

## **CAPITULO 4**

### **DISEÑO DE LOS RADIO ENLACES**

#### **ESTUDIO DE CAMPO**

En este trabajo de investigación es indispensable considerar primeramente un estudio de campo de toda la red IP instalada en la frontera norte, para tener un conocimiento más cercano a la realidad que se vive, por ello, se me a permitido ser parte de una visita con los técnicos de la empresa que materializo esta red IP, con el personal del COMACO y de la DISICOM de la FT., e aquí la importancia de esta gira técnica, puesto que la misma esta dirigida por estas personas especialistas en la materia, facilitando el enriquecimiento de los conocimientos prácticos que permite empaparme con facilidad de las bondades de esta red IP.

Luego de haber palpado la realidad de la situación de la Red IP, me dado cuenta que es necesario analizar las condiciones del área de interés que involucra la parte de telecomunicaciones y de obra civil de lo que queda del antiguo sistema MODE ubicados en Limoncocha y Pañacocha que son los lugares de preocupación puesto que han estado sus instalaciones descuidadas por algún tiempo.

Por el hecho de estas estaciones no estar operables, han sido maltratadas por la inclemencia del tiempo tanto en las torres como en las casetas, por lo que

---

necesitan un buen mantenimiento preventivo antes de cualquier restablecimiento de los enlaces en este sector.

La parte mas afectada es la torre de Limoncocha, que al momento se encuentra desviada a la altura de los 80 metros, como se indica en la figura 4.1, puesto que los templadores de la torre por falta de mantenimiento fueron alcanzadas por unas trepadoras que causo este problema. En las torres de Limoncocha y Pañacocha lo único que esta en funcionamiento son las balizas, por efecto de seguridad de las aeronaves que transitan por el sector.



**Figura. 4.1.** Torre desviada de Limoncocha.

La base de todo este trabajo son las simulaciones en el Software sirennet, por lo que hay que considerar con certeza las coordenadas geográficas de las ubicaciones de las torres, la altura de las mismas, el tipo de infraestructura utilizada, en que condiciones se encuentra, con que energía esta alimentada, entre otras cosas. Para una mejor comprensión es importante detallar todas las estaciones de la

red IP con sus respectivas coordenadas tanto en longitud como en latitud como indica la tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Estaciones de la red IP de la frontera Nororiental

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	TORRES		ENERGÍA
			TIPO	ALT.m	
LUMBAQUI	00° 00' 30" N	77° 19' 19" W	AUTOSOP.	45	PUB/SOL
STA.CECILIA	00° 04' 01,4" N	76° 59' 42" W	AUTOSOP	45	PUB/SOL
LAGO AGRIO	00° 04' 51" N	76° 52' 27" W	TENSOR.	115	PUB/SOL
ALA- 31	00° 05' 27,5" N	76° 52' 09,5"W	TENSOR.	20	PUB/SOL
COOPER	00° 04' 06,4" N	76° 34' 58" W	TENSOR.	115	PUB/SOL
SHUSHUFIND	00° 11' 48,5" S	76° 38' 41" W	AUTOSOP.	50	PUB/SOL
SANSAHUARI	00° 08' 42" N	76° 15' 55" W	TENSOR.	115	SOLAR
PUTUMAYO	00° 07' 03" N	75° 51' 25,3"W	TENSOR.	120	PUB/SOL
NVO. PANUPALI	00° 07' 27" S	75° 37' 15,5"W	TENSOR.	150	SOLAR
ZANCUDO	00° 33' 29" S	75° 28' 51,5 W	TENSOR.	150	SOLAR
TIPUTINI	00° 47' 01" S	75° 31' 45" W	TENSOR.	100	PUB/SOL
NVO. ROCAFUERT	00° 55' 14,5" S	75° 23' 57,2"W	TENSOR.	80	PUB/SOL
COCA	00° 28' 45,1" S	76° 58' 22,4"W	AUTOSOP.	45	PUB/SOL
SHANGRILA	00° 27' 58,7" S	76° 54' 31,6"W	TENSOR.	80	PUB/SOL
LIMONCOCH	00° 24' 29,5" S	76° 37' 16,5"W	TENSOR.	100	SOLAR
PAÑACOCHA	00° 27' 05,1" S	76° 04' 13,8"W	TENSOR.	100	SOLAR

## 1. Especificaciones técnicas de la zona de influencia

Las especificaciones técnicas de las estaciones que se encuentran en la zona de influencia, tales como el subcentro de mantenimiento Coca, Shangrila, Limoncocha, Pañacocha, Zancudo y Tiputini, se encuentran detalladas en las tablas 4.2, 4.3 y 4.4.

**a. Especificaciones técnicas del Coca y Shangrila**

**Tabla 4.2.** Especificaciones técnicas del Coca y Shangrila

ORD	PARÁMETROS	SME-COCA	SHANGRILA
1	CONDICIONES FÍSICAS DE LA TORRE	Buen estado	Buen estado
2	ANTENAS INSTALADAS EN LA TORRE	Mode tipo tambor	Solo Mode
3	CONDICIONES DE TIERRA DE LA TORRE	0,45 ohm.	0,60 ohm
4	DISTANCIA TORRES-CASETA EQUIPOS	30 m	3 m
5	CONDICIONES FÍSICAS DE LA CASETA	Buen estado	Buen estado
6	CONDICIONES ELÉCTRICAS	Publica regular/grupo electrógeno	Publica regular/Solar buen estado
7	TIPOS DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS	Brakers 10A	No tiene
8	DISPONIBILIDAD DE UPS	Banco de baterías	No tiene
9	ALTURA NIVEL-MAR	260 m	260 m
10	CONDICIONES DE TIERRA DE LA CASETA	0,45 ohm.	Buen estado
11	UNIÓN SISTEMAS DE TIERRAS CASETA-TORRE	SI	Si
12	PANELES SOLARES	NO	Fotovoltaico M75L A-1000 W/m <sup>2</sup> 25 C Potencia Nominal 47 W ISOFOTON
13	BATERÍAS	SI	Si

14	EQUIPOS ELÉCTRICOS INSTALADOS	SISTEMA MODE	No tiene
15	DISTANCIA A LA RED ELÉCTRICA PUBLICA	EN EL SME-COCA	En la estación
16	VÍAS DE ACCESO	BUEN ESTADO	Buen estado
17	UNIDAD MILITAR	SME-COCA	Base de entrenamiento.

### b. Especificaciones técnicas de Limoncocha y Pañacocha

Tabla 4.3. Especificaciones técnicas Limoncocha y Pañacocha

ORD.	PARÁMETROS	LIMONCOCHA	PAÑACOCCHA
1	CONDICIONES FÍSICAS DE LA TORRE	Torre en mal estado, desviada a los 80 mts	Torre y obra civil en mal estado
2	ANTENAS INSTALADAS EN LA TORRE	2 antenas sistema mode antiguo	2 antenas del sistema del mode antiguo
3	CONDICIONES DE TIERRA DE LA TORRE	1,5 ohm	0,60 ohm
4	DISTANCIA TORRES-CASETA EQUIPOS	2,20 m	2,20 m
5	CONDICIONES FÍSICAS DE LA CASETA	Buen estado, falta vidrios y puertas	Mal estado, falta vidrios, puertas y h una hoja de eternit
6	CONDICIONES ELECTRICAS	Solo para balizas	Solo para balizas
7	PROTECCIONES ELECTRICAS	No tiene	No tiene
8	DISPONIBILIDAD DE UPS	No tiene	No tiene
9	ALTURA NIVEL-MAR	265 m	225 m
10	CONDICIONES DEL SISTEMA DE TIERRA DE LA CASETA	Mal estado	Mal estado
11	UNION SISTEMAS DE TIERRAS CASETA-TORRE	Si	Si

12	PANLES SOLARES	fotovoltaico M75L A-1000 W/m2 25 C Potencia Nominal 47 W ISO FOTON	fotovoltaico M75L A-1000 W/m2 25 C Potencia Nominal 47 W ISO FOTON
13	BATERIAS	4 baterias 12V 24 AH	4 baterias 12V 115 AH
14	DISTANCIA A LA RED ELECTRICA PUBLICA	A 500 m	A 50 m
15	VIAS DE ACCESO	Buen estado	Fluvial, 5 horas del Coca
16	AUNIDAD MILITAR	Dmto militar a 1Km.	No existe

**c. Especificaciones técnicas de Zancudo y Tiputini**

Tabla 4.4. Especificaciones técnicas de Zancudo y Tiputini

ORD.	PARAMETROS	TIPUTINI	ZANCUDO
1	CONDICIONES FISICAS DE LA TORRE	Tensores obstruidos con árboles	Tensores destemplados
2	ANTENAS INSTALADAS EN LA TORRE	4 antenas del mode antiguo	2 tipo grilla
3	CONDICIONES DE TIERRA DE LA TORRE	0,4 ohm	0,4 ohm
4	DISTANCIA TORRES-CASETA EQUIPOS	2,20 m	2,20 m
5	CONDICIONES FISICAS DE LA CASETA	Buen estado	Buen estado
6	TIPOS DE PROTECCIONES ELECTRICAS	Brakers 10A	Brakers 10A
7	DISPONIBILIDAD DE UPS	No tiene	No tiene
8	ALTURA NIVEL-MAR	225 m	219 m
9	CONDICIONES DEL SISTEMA DE TIERRA DE LA CASETA	Buen estado	Buen estado
10	UNION SISTEMAS DE TIERRAS CASETA-TORRE	Si	Si

11	PANLES SOLARES	fotovoltaico M75L A-1000 W/m <sup>2</sup> 25 C Potencia Nominal 47 W ISOFOTON	fotovoltaico M75L A-1000 W/m <sup>2</sup> 25 C Potencia Nominal 47 W ISOFOTON
12	BATERIAS	24 baterias 2V 800 AH	24 baterias 2V 800 AH
13	EQUIPOS ELECTRICOS INSTALADOS	No tiene	No tiene
14	DISTANCIA A LA RED ELECTRICA PUBLICA	A 30 mtr	No existe
15	VIAS DE ACCESO	Fluvial, 10 horas del Coca	Fluvial, 18 horas del Coca
16	EXISTE DMTO MILITAR	BS- 57 Tiputini	Dmto Zancudo

Con toda esta información como base fundamental para empezar el diseño se procede a analizar los posibles enlaces, considerando que el ramal que se encuentra en condiciones de interconectarse es el de Shangrila que parte del sistema PDH que llega desde el Coca.

## 2. TRAMOS DEL ENLACE

Los tramos que se están empleando en el diseño de los enlaces para cerrar el anillo de la red IP de la frontera Norte son desde Shangrila a Limoncocha como el primer enlace, desde Limoncocha a pañacocha como un segundo enlace, desde pañacocha a Tiputini como un tercer enlace, si no se tuviera ningún problema en las alturas, caso contrario se probaría otras alternativas.

El propósito es fortalecer la red IP a través de la unión de estos tramos aprovechando las torres del antiguo MODE analógico del COMACO, las que geográficamente se encuentran ubicadas de acuerdo a las coordenadas especificadas en la tabla 4.1. Cabe mencionar que estas coordenadas y las alturas de las cotas sobre el nivel del mar fueron tomadas con tres GPSs, de diferentes



marcas, lo que nos permite indicar que son unos datos confiables o al menos son apegados a la realidad.

Como se puede notar estas torres antes mencionadas escogidas para realizar los radio enlaces digitales se encuentran materializadas actualmente y esto constituye una gran ventaja desde el punto de vista económico, puesto que ya existe la mayoría de la infraestructura necesaria, únicamente se consideraran los costos de mantenimiento de las torres y algo de las instalaciones de obra civil, presentando grandes facilidades para su futuro desarrollo.

En cuanto a los valores razonables de  $K$ , se considera que su valor no siempre es constante, depende de las condiciones atmosféricas. De resultados experimentales se obtuvo variaciones de  $K$ . Estas variaciones dependen de la latitud pero permanecen constantes variando la longitud. Se conoce también que  $K$  varia en las diferentes estaciones climáticas de donde se conoce que es mayor en el verano que en el invierno [15].

- En zona fría:
- En zona templada o tropical:

Considerando la curvatura del haz radioeléctrico la trayectoria de  $K=4/3$  constituye un punto medio entre estos dos extremos, por lo que este valor se va a tomar en cuenta para las simulaciones de este trabajo de investigación.

La frecuencia a ser utilizada en estos enlaces son de 5,8 Giga hercios (GHz), diferentes a la de los enlaces materializados de la red IP que oscilan entre los 2,39 GHz hasta los 2,4GHz, con una portadora de 20 MHz.

---

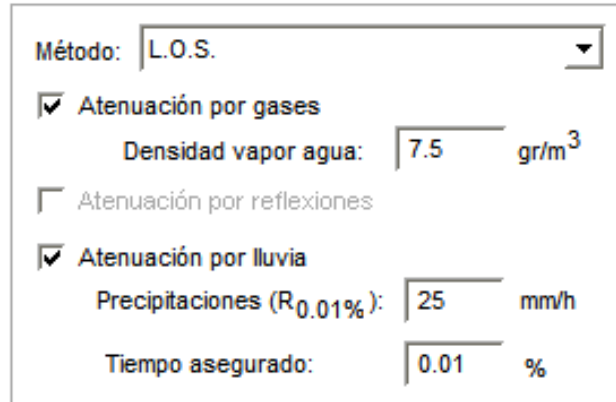
Para el diseño de los enlaces se analizarán dos alternativas. La alternativa “A” que inician los enlaces desde Shangrila, Limoncocha, Pañacocha y Tiputini, mientras que la alternativa “B” los enlaces serán analizados partiendo igualmente de Shangrila, Limoncocha, Pañacocha, Zancudo y Nuevo Rocafuerte.

## **1. Alternativa “A”**

### **a. Tramo Shangrila - Limoncocha.**

Este enlace aparentemente es el más corto de todos los enlaces, tiene una excelente línea de vista por lo que el método de cálculo para la simulación del perfil se lo realiza con el método L.O.S, como se nota claramente en el cuadro de información de todas las gráficas de este tramo.

Conocedores de las condiciones climáticas del sector donde esta materializada la red IP, es importante considerar en todas las simulaciones los factores de atenuación por gases y la atenuación por lluvia como indica la figura 4.2. Estos factores afectan directamente a la potencia de recepción de acuerdo a la distancia del enlace. Por ejemplo la potencia de recepción de la figura 4.5 es de -46,2527 dBm en condiciones normales, mientras que con los factores de atenuación como indica la figura 4.6 es de -47,954 dBm, por lo que tiene una pérdida de 1,7013 dB que se debe considerar de aquí en adelante en todos los enlaces para acercarse a la realidad.



The image shows a software configuration window with the following settings:

- Método: L.O.S.
- Atenuación por gases
  - Densidad vapor agua: 7.5 gr/m<sup>3</sup>
- Atenuación por reflexiones
- Atenuación por lluvia
  - Precipitaciones (R<sub>0.01%</sub>): 25 mm/h
  - Tiempo asegurado: 0.01 %

Figura. 4.2. Factores de atenuación por gases y lluvia.

Es de gran importancia también tomar en cuenta los parámetros de los equipos que se va a transmitir la información, por esta razón se considera la velocidad y la modulación de los equipos que se desean utilizar en este proyecto.

Considerando los avances tecnológicos cabe indicar las bondades de la modulación dinámica, es decir, el equipo se adapta a la situación en donde se este empleando en las diferentes modulaciones que pueden estar desde los estándares de la modulación BPSK hasta la modulación QAM sin afectar en los niveles de recepción como mas adelante se demuestra.

Si simulamos con una modulación de QAM-128 con una velocidad de 300 Mbps, en las mejores condiciones se tiene una potencia de recepción de -47,954 dBm, mientras que simulamos con la misma modulación y con una velocidad de 10 Mbps, no varia la potencia de recepción como se indica el las figuras 4.6 y 4.7.

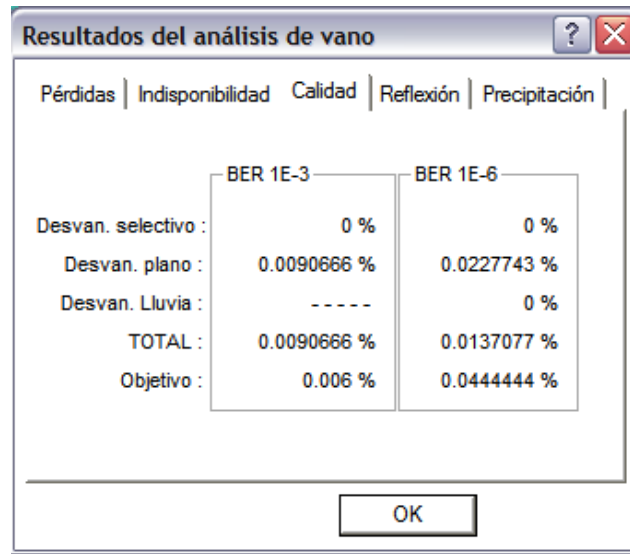
Se muestra también los resultados con las modulaciones 4-PSK y BPSK, con velocidades de 10 Mbps hasta 300 Mbps, donde el nivel de recepción es el mismo

---

de las anteriores simulaciones, es decir continua siendo de de  $-47,954$  dBm, como se indica en las figuras 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11.

De igual forma se ha realizado un análisis por simulación del vano de este enlace, con el propósito de constatar la calidad del mismo, variando las modulaciones y velocidades de transmisión utilizadas en el proceso mostrado anteriormente para la verificación de la potencia de recepción, como muestra la Fig. 4.3. Los resultados obtenidos fueron todos los mismos, es decir, la probabilidad de desvanecimiento tanto con modulación QAM y BPSK son iguales, inclusive variando sus velocidades desde 100Mbps hasta 300Mbps.

La probabilidad de desvanecimiento total para un  $BER 10^{-6}$  es de 0,0137077%, mientras que para un  $BER 10^{-3}$  es de 0,0090666%, lo que quiere decir que en una transmisión de información de un millón de bits el porcentaje de error o bits posibles errados que lleguen al receptor será de 0,0137077%. y así respectivamente con el  $BER 10^{-3}$  .



The screenshot shows a window titled "Resultados del análisis de vano" with a menu bar containing "Pérdidas", "Indisponibilidad", "Calidad", "Reflexión", and "Precipitación". The main content area displays a table of Bit Error Rate (BER) results. The table has two columns: "BER 1E-3" and "BER 1E-6". The rows represent different types of fading: "Desvan. selectivo", "Desvan. plano", "Desvan. Lluvia", "TOTAL", and "Objetivo". The values are percentages. An "OK" button is located at the bottom of the window.

	BER 1E-3	BER 1E-6
Desvan. selectivo :	0 %	0 %
Desvan. plano :	0.0090666 %	0.0227743 %
Desvan. Lluvia :	-----	0 %
TOTAL :	0.0090666 %	0.0137077 %
Objetivo :	0.006 %	0.0444444 %

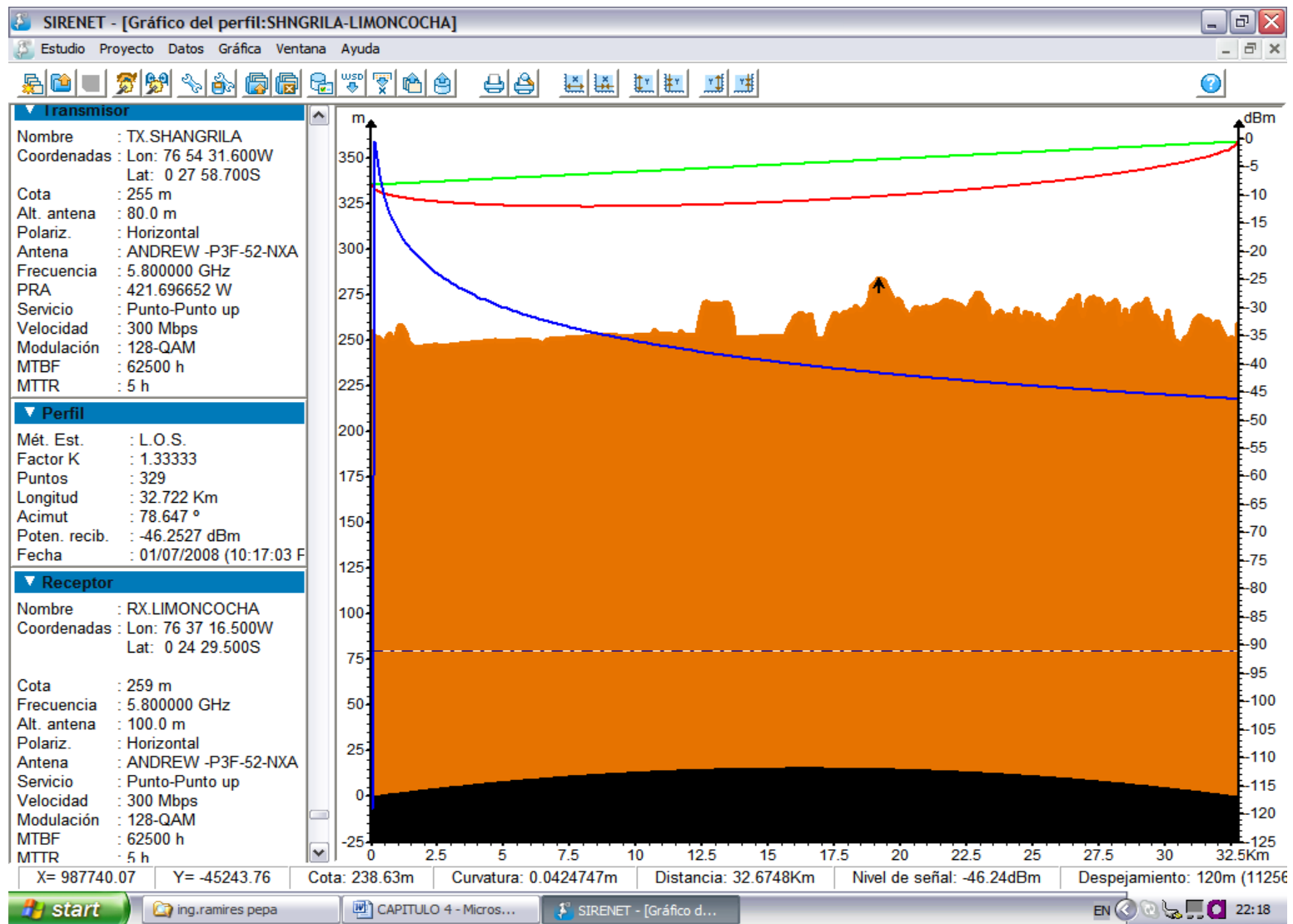
**Figura. 4.3.** Probabilidad de desvanecimiento

Estos análisis realizados confirman que la potencia de recepción y la probabilidad de desvanecimiento no varían, por lo que garantizan el enlace con un equipo que tenga las características de modulación dinámica.

En cuanto a las graficas que son efecto de análisis es importante indicar que los resultados son expresados a través de colores como se indica en la Fig.4.4.



**Figura. 4.4.** Grafica para interpretar un perfil.



**Figura. 4.5.** Shangrila Limoncocha a 300Mbps y 128-QAM, en condiciones normales



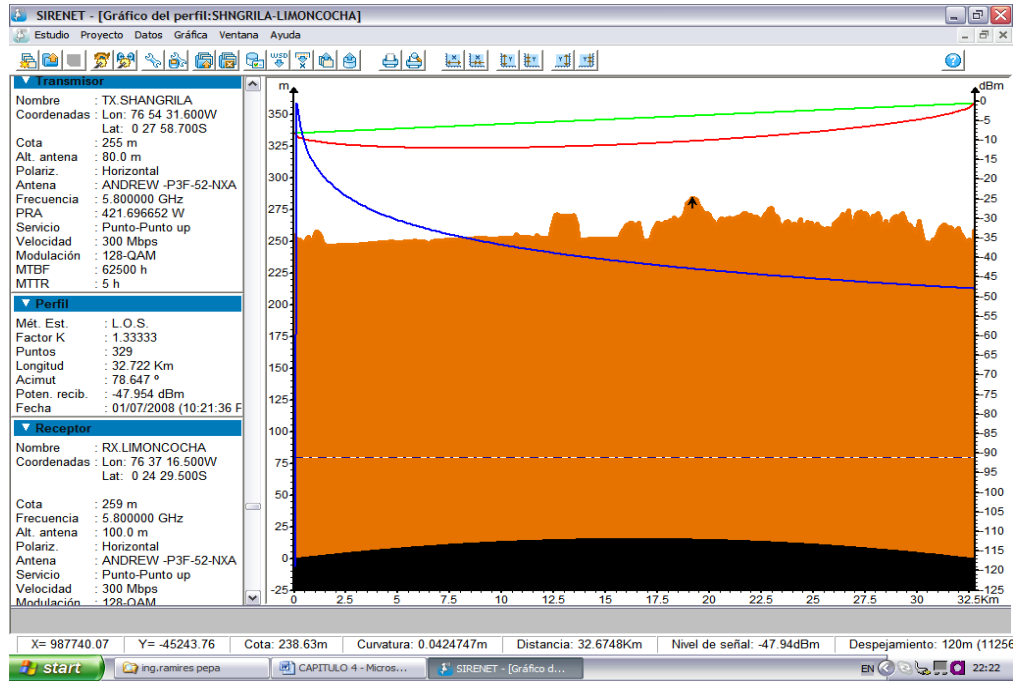


Figura. 4.6. Shangrila Limoncocha a 300Mbps y 128-QAM, con atenuación por gases - lluvia

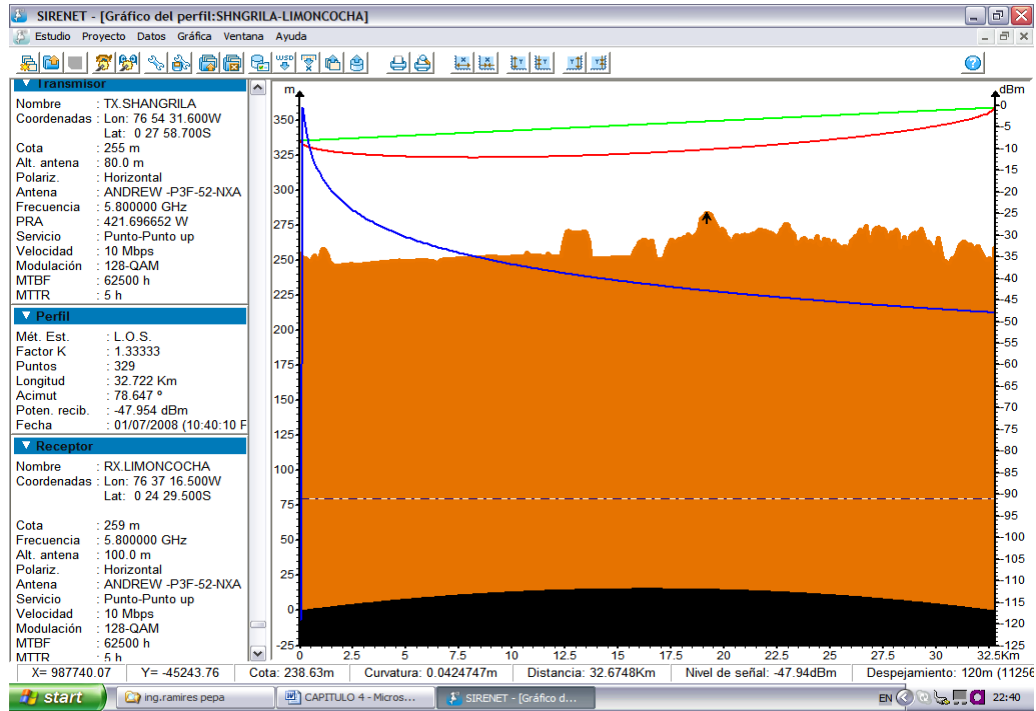


Figura. 4.7. Shangrila Limoncocha a 10Mbps y 128-QAM

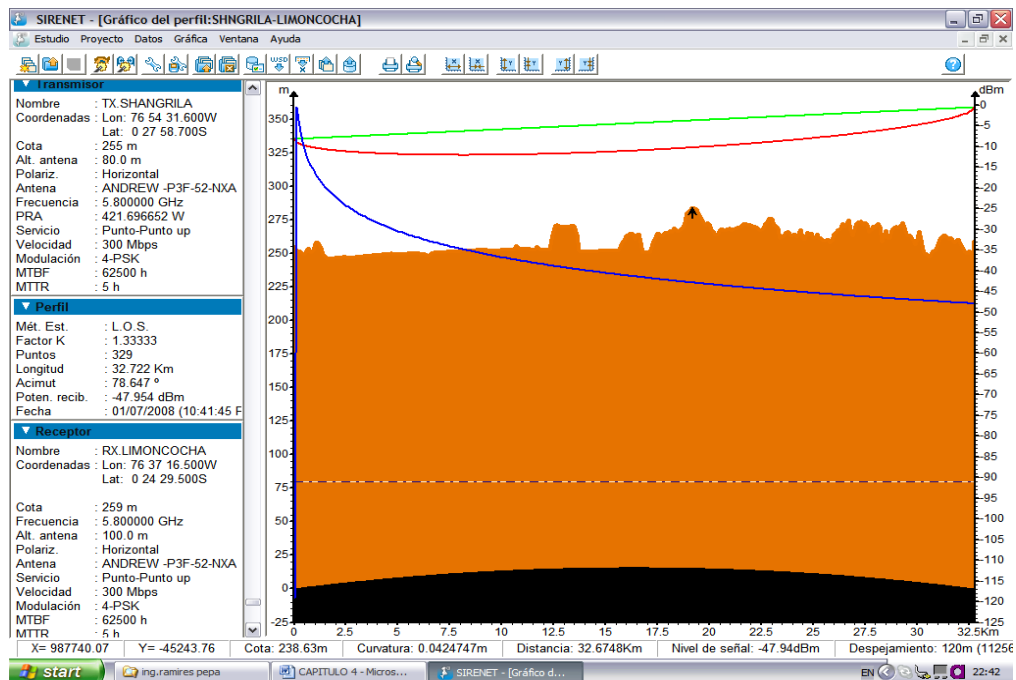


Figura. 4.8. Shangrila Limoncocha a 300Mbps y 4-PSK

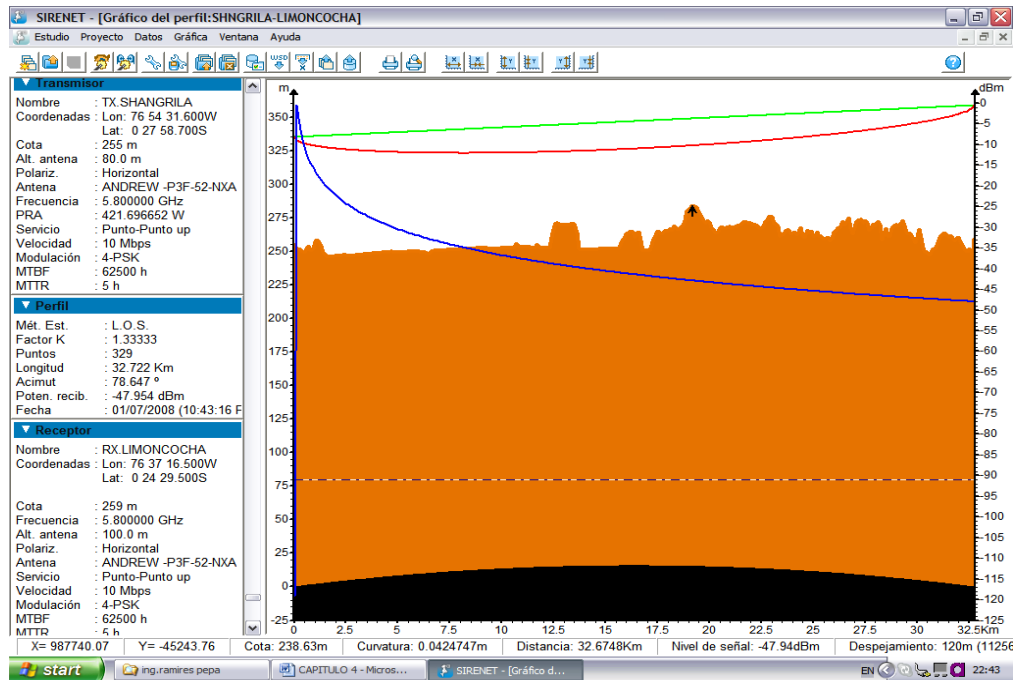


Figura. 4.9. Shangrila Limoncocha a 10Mbps y 4-PSK

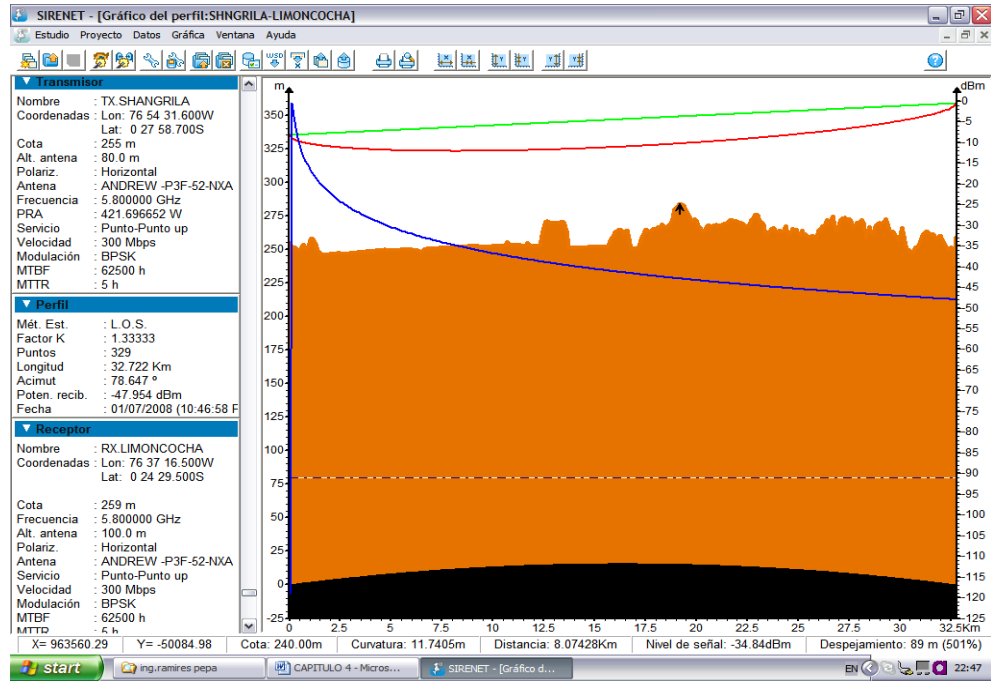


Figura. 4.10. Shangrila Limoncocha a 300Mbps y BPSK

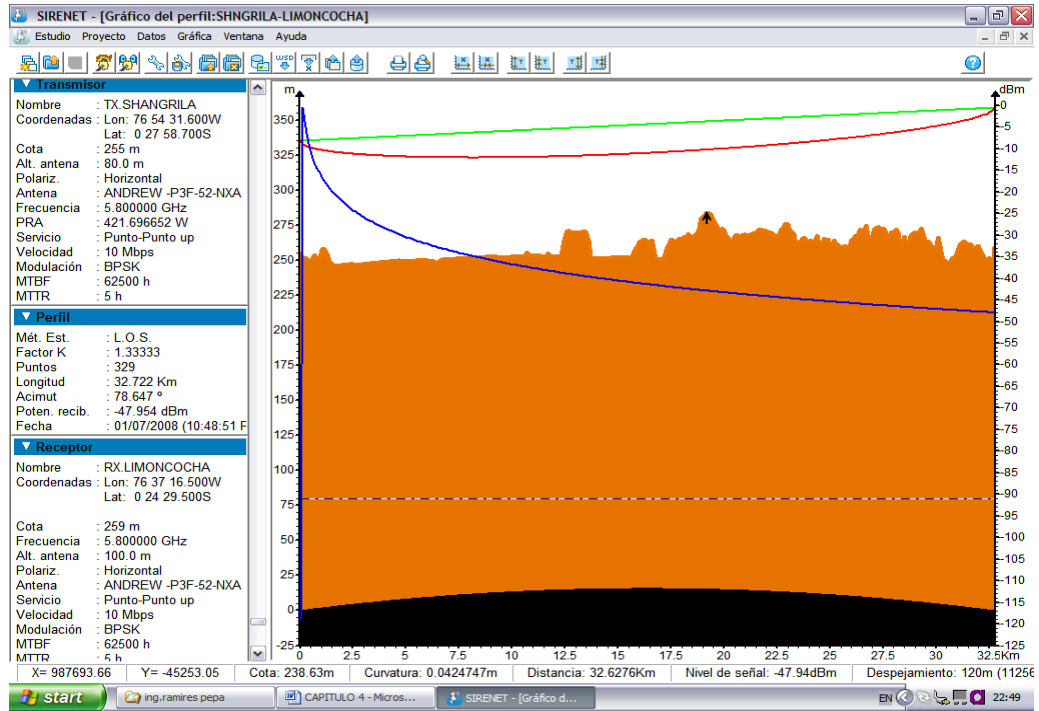


Figura. 4.11. Shangrila Limoncocha a 10Mbps y BPSK

**Tabla. 4.5.** Parámetros Técnicos del enlace Shangrila - Limoncocha.

Parámetro	Shangrila	Limoncocha
Latitud	00° 27' 58.7" S	00° 24' 29.5" S
Longitud	76° 54' 31.6" W	76° 37' 16.5" W
Altura de las torres	80 m	100 m
Ganancia de las Antenas	33,4 dBi	33,4 dBi
Áng. de Azimut	78,647°	258,647°
Frecuencia	5800 MHz	
PIRE	58,4 dBm	
Potencia de transmisión	25 dBm	
Nivel de recepción	-47,954 dBm	
Umbral de recepción (U)	- 91 dBm	
Atenuación por lluvia	1,428166 dB	
Atenuación por gases	0,273218 dB	
Perdidas en el espacio libre	138,015374 dB	
Perdida total del enlace	139,716758	
Margen de desvanecimiento	43,043 dB	
Distancia del enlace	32,722 Km.	

Los valores obtenidos en las simulaciones anteriores son detallaron en la Tab. 4.5. Para verificar estos valores, se han realizado los respectivos cálculos matemáticos que a continuación son presentados:

#### a.1 Cálculo de la longitud del tramo Shangrila Limoncocha (D)

(4.1)

**a.2 Pérdidas de espacio libre del tramo Shangrila-Limoncocha ( $L_e$ )**

(4.2)

La pérdida total del enlace ( $L_t$ )

(4.3)

**a.3 Potencia de recepción ( $P_r$ )**

(4.4)

**a.4 Margen de desvanecimiento (MF)**

(4.5)



### **a.5 La disponibilidad (C)**

(4.6)

Estos resultados de disponibilidad permiten confirmar la confiabilidad del primer enlace, al menos en la parte teórica que es el punto de partida para materializar el mismo a futuro. Los cálculos analíticos son muy semejantes a los que ha arrojado las simulaciones, por lo que se puede afirmar que este software si tienen un alto grado de confiabilidad.

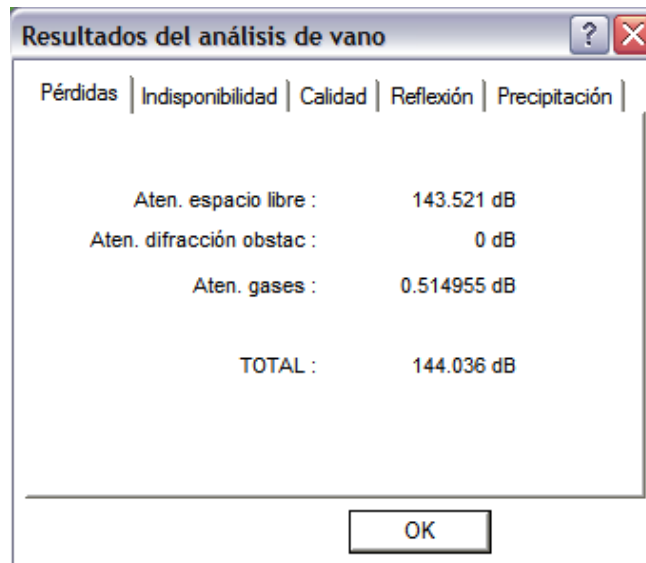
### **b. Tramo Limoncocha - Pañacocha**

Este tramo, es el segundo enlace, será realizado utilizando también el método de Línea de Vista (L.O.S), como indica la figura 4.13, considerando que la primera zona de fresnel esta libre, con la diferencia del primer enlace que este enlace tiene mayor distancia.

De igual manera como en el caso anterior se a simulado con modulaciones que oscilan desde QAM-128 con una velocidad de 300 Mbps hasta con la modulación BPSK con velocidades de 10Kbps, teniendo como resultado una potencia de recepción constante de -54,0495 dBm como se indica el las figuras 4.14 y 4.15, para QAM y BPSK, respectivamente.

Para obtener los resultados de las atenuaciones de gases y la atenuación en el espacio libre, es indispensable realizar el análisis del vano del enlace, por lo que se pudo confirmar que estas perdidas son directamente proporcionales a la distancia

del enlace, comparado con el enlace anterior es mucho mayor la atenuación, como indica la figura 4.12.



**Figura. 4.12.** Atenuación en el espacio libre y por gases.

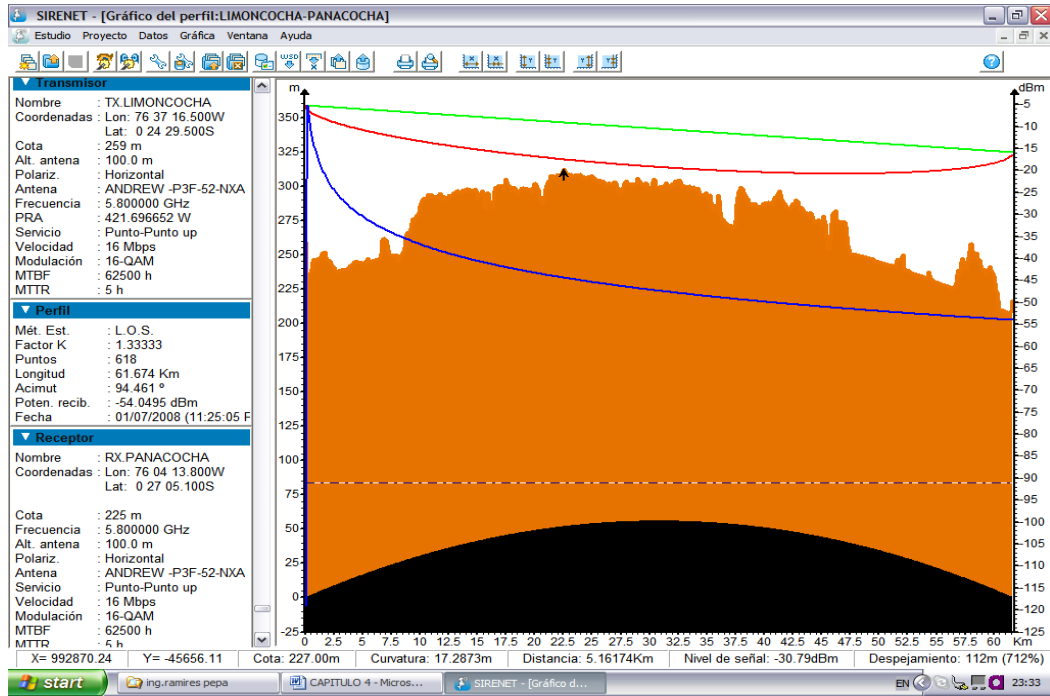


Figura. 4.13. Limoncocha Pañacocha con el método de línea de vista

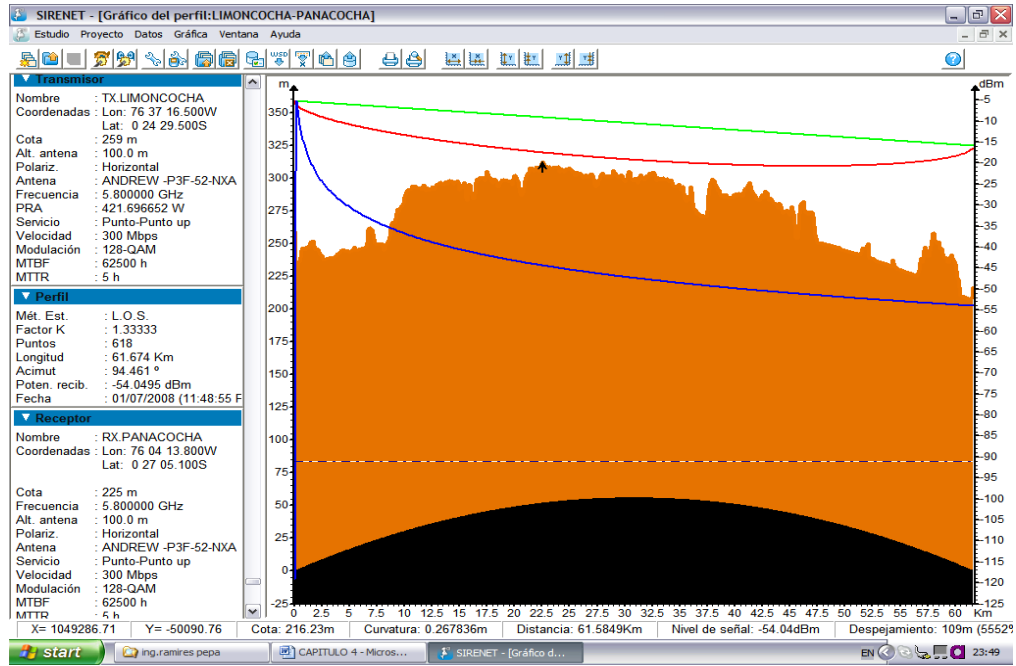


Figura. 4.14. Limoncocha Pañacocha a 300Mbps y 128-QAM

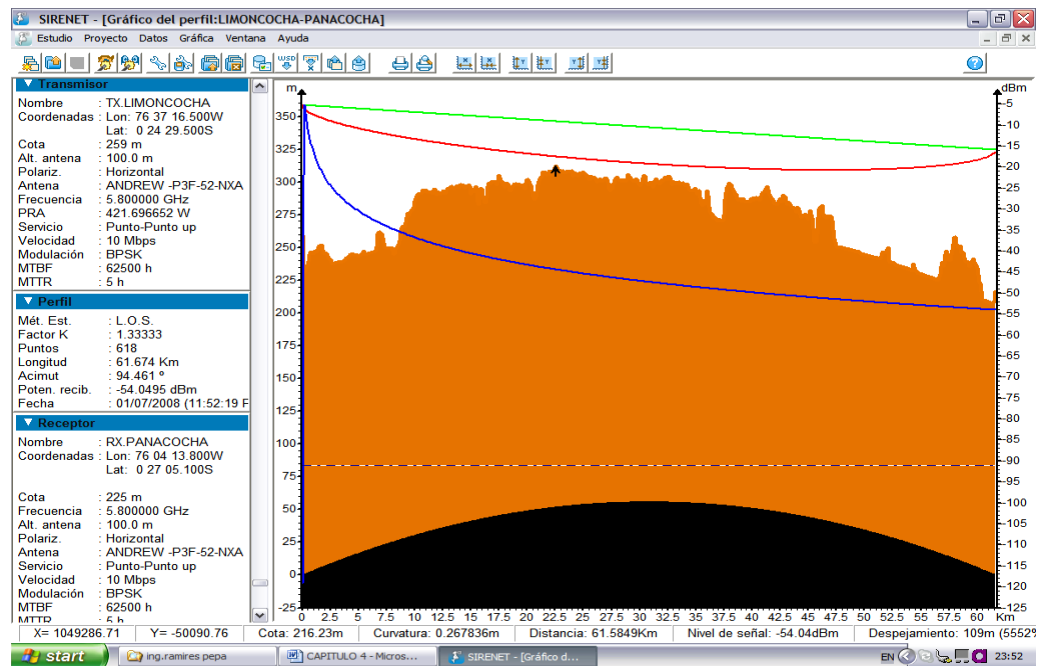


Figura. 4.15. Limoncocha Panacocho a 10Mbps y BPSK

**Tabla. 4.6.** Parámetros Técnicos del enlace Limoncocha - Pañacocha.

<b>Parámetro</b>	<b>Limoncocha</b>	<b>Pañacocha</b>
Latitud	00° 24' 29.5" S	00° 27' 05.1" S
Longitud	76° 37' 16.5" W	76° 04' 13.8" W
Altura de las torres	100 m	100 m
Ganancia de las Antenas	33,4 dBi	33,4 dBi
Áng. de Azimut	94,461°	274,461°
Frecuencia	5800 MHz	
PIRE	58,4 dBm	
Potencia de transmisión	25 dBm	
Nivel de recepción	-54,0495 dBm	
Umbral de recepción (U)	- 91 dBm	
Atenuación por lluvia	1,78273 dB	
Atenuación por gases	0,514955 dB	
Perdidas en el espacio libre	143,521 dB	
Perdida total del enlace	145,818685 dB	
Margen de desvanecimiento	36,9505 dB	
Distancia del enlace	61,674 Km.	

Los valores obtenidos en las simulaciones anteriores son detallaron en la Tab. 4.6. Para verificar estos valores, se han realizado los respectivos cálculos matemáticos que a continuación son presentados:

#### **b.1 Cálculo de la longitud del tramo Limoncocha Pañacocha (D)**

(4.1)

**b.2 Pérdidas de espacio libre del tramo Limoncocha Pañacocha ( $L_e$ )**

(4.2)

La pérdida total del enlace ( $L_t$ )

(4.3)

**a.3 Potencia de recepción ( $P_r$ )**

(4.4)

**a.4 Margen de desvanecimiento (MF)**

---

(4.5)

### **a.5 La disponibilidad (C)**

(4.6)

Estos resultados de disponibilidad permiten confirmar la confiabilidad del segundo enlace, al menos en la parte teórica que es el punto de partida para materializar el mismo a futuro. Este resultado nos indica que mientras mayor es el margen de desvanecimiento del enlace la confiabilidad del sistema va ser mejor, es decir, el margen de desvanecimiento es directamente proporcional con la confiabilidad.

### **c. Tramo Pañacocha - Tiputini**

Este enlace es considerado como el mas largo, aproximadamente tiene 71 Km, por esta es la razón son usados para las simulaciones equipos con un PIRE (Potencia Irradiada de radio efectiva) de 58,4 dBm, es decir, con una potencia de transmisión de radio de 25 dBm y con una antena con una ganancia de 33,4 dBi, sumando el alcance teórico de 200 Km, esto se aplicara con mas detalles en el próximo capítulo.

En cuanto al análisis de la potencia de recepción con las diferentes tecnologías de modulación, una vez más se demuestra que no varia, en este caso es de -55,3784 dBm en todos los casos como se ve en las figuras 4.16.



Finalmente se justifica el porque se a empleado una frecuencia de trabajo alta en este proyecto, que en este caso es de 5.8 GHz, porque mientras la frecuencia es alta la zona de fresnel se acorta, considero que es un factor muy interesante, conociendo la altura de las torres que se desea utilizar tienen limitaciones.

Para demostrar lo indicado anteriormente se a realizado una simulación con las mismas características de todas las simulaciones que se han venido haciendo pero con una frecuencia mas baja, en este caso con 2.4 GHz, el resultado obtenido es interesante puesto la primera zona de fresnel tiene una obstrucción de aproximadamente un 40% como se nota claramente en la figura 4.17.

Se puede también apreciar la potencia de recepción y al comparar con la potencia recibida en la figura 4.16, (trabajando con una frecuencia de 5.8 GHz), se tiene como resultado una diferencia de 9,5617 dBm.

Estos análisis nos permiten comprobar la gran importancia de la utilización de la frecuencia en los enlaces y concluir que a frecuencias de trabajo altas la zona de fresnel se reduce, pero perdemos en potencia de recepción, lo que es interesante considerar para tomar decisiones oportunas y acertadas.

Finalmente a través del análisis de perfiles de los enlaces se han podido conocer valores de potencia de Tx y Rx, distancias, acimut, entre otras cosas, pero no se han podido conocer la atenuación en el espacio, la indisponibilidad del enlace, calidad del enlace, atenuaciones por lluvia y por gases, inclusive el tipo y trayecto del enlace. El análisis del vano de un enlace nos permite complementar la información básica del análisis de un perfil como se ve en las figuras 4.18.

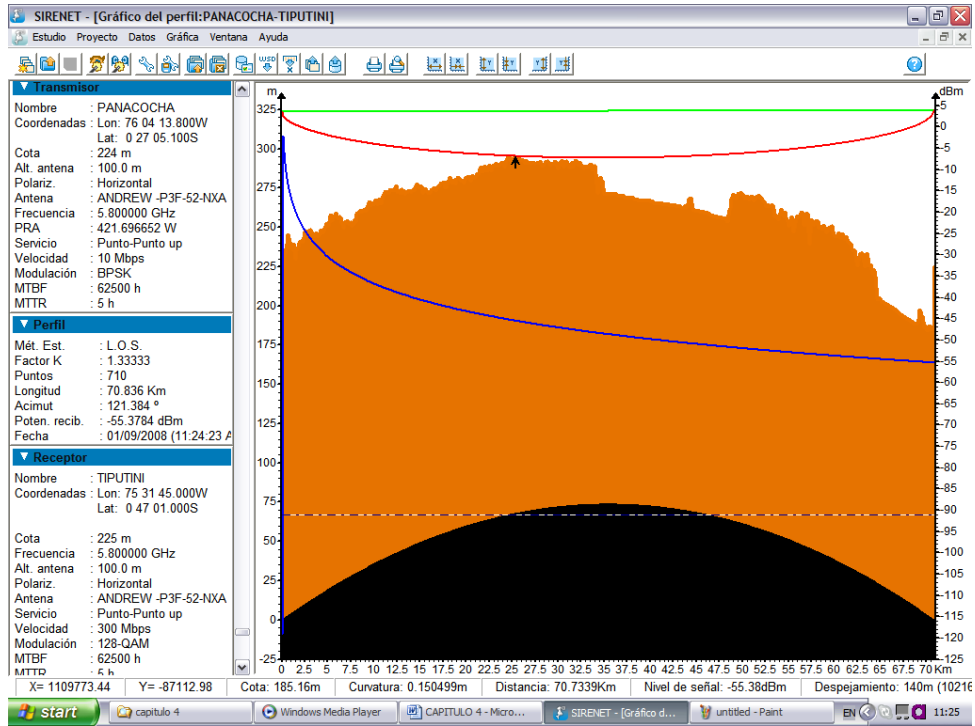


Figura. 4.16. Panacocha Tiputini a 10Mbps y BPSK

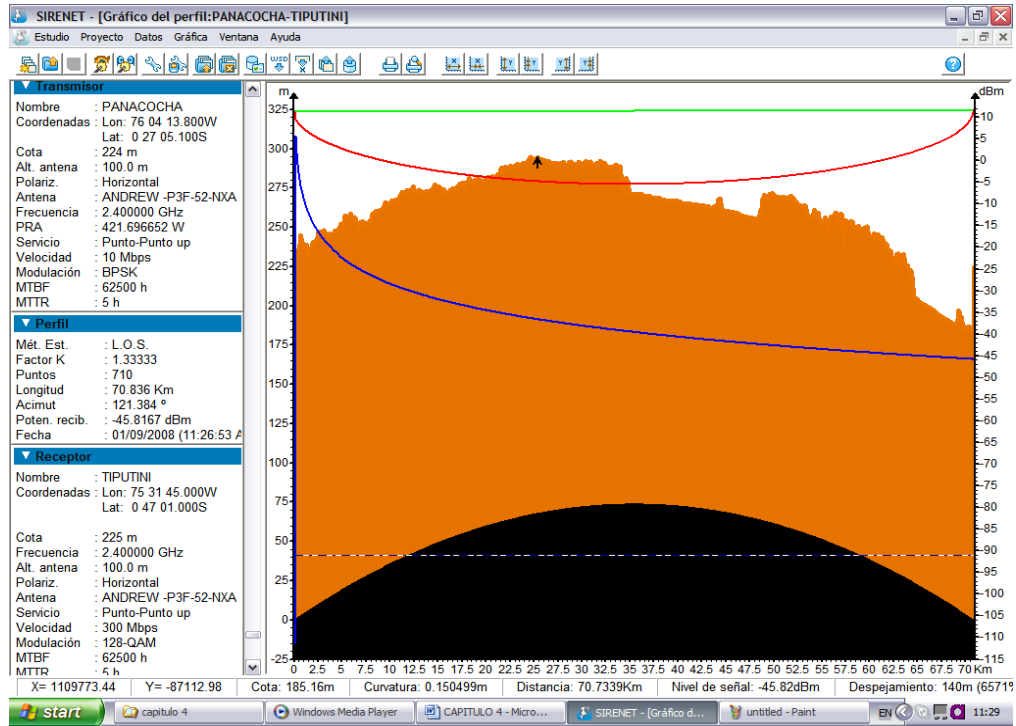


Figura. 4.17. Pañacocha Tiputini con una frecuencia de 2.4 GHz

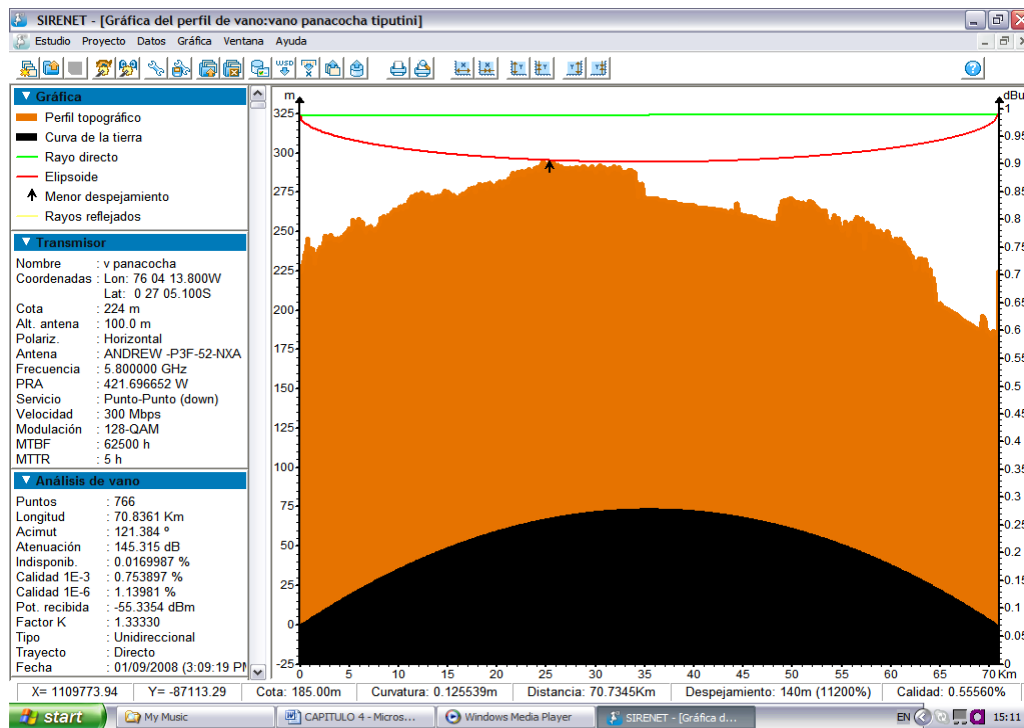


Figura. 4.18. Análisis del vano Panacocha - Tiputini

**Tabla. 4.7.** Parámetros Técnicos del enlace Pañacocha - Tiputini.

<b>Parámetro</b>	<b>Pañacocha</b>	<b>Tiputini</b>
Latitud	00° 27' 05.1" S	00° 47' 01" S
Longitud	76° 04' 13.8" W	75° 31' 45" W
Altura de las torres	100 m	150 m
Ganancia de las Antenas	33,4 dBi	33,4 dBi
Áng. de Azimut	94,461°	274,461°
Frecuencia	5800 MHz	
PIRE	58,4 dBm	
Potencia de transmisión	25 dBm	
Nivel de recepción	-55,3784 dBm	
Umbral de recepción (U)	- 91 dBm	
Atenuación por lluvia	1,849843 dB	
Atenuación por gases	0,591457 dB	
Perdidas en el espacio libre	145,7563 dB	
Perdida total del enlace	147,7563 dB	
Margen de desvanecimiento	35,6216 dB	
Distancia del enlace	70,8316 Km.	

Los valores obtenidos en las simulaciones anteriores son detallaron en la Tab. 4.7. Para verificar estos valores, se han realizado los respectivos cálculos matemáticos que a continuación son presentados:

#### **a.1 Cálculo de la longitud del tramo Pañacocha Tiputini (D)**

(4.1)

**a.2 Pérdidas de espacio libre del tramo Pañacocha Tiputini ( $L_e$ )**

(4.2)

La pérdida total del enlace ( $L_t$ )

(4.3)

**a.3 Potencia de recepción ( $P_r$ )**

(4.4)

**a.4 Margen de desvanecimiento (MF)**

(4.5)

**a.5 La disponibilidad (C)**

(4.6)

Estos resultados de disponibilidad permiten confirmar la confiabilidad del tercer enlace, al menos en la parte teórica que es el punto de partida para materializar el mismo a futuro. Este resultado nos indica que mientras mayor es el margen de desvanecimiento del enlace la confiabilidad del sistema va ser mejor.

Por lo expuesto anteriormente en todos los tramos del sistema, como una rápida conclusión podemos decir que el margen de desvanecimiento es directamente proporcional con la confiabilidad de los enlaces, como indica la tabla 4.8.

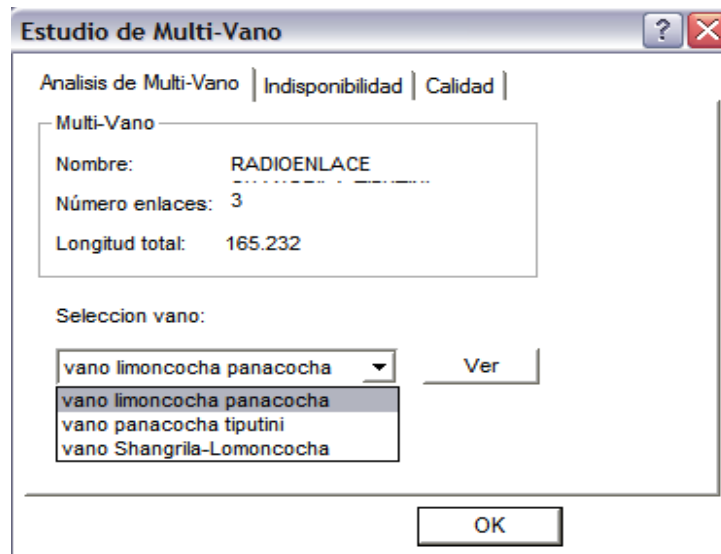
**Tabla. 4.8.** Confiabilidad de los enlaces de la alternativa "A".

<b>MARGEN DE DESVANECIMIENTO</b>	<b>CONFIABILIDAD</b>
20 dB	99 %
30 dB	99.9 %
40 dB	99.99 %
50 dB	99.999 %

#### d. Análisis del multivano

Este tipo de análisis nos proporciona el resultado global de un enlace digital formado por varios tramos (vanos), en este caso desde Shangrila hasta Tiputini, de modo que desde el mismo se puede visualizar cada vano o tramo con los parámetros obtenidos en un análisis de radioenlace digital. Claro que para tener esta posibilidad primeramente debemos tener los tramos a ser analizados.

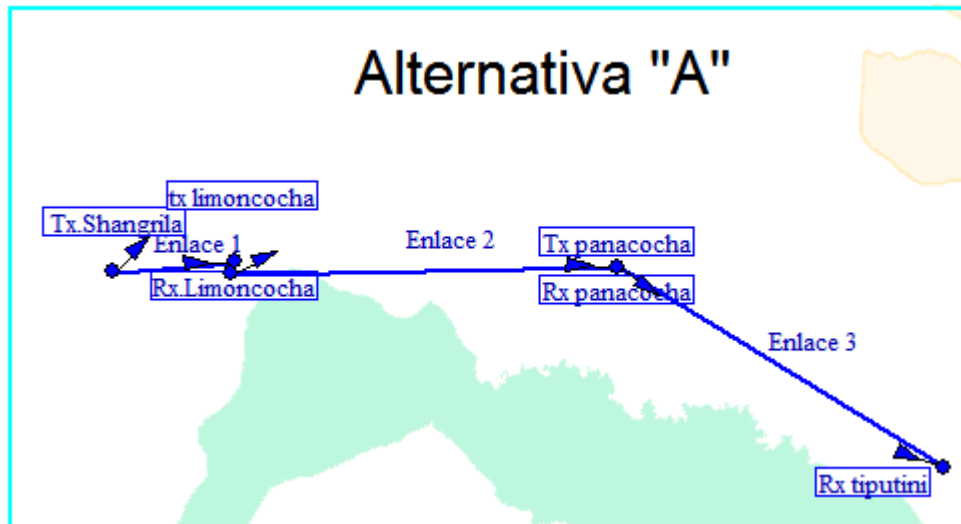
El estudio multivano tiene la capacidad de indicar la longitud total del enlace, que es de 165,232 km, el número de enlaces que son tres, como se indica en la figura 4.19.



**Figura. 4.19.** Estudio del multivano de la alternativa "A"



Finalmente en la figura 4.20 se presenta el radioenlace en forma gráfica, indicando tanto los transmisores como los receptores con los nombres de las estaciones e inclusive los enlaces numerados.



**Figura. 4.20.** Radioenlace desde Shangrila hasta Tiputini

## 2. Alternativa "B"

La alternativa "B" es producto de un estudio, considerando el enlace de Pañacocha y Tiputini analizado en la figura 4.16, la misma, que muestra que la primera zona de fresnel esta tomando contacto con el perfil del terreno y sumado la

altura de los árboles la primera zona de fresnel estaría obstruida en un porcentaje considerado que afectaría directamente a la calidad del enlace.

Talvez seria más sencillo aumentar la altura de la torre ubicada en Pañacocha y se tendría una línea de vista sin obstrucciones en la primera zona de fresnel, esto involucra mayores costos y lo que se desea en este estudio es utilizar la infraestructura de telecomunicaciones existente.

El estudio que se realiza en la alternativa "B" tiene cuatro tramos, los dos primeros son los mismos de la alternativa "A", mientras que el tercero va de Pañacocha a Zancudo y finalmente desde Zancudo a Nuevo Rocafuerte.

#### **a. Tramo Pañacocha - Zancudo**

Este enlace tiene una distancia de 71 Km, con una línea de vista espectacular por los 150 m de altura de la torre de Zancudo, este enlace no presenta aparentemente ningún inconveniente por lo que si es viable establecer este tramo.

En cuanto al análisis de la potencia de recepción con velocidades de 300 MHz y 10 Mhz, con tecnologías de modulación de 128 QAM y BPSK respectivamente. En esta simulación se demuestra nuevamente que la potencia recibida permanece constante, en este caso es de -54,84 dBm en todos los casos, como se indica en las figuras 4.21 y 4.22.

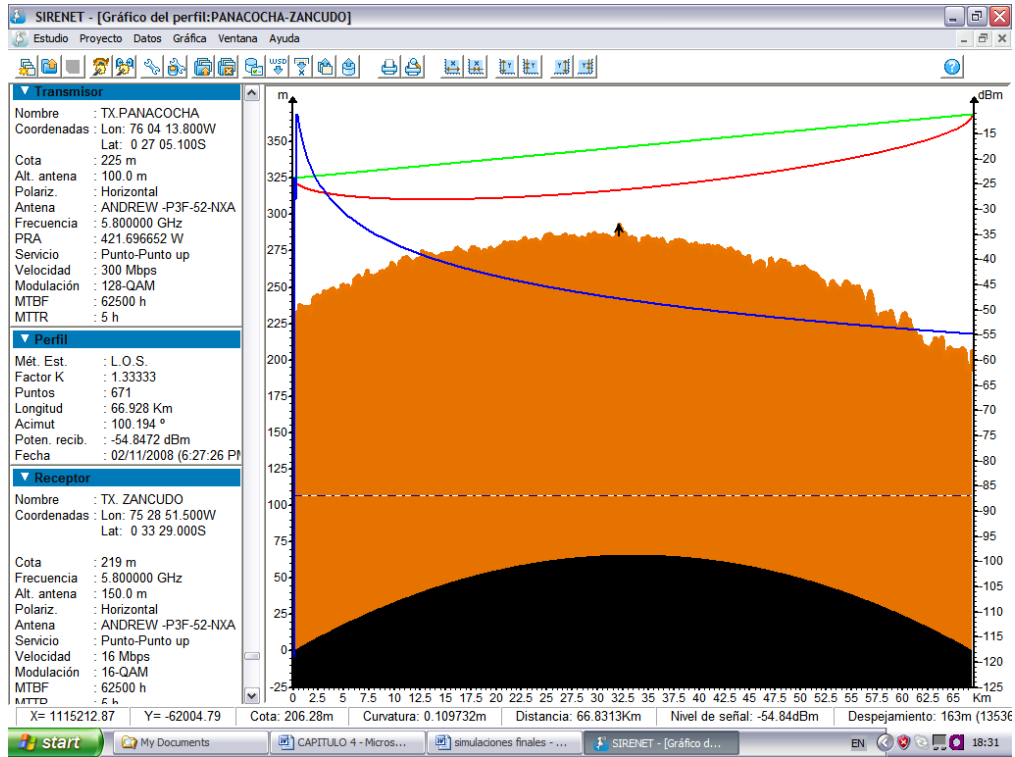


Figura. 4.21. Pañacocha Zancudo a 300 MHz y 128 QAM

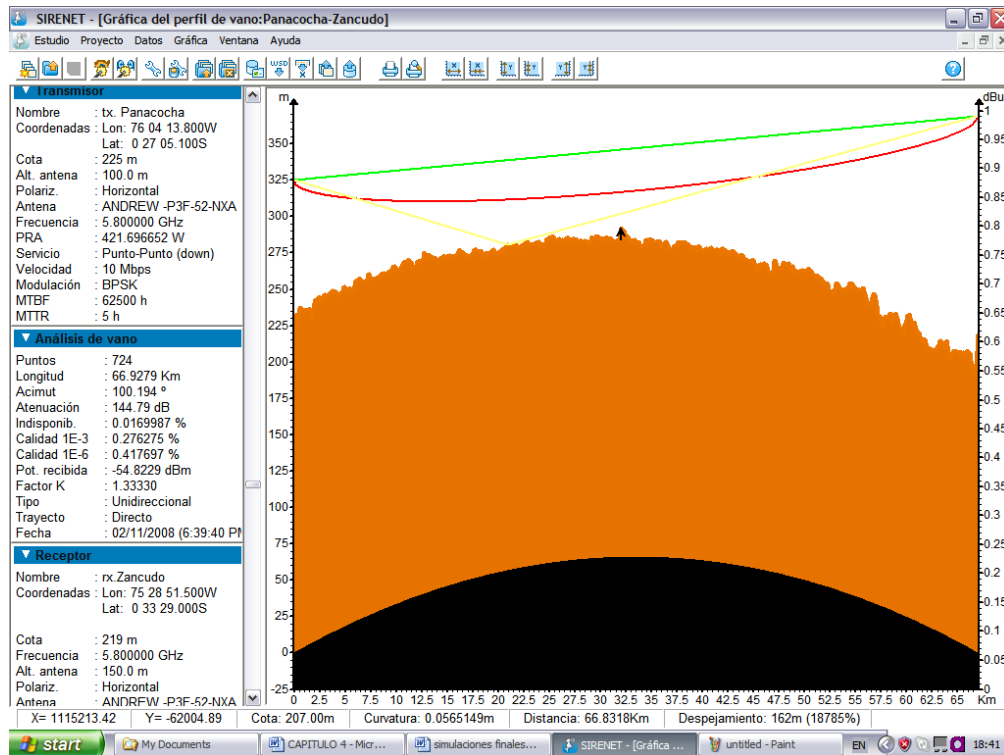


Figura. 4.22. Análisis del vano Pañacocha Zancudo con rayo de reflexión

La presencia de un rayo reflejado que indica la figura 4.22 como consecuencia de la hidrografía del sector de influencia, muestra que el enlace no sea confiable, esta reflexión se hace presente aproximadamente a 21 Km de la antena transmisora. Esta aseveración se lo realiza gracias a los resultados del análisis del vano del enlace en estudio que indica la figura 4.23.

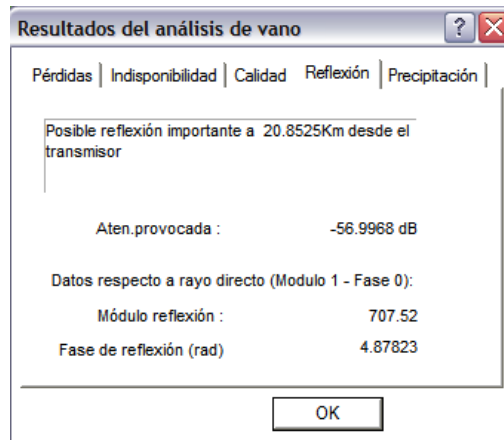


Figura. 4.23. Resultado del análisis vano Pañacocha Zancudo con reflexión

La solución a los problemas de reflexión que se suele brindar es, el alargamiento o acortamiento de las alturas de las antenas en la torre, en este caso se han acortado la altura de la antena transmisora de 100 m a 85 m, mientras que para la receptora se lo hizo de 150 m a 135 m como indica la figura 4.24. Esto ha permitido eliminar la reflexión como muestra la figura 4.25.

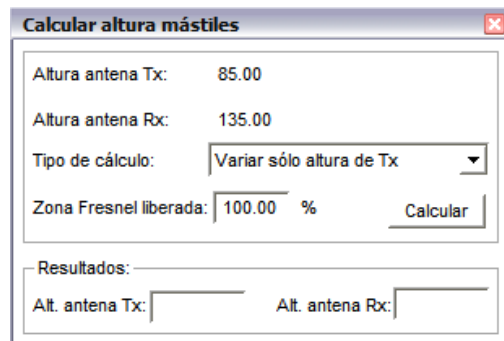


Figura. 4.24. Análisis de la altura de las antenas

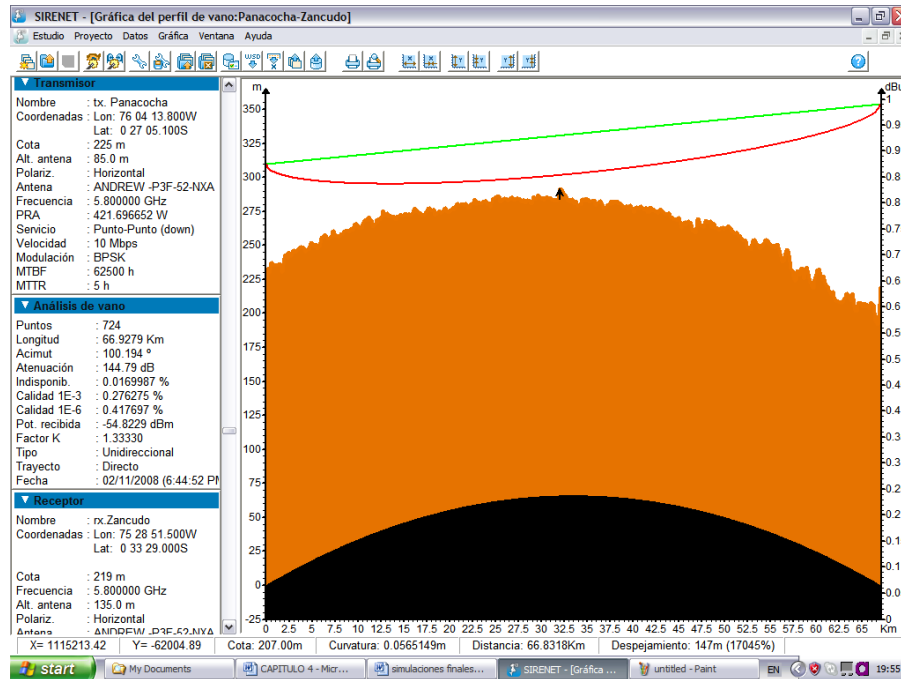
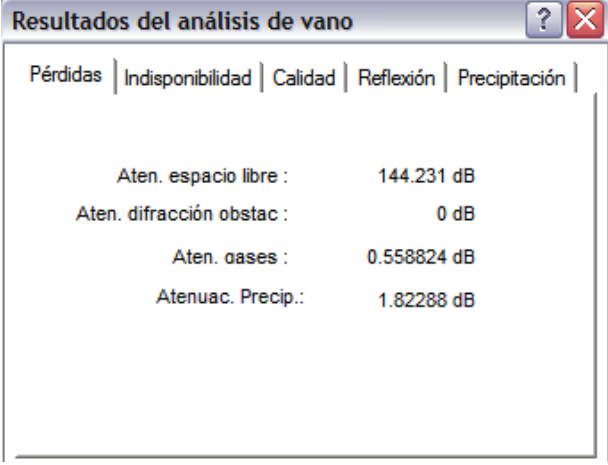


Figura. 4.25. Análisis del vano Pañacocha Zancudo sin reflexión

Finalmente a través del análisis de vano se han podido conocer la atenuación en el espacio libre, atenuaciones por lluvia y por gases, inclusive el tipo y trayecto del enlace. El análisis del vano de un enlace nos permite complementar la información básica del análisis de un perfil como se ve en las figuras 4.26.



The screenshot shows a window titled "Resultados del análisis de vano" with a help icon and a close button. Below the title bar is a tabbed interface with five tabs: "Pérdidas", "Indisponibilidad", "Calidad", "Reflexión", and "Precipitación". The "Pérdidas" tab is selected, displaying a table of attenuation values in dB.

Pérdidas	Indisponibilidad	Calidad	Reflexión	Precipitación
Aten. espacio libre :			144.231 dB	
Aten. difracción obstac :			0 dB	
Aten. gases :			0.558824 dB	
Atenuac. Precip.:			1.82288 dB	

Figura. 4.26. Resultados del análisis del vano

**Tabla. 4.9.** Parámetros Técnicos del enlace Pañacocha - Zancudo

<b>Parámetro</b>	<b>Pañacocha</b>	<b>Zancudo</b>
Latitud	00° 27' 05.1" S	00° 33' 29" S
Longitud	76° 04' 13.8" W	75° 28' 51.5" W
Altura de las torres	100 m	150 m
Ganancia de las Antenas	33,4 dBi	33,4 dBi
Áng. de Azimut	100,194°	280,194°
Frecuencia	5800 MHz	
PIRE	58,4 dBm	
Potencia de transmisión	25 dBm	
Nivel de recepción	-54,8229 dBm	
Umbral de recepción (U)	- 91 dBm	
Atenuación por lluvia	1,82288 dB	
Atenuación por gases	0,558824 dB	
Perdidas en el espacio libre	144,231 dB	
Perdida total del enlace	146,612704 dB	
Margen de desvanecimiento	36,1771 dB	
Distancia del enlace	66,9279 Km.	

Los valores mas importantes obtenidos en las simulaciones anteriores son detallaron en la Tab. 4.9. Para verificar estos valores, se han realizado los respectivos cálculos matemáticos que a continuación son presentados:

#### **a.1 Cálculo de la longitud del tramo Pañacocha Zancudo (D)**

(4.1)



**a.2 Pérdidas de espacio libre del tramo Pañacocha Zancudo ( $L_e$ )**

(4.2)

La pérdida total del enlace ( $L_t$ )

(4.3)

**a.3 Potencia de recepción ( $P_r$ )**

(4.4)

**a.4 Margen de desvanecimiento (MF)**

---

(4.5)

#### **a.5 La disponibilidad (C)**

(4.6)

Estos resultados de disponibilidad permiten confirmar la confiabilidad del tercer enlace, al menos en la parte teórica que es el punto de partida para materializar el mismo a futuro. Con este resultado podemos decir que el margen de desvanecimiento es directamente proporcional con la confiabilidad del enlace.

#### **b. Tramo Zancudo – Nuevo Rocafuerte**

Este enlace tiene una distancia aproximada de 41 Km, con una línea de vista espectacular por los 150 m de altura de la torre de Zancudo que funciona como transmisora en este caso, este enlace no presenta ningún inconveniente por lo que si es viable establecer este tramo final para cerrar el anillo.

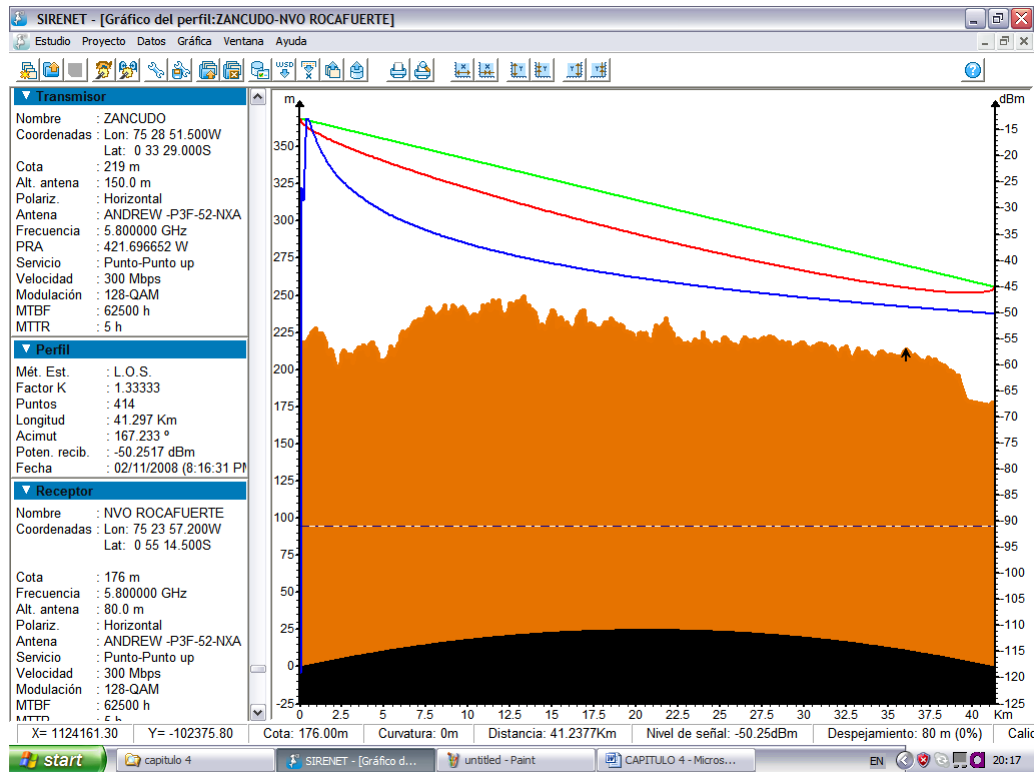


Figura. 4.27. Zancudo – Nuevo Rocafuerte a 300 Mbps y 128 QAM

En cuanto al análisis de la potencia de recepción con las diferentes tecnologías de modulación y velocidades respectivas, una vez más se demuestra que la potencia recibida permanece constante en todas las, en este caso es de -50,5527 dBm como muestra la figura 4.27.

El análisis de vano se ha podido conocer la atenuación en el espacio libre, atenuaciones por lluvia, atenuación por gases e inclusive el calculo de las altura de

las antenas. Este análisis nos permite complementar la información básica del análisis de un perfil como se ve en las figuras 4.28 y 4.29.

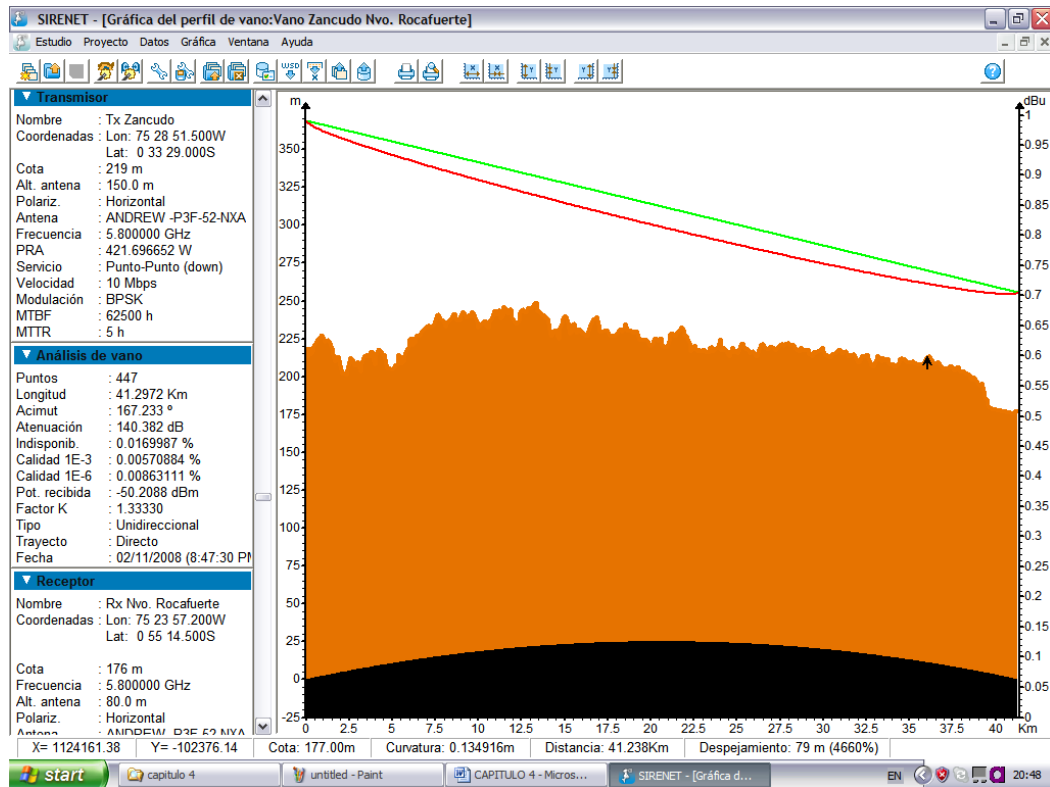


Figura. 4.28. Análisis del vano Zancudo – Nuevo Rocafuerte

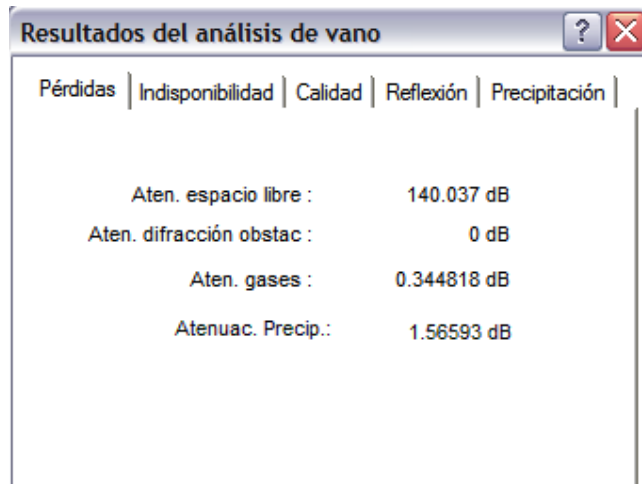


Figura. 4.29. Resultados del análisis del vano Zancudo - Nvo. Rocafuerte

**Tabla. 4.10.** Parámetros Técnicos del enlace Zancudo - Nuevo Rocafuerte

Parámetro	Zancudo	Nvo. Rocafuerte
Latitud	00° 33' 29" S	00° 55' 14.5" S
Longitud	75° 28' 51.5" W	75° 23' 57.2" W
Altura de las torres	150 m	80 m
Ganancia de las Antenas	33,4 dBi	33,4 dBi
Áng. de Azimut	167.233°	347.233°
Frecuencia	5800 MHz	
PIRE	58,4 dBm	
Potencia de transmisión	25 dBm	
Nivel de recepción	-50,2517 dBm	
Umbral de recepción (U)	- 91 dBm	
Atenuación por lluvia	1,56593 dB	
Atenuación por gases	0,344818 dB	

Perdidas en el espacio libre	140,382 dB
Perdida total del enlace	142,2927 dB
Margen de desvanecimiento	40.7483 dB
Distancia del enlace	41,297 Km.

Los valores obtenidos en las simulaciones anteriores son detallaron en la Tab.

4.10. Para verificar estos valores, se han realizado los respectivos cálculos matemáticos que a continuación son presentados:

#### a.1 Cálculo de la longitud del tramo Zancudo – Nuevo Rocafuerte (D)

(4.1)

#### a.2 Pérdidas de espacio libre del tramo Zancudo – Nuevo Rocafuerte ( $L_e$ )

(4.2)

La pérdida total del enlace ( $L_t$ )

(4.3)

### **a.3 Potencia de recepción ( $P_r$ )**

(4.4)

### **a.4 Margen de desvanecimiento (MF)**

(4.5)

### **a.5 La disponibilidad (C)**

(4.6)

Estos resultados de disponibilidad permiten confirmar la confiabilidad del tercer enlace, al menos en la parte teórica que es el punto de partida para

materializar el mismo a futuro. Este resultado nos indica que mientras mayor es el margen de desvanecimiento del enlace la confiabilidad del sistema va ser mejor.

Por lo expuesto anteriormente en todos los tramos del sistema, como una rápida conclusión podemos decir que el margen de desvanecimiento es directamente proporcional con la confiabilidad de los enlaces, como indica la tabla 4.11.

**Tabla. 4.11.** Confiabilidad de los enlaces de la alternativa "B".

<b>MARGEN DE DESVANECIMIENTO</b>	<b>CONFIABILIDAD</b>
20 dB	99 %
30 dB	99.9 %
40 dB	99.99 %
50 dB	99.999 %

### **c. Análisis del multivano**

Este tipo de análisis nos proporciona el resultado global de un enlace digital formado por varios tramos (vanos), en este caso desde Shangrila hasta Nuevo Rocafuerte, de modo que desde el mismo se puede visualizar cada vano o tramo con los parámetros obtenidos en un análisis de radioenlace digital. Claro que para tener esta posibilidad primeramente debemos tener los tramos a ser analizados.



El estudio multivano tiene la capacidad de indicar la longitud total del enlace, que es de 202,621 km, el número de enlaces que son cuatro, como se indica en la figura 4.30.

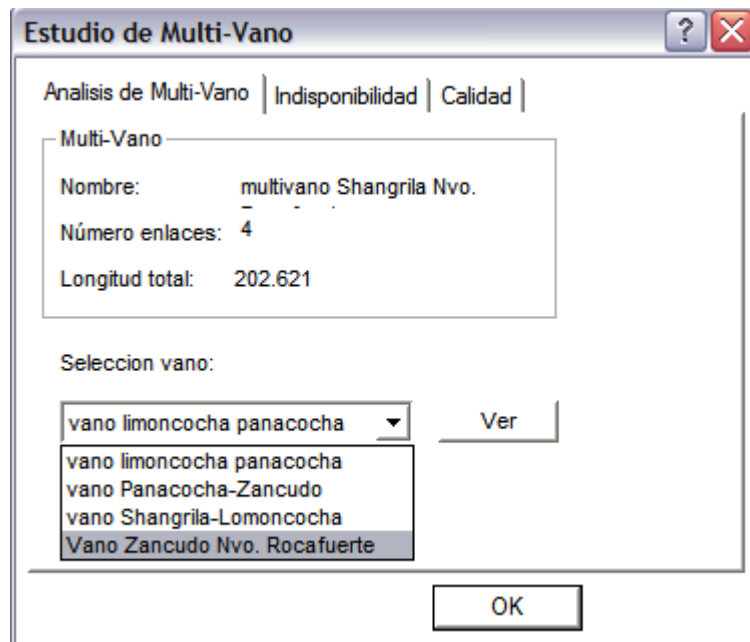
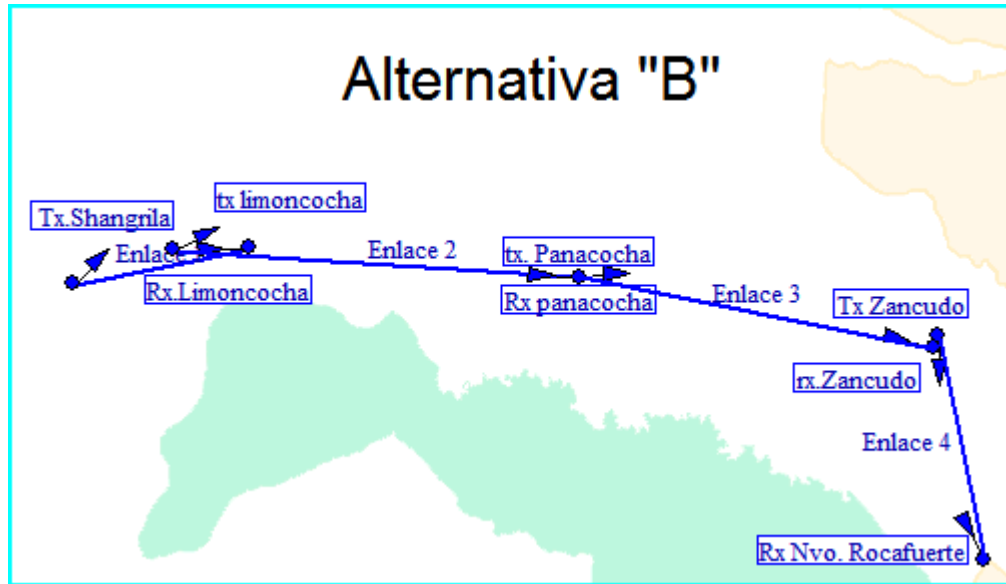


Figura. 4.30. Análisis del multivano de la alternativa "B"

Finalmente en la figura 4. 31 se presenta el radioenlace en forma grafica, indicando tanto los transmisores como los receptores con los nombres de las estaciones e inclusive los enlaces numerados.



**Figura. 4.31.** Radioenlace desde Shangrila hasta Nuevo Rocafuerte

