] = 99.9999999999 \%$$

### 3.3.7.2 Cálculo de RSSI del enlace ALLURIQUIN – CHIGUILPE.

#### BACK TO BACK DE ANTENAS EN ALLURIQUIN

$$RSSI(dBm) = G_{TX}(dBm) - L_{GTx}(dB) + G_{ATx}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB)$$

Datos:

$$G_{TX} = \text{al RSSI del punto 3.3.7.1} = -19.245[dBm]$$

$$L_{GTx} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATx} = G_{ARX} = 37.9 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 10.63$$

$$FSL = 128.220 [dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATx/ATR}[dBi] - L_{GTx/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = -19.245 [dBm] + 37.9 [dBi] - 0.355 [dB] - 1.5 [dB]$$

$$PIRE (dB) = 16.8 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = -19.245 - 0.355 + 37.9 - 1.5 - 128.220 + 37.9 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -75.376 [dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -75.376 - (-85)$$

$$M_U = 9.62 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 10.63 \text{ [Km]}$$

$$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$$

$$FM(dB) = 30 \log 10.63 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = 13.19 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$M_u \geq FM$$

$$9.62[\text{dBm}] \geq 13.19 \text{ [dB]}$$

NO cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{M_u}{10}} \quad \text{Ec. 7}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 10.63 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{9.62}{10}} = 0.9998$$

$$R[\%] = 99.98 \%$$

Confiabilidad Real del Sistema.

Aunque el sistema no cumple con la confiabilidad deseada, por disposiciones del cliente la confiabilidad real calculada en este enlace es considerada aceptable.

### 3.3.8 VBE8

#### 3.3.8.1 Cálculo de RSSI del enlace VBE8 – CHIGUILPE.

$$RSSI(dBm) = G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB)$$

Datos:

$$G_{TX} = 21[dBm]$$

$$L_{GTX} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 22.5 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 2.91$$

$$FSL = 116.968[dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 21 [dBm] + 22.5 [dBi] - 0.355[dB] - 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = 41.645 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 21 - 0.355 + 22.5 - 1.5 - 116.968 + 22.5 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -54.678 [dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = \text{RSSI} - U$$

Datos:

$$U = -85 \text{ [dB]}$$

$$M_U = -54.678 - (-85)$$

$$M_U = 30.32 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(\text{dB}) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 2.91 \text{ [Km]}$$

$$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$$

$$FM(\text{dB}) = 30 \log 2.91 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(\text{dB}) = -3.69 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$M_u \geq FM$$

$$30.32[\text{dBm}] \geq -3.69 \text{ [dB]}$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{M_u}{10}}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 2.91 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{30.32}{10}} = 0.9999999602$$

$$R[\%] = 99.99999602 \%$$

### 3.3.9 VBE9

El enlace de la VBE9 hacia BACK9 y de este hacia QUININDE se lo realizará a través de un BACK-TO-BACK de antenas en BACK9.

#### 3.3.9.1 Calculo de RSSI del enlace VBE9 – BACK9.

$$RSSI(dBm) = G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB)$$

Datos:

$$G_{TX} = 19[dBm]$$

$$L_{GTX} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 34.9 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 1.59$$

$$FSL = 111.718[dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 19 [dBm] + 34.9 [dBi] - 0.355[dB] - 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = 52.045 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 19 - 0.355 + 34.9 - 1.5 - 111.718 + 34.9 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -26.628 [dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 \text{ [dB]}$$

$$M_U = -26.628 - (-85)$$

$$M_U = 58.37 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(\text{dB}) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 1.59 \text{ [Km]}$$

$$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$$

$$FM(\text{dB}) = 30 \log 1.59 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(\text{dB}) = -11.56 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$Mu \geq FM$$

$$58.37 \text{ [dBm]} \geq -11.56 \text{ [dB]}$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{Mu}{10}}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 1.59 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{58.37}{10}} = 0.999999999999$$

$$R[\%] = 99.9999999999 \%$$

### 3.3.9.2 Cálculo de RSSI del enlace BACK9 – QUININDE.

#### BACK TO BACK DE ANTENAS EN BACK9

$$\begin{aligned} RSSI(dBm) = & G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ & + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB) \end{aligned}$$

Datos:

$$G_{TX} = \text{al RSSI del punto 3.3.9.1} = -26.628[dBm]$$

$$L_{GTX} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 34.9 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(\text{GHz}) + 20 \log d(\text{Km})$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 2.21$$

$$FSL = 114.578[dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = -26.628 [dBm] + 34.9 [dBi] - 0.355 [dB] - 1.5 [dB]$$

$$PIRE (dB) = 6.417 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = -26.628 - 0.355 + 34.9 - 1.5 - 114.578 + 34.9 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -75.115 [dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 \text{ [dB]}$$

$$M_U = -75.115 - (-85)$$

$$M_U = 9.88 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(\text{dB}) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 2.21 \text{ [Km]}$$

$$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$$

$$FM(\text{dB}) = 30 \log 2.21 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(\text{dB}) = -7.27 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$M_u \geq FM$$

$$9.88 \text{ [dBm]} \geq -7.27 \text{ [dB]}$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{M_u}{10}}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 2.21 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{9.88}{10}} = 0.99999807$$

$$R[\%] = 99.999807 \%$$

### 3.3.10 VBE10

#### 3.3.10.1 Cálculo de RSSI del enlace VBE10 – ZAPALLO

$$RSSI(dBm) = G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB)$$

Datos:

$$G_{TX} = 19[dBm]$$

$$L_{GTX} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 34.9 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(\text{GHz}) + 20 \log d(\text{Km})$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 25.63$$

$$FSL = 135.865[dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 19 [dBm] + 34.9 [dBi] - 0.355[dB] - 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = 52.045 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 19 - 0.355 + 34.9 - 1.5 - 135.865 + 34.9 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -50.775[dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -50.775 - (-85)$$

$$M_U = 34.23[\text{dBm}]$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$\text{FM}(\text{dB}) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 25.63 [\text{Km}]$$

$$f = 5.7875 [\text{GHz}]$$

$$\text{FM}(\text{dB}) = 30 \log 25.63 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$\text{FM}(\text{dB}) = 24.66 [\text{dB}]$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$M_U \geq \text{FM}$$

$$34.23[\text{dBm}] \geq 24.66 [\text{dB}]$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{M_U}{10}}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 25.63 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{34.23}{10}} = 0.9999889$$

$$R[\%] = 99.99889 \%$$

### 3.3.10.2 Cálculo de RSSI del enlace VBE11 - ZAPALLO

$$RSSI(dBm) = G_{TX}(dBm) - L_{GTx}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB)$$

Datos:

$$G_{TX} = 19 [dBm]$$

$$L_{GTx} = L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX} = G_{ARX} = 34.9 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 14$$

$$FSL = 130.612 [dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5 [dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX} [dBm] + G_{ATX/ATR} [dBi] - L_{GTx/GTR} [dB] - MISE_{TX/TR} [dB]$$

$$PIRE (dB) = 19 [dBm] + 34.9 [dBi] - 0.355 [dB] - 1.5 [dB]$$

$$PIRE (dB) = 52.045 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 19 - 0.355 + 34.9 - 1.5 - 130.612 + 34.9 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -45.522 [dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -45.522 - (-85)$$

$$M_U = 39.48 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 14 \text{ [Km]}$$

$$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$$

$$FM(dB) = 30 \log 14 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = 16.78 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$M_u \geq FM$$

$$39.48 \text{ [dBm]} \geq 16.78 \text{ [dB]}$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{M_u}{10}}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 14 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{39.48}{10}} = 0.9999998462$$

$$R[\%] = 99.9999462 \%$$

### 3.3.11 VBE11

#### 3.3.11.1 Cálculo de RSSI del enlace TNQ10 – VBE11

$$RSSI(dBm) = G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB)$$

Datos:

$$G_{TX} = 21[dBm]$$

$$L_{GTX}, L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX}, G_{ARX} = 22.5 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 8.66$$

$$FSL = 126.440 [dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 21[dBm] + 22.5[dBi] - 0.355[dB] - 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = 41.645 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 21 - 0.355 + 22.5 - 1.5 - 126.440 + 22.5 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -64.150[dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -64.150 - (-85)$$

$$M_U = 20.85 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 8.66 \text{ [Km]}$$

$$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$$

$$FM(dB) = 30 \log 8.66 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = 10.52 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$M_u \geq FM$$

$$20.85 \text{ [dBm]} \geq 10.52 \text{ [dB]}$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{M_u}{10}}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 8.66 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{20.85}{10}} = 0.99999072$$

$$R[\%] = 99.999072 \%$$

### 3.3.11.2 Cálculo de RSSI del enlace TNQ1 – TNQ10

$$RSSI(dBm) = G_{TX}(dBm) - L_{GTX}(dB) + G_{ATX}(dBi) - MISE_{TX}(dB) - FSL(dB) \\ + G_{ARX}(dBi) - MISE_{TR}(dB) - L_{GRX}(dB)$$

Datos:

$$G_{TX} = 21[dBm]$$

$$L_{GTX}, L_{GRX} = 0.355 [dBm]$$

$$G_{ATX}, G_{ARX} = 22.5 [dBi]$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km)$$

$$FSL = 92.44 + 20 \log 5.7875 + 20 \log 1.29$$

$$FSL = 109.902[dB]$$

$$MISE_{TX}, MISE_{TR} = 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = G_{TX/RX}[dBm] + G_{ATX/ATR}[dBi] - L_{GTX/GTR}[dB] - MISE_{TX/TR}[dB]$$

$$PIRE (dB) = 21[dBm] + 22.5[dBi] - 0.355[dB] - 1.5[dB]$$

$$PIRE (dB) = 41.645 [dBm] \leq 53 [dBm]$$

$$RSSI(dBm) = 21 - 0.355 + 22.5 - 1.5 - 109.902 + 22.5 - 1.5 - 0.355$$

$$RSSI(dBm) = -47.612[dBm]$$

Cálculo del margen respecto al umbral de sensibilidad ( $M_U$ )

$$M_U = RSSI - U$$

Datos:

$$U = -85 [dB]$$

$$M_U = -47.612 - (-85)$$

$$M_U = 37.39 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de Desvanecimiento (FM)

$$FM(dB) = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Datos:

$$A = 1$$

$$B = 0.5$$

$$R = 0.9999$$

$$d = 1.29 \text{ [Km]}$$

$$f = 5.7875 \text{ [GHz]}$$

$$FM(dB) = 30 \log 1.29 + 10 \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 10 \log(1 - 0.9999) - 70$$

$$FM(dB) = -14.29 \text{ [dB]}$$

Para que el sistema diseñado cumpla el objetivo de calidad, se requiere que cumpla con la siguiente condición:

$$M_u \geq FM$$

$$37.39 \text{ [dBm]} \geq -14.29 \text{ [dB]}$$

Si cumple la condición.

Cálculo de la confiabilidad (R) real del sistema

$$R = 1 - 10^{3 \log d + \log(6ABf) - 7 - \frac{M_u}{10}}$$

$$R = 1 - 10^{3 \log 1.29 + \log(6 \cdot 1 \cdot 0.5 \cdot 5.7875) - 7 - \frac{37.39}{10}} = 0.99999999932$$

$$R[\%] = 99.999999932 \%$$

### 3.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS

Las características de los equipos con las que se realizó los cálculos de propagación de los enlaces y altura de torres para las antenas son:

#### 3.4.1 Línea de Transmisión<sup>60</sup>

Marca	Modelo	Frecuencia de Operación MHz	Atenuación dB/100m
TIMESMICROWAVE	LMR - 400	5800 MHz	35.5

**Tabla 3.4.1 Características principales del cable LMR-400.**

#### 3.4.2 Antenas<sup>61</sup>

Marca	Tipo	Modelo	Frecuencia GHz	Polarización	Ganancia dBi (nominal)
RADIOWAVES	SP SERIES	SP1-5.2	5.25 - 5.85	PLANA	22.5
RADIOWAVES	SP SERIES	SP4-5.2	5.25 - 5.85	PLANA	34.9
RADIOWAVES	SP SERIES	SP6-5.2	5.25 - 5.85	PLANA	37.9

**Tabla 3.4.2 Características principales de antenas parabólicas estándar.**

---

<sup>60</sup> ANEXO 1

<sup>61</sup> ANEXO 2

### 3.4.3 Radios<sup>62</sup>

Marca / Modelo	Frecuencia GHz	TIPO DE RADIO	POTENCIA MAX. SALIDA (puerto antena) dBm	Sensibilidad (dBm en puerto de antena)	PUERTO DE ANTENA
ALVARION / BreezeNET B14	5.725 – 5.85	OFDM	21	-85	TIPO N, 50 ohm

**Tabla 3.4.3 Características principales del Radio Alvarion BreezeNet B14.**

## 3.5. COSTO REFERENCIAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL ENLACE DE LA VBE6 – FAISANES – CHIGUILPE.

### 3.5.1 Costo

El costo de un producto está integrado por el costo directo y el costo indirecto.

El costo directo está conformado por el costo de materiales, de la mano de obra, de equipos - herramientas y transporte.

El costo indirecto está formado por los gastos de administración, gastos de operación, utilidades e imprevistos.

El costo referencial realizado a continuación únicamente abarca los costos directos del trabajo.

---

<sup>62</sup> ANEXO 3

### 3.5.1.1 Desglose de Rubros

La implementación del enlace VBE6 - FAISANES - CHIGUILPE determinará trabajos de instalación y equipamiento en cada uno de los sectores donde se llevará a cabo el proyecto. Por tal motivo es indispensable detallar los diferentes rubros que engloban las actividades a cumplirse con las que será posible la realización del proyecto.

Los diferentes rubros que conforman la implementación del enlace de la VBE6-FAISANES-CHIGUILPE son:

1	Ubicación e instalación del mástil.
2	Bases de hormigón armado
3	Torre de hierro – Accesorios
4	Sistema puesta a Tierra
5	Radio Alvarion BreezeNet B14
6	Antena SP1-5.2
7	Antena SP4-5.2
8	Cable LMR-400

**Tabla 3.5.1 Rubros usados para implantación del enlace de la VBE6 – FAISANES - CHIGUILPE.**

### **3.5.1.2 Especificaciones Técnicas de los Rubros**

#### **a. Ubicación e instalación del mástil**

Suministro e instalación de mástil para fijación de una antena parabólica de 1 Pie, de acero con tratamiento anticorrosión, de 6 metros de altura y 45 milímetros de diámetro. Incluso anclajes y cuantos accesorios sean necesarios para su correcta instalación.

#### **b. Bases de hormigón armado**

Suministro e instalación de hormigón armado para bases de la torre para antena, a una profundidad de 2 metros. Incluso cuantos accesorios sean necesarios para su correcta instalación. Totalmente montado.

#### **c. Torre de hierro – Accesorios**

Suministro e instalación de una torre auto-soportada, de base triangular, de perfiles tubulares para los parantes, de acero estructural de grado 36 (ASTM-A-36, DIN 18800 St 37-3U), soporte para antenas de acuerdo a las características de la misma, escalera de ascenso de personal, escalerilla vertical y horizontal para sostener cables, luz de balizaje y los accesorios que sean complementarios para su correcta instalación. Armado y certificado.

#### **d. Sistema puesta a Tierra**

Suministro e instalación de un sistema de puesta a tierra sobre el suelo, incluyendo accesorios que sean necesarios para su correcta instalación. Instalado, conexionado y probado.

**e. Radio Alvarion BreezeNet B14**

Suministro e instalación de la Unidad Externa (ODU) y de la Unidad Interna (IDU) del radio de marca ALVARION modelo BREEZENET B14 en torre o mástil y en caseta de equipos respectivamente, fijación de la ODU a la torre o mástil por abrazaderas de acero de 3 pulgadas y la IDU asegurada en la caseta de equipos. Cableado entre la unidad interna y la unidad externa. Cableado entre la unidad interna del radio y la red del cliente, cable de red Categoría 5 con recubrimiento para exterior, Incluso cuantos accesorios sean necesarios para su correcta instalación. Correctamente montado, asegurado, conexionado y probado.

**f. Antenas SP1-5.2**

Suministro e instalación de antenas marca RADIOWAVES tipo PARABOLICA modelo SP1-5.2 en torre (FAISANES) a una altura de 24.17 metros y en mástil (VBE6) a 5.5 metros. Incluso anclajes y cuantos accesorios sean necesarios para su correcta instalación. Totalmente montado y correctamente conexionado.

**g. Antenas SP4-5.2**

Suministro e instalación de antenas marca RADIOWAVES tipo PARABOLICA modelo SP4-5.2 en torre (FAISANES) a una altura de 28.69 metros y en torre (CHIGUILPE) a 17 metros. Incluso anclajes y cuantos accesorios sean necesarios para su correcta instalación. Totalmente montado, conexionado y probado.

#### h. Cable LMR-400

Suministro e instalación de Cable LMR-400-DB/1.20m/NmRA/Nm/S para conectar la antena con el radio. Correctamente montado, conexionado y probado.

#### 3.5.1.3 Costo Referencial del enlace de la VBE6-FAISANES-CHIGUILPE.

N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO \$
1	Ubicación / Instalación de Mástil	glb	1,00	5000,00	5000,00
2	Bases de Hormigón armado	glb	1,00	2000,00	2000,00
3	Torre de Hierro - Accesorios	m	24,17	1100,00	26587,00
4	Sistema Puesta a Tierra	u	2,00	1000,00	2000,00
5	Radio Alvarion Breezenet B14	u	4,00	1920,00	7680,00
6	Antena SP1-5,2	u	2,00	611,23	1222,46
7	Antena SP4-5,2	u	2,00	1883,50	3767,00
8	Cable LMR-400	u	4,00	118,32	473,28
TOTAL					48729,74

**Tabla 3.5.1 Costo referencial de la implementación del enlace VBE6 - FAISANES – CHIGUILPE.**

### 3.5.1.4 Costo Referencial Total del Proyecto

N°	DESCRIPCION	COSTO PARCIAL	COSTO ACUMULADO
1	VBE1	99904,52	99904,52
2	VBE2	32137,03	132041,55
3	VBE3	84455,47	216497,03
4	VBE4	36290,25	252787,28
5	VBE5	74725,66	327512,94
6	VBE6	48729,74	376242,68
7	VBE7	62593,69	438836,38
8	VBE8	11794,33	450630,71
9	VBE9	100424,87	551055,57
10	VBE10	58154,80	609210,37
11	VBE11	66370,83	675581,20
TOTAL		\$	675581,20

**Tabla 3.5.1 Costo referencial total del Proyecto.**

## **CAPITULO IV**

### **IMPLEMENTACION DEL ENLACE DE LA VBE6**

En el desarrollo del capítulo se validarán los datos de fabricante del radio ALVARION BREEZENET B14 y de la línea de transmisión TIMES MICROWAVE LMR-400, a base de pruebas con equipos y procedimientos del laboratorio de telecomunicaciones del campamento del SOTE ubicado en Guajalo.

Una vez validados se describirá el proceso de la instalación de los equipos y alineación de las antenas. Para terminar se contrastará los datos del enlace tomados del equipo instalado y en funcionamiento, con los datos calculados en el Capitulo 3 sección 3.3.6 VBE6

## 4.1 PRUEBA DE LOS EQUIPOS EN LABORATORIO

En la presente sección se describirán rápidamente los equipos de laboratorio e instrumentos con que cuenta el SOTE para la validación de los datos de los dispositivos.

### 4.1.1 Características de los Equipos de Laboratorio

Para validar el dato de fabricante referente a la atenuación en la línea de transmisión (Cable LMR – 400 con una longitud de 1.19 metros) al trabajar en 5.8 GHz, se utilizó los siguientes equipos:

- Generador de Frecuencia de 10 MHz a 20 GHz de resolución de 1 KHz marca HP modelo AGILENT 83732B, Figura 4.1.1
- Power Meter (medidor de potencia) marca HP modelo AGILENT 53147A, Figura 4.1.2, que responde al rango de frecuencia de 100KHz a 50 GHz, para la prueba se incorpora un POWER SENSOR, Figura 4.1.3, de marca HP modelo AGILENT 8481A, rango de frecuencia desde los 10 MHz hasta 18 GHz y rango de potencia de -30dBm a +20 dBm.



**Figura 4.1.1 Generador de Frecuencia (Agilent 83732B)**



**Figura 4.1.2 Power Meter (Agilent 53147A)**



**Figura 4.1.3 Power Sensor (Agilent 8481A)**

Para la validación del dato de sensibilidad del fabricante del radio (ALVARION BREEZENET B14)

- ATENUADORES, Figura 4.1.4, de diferente nominación 6 dB, 20 dB, 30 dB, 50 dB, de hasta 2 W hasta 18 GHz, marca narda modelo MICRO-PAD de diferente serie.

- LINEA DE TRANSMISIÓN DE BAJA ATENUACIÓN, Figura 4.1.5, longitud de 0.6 metros, de 5 a 6 GHz, marca desconocida.



**Figura 4.1.4 Atenuadores (narda MICRO-PAD)**



**Figura 4.1.5 Línea de Transmisión (Baja Perdida)**

#### **4.1.2 Validación de componentes del radio enlace con equipos de laboratorio.**

La validación de los componentes del radio enlace con los equipos del laboratorio, se realizó utilizando el procedimiento del departamento de

telecomunicaciones del SOTE, el cual ha sido desarrollado en base a experiencias en el campo.

Las validaciones en laboratorio se centraron en los radios y la línea de transmisión que une el radio con la antena.

#### **4.1.2.1 Prueba de Atenuación del cable LMR-400**

Para validar los datos de atenuación proporcionados por el fabricante del cable LMR-400, se siguió el procedimiento descrito a continuación.

**a. Ajustar a cero el POWER METER.**

Para esto y con los equipos apagados, se procedió a conectar la salida del POWER SENSOR al cable ajustado previamente a la entrada del POWER METER. La entrada del POWER SENSOR se conectó directamente a la salida de la RF-OUTPUT del GENERADOR DE FRECUENCIA, se inspeccionó que las conexiones estén bien ajustadas y finalmente se encendieron los equipos.

Esperar un cuarto de hora para que el GENERADOR DE FRECUENCIA se estabilice. Una vez estabilizado el GENERADOR DE FRECUENCIAS se ajustó a la frecuencia de trabajo de la línea de transmisión a validar siendo esta 5.8 GHz a 0 dBm, inmediatamente el POWER METER midió la atenuación existente entre el POWER SENSOR y el cable de unión entre el POWER METER y el POWER SENSOR.

El resultado fue una medida negativa en dB que era la atenuación generada por el POWER SENSOR conectado al POWER METER.

Este valor negativo es el valor con el que se calibró el POWER METER, para esto se presionó la tecla **Cal Factor** y se ajustó con la medida del resultado de la atenuación producida pero positiva. Una vez calibrado se presionó el botón **Enter**, estableciendo así el factor de corrección de atenuación debido a la conexión del power sensor. Para activarlo se presionó la tecla **Offset On/Off**.

- b. Una vez calibrado se ajustó a 0 el GENERADOR DE FRECUENCIA y sin apagar los equipos desconectar el POWER SENSOR de la salida de la RF-OUTPUT del GENERADOR DE FRECUENCIA.
- c. A continuación se tomó la línea de transmisión (LMR-400 de 1.19 metros), se conectó uno de los extremos a la salida de la RF-OUTPUT del GENERADOR DE FRECUENCIA y el otro extremo al POWER SENSOR. Figura 4.1.6.

En la Figura 4.1.7 se observa la conexión de los equipos para las pruebas de atenuación del cable LMR-400.



**Figura 4.1.6 Cable LMR-400 conectado al extremo izquierdo (IN) del Power Sensor y al extremo derecho (OUT) el Power Meter.**



**Figura 4.1.7 Conexión final para las pruebas con el cable LMR-400.**

- d. Se ajustó el GENERADOR DE FRECUENCIAS a 5.8 GHz, en la Figura 4.1.8 a y b se observa que el cable LMR-400 se encuentra conectado al GENERADOR ajustado a la frecuencia indicada.



**Figura 4.1.8 a y b Generador de Frecuencia ajustado a 5.8 GHZ**

- e. A continuación en el display del POWER METER se observa una lectura en dB que es la pérdida de potencia del cable LMR-400 al trabajar a 5.8 GHz. Figura 4.1.9.



**Figura 4.1.9 Lectura resultante de la medición de pérdidas en el cable LMR-400 en el Power Meter.**

Esta pérdida es de 0.67 dB por 1.19 metros de cable LMR-400, siendo ésta la pérdida del cable LMR-400 (incluido conectores) según el equipo del laboratorio del SOTE.

Otro valor de interés es la pérdida proporcionada por el fabricante, donde a 5800 MHz se tiene 35.5 dB de pérdida por cada 100 metros. La Tabla 4.1.1.

Frequency (MHz)	30	50	150	220	450	900	1500	1800	2000	2500	5800
Attenuation dB/100 ft	0.7	0.9	1.5	1.9	2.7	3.9	5.1	5.7	6.0	6.8	10.8
Attenuation dB/100 m	2.2	2.9	5.0	6.1	8.9	12.8	16.8	18.6	19.6	22.2	35.5
Avg. Power kW	3.33	2.57	1.47	1.20	0.83	0.58	0.44	0.40	0.37	0.33	0.21

**Tabla 4.1.1 Atenuación del cable LMR-400, dato proporcionado por el fabricante (TIMESMICROWAVE).<sup>63</sup>**

<sup>63</sup> Ir Anexo1 pag. 243

Para saber cuál es la pérdida en 1.19 metros de cable LMR-400 según los datos proporcionados por el fabricante se realizó una regla de tres:

$$\frac{100 \text{ m}}{1.19 \text{ m}} = \frac{35.5 \text{ dB}}{x} \quad x = 0.422 \text{ dB por cada 1.19 metros}$$

Esto nos muestra que según los datos del fabricante la pérdida en 1.19 metros de cable LMR-400 es de 0.422 dB.

A continuación se muestra la Tabla 4.1.2, donde se muestra los valores de atenuación suministrado por el fabricante y el medido con el equipo del laboratorio de telecomunicaciones del SOTE.

LMR-400 (1.19 metros)	ATENUACION MEDIDA (Incluida conectores) dB	ATENUACION (FABRICANTE conectores) dB
FRECUENCIA 5800 MHz	0.67	0.42

**Tabla 4.1.2 Atenuación del cable LMR-400 a una longitud de 1.19 metros.**

Por lo tanto se determina que los datos proporcionados por el fabricante únicamente contemplan la pérdida del cable sin considerar la pérdida en conectores. Esta atenuación adicional es igual a la diferencia entre la atenuación medida y la atenuación dada por el fabricante. Siendo igual a 0.25 dB de atenuación producida por los conectores del cable LMR-400.

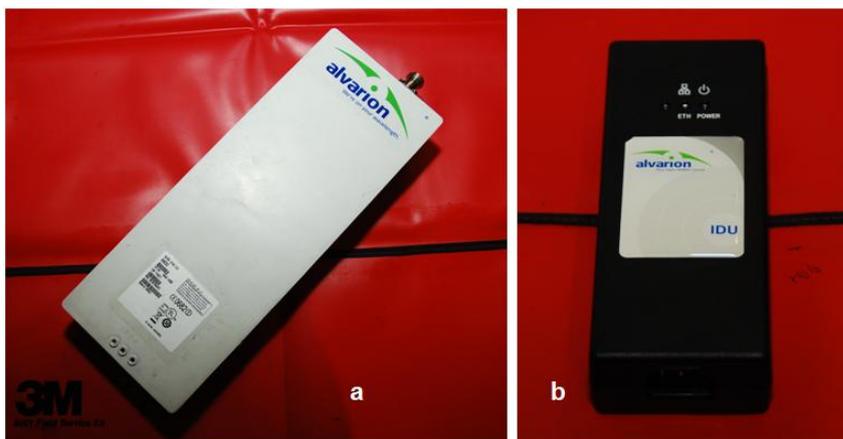
La atenuación en los conectores sí fue tomada en cuenta en los cálculos de RSSI, siendo ésta incluida en el parámetro de pérdidas en los circuitos de acoplamiento.

#### 4.1.2.2 Pruebas de los parámetros del radio ALVARION BREEZENET B14

Para la validación del dato de sensibilidad proporcionado por el fabricante del radio ALVARION BREEZENET B14 se siguió el procedimiento descrito a continuación.

- a. Se tomó los diferentes MICRO-PAD y se sumó sus diferentes valores hasta tener una atenuación igual a la sensibilidad (U) mínima del radio.

Al usar el radio ALVARION BREEZE NET B14 (Figura 4.1.10 a y b) la sensibilidad descrita por el fabricante es de - 85 dBm por lo tanto se usó diferentes MICRO-PAD hasta sumar 85 dB de atenuación.



**Figura 4.1.10 a) Unidad Externa (ODU) y b) Unidad Interna (IDU) del radio**

***Alvarion BreezeNet B14.***

- b. Se distribuyó los MICRO-PAD en los puertos de antenas de los dos radios. Estos, simulaban las pérdidas necesarias que permitieron validar el nivel de sensibilidad mínima del radio.



**Figura 4.1.11 Atenuadores conectados al puerto de antena del radio**

***Alvarion BreezeNet B14.***

- c. Se colocó la línea de transmisión para unir los dos radios.

Al conectar la línea de transmisión entre los dos radios se simuló el medio de comunicación de un enlace.

La Figura 4.1.12 muestra el momento antes de acoplar el radio con la línea de transmisión de baja pérdida y los atenuadores.



**Figura 4.1.12 Momentos antes del acople de los atenuadores y la línea de transmisión con el puerto de antena del radio.**

La Figura 4.1.13 a y b permite observar la conexión entre los dos radios, simulando las pérdidas de enlace.



**Figura 4.1.13 a) Radios Alvarion sin conexión entre puertos de antena. b) Conexión entre puertos de antena de los radios a través de atenuadores y línea de transmisión de baja pérdida.**

- d. Conectar las unidades internas (IDU)<sup>64</sup> de cada radio, así como sus cables de red para configurar los equipos a través de las laptop y finalmente se conecta las unidades IDU al fluido eléctrico.

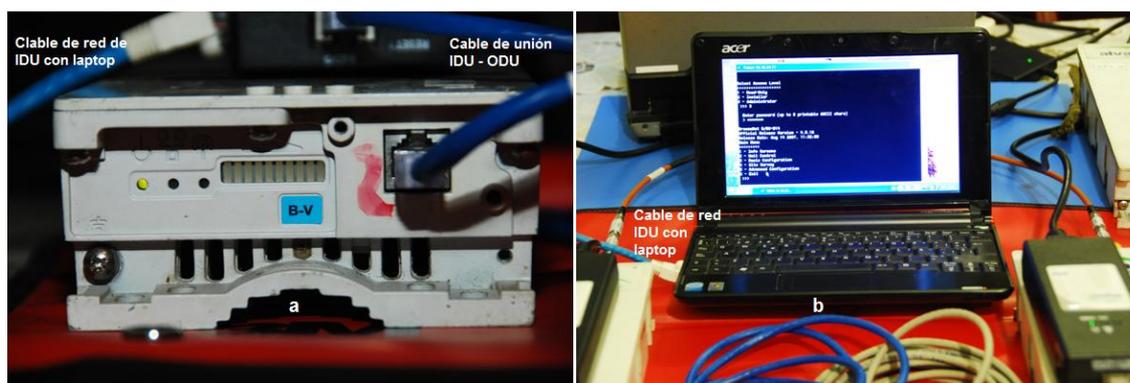
Figura 4.1.14 se observa las unidades ODU e IDU de los radios ya conectadas.

<sup>64</sup> Ir Anexo 3, CD manual BREEZNET B Ver. 6.0, System Manual pag. 11.



**Figura 4.1.14 Unidad ODU<sup>65</sup> e IDU de los dos radios conectadas a través de dos patch -cord.**

En la Figura 4.1.15 a y b se observa el cable entre la IDU y el computador (laptop). A continuación se procede a configurar los dos radios con la ganancia máxima de transmisión, siendo igual a 21 dBm.

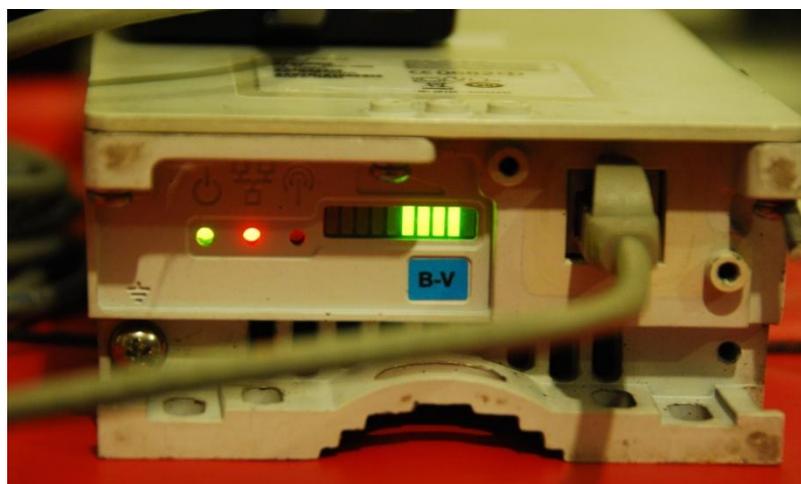


**Figura 4.1.15 a) Cable de red en el Puerto Ethernet de la IDU b) conectado al computador.**

<sup>65</sup> Anexo 3, CD manual BREEZNET B Ver. 6.0, System Manual pag. 11.

Los 21 dBm de ganancia en el transmisor deben ser atenuados, porque con los 85 dB de atenuación inicial únicamente se tendría -64 dbm a la entrada del receptor. Se aumento 21 dB de atenuación aparte de los 85 dB iniciales para así atenuar la ganancia máxima del transmisor.

Una vez realizado el procedimiento, en la Figura 4.1.16 se aprecia el indicador de señal de los radios.



**Figura 4.1.16 Indicador de SNR, leds encendidos 4.**

Se observa que se encuentran encendidos 4 leds<sup>66</sup> verdes que según el dato del fabricante, Tabla 4.1.3, indica que hay un SNR<sup>67</sup> (relación señal ruido) mayor a 13 dB y menor a 20 dB.

---

<sup>66</sup> Glosario: Led

<sup>67</sup> Glosario: SNR

SNR Bar LEDs	SNR
LED 1 (red) is On	Signal is too low (SNR < 4 dB)
LED 2 (green) is On	SNR > 4 dB
LEDs 2 to 3 (green) are On	SNR > 8 dB
→ LEDs 2 to 4 (green) are On ←	SNR > 13 dB
LEDs 2 to 5 (green) are On	SNR > 19 dB
LEDs 2 to 6 (green) are On	SNR > 26 dB
LEDs 2 to 7 (green) are On	SNR > 31 dB
LEDs 2 to 8 (green) are On	SNR > 38 dB
LEDs 2 to 9 (green) are On	SNR > 44 dB
LEDs 2 to 9 (green) and 10 (orange) are On	Signal is too high (SNR > 50 dB)

**Tabla 4.1.3 Niveles de SNR respecto a la barra de led de la ODU  
(Fabricante).<sup>68</sup>**

Con el valor de SNR obtenido en la tabla 4.1.3 nos dirigimos a la Tabla 4.1.4., en la que se observó que se tiene una sensibilidad ubicada en un intervalo entre -81 dBm y -85 dBm, tomando en consideración la nota entregada por el fabricante,

For BU-B14/28, the maximum modulation with 40 MHz is 5, while for BU-B100 the Maximum Modulation is 8. The default is the highest supported modulation level (modulation level 8 for BU-B100 and modulation level 5 for BU-B14/28). <sup>69</sup>

la cual se interpreta que para BU - B14/28 el nivel de modulación máxima con 40 MHz es el quinto, se determinó que para el quinto nivel, la Tabla 4.1.4, la sensibilidad mínima del equipo, es de -85 dBm con una SNR mínima de 14 dB.

<sup>68</sup> Anexo 3, CD manual BREEZNET B Ver. 6.0, System Manual pag. 47.

<sup>69</sup> Anexo 3, CD manual BREEZNET B Ver. 6.0, System Manual pag. 154.

Para determinar los valores de sensibilidad fue necesario usar la nota 4 de la tabla 4.1.4. Donde expresa que, cuando se usa un ancho de banda de 40 MHz la sensibilidad por cada nivel de modulación es más alta con 4 dB. Esto quiere decir que para cada nivel de modulación la sensibilidad aumenta 4dB. Por ejemplo, si nos fijamos en el quinto nivel de modulación observamos que la Tabla 4.1.4 indica que tiene una sensibilidad de -81 dBm pero a causa de la nota cuatro este valor es igual a -85 dBm.

Item	Description		
Maximum Output Power <sup>3</sup>	21 dBm.		
Sensitivity, Minimum (dBm at antenna port, PER<10%, 20 MHz bandwidth <sup>4</sup> )	Modulation Level <sup>5</sup>	Sensitivity	Minimum SNR
	1	-89 dBm	6 dB
	2	-88 dBm	7 dB
	3	-86 dBm	9 dB
	4	-84 dBm	11 dB
	→ 5	-81 dBm	14 dB ←
	6	-77 dBm	18 dB
	7	-73 dBm	22 dB
	8	-71 dBm	23 dB
Modulation	OFDM modulation, 64 FFT points; BPSK, QPSK, QAM16, QAM64		

<sup>1</sup> The actual available frequency channels and bandwidth are defined by the selected Sub-Band, which reflects the applicable regulatory constraints. For more details refer to [Section 4.2.2.4](#).

<sup>2</sup> In 5.4 GHz units with a detached antenna, if the gain of the antenna (as inserted into Antenna gain field) is higher than 30 dBm, then the Maximum EIRP can vary by more than +/-3 dB. As regulations in most countries limit the EIRP of units operating in the 5.4 GHz band, it is recommended to use detached antennas up to and including 28 dBi.

<sup>3</sup> The actual available maximum output power for each modulation level is defined by the selected Sub-Band, which reflects the applicable regulatory constraints. For some countries the power may also be limited by limitations on the maximum EIRP (also included in the Sub-Band parameters) and the Antenna Gain parameter. For more details refer to [Section 4.2.2.4](#) and to [Section 4.2.6.2.8.1](#). For information on specific HW and Country Code limitations, see the Country Codes document.

<sup>4</sup> The sensitivity values are for a bandwidth of 20 MHz. When using a 40 MHz bandwidth ("Turbo mode"), the Sensitivity for each modulation level is higher by 4 dB higher. For 10 MHz bandwidth the sensitivity is lower by 3 dB.

<sup>5</sup> Modulation Level indicates the radio transmission rate and the modulation scheme. Modulation Level 1 is for the lowest radio rate and modulation scheme.

**Tabla 4.1.4 Niveles de SNR respecto a la barra de led de la ODU  
(Fabricante).<sup>70</sup>**

<sup>70</sup> Anexo 3, CD manual BREEZNET B Ver. 6.0, System Manual pag. 9.





Al ejecutar en una laptop el comando PING hacia la dirección IP del radio ubicado al otro extremo del enlace se comprobó que existe conexión entre ellos, la figura 4.1.19 muestra el resultado de un envío de 100 PINGS.

```

Telnet 10.10.39.74
Press any key to return >
BreezeNet B/BU-B14
Official Release Version - 4.5.16
Release Date: Feb 14 2011, 11:36:16
Ping Test
=====
1 - Destination IP Address
2 - Number of Pings to Send
3 - Ping Frame Length
4 - Ping Frame Timeout
5 - Start Sending
6 - Stop Sending
8 - Show Ping Test Values
CHIGUILPE-FAISANES >>> s

Destination IP Address           : 010.010.039.075
Number of Pings to Send         : 100
Ping Frame Length                : 64
Ping Frame Timeout               : 200 ms
Currently Sending                : FALSE
Number of Sent Pings             : 100
Number of Received Pings         : 100
Press any key to return >

```

**Figura 4.1.19 PING de conexión entre los radios.**

Podemos ver que el tiempo de espera es de 200 ms por trama, siendo considerado alto, pero no se presentan pérdidas de información como se ve en el número de pings recibidos que es igual a 100.

Por lo tanto se puede afirmar que el enlace se encuentra funcionando correctamente, que los tiempos de espera empiezan a ser altos, que puede generarse alguna pérdida de información.

Los datos obtenidos con el procedimiento empleado asumiendo el peor escenario demuestran que las referencias proporcionados por el fabricante se ajustan a la realidad, porque al especificar el radio a una sensibilidad mínima de -85 dBm este debe funcionar. Se comprobó que el radio con este nivel funcionó, ya que al atenuar a través de los MICRO-PAD 106 dB se logró que, el

radio trabaje en su punto crítico con la finalidad de demostrar su funcionamiento bajo esas condiciones. En condiciones críticas el resultado fue exitoso pero no recomendable porque pueden existir pérdidas de información.

#### 4.2 INSTALACIÓN DEL LOS EQUIPOS EN EL SITIO

El diseño del enlace de la VÁLVULA DE BLOQUEO EXISTENTE NÚMERO SEIS con CHIGUILPE se lo realizó en dos tramos. El primer tramo es el enlace de la VBE6 con FAISANES y el segundo tramo es FAISANES con CHIGUILPE.

En la siguiente Tabla 4.2.1 se resume la infraestructura existente que fue utilizada en cada uno de los sitios designados para la implementación del enlace de la VBE6 con CHIGUILPE.

	VBE6	FAISANES	CHIGUILPE
Torre	-	40 m	18 m
Mástil	6 m	-	-
Escalerillas para pasar cables	si	si	si
Fluido Eléctrico	si	si	si
Sistema puesta a tierra	si	si	si
Acceso a sistema puesta a tierra	si	si	si

**Tabla 4.2.1 Estructura existente VBE6-FAISANES-CHIGUILPE.**

Para el primer tramo (VBE6 - FAISANES), la altura de ubicación de las antenas en las torres, así como sus modelos, orientación y demás accesorios para la implementación se sintetizan en la Tabla 4.2.2.

Cabe aclarar que las unidades (ODU) de los radios se sujetaron a las torres/mástil, bajo cada una de las antenas.

<b>Enlace VBE6 - Faisanes</b>	VBE6	Faisanes
Altura Sobre Nivel Piso Antena	5,5 m	24,17 m
Existen Obstáculos Estructuras	no	si
Altura final Antenas	5,5	26 m
Polos	-	1 (m) x 3"
Marca / Modelo Antena	RADIOWAVES SP1-5,2	RADIOWAVES SP1-5,2
Frecuencia (GHz)	5,8	5,8
Polarización	Horizontal	Horizontal
Cable LMR-400 (1,19 m)	si	si
Cable ODU - IDU (conectores)	10 m	31 m

**Tabla 4.2.2 Descripción de la instalación de los equipos para el primer tramo.**

Para el segundo tramo (CHIGUILPE - FAISANES), la altura de ubicación de las antenas, así como sus modelos, orientación y demás accesorios para la implementación se resumen en la Tabla 4.2.3.

<b>Enlace Chiguilpe - Faisanes</b>	Chiguilpe	Faisanes
Altura Sobre Nivel Piso Antena	17 m	28,69 m
Existen Obstáculos Estructuras	no	si
Altura final Antenas	17	30 m
Polos	1,50 (m) x 3"	1,50 (m) x 3"
Marca / Modelo Antena	RADIOWAVES SP4-5,2	RADIOWAVES SP4-5,2
Frecuencia (GHz)	5,8	5,8
Polarización	Vertical	Vertical
Cable LMR-400 (1,19 m)	si	si
Cable ODU - IDU (conectores)	23 m	35 m

**Tabla 4.2.3 Descripción de la instalación de los equipos para el segundo tramo.**

Antes de dirigirse a los sitios de instalación previamente se realizó la configuración de ganancia de cada uno de los radios, Tabla 4.2.4, los mismos que responden a los cálculos efectuados en el Capítulo III sección 3.3.6 VBE6.

	PRIMER TRAMO	SEGUNDO TRAMO
GANANCIA DE LOS RADIOS ALVARION BREZZE NET B14	21 dBm	19 dBm

**Tabla 4.2.4 Ganancia de los radios ALVARION en cada uno de los tramos.**

### 4.3 ALINEACIÓN DE ANTENAS

Para la alineación de antenas fue necesaria la intervención de dos equipos. Cada equipo estuvo conformado por al menos dos personas: una que tomó las lecturas de la señal y se comunicó con el extremo remoto, y la otra que manipuló la antena.

Para la comunicación entre los dos equipos se usó radios de dos vías para comunicación de voz.

Se comenzó por estimar el azimut (orientación) y elevación adecuadas. Figura

4.1.20



**Figura 4.1.20 Fotografía panorámica tomada desde la torre en Faisanes.**

Para comenzar, ambos equipos tenían una idea general de la dirección hacia la cual apuntar. Se usó una brújula para tener una referencia y poder alinear la antena al azimut deseado, en la Tabla 4.3.1 se aprecia los ángulos de azimut y elevación calculados para los dos tramos.

		Azimuth (grados)	Elevación (grados)
PRIMER TRAMO	VBE6 a Faisanes	41,06	10,09
	Faisanes a VBE6	221,06	-10,09 (depresión)
SEGUNDO TRAMO	Chiguilpe a Faisanes	89,93	0,93
	Faisanes a Chiguilpe	269,93	-0,93 (depresión)

**Tabla 4.3.1 Descripción de la instalación de los equipos para el segundo tramo.**

Una vez orientadas las antenas se tomó una lectura de la potencia entregada a la entrada del receptor.

Esta lectura de potencia entregada fue tomada en ambas direcciones, pero una a la vez. La antena del extremo con menos potencia entregada a la entrada del receptor comparada con los cálculos realizados se la dejó fija.

Observando el medidor de señal, la antena del otro extremo fue girada lentamente en el plano horizontal hasta conseguir la mejor posición en el plano.

A continuación, se modificó lentamente la elevación de la antena para obtener un mejor nivel de señal. Conseguido esto, se fijó la antena en su lugar y se comunicó al otro equipo que realice el mismo procedimiento en el otro extremo. Repetimos esto un par de veces hasta que se localizó la mejor posición para ambas antenas.

Se cuidó de no tocar la antena cuando esté tomando una lectura porque el cuerpo humano afecta el patrón de radiación de la antena.



**Figura 4.1.21 Técnico del SOTE en la caseta de equipos.**

#### **4.4 COMPARACIÓN DE LOS DATOS TEÓRICOS CON LOS REALES**

En esta sección se comparará el parámetro de RSSI tomado de los datos del equipo instalado y funcionando con los calculados en el Capítulo III sección 3.3.6 VBE6.

El cálculo del valor de RSSI con los valores del radio se realizó con la siguiente ecuación<sup>71</sup>:

$$\text{RSSI}=\text{NF}+\text{SNR}$$

Donde:

---

<sup>71</sup> Ir Anexo 4, pag. 248





$$NF+SNR=RSSI$$

$$-97 +47= -50 \text{ dBm.}$$

**RESUMEN DE LA COMPARACIÓN DE LOS DATOS CALCULADOS CON  
LOS MEDIDOS.**

ENLACE	RSSI CALCULADO dBm	RSSI MEDIDO dBm	Error de aproximación % $\frac{\text{medido} - \text{calculado}}{\text{medido}} \times 100$
VBE6 – FAISANES (Primer Tramo)	- 45.313	- 47	3.59 %
FAISANES – CHIGUILPE (Segundo Tramo)	- 49.562	- 50	0.8 %

**Tabla 4.4.1 Valores de RSSI calculados y medidos.**

Los valores de RSSI calculados en el Capítulo 3 sección 3.3.6 VBE6 respecto a los valores medidos no muestran un desfase significativo. Los errores de aproximación menores al 4% demuestran que el dimensionamiento teórico del enlace para la válvula de bloqueo existente número seis fue el correcto porque se ajusta a la realidad.

## CONCLUSIONES

- Para diseñar los enlaces fue necesario ajustarse a los requerimientos y políticas definidas por PETROECUADOR.
- La recopilación y selección de la información desarrollada en el Capítulo II del presente proyecto de grado permitió una comprensión absoluta del tema, facilitando el proceso de diseño de los enlaces.
- La toma de datos en las inspecciones de campo realizadas a las válvulas de bloqueo comprobó que los datos proporcionados por PETROECUADOR eran erróneos.
- El uso de software libre (SPLAT) permitió cuantificar de una mejor manera las variables de juego del proyecto a implementarse, permitiendo realizar un estudio minucioso del sistema.
- Para los cálculos de altura de antena en las torres se tomaron en cuenta las recomendaciones del CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones).
- Con las características de antenas disponibles en PETROECUADOR, el enlace para la VBE7 no cumple con la confiabilidad de 99.99%, solicitada por PETROECUADOR.
- Para evitar las interferencias en el enlace de la VBE6 – FAISANES se utilizó polarización horizontal en las antenas. En FAISANES –

CHIGUILPE se usó polarización vertical debido a que en estos enlaces se utiliza la banda de 5.8 GHz.

- El dato de atenuación del cable LMR-400 proporcionado por el fabricante no considera la atenuación por parte de los conectores.
- La técnica de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM), debido a su característica ortogonal permite aprovechar el espectro de la banda WiMAX (5.8 GHz) y evita realizar separaciones entre canales de frecuencia, además mejora la modulación de las sub-portadoras y es robusta ante interferencias y desvanecimiento.
- La tecnología WiMAX se proyecta como una solución muy conveniente para enlaces punto a punto, debido a la facilidad y rapidez de implementación, gran alcance, altas capacidades, escalabilidad, modulación adaptiva y soporte de Calidad de Servicio. Por estas características, WiMAX es ideal para la transmisión de voz, datos y video.

## RECOMENDACIONES

- A más de los cálculos realizados se recomienda la inspección de campo de todos los sitios de repetición para que en la implementación no se tenga ningún inconveniente.
- Usar cartas topográficas y apoyarse en topografía digital para conocer con detalle las características de la zona.
- Si se utiliza el software SPLAT se debe trabajar con los datos correctos para que este software nos muestre los datos más precisos.
- Se debe conocer las características del equipo y las recomendaciones brindadas por el fabricante, las cuales permiten manejar los equipos y por ende alargar la vida útil de los mismos. Para ello es de suprema importancia leer el manual del equipo.
- Para cumplir con la confiabilidad del 99.999% se deben cambiar las antenas en ALLURIQUIN de marca RADIOWAVES modelo SP6-5.2 de 37.9 dBi por antenas de marca RADIOWAVES modelo SP8-5.2 de 40 dBi.
- Las simulaciones y cálculos de propagación realizados en el Capítulo III de este proyecto permitieron dimensionar el sistema, sin embargo, debe de tenerse en cuenta que se trata de un cálculo teórico y que por lo tanto se encuentra sujeto a variaciones debido a múltiples factores como: apuntamiento de las antenas e interferencias no deseadas. Teniendo en

cuenta estas variaciones, las mediciones realizadas una vez que los enlaces estén implementados deben variar en un máximo de  $\pm 3$  dB con respecto a los valores calculados.

- Es de vital importancia que el cálculo de PIRE realizado en el CAPITULO III de este proyecto no sobrepase los 53 dBm, este valor es definido en la RESOLUCION 417-15-CONATEL-2005.
- Para evitar las interferencias de sobre alcance utilizar distinta polarización de antena en cada enlace que tenga más de un salto o tramo.
- En la implementación de los enlaces se debe aplicar normas de seguridad para evitar lesiones en el personal técnico.

## GLOSARIO

- **BACKBONE:** Mecanismo de conectividad primario en un sistema distribuido. Todos los sistemas que tengan conexión al backbone (columna vertebral) pueden interconectarse entre sí, aunque también puedan hacerlo directamente o mediante redes alternativas.

Un backbone se puede definir como un enlace de gran caudal o como un sinnúmero de nudos de conexión que forman un eje de conexión principal. Es la columna vertebral de una red.

- **CONDUCTOR:** Un conductor eléctrico es un material que ofrece poca resistencia al paso de la electricidad. Generalmente son aleaciones o compuestos con electrones libres que permiten el movimiento de cargas.
- **dB:** Es la relación de 2 potencias expresadas en dB

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)_{dB} \Rightarrow 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

Donde:

$P_1$  = Potencia de salida de cualquier sistema.

$P_2$  = Potencia de entrada al sistema que pertenece  $P_1$ .

- **dBm:** La potencia (no la razón de potencias) se mide algunas veces en dBm. Esta es una expresión de decibeles de la relación entre la potencia en cuestión y un valor de referencia que se fija en 1 mW.
- **dB<sub>i</sub>:** Ganancia de una antena respecto a una antena isotrópica teórica.

- **ESTACIONES REPETIDORAS:** La estación repetidora no es más que un equipo radio transmisor/receptor, situado en una zona elevada y dotado de una antena.
- **ESTACIÓN TERMINAL:** Se denomina estación terminal al punto de acceso a una red de comunicación.
- **FIELDBUS:** Fieldbus (Bus de Campo) es el nombre de una familia de protocolos industriales de redes informáticas utilizados para redes de control industrial en tiempo real. Es una manera de conectar los instrumentos en una planta de fabricación. Fieldbus puede trabajar en estructuras de red que normalmente permite la conexión de topologías de red en cadena, estrella, anillo, ramas, árboles.
- **LED:** Indicador luminoso que se usa en circuitos electrónicos.
- **LOS:** línea de vista (line of sight), término utilizado en radiofrecuencia para un enlace de radio con visibilidad directa entre antenas.
- **OFF-LINE:** fuera de línea, En referencia a un equipo, se dice que está fuera de línea cuando está desconectado del sistema, no se encuentra operativo, y normalmente tiene su fuente de alimentación desconectada, es decir, está apagado.
- **PERDIDAS MISCELÁNEAS:** son todas las pérdidas que se deben al desalineamiento de antenas, deterioro en la línea de transmisión, circulador de la antena y conectores.

- **RSSI:** acrónimo de Receive Signal Strength Indication, Indicador de fuerza de señal de recepción. Este término se usa comúnmente para medir el nivel de potencia de las señales recibidas en las redes inalámbricas.
- **SCADA:** acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition, Control y Adquisición de Datos de Supervisión, es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado. También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros usuarios supervisores dentro de la empresa (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.).
- **SITE SURVEY:** Desplazamiento en campo para visita técnica.
- **SNR:** relación señal ruido.
- **SOFTWARE DELTA V:** Es un sistema de automatización que ofrece un software y hardware de fácil uso para control avanzado de plantas industriales. El sistema Delta V se puede implementar para realizar control en elementos que trabajen con el protocolo Fieldbus.  
  
Delta V permite definir alarmas y monitorear las variables controladas y manipuladas. Éstas variables se pueden medir o graficar en una interfaz gráfica amigable para el operador.

La comunicación entre el controlador y la estación de trabajo se realiza mediante una conexión IP a través de la red

- **SOTE:** acrónimo de Sistema de Oleoducto Transecuatoriano
- **SPREAD SPRECTRUM:** Es aquél en el que la señal transmitida es esparcida en una banda de frecuencia ancha, de hecho, mucho más ancha que el mínimo ancho de banda requerido para transmitir la información que se envía.
- **TRANSDUCTOR:** es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra de diferente a la salida.

# ANEXOS

## ANEXO 1

LMR-400



## LMR<sup>®</sup>-400 Flexible Low Loss Communications Coax

### Ideal for...

- Drop-in replacement for RG-8/9913 Air-Dielectric type Cable
- Jumper Assemblies in Wireless Communications Systems
- Short Antenna Feeder runs
- Any application (e.g. WLL, GPS, LMR, WLAN, WISP, WiMax, SCADA, Mobile Antennas) requiring an easily routed, low loss RF cable



- **LMR<sup>®</sup>** standard is a UV Resistant Polyethylene jacketed cable designed for 20-year service outdoor use. The bending and handling characteristics are significantly better than air-dielectric and corrugated hard-line cables.

- **LMR<sup>®</sup>-DB** is identical to standard LMR plus has the advantage of being watertight. The addition of waterproofing compound in and around the foil/braid insures continuous reliable service should the jacket be inadvertently damaged during installation or in the future.

- **LMR<sup>®</sup>-FR** is a non-halogen (non-toxic), low smoke, fire retardant cable designed for in-building runs that can be routed anywhere except air handling plenums. LMR-FR is UL/NEC & CSA rated 'CMR' and 'FT4' respectively, meets FAA FAR25 requirements and is MSHA-P for mining operations.

- **LMR<sup>®</sup>-FR-PVC** is a general-purpose indoor cable and has a UL/NEC & CSA rating of 'CMR' and 'FT4' respectively. It is less expensive than LMR-FR, however it emits toxic fumes (HCL) and greater smoke density when burned.

- **LMR<sup>®</sup>-PVC** is designed for low loss general-purpose applications and is somewhat more flexible than the standard polyethylene jacketed LMR.

- **LMR<sup>®</sup>-PVC-W** is a white-jacketed version of LMR-PVC for marine and other applications where color compatibility is desired.

- **Flexibility** and bendability are hallmarks of the LMR-400 cable design. The flexible outer conductor enables the tightest bend radius available for any cable of similar size and performance.

- **Low Loss** is another hallmark feature of LMR-400.

Size for size LMR has the lowest loss of any flexible cable and comparable loss to semirigid hard-line cables.

- **RF Shielding** is 50 dB greater than typical single shielded coax (40 dB). The multi-ply bonded foil outer conductor is rated conservatively at > 90 dB (i.e. >180 dB between two adjacent cables).

- **Weatherability:** LMR-400 cables designed for outdoor exposure incorporate the best materials for UV resistance and have life expectancy in excess of 20 years.

- **Connectors:** A wide variety of connectors are available for LMR-400 cable, including all common interface types, reverse polarity, and a choice of solder or non-solder center pins. Most LMR connectors employ crimp outer attachment using standard hex crimp sizes.

- **Cable Assemblies:** All LMR-400 cable types are available as pre-terminated cable assemblies. Refer to the section on FlexTech for further details.

Part Description				
Part Number	Application	Jacket	Color	Stock Code
LMR-400	Outdoor	PE	Black	54001
LMR-400-DB	Outdoor/Watertight	PE	Black	54091
LMR-400-FR	Indoor -Riser CMR	FRPE	Black	54030
LMR-400-FR-PVC	Indoor -Riser CMR	FRPVC	Black	54073
LMR-400-PVC	General Purpose	PVC	Black	54218
LMR-400-PVC-W	General Purpose	PVC	White	54204

Construction Specifications			
Description	Material	In.	(mm)
Inner Conductor	Solid BCCAI	0.108	(2.74)
Dielectric	Foam PE	0.285	(7.24)
Outer Conductor	Aluminum Tape	0.291	(7.39)
Overall Braid	Tinned Copper	0.320	(8.13)
Jacket	(see table above)	0.405	(10.29)

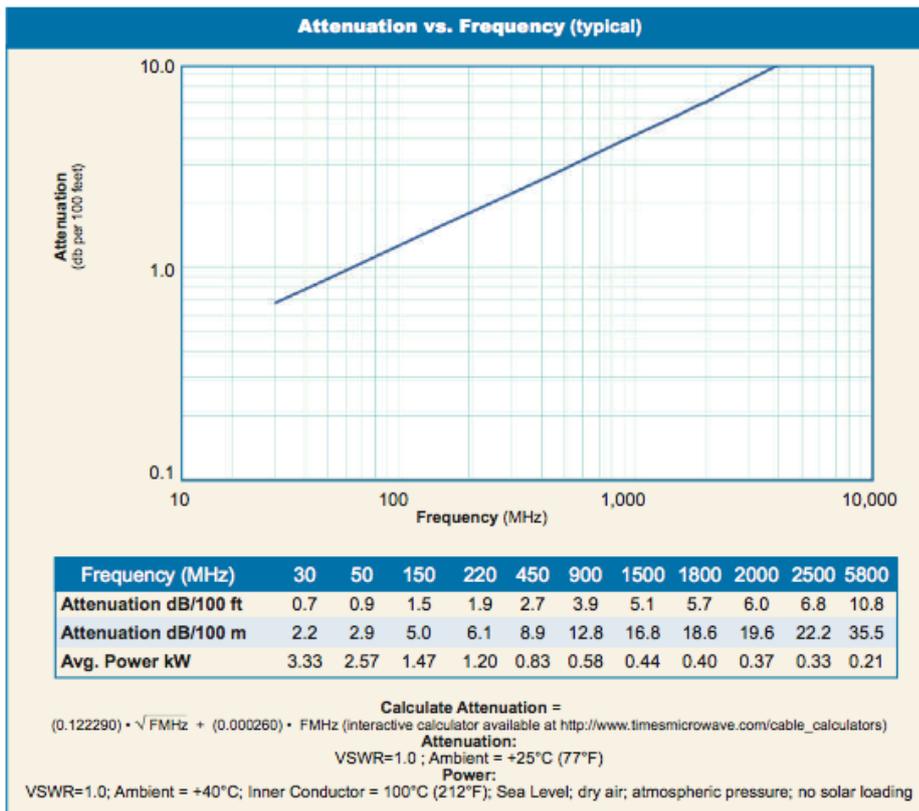


LMR-400

Mechanical Specifications			
Performance Property	Units	US	(metric)
Bend Radius: installation	in. (mm)	1.00	(25.4)
Bend Radius: repeated	in. (mm)	4.0	(101.6)
Bending Moment	ft-lb (N-m)	0.5	(0.68)
Weight	lb/ft (kg/m)	0.068	(0.10)
Tensile Strength	lb (kg)	160	(72.6)
Flat Plate Crush	lb/in. (kg/mm)	40	(0.71)

Environmental Specifications		
Performance Property	°F	°C
Installation Temperature Range	-40/+185	-40/+85
Storage Temperature Range	-94/+185	-70/+85
Operating Temperature Range	-40/+185	-40/+85

Electrical Specifications			
Performance Property	Units	US	(metric)
Velocity of Propagation	%	85	
Dielectric Constant	NA	1.38	
Time Delay	nS/ft (nS/m)	1.20	(3.92)
Impedance	ohms	50	
Capacitance	pF/ft (pF/m)	23.9	(78.4)
Inductance	uH/ft (uH/m)	0.060	(0.20)
Shielding Effectiveness	dB	>90	
DC Resistance			
Inner Conductor	ohms/1000ft (Ω/km)	1.39	(4.6)
Outer Conductor	ohms/1000ft (Ω/km)	1.65	(5.4)
Voltage Withstand	Volts DC	2500	
Jacket Spark	Volts RMS	8000	
Peak Power	kW	16	



## ANEXO 2



### 5.725 - 5.850 GHz PARABOLIC SUBSCRIBER ANTENNAS

#### FEATURES

- **Antenna diameters:**
  - 1' (30 cm)
  - 1.5' (45 cm)
  - 2' (60 cm)
  - 3' (90 cm)
  - 4' (120 cm)
  - 6' (180 cm)
- **Antenna weights:**
  - 1' 15 lbs. (6.8kg)
  - 1.5' 18 lbs. (8.3kg)
  - 2' 22 lbs. (9.9kg)
  - 3' 35 lbs. (15.8kg)
  - 4' 60 lbs. (27.0kg)
  - 6' 90 lbs. (40.5kg)
- **Lightweight and rugged design**
- **Easily installed**
- **RF Connector Interface:** Type "N" female
- **Standard color white;** other colors available on request
- **Radome standard for 1' and 1.5' models, optional for all other models**
- **Dual Polarity models also available**



#### ELECTRICAL SPECIFICATIONS (typical performance)\*

Model Number	Frequency, GHz	Polarization	Gain dBi (nominal)	Beamwidth ° -3dB	X-Pol. Rejection, dB	F/B Ratio dB	VSWR, Max (R.L., dB)
SP1-5.8	5.725 - 5.850	Single	22.5	11.7	17	30	1.5:1 (14.0)
SP1.5-5.8	5.725 - 5.850	Single	25.7	8.0	20	31	1.5:1 (14.0)
SP2-5.8	5.725 - 5.850	Single	28.5	6.2	28	36	1.5:1 (14.0)
SP3-5.8	5.725 - 5.850	Single	31.4	4.2	30	38	1.5:1 (14.0)
SP4-5.8	5.725 - 5.850	Single	34.8	3.0	30	42	1.5:1 (14.0)
SP6-5.8	5.725 - 5.850	Single	37.9	2.0	30	44	1.5:1 (14.0)

\* All specifications subject to change without notice.

## **ANEXO 3**

## ANEXO 4



Page 1 of 8

---

# BreezeNET B

---

BreezeNET B Version 5.2

Release Notes

July 2008

[HTTP://WWW.ALVARION.COM](http://www.alvarion.com)

ALVARION LTD.  
21A HABARZEL STREET,  
TEL AVIV, 69710,  
ISRAEL  
TEL: 972-3-6456262  
FAX: 972-3-6456222



## 1 Introduction

BreezeNET B version 5.2 introduces a variety of new features.

For more details refer to the applicable sections in the System Manual or the customer support teams.

## 2 Frequency Bands

The currently supported frequency bands:

- 5.8 GHz Band: 5.725–5.875 GHz (Universal Country Code with HW Revision C) /5.725–5.850 GHz (all other Country Codes)
- 5.4 GHz Band: 5.470–5.725 GHz
- 5.2 GHz Band: 5.150–5.350 GHz
- 5.3 GHz Band: 5.250–5.350 GHz
- 2.4 GHz Band: 2.400–2.4835 GHz

## 3 Version 5.2 Key New Features

- **Extended WLP support** – until this version the wireless link prioritization (WLP) feature was available only for BreezeNET B 100. Starting from SW version 5.2, the WLP feature will also be available for both BreezeNET B 14 and BreezeNET B 28 by default and without any additional license.
- **Hidden ESSID** – the BU unit will not broadcast the ESSID in Beacon thus allowing for enhanced network security. When this feature is activated in the BU it will not broadcast the ESSID in the air. The 802.11 frames that contain the ESSID element will be filled with null char instead of the real ESSID. In this way the sniffers will display the empty string for the ESSID.



Page 3 of 8

- **RSSI Reading** - adjustable noise floor Parameter allowing for better handling of interference and congested channels. In SW version 5.2, RSSI (Receive Signal Strength Indication) readings would also be reported. The formula used is:  $RSSI = NF + SNR$ , where the NF is the Noise Floor.
- **PPPoE traffic prioritization** - The IP traffic transported over not compressed PPPoE encapsulation will be prioritized as regular IP traffic, allowing it to be prioritized using the following criteria: IP ToS, IP DSCP, UDP/TCP port ranges and VLAN priorities. In order to enable/disable this feature the user would need to enable/disable the corresponding prioritization.
- **ETSI DFS with Staggered Patterns** – the unit will be able to detect the staggered radar Patterns. In SW version 5.2, The ETSI DFS mechanism has been changed to also enable detection of new types of radars, working in 5600MHz-5650MHz, such as weather forecast radars in 5.4GHz band.
- **DFS selection for BU** - DFS selection (ETSI/ FCC) will now be available in Universal country codes. The Universal country code defined in previous SW version does not have support for FCC DFS. Starting from SW version 5.2, the Universal country code has been changed in order to allow DFS Selection to be available.

This feature will be available only for the following country codes:

- 1060 - Universal 5.8 GHz
- 1064 – Universal 5.4 GHz

#### 4 Important Notes

- Although minimum output power is defined as -10 dB when configuring the Tx Power manually, when ATPC is enabled the RB's output power may be less than this minimum.
- Extra care should be taken when configuring VLAN management and management IP filtering in order not to lose connectivity with unit. In case of connectivity loss, use the "restore default parameters" application to reset to factory values.

ALVARION LTD.  
21A HABARZEL STREET,  
TEL AVIV, 69710,  
ISRAEL  
TEL: 972-3-6456262  
FAX: 972-3-6456222



Page 4 of 8

- Upon downgrade from version 5.0 and higher to version 3.0 or lower, all the information in the new Network Management IP Address Ranges table will be lost. Hence, management access may be lost if the unit was managed from an IP address that is on a subnet defined in the new tables.
- When upgrading from version 3.0 or lower to version 5.0, the high/low packet classification settings according to the old VLAN Priority Threshold or IP Precedence Threshold parameters will be lost. The new parameters are forced to the default value of 7, meaning no prioritization.
- When Wireless Link Prioritization feature is activated in BreezeNET B100, the prevention of Low Priority Traffic Starvation is automatically disabled.
- Remote changes of the Maximum Modulation Level in an RB while Adaptive Modulation is disabled may lead to lose of connectivity with the unit. The recommended workaround is to enable Adaptive Modulation, reset the unit to apply the change, and then change the Maximum Modulation Level.
- Adaptive Modulation may not converge to best modulation in some setups with high variance in noise levels. In these cases better performances may be achieved with manual modulation settings (Adaptive Modulation Disabled).
- Upon upgrade to SW version 45.0 from a version 3.1 or lower the FTP Client IP Address and Subnet Mask no longer exist as configurable parameters and the unit's IP parameters are used instead. Upon downgrade from SW version 5.0 to version 3.1 or lower the FTP Client IP Address of the unit is automatically set to the same value as the IP Address of the device. In this case following warning message appears:

\*\*\* WARNING: Same 'Unit IP Address' and 'FTP Client IP Address!' \*\*\*

\*\*\* 'FTP Client IP Address' ignored until change and reset! \*\*\*

After downgrade it is recommended changing the FTP Client IP Address to 1.1.1.3 and the FTP Server IP Address to 1.1.1.4.

- Using FTP to put/get some files into/from the units might fail. However, the operation will succeed after several trials. In such cases it is recommended to use TFTP for the same file transfer.

ALVARION LTD.  
21A HABARZEL STREET,  
TEL AVIV, 69710,  
ISRAEL  
TEL: 972-3-6456262  
FAX: 972-3-6456222



Page 5 of 8

- When an RB with SW version 3.x is upgrade to version 5.0 and the ATPC is activated, the TX power of the SU will be modified to the maximum value allowed by HW version and regulatory domain used (Country Code). ATPC will later adjust it to the optimal level.
- The operation of “Reset and boot from shadow” executed from SW version 5.0 and higher may take up to 2 seconds longer when the shadow version is lower than 5.0.

## 5 Limitations & Known Issues

- The appropriate ESSID has to be set and also require disabling the BU country code learning in order to avoid a situation in which the RB changes its country code without actually associating to a BU. If BU country code learning is enabled and it has the same ESSID as the RB, then the (scanning) RB will try to associate to it and will change its country code before association is completed.
- When operating in very noisy environments, the automatic noise immunity mechanism (ANI) can force the OWS to a level of '1'. In the event that this will happen (on the BU side) the RB, with SNRs bellow 25, can disassociate without being able to re-associate back again. In such cases (very noisy environments) the ANI must be set to 'MANUAL' and the OWS value must never be set to '1'.
- An invalid IP address is accepted, without generating any error message, when the following IPs are set to the “AP Client IP address” via SNMP: 224.0.0.1, 255.0.0.0, 255.255.0.0, 255.255.255.0.
- Units running SW version 5.2 with country code 1044 (Australia) should not be downgraded to 4.0 and prior but only after changing the country code. The above mentioned country code is supported only by version 4.5 and later.
- Prior to changing the country code setting, it is recommended that the user should verify that under the new EIRP conditions, imposed by the new country code, it is still possible to maintain the link (relevant in cases where the new CC EIRP value is lower than the original EIRP value).

ALVARION LTD.  
21A HABARZEL STREET,  
TEL AVIV, 69710,  
ISRAEL  
TEL: 972-3-6456262  
FAX: 972-3-6456222



Page 6 of 8

- Recommended procedure for customers who would like to downgrade from version 5.2 to previous released versions
  - 1) Download the operator defaults (CMR file)
  - 2) Downgrade from SW 5.2
  - 3) Load the operator defaults

This procedure will insure that the operator maintains the defaults settings inside the unit
- Sensitivity may change slightly as a function of frequency (+/-2dB).
- Transmission power accuracy is +/-1dB above 8dBm @ antenna port (typical condition). At lower levels the accuracy is +/-3dBm, never contradicting regulations. At very low levels the use of ATPC may cause significant fluctuations in the power level of the transmitted signal. When operating at such low levels, it is recommended to disable the ATPC Option in the RB and to set the Transmit Power parameter to the average Tx Power level before the ATPC was disabled.
- For full compliance with FCC regulations, the following requirements should be followed in units using a 20 MHz bandwidth:
  - In units HW Revision B, if you wish to include frequency channel 5270 MHz in the set of frequencies to be used, then the Transmit Power parameter in the BU, and the Maximum Tx Power parameter in the RB, should not be set to a value above "17-Antenna Gain". If there is a need to use a higher value for these parameters, this frequency should not be used.
  - In units with HW Revision C, if you wish to include one or more of frequency channels 5270, 5275 and 5330 MHz in the set of frequencies to be used, then the Transmit Power parameter in the BU, and the Maximum Tx Power parameter in the RB, should not be set to a value above "20-Antenna Gain". If there is a need to use a higher value for these parameters, this frequency should not be used.
- For full compliance with FCC regulations, the following requirements should be followed in units using a 40 MHz bandwidth (Turbo Mode):
  - In units with HW Revision B, Frequency channels 5270 and 5280 MHz should not be used.
  - In units with HW rev C, if you wish to include frequency channel 5290 MHz in the set of frequencies to be used, then the Transmit Power parameter in the BU, and the Maximum Tx Power parameter in the RB, should not be set to a value above "25-Antenna Gain". If there is a need to use

ALVARION LTD.  
 21A HABARZEL STREET,  
 TEL AVIV, 69710,  
 ISRAEL  
 TEL: 972-3-6456262  
 FAX: 972-3-6456222



Page 7 of 8

a higher value for these parameters, this frequency should not be used.

If you wish to include frequency channel 5310 MHz in the set of frequencies to be used, then the Transmit Power parameter in the BU, and the Maximum Tx Power parameter in the RB, should not be set to a value above "29-Antenna Gain. If there is a need to use a higher value for these parameters, this frequency should not be used.

- For full compliance with FCC regulations for units using 10 MHz bandwidth, frequency 5265 MHz should not be used. For these units, the Transmit Power parameter in the BU, and the Maximum Tx Power parameter in the RB connected to this BU, should not be set to a value above "25-Antenna Gain".
- The maximum Transmit Power (at antenna port) of units using FCC 5.3 GHz and FCC 5.4 GHz Country Codes is 9 dBm.
- In units with HW Revision B, Burst Mode cannot be activated when using WEP for data encryption. In units with HW Revision B, the Burst Mode option will be "blocked" upon trying to enable it when using WEP for data encryption. This limitation does not apply to units with HW Revision C. Note that the Burst Mode parameter may be wrongly displayed on HW Revision B units as Enabled instead of Blocked, when DFS or data encryption is activated. However the behavior of the Burst Mode is as expected (blocked).
- The character ";" (semicolon) is a reserved character. It should not be used in defining any string parameters (unit name, ESSID, etc) since the string will be cut before the semicolon.
- If you are using the Feature Upgrade option in Telnet to enter a license string using copy and paste operation, check carefully that the string is copied properly. You may have to enter it manually due to potential problems in performing copy/paste in Telnet.
- When an RB running SW version lower than 5.0 is associated with a BU running SW version 5.0:
  - A special warning messages might be displayed in the log file:
    - WRN: Unknown vendor private element code: 15
    - WRN: Unknown vendor private element code: 16
    - WRN: Unknown vendor private element code: 17
  - Parameters that are not included in the old ADB table will be either not available (unknown) or with wrong values.

ALVARION LTD.  
21A HABARZEL STREET,  
TEL AVIV, 69710,  
ISRAEL  
TEL: 972-3-6456262  
FAX: 972-3-6456222

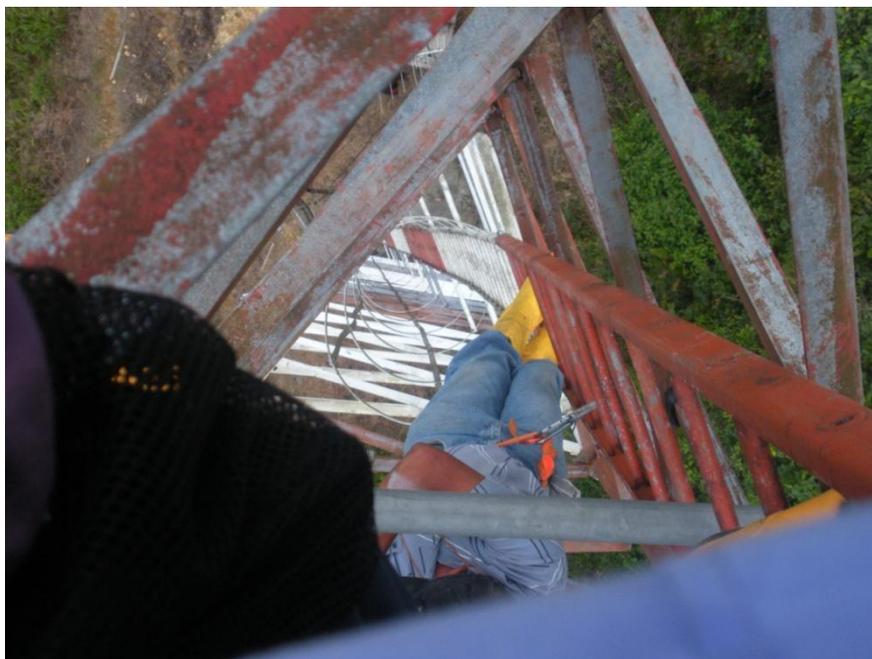


Page 8 of 8

- When DFS is enabled, "Pulse sensitivity" parameter, although configurable, is not significant. At this case an equivalent value of HIGH will be automatically assigned to this parameter.
- When using a 40MHz channel the maximum range of the link can be 27 km. For 20 MHz channels the maximum range is 54 km. When DFS option is activated (enabled), the Noise Floor Value cannot be greater than -90dBm.
- RSSI reading feature requires an on-filed calibration. Without this calibration the RSSI value read may have less accuracy (7-10dB). It is recommended to run the calibration at least once before using the RSSI readings.
- The RSSI calibration might fail in case of heavy interference present on more than 50% of the available RF channels.

## ANEXO 5

### Fotografías de la implementación del enlace.



*Fotografía del interior de la torre de Faisanes tomada desde arriba, se observa que el técnico usa arnés de seguridad y botas de punta de acero.*



*Fotografía de la antena antes de fijarla a la torre.*



***Fotografía de la unidad externa del radio sujeta a la torre.***

## ANEXO 6

### Ventajas

- El radio enlace VBE6–FAISANES-CHIGUILPE proporcionó el medio de comunicación para el control y monitoreo de la VBE6 desde lago agrio.
- Debido a las características del estándar 802.16, fue posible la transmisión de video en el enlace para la VBE6
- Los enlaces se desarrollan en áreas rurales por lo que no existe una cantidad considerable de usuarios en la misma banda.

### DESVENTAJAS

- Los enlaces fueron diseñados en una banda de frecuencia no licenciada por lo que en un futuro podría existir interferencias.
- El estudio realizado estuvo sujeto los recursos existentes en Petroecuador.