

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE
MICROONDAS DIGITAL PARA DOS ESTACIONES
DE ELECTROANDES S.A.A.

INFORME TÉCNICO
POR EXPERIENCIA PROFESIONAL CALIFICADA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. YAMANAKA CANALES, JOSE WILLIAM

LIMA – PERÚ
2020

DEDICATORIA

A mis padres que sin quererlo formaron en mí una terquedad que me ha servido en la vida para dar grandes pasos y estoy seguro que están ahora mucho más orgullosos de mí y por supuesto a mi esposa Carmen e hija Erika por su paciencia y soporte.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Antecedentes	3
1.2 Equipamiento	3
1.3 Objetivo del Proyecto	7

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
2.1.1 Potencia de Recepción	8
2.1.2 Pérdidas en el enlace	8
2.1.3 Modelo de Tierra Plana y Punto de Reflexión.....	10
2.1.4 Disponibilidad y Desvanecimientos en los enlaces	14
2.1.5 Ancho de Banda Empleado por Radioenlaces Digitales	27
2.1.6 Modulación Digital Multinivel M-PSK y M-QAM	28
2.1.7 Ecuación Adaptativa de los Canales	31

CAPÍTULO III

3. INGENIERÍA DEL PROYECTO	33
3.1 Necesidad del Proyecto	33
3.2 Tecnología a utilizar	33
3.3 Ingeniería del Proyecto	33
3.3.1 Ubicación del Proyecto	33
3.3.2 Línea de Vista Enlace Número 1	35
3.3.3 Línea de Vista Enlace Número 2	40
3.3.4 Cálculos Matemáticos	45
3.3.5 Gestión del Enlace	57
3.3.6 Equipamiento Definitivo	59
3.3.6.1 Antenas	59
3.3.6.2 Líneas de Tx	59
3.3.7 Presupuesto	62
CONCLUSIONES	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
GLOSARIO	65
ANEXOS	68

Lista de tablas/cuadros

Tabla 2.1	Factor de rugosidad “a”	16
Tabla 2.2	Factor climático “b”	
	¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 2.3	Constante de signatura	
	¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 3.1	Tabla de Coordenadas de Ubicación del Proyecto	
	¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 3.2	Coefficientes para la atenuación específica	49
Tabla 3.3	Lluvias por zonas y porcentaje de tiempo	
	¡Error! Marcador no definido.	

Lista de gráficos

Figura 2.1	Rayo reflejado en el modelo de tierra plana	10
Figura 2.2	Representación de los Radios de Fresnel	
	¡Error! Marcador no definido.	
Figura 2.3	Despeje del rayo de microondas	
	¡Error! Marcador no definido.	
Figura 2.4	Obstrucción del rayo de microondas	
	¡Error! Marcador no definido.	
Figura 2.5	Representación de regiones de decisión en una constelación bidimensional I-Q	29
Figura 2.6	Diagramas de las constelaciones BPSK y QPSK.....	¡Error! Marcador no definido.0
Figura 2.7	Ejemplos de constelaciones QAM.....	¡Error! Marcador no definido.1
Figura 3.1	Diagrama del Enlace.....	¡Error! Marcador no definido.4

Figura 3.2	Enlace Central Hidroeléctrica – Cerro Empalma;Error! Marcador no definido.
Figura 3.3	Perfil del Enlace 1;Error! Marcador no definido.6
Figura 3.4	Punto de Reflexión 1;Error! Marcador no definido.7
Figura 3.5	Enlace 2;Error! Marcador no definido.
Figura 3.6	Perfil del Enlace 2;Error! Marcador no definido.
Figura 3.7	Punto de Reflexión 2;Error! Marcador no definido.
Figura 3.8	Zonas y Líneas con igual intensidad de Lluvia;Error! Marcador no definido.
Figura 3.9	Topología de la nueva red de radio;Error! Marcador no definido.

Lista de Anexos

Anexo I	Datasheets Equipamiento de radio.....	68
---------	---------------------------------------	----

INTRODUCCIÓN

El Sistema de Telecomunicaciones de la Empresa Eléctrica Electroandes está conformado por los sub sistemas de telefonía, microondas, UHF, Onda Portadora, Radiocomunicaciones VHF y televisión. En conjunto forman una red de Teleservicios Privados que tienen como función principal brindar los servicios de comunicaciones

internas, de telefonía local y de larga distancia a todas sus unidades administrativas y operativas; también provee los canales de comunicación necesarios para la transmisión de datos de telemetría, telecontrol y tele supervisión del sistema eléctrico, acceso a Internet y a los sistemas desde los campamentos.

El sistema tiene tecnología digital y tecnología analógica y se caracteriza por tener su propia infraestructura que se encuentra estratégicamente distribuida en los departamentos de Lima, Junín y Pasco.

La operación y funcionamiento del sistema de telecomunicaciones está amparada por resolución directoral emitida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Cada una de las estaciones cuenta con su respectiva licencia de operación, expedida por la dirección de frecuencias de dicho ministerio, así mismo, Electroandes cumple anualmente con el pago por concepto de canon por uso del espectro radioeléctrico.

El presente trabajo está organizado primeramente haciendo un repaso por Conceptos Teóricos necesarios para los cálculos de los enlaces microondas fundamental para la elección de los equipos a usar esto lo veremos en el Capítulo I, luego aplicando lo visto en la fase teórica y con los datos recogidos en campo se obtendrán resultados que permitirán la elección de los equipos de Radio en la parte indoor como outdoor, nos apoyamos en los autores Hernando, J. y Fernandez, J. para la parte conceptual.

Toda mejora, ampliación o actualización del actual sistema de telecomunicaciones pasa necesariamente por el uso de tecnología digital, lo que se aplica tanto a los equipos de oficina como a los equipos de enlace.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad el sistema de telecomunicaciones incluye equipos de tecnología analógica y digital y a nivel de enlaces, varios de ellos son compartidos con otras empresas lo que genera dificultades en el caso de falla o mantenimiento de equipos que no son propiedad de Electroandes.

Vamos a describir seguidamente y de manera resumida el equipamiento que forma el sistema de telecomunicaciones.

1.2 EQUIPAMIENTO

Subsistema de Telefonía

Está compuesto por:

- Dos centrales telefónicas privadas de tecnología IP ubicadas en las estaciones de la Oroya y Lima.

Características:

Tecnología	IP
Software base anexos IP/analógicos	64
Crecimiento IP anexos IP/analógicos	1400 max.
Puertos para líneas analógicas	6 instalados
Puertos anexos analógicos	4 instalados
Puertos E1	2 instalados
Correo de voz	Si
Mensajería unificada	Si
Licencia IP Networking	200
Marca	MITEL

Modelo MXE 3300

- Tres centrales telefónicas privadas de tecnología digital ubicadas en las estaciones de La Oroya, Yaupi y Malpaso.

Características:

Tecnología	Digital
Capacidad puertos digitales/analógicos	764 máximo
Puertos anexos digitales instalados	48
Puertos anexos analógicos instalados	360
Capacidad troncal digitales instaladas	180
Capacidad troncal analógicas instaladas	32
Marca	AVAYA
Modelo	Definity

- Dos centrales telefónicas privadas de tecnología electrónica por programa almacenado ubicadas en las estaciones de Pachachaca y Carhuamayo.

Características:

Tecnología	Analógica
Capacidad anexos analógicos	352 máximo
Capacidad troncal analógicas	72 máximo
Marca	HARRIS
Modelo	D1200

- Treinta kilómetros de planta externa con sus correspondientes cajas de distribución, fusibles y terminales instalados en toda la empresa.

Subsistema de Microondas/UHF

Está conformado por:

- Cinco estaciones repetidoras/terminales de microondas digital tipo protegido (1+1) ubicadas en las estaciones de La Oroya CCC, Cerro Oroya, Malpaso, Cerro Junín y Cerro Shallapayco. Dos estaciones terminales de microondas digitales tipo no protegido (1+0) ubicadas en las estaciones de Oroya Nueva y La Oroya CCC.

Características:

Tecnología	Digital
Frecuencia	Banda 7 GHz
Potencia	24,5 dBm
Capacidad	16 E1 máximo
Modulación	QPSK
Marca	STRATEX
Modelo	Eclipse 100

- Dos estaciones repetidoras/terminales de microondas analógicas, tipo protegido (1+1), ubicadas en las estaciones de Cerro Oroya y Cerro Santa Fe.

Características:

Tecnología	Analógica
Frecuencia	Banda 7 GHz
Potencia	1,2 W
Capacidad	300 canales
Marca	FARINON
Modelo	FL1-7 OLP

- Dos estaciones terminales de microondas digital, tipo no protegido, banda libre (no licenciada), ubicadas en las estaciones Cerro Junín y Carhuamayo.

Características:

Tecnología	Digital
Frecuencia	B. 5,8 GHz
Potencia	18 dBm
Capacidad	48 Mbps Interfaces 4 E1s y 2 Ethernet
Modulación	OFDM
Marca	RADWIN
Modelo	WLINK 1000

- Cinco estaciones repetidoras de microondas tipo pasivo ubicadas en las estaciones de Cerro Somi, Cerro Florida, Cerro Potosí, Cerro Corky y Cerro Mahr Túnel.

- Cuatro estaciones repetidoras/terminales de microondas analógicas, tipo no protegida (1+0), ubicada en las estaciones de Casapalca, Morococha, Mahr Túnel y Cerro Santa Fe.

Características

Tecnología	Analógica
Frecuencia	B. 7 GHz
Potencia	1W
Capacidad	300 canales
Marca	FARINON

1.3 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo fundamental es rediseñar el enlace entre Cerro Oroya y la Central Hidroeléctrica de Pachachaca, esto es necesario pues el enlace actual pasa por Mahr Túnel que no es propiedad de Electroandes si no de la empresa minera VOLCAN.

Un objetivo adicional pero igualmente importante es que se utilizará ahora un nuevo sistema de microondas digital con lo cual se contribuye a la modernización del sistema de telecomunicaciones de Electroandes.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Los conceptos presentados a continuación son esencialmente los que serán usados en el diseño de los enlaces de microondas digitales a especificar los cuales están basados en las recomendaciones UIT-T.

2.1.1 Potencia de Recepción

“La potencia disponible en el receptor depende de la potencia entregada por el transmisor y las diferentes pérdidas y ganancias que aparecen en el trayecto del transmisor al receptor” (Hernando, 2008, p. 89).

Al considerar todas estas variables se tiene la siguiente ecuación que es conocida como ecuación general del radioenlace.

$$PR = PT_x + GT + GR - LG \quad \text{Ec. 2.1}$$

PR = Potencia recibida en dBm

PT_x = Potencia del transmisor en dBm

LG = Pérdidas totales del radioenlace.

2.1.2 Pérdidas del Enlace

La energía contenida en las ondas electromagnéticas al propagarse a través de un medio sufre pérdidas debido a características inherentes al mismo. Estos son estimados para enlaces de microondas troposféricos en las recomendaciones de la UIT-R PN 676 para gases y vapores atmosféricos, UIT-R PN 530 para lluvia.

Pérdidas de Espacio Libre

La siguiente ecuación permite hallar las pérdidas por propagación en el espacio en ausencia de obstáculos:

$$L_{bf} = 92,45 + 20 \log f \text{ (GHz)} + 20 \log d \text{ (km)} \quad \text{Ec. 2.2}$$

En donde:

L_{bf} = Pérdidas en espacio en ausencia de obstáculos

d = Distancia entre transmisor y receptor en Km.

f = Frecuencia en GHz.

Pérdidas en los Radioenlaces de Microondas

Las pérdidas totales de cada tramo se hallan mediante la sumatoria (en unidades logarítmicas) de las pérdidas introducidas por los equipos del sistema de microondas (que son atribuidas a los guías de onda, conectores, filtros y las inherentes a la antena) y las pérdidas de propagación que están conformadas por: las pérdidas por gases y vapores atmosféricos, las pérdidas por rayo reflejado y las pérdidas de espacio libre.

$$L_G = L_{Tx} + L_{Rx} + L_P \quad \text{Ec. 2.3}$$

L_G = Pérdidas totales del radioenlace de microondas.

L_{Tx} = Pérdidas del sistema de transmisión de microondas.

L_{Rx} = Pérdidas del sistema de recepción de microondas.

L_P = Pérdidas por espacio libre, gases y vapores

Atmosféricos en dB.

2.1.3 Modelo De Tierra Plana y Punto de Reflexión

Hernando (2008) encontró lo siguiente:

Al hacer representaciones de algún perfil o trayectoria de la superficie de la tierra debe considerarse que la misma es esférica, más dependiendo de las exigencias del análisis que se esté haciendo y por motivos de simplicidad del mismo suele despreciarse el radio de curvatura terrestre, dando origen a lo que se conoce como modelo de tierra plana, y que en el caso de estudios de enlaces de microondas troposféricos es considerado para distancias inferiores a los 15 Km. (p. 93)

Cálculo del Punto de Reflexión en el Modelo de Tierra Plana

“En el cálculo del punto de reflexión, cuando la distancia entre la antena transmisora y receptora no exceda los 15 km, debe considerarse que el arco terrestre comprendido entre ambas antenas es muy pequeño, por tal motivo se considera plano el terreno, en este caso se aplicará el siguiente análisis geométrico”, ver figura 2.1 (Fernández 2008, p. 9)

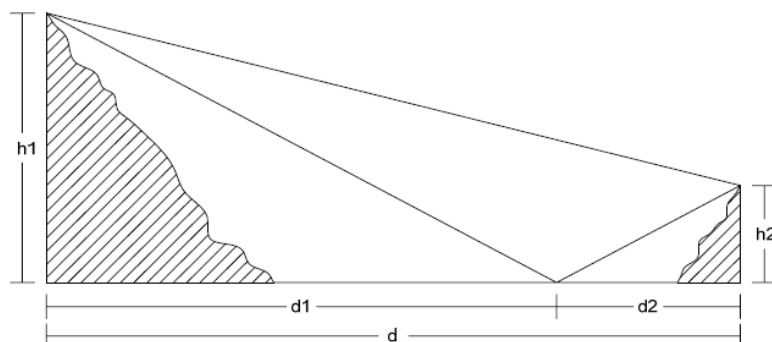


Figura 2.1 Rayo reflejado en el modelo de tierra plana

Fuente: FERNANDEZ, J 2008.

En donde se halla el punto de reflexión mediante las siguientes ecuaciones:

$$d1 = \frac{h1}{h1+h2} d \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$d2 = \frac{h2}{h1+h2} d \quad \text{Ec. 2.5}$$

d : Distancia entre los extremos del tramo.

$d1$: Distancia del transmisor (Tx) al punto de reflexión.

$d2$: Distancia del punto de reflexión al receptor (Rx).

$h1$: Altura de la antena transmisora (Tx).

$h2$: Altura de la antena receptora (Rx).

Zonas de Fresnel

Fernández (2008, p. 10) encontró lo siguiente:

El frente de onda propagado por la antena transmisora experimenta un desfase a medida que se aleja el eje longitudinal de propagación diferenciando las llamadas zonas de Fresnel. Consideremos el trayecto radioeléctrico en el espacio libre TR. El campo en R es la resultante de contribuciones de campo producidas por anillos de radios R_{n-1} , R_n dispuestos en planos ortogonales al eje TR, como el indicado en la figura 2.2, situados a distancias $d1$ y $d2$ de T y R, respectivamente. Cada anillo define y delimita una zona de Fresnel.

Los radios de los anillos cumplen la condición:

$$R_n = 548 \sqrt{\frac{n \cdot d1 \cdot d2}{f \cdot d}} \quad \text{Ec. 2.6}$$

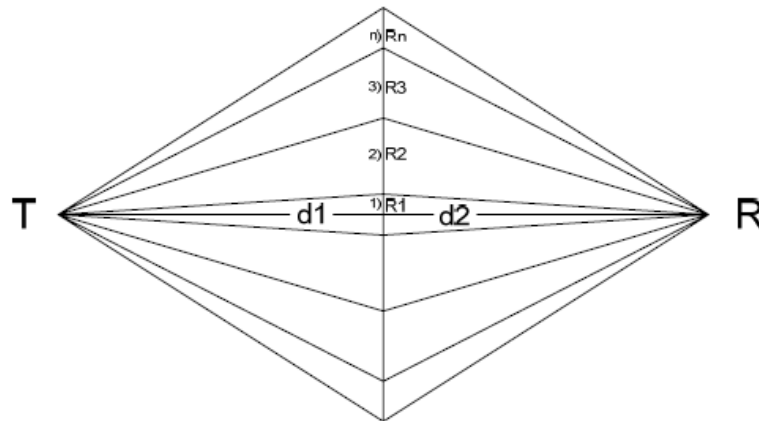


Figura 2.2 Representación de los Radios de Fresnel

Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

Donde:

R_n : radio de la n-sima zona de Fresnel

f: frecuencia (MHz).

d1: distancia del transmisor al plano considerado (Km).

d2: distancia del plano considerado al receptor (Km).

d: distancia del transmisor-receptor (Km).

Las zonas de Fresnel son elipsoides concéntricos formados por la revolución de la figura 2.2 alrededor del eje TR. Su foco son los puntos T y R. Las secciones de los elipsoides normales al trayecto de propagación TR son círculos concéntricos.

El análisis de la influencia de los obstáculos se realiza mediante los elipsoides de Fresnel, considerándose que la propagación se efectúa en condiciones de visibilidad directa si no existe ningún obstáculo dentro el primer elipsoide. Debido al carácter oscilatorio del campo es innecesario que el trayecto pase muy por encima de los obstáculos. Basta trabajar en el entorno de la primera zona de Fresnel, por lo que se utilizará como parámetro de referencia el radio R_1 , haciendo $n=1$ en la ecuación 1.6 queda:

$$R_1 = 548 \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Cuando el rayo pasa cerca de un obstáculo o es interceptado por este, experimenta una pérdida debida a la difracción. Se denomina despeje a la distancia h entre el rayo y el obstáculo (figura 2.3 y 2.4).

En la recomendación UIT-R PN 526, se recomienda por convenio, $h > 0$ cuando hay interceptación del rayo, y $h < 0$ cuando el rayo pasa por encima del obstáculo. Se utiliza en la práctica el despeje normalizado h/R_1 . La zona correspondiente a la propagación por difracción es la comprendida entre $-1 \leq h/R_1 < \infty$. El radioenlace suele trabajarse en la gama de $-0,6 \leq h/R_1 \leq 0,5$. (Fernandez 2008, p. 11)

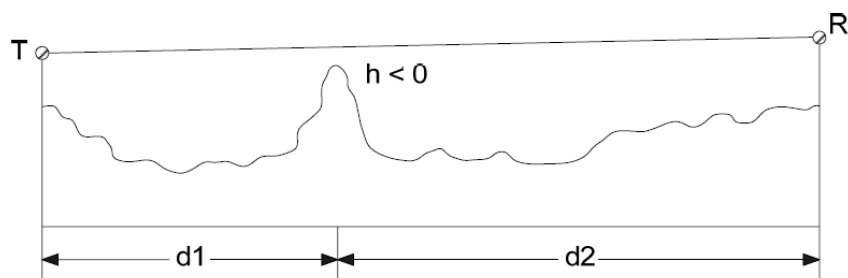


Figura 2.3 Despeje del rayo de microondas

Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

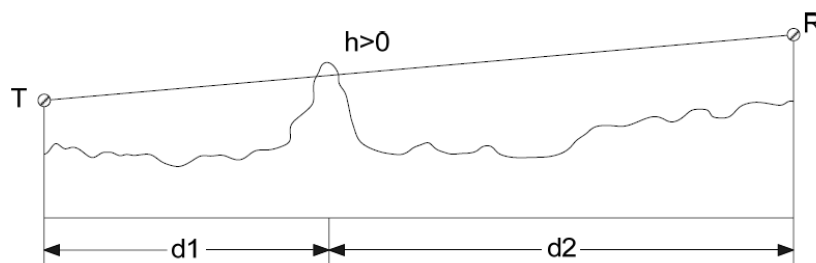


Figura 2.4 Obstrucción del rayo de microondas

Fuente: FERNANDEZ, J.. 2008.

2.1.4 Indisponibilidad y Desvanecimientos en los enlaces

La confiabilidad puede definirse como la capacidad de un componente, equipo o sistema de no fallar durante un periodo de tiempo. Existe una relación matemática entre la confiabilidad de las partes, componentes y el sistema.

La confiabilidad distingue 3 tipos o periodos de fallas:

- a) Fallas que ocurren al iniciarse el periodo de vida operativo y que suceden generalmente por defecto de fabricación, control de calidad o instalación;
- b) Fallas debidas al desgaste y que dependen del mantenimiento;
- c) Fallas aleatorias distribuidas al azar y que no depende de pruebas o del mantenimiento.

Las fallas aleatorias tienen una distribución uniforme, y por ello la confiabilidad responde a una ley exponencial. Por conveniencia se utiliza la inversa de la tasa de fallas aleatorias denominada **Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) expresado** en horas.

La mantenibilidad puede definirse como la probabilidad de restituir o volver a poner en marcha en un tiempo determinado a un sistema que ha sufrido una falla o interrupción. El tiempo de interrupción comprende el tiempo logístico de movilidad y el administrativo. Se expresa a través del **Tiempo Medio de Reparación (MTTR)** indicado en horas.

La disponibilidad D se define como la probabilidad que el sistema se encuentre trabajando en forma satisfactoria y equivale a:

$$D = 1 - I \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$I = \frac{\text{MTTR}}{\text{MTTR} + \text{MTBF}} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Dado que MTBF es mucho mayor que MTTR la indisponibilidad I se puede aproximar como:

$$I = \frac{MTTR}{MTBF} \quad \text{Ec. 2.10}$$

En un enlace bidireccional con m repetidoras sin conmutación de protección, es decir, del tipo 1 + 0, se puede expresar la indisponibilidad UEs como suma de los valores individuales en serie:

$$UE_s = 2 \times 100 [l_{tt} + l_{rt} + l_{pt} + m (l_{pr} + l_{rr} + l_{tr})] \quad \text{Ec. 2.11}$$

Donde el 2 indica la bidireccionalidad y “m” tiene en cuenta el número de repetidoras.

En este caso la nomenclatura señala a:

l_{tt} = la Indisponibilidad del Transmisor Terminal.

l_{rt} = la Indisponibilidad del Receptor Terminal.

l_{pt} = la Indisponibilidad de la Fuente Terminal.

l_{pr} = la Indisponibilidad de Fuente-Repetidor.

l_{rr} = la Indisponibilidad del Receptor-Repetidor.

l_{tr} = la Indisponibilidad del Transmisor-Repetidor.

Si el valor obtenido es superior al señalado por la UIT-R, se requiere recurrir a la conmutación hot standby para la protección tipo 1 + 1 o en general N +1.

En este caso se tendrá un valor muy inferior de UEs, debido a que deben estar en falla ambos canales en 1 + 1 para tener una indisponibilidad efectiva. La fórmula de cálculo de la indisponibilidad ‘UE’ es:

$$UE = [XN + 0,5. UES .IX + IS] 100\% \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde XN tiene en cuenta la indisponibilidad de los sistemas principales y el standby de reserva en forma simultánea y viene dada por la siguiente expresión:

$$X_N \approx (N + 1) \frac{U_{ES}^2}{2} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Por otra parte, IX representa la indisponibilidad de las partes paralelo del sistema e IS la indisponibilidad de las partes serie del sistema.

Indisponibilidad por Propagación: Barnett –Vigants

“La siguiente fórmula basada en los estudios de Barnett y Vigants, permite calcular la indisponibilidad por propagación de un enlace de microondas sin diversidad y con línea de vista geométrica” (Fernandez 2008, p. 15)

$$U_p = 6.10^7 (a.b.f.d^3) \times 10^{-F/10} \quad \text{Ec. 2.14}$$

f = Frecuencia en MHz

d = Distancia en Km entre el transmisor y receptor.

F = Margen de desvanecimiento en dB.

a = Factor de rugosidad (ver Tabla 2.1).

b = Factor Climático (ver Tabla 2.2).

Tabla 2.1 Factor de rugosidad “a”

a	Tipo de terreno
4	Terreno muy suave o agua
1	Terreno promedio o con alguna irregularidad
1/4	Terreno montañoso o muy rugoso

Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

Tabla 2.2 Factor climático “b”

b	Tipo de terreno
1/2	Grandes lagos o similares, áreas húmedas o calientes
1/4	Áreas interiores promedio
1/8	Zonas montañosas o muy secas

Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

Indisponibilidad de los Radioenlaces de Microondas

Los objetivos de indisponibilidad para radioenlaces digitales y analógicos se definen en las recomendaciones UIT-R F.557-4 y F.695 en donde se ha propuesto como valor provisional una indisponibilidad del 0,3%. El porcentaje debe evaluarse durante un periodo de tiempo suficientemente largo, probablemente superior a un año para que sea válido estadísticamente.

Se estipula que el 0.3% del tiempo se distribuya de forma proporcional a la longitud del enlace, hasta una distancia mínima de 280 Km por debajo de la cual el porcentaje de indisponibilidad se mantiene constante. Se ha procedido así para evitar cifras de indisponibilidad excesivamente pequeñas en enlaces cortos que serían difíciles de conseguir.

Por consiguiente, si L es la longitud del enlace, el objetivo de indisponibilidad total es:

$$U_T = \frac{0,3 \times 280}{2500} \% = 0,0336\% \quad L \leq 280\text{km} \quad \text{Ec.2.15}$$

$$U_T = \frac{0,3 \times L}{2500} \% = 280 \text{ km} \leq L \leq 2500 \text{ km} \quad \text{Ec.2.16}$$

La indisponibilidad total (UT) de los radioenlaces de microondas viene dada por la suma de los porcentajes debidos a la indisponibilidad por propagación (UP) y la debida a indisponibilidad por fallos de los equipos (UE):

$$UT = UP + UE \quad \text{Ec. 2.17}$$

La indisponibilidad total de una ruta de enlaces de microondas, viene dada por la sumatoria de las indisponibilidades por propagación y por fallas de equipos de cada tramo.

$$U_T = \sum U_P + \sum U_E \quad \text{Ec. 2.18}$$

Margen de Desvanecimiento

“La diferencia entre la potencia de recepción (Pr) y el umbral del receptor (mínimo valor que adquiere la potencia de recepción en donde la señal de información contenida en la portadora transmitida puede ser recuperada), es denominado margen de desvanecimiento “F”, el cual suele ser generalmente de 20 dB” (Fernandez 2008, p. 18).

Este parámetro (F) puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$F(\text{dB}) = Pr - Ur \quad \text{Ec. 2.19}$$

Umbral

Se define umbral Th (dBm) como el valor de la potencia de recepción correspondiente a una tasa de errores BER (Bit Error Rate) determinada.

Margen Bruto de Desvanecimiento

Se denomina margen bruto de desvanecimiento a la diferencia entre la potencia recibida y el Umbral. Designándose el margen bruto de desvanecimiento con M3.

$$M3 = Pr \text{ (dBm)} - Th \text{ (dBm)} \quad \text{Ec. 2.20}$$

Parámetros de Calidad de Error

Fernandez (2008) encontró lo siguiente:

Los criterios y parámetros de calidad de error y disponibilidad se establecen en las recomendaciones UIT-T G.821 y G.826. El parámetro básico de calidad de error de cualquier sistema de transmisión digital, entre interfaces digitales es la Tasa de Errores en los Bits (BER, Bit Error Rate). A partir de este parámetro se definen otros que son utilizados en la formulación de objetivos de calidad para los sistemas de transmisión digital. Antes de presentarlos debe resaltarse que la calidad de error de un sistema únicamente se define y se evalúa cuando tal sistema se encuentra en estado disponible. Cumplida esta condición previa se definen en primer lugar las situaciones de error, como sigue:

- 1.- Segundo con errores (ES, Errored Second): Periodo de tiempo de 1 segundo en el que hay uno o más bits erróneos.
- 2.- Segundo con muchos errores (SES, Severely Errored Second): Periodo de 1 segundo en el que la tasa de errores BER es mayor que 10^{-3} .
- 3.- Segundo sin errores (EFS, Error Free Second): Periodo de 1 segundo en que no hay errores de bit.

A partir de estas magnitudes, se han definido los siguientes parámetros de calidad de error:

- Relación de segundos con errores (ESR: Errored Second Ratio). Cociente entre ES y el número total de segundos de un intervalo de tiempo de medición.
- Relación de segundos con muchos errores (SESR: Severely Errored Second Ratio): Cociente entre SES y el número total de segundos de un intervalo de tiempo de medición.

Las recomendaciones UIT-R F.594, F.634, F.696 y F.697 establecen los objetivos de calidad de error para los radioenlaces digitales, en condiciones de disponibilidad.

En el caso de un radioenlace digital real, de longitud L (Km), la recomendación UIT-R F.634 establece, para el grado alto, la siguiente distribución de objetivos de calidad: (p. 21)

$$\text{ESR: } \frac{L}{2500} 0,0032 \text{ de cualquier mes} \quad \text{Ec.2.21}$$

$$\text{SESR: } \frac{L}{2500} 0,0054 \text{ de cualquier mes } 280 < L < 2500 \text{ km} \quad \text{Ec.2.22}$$

$$0,0005 + \frac{L}{2500} 0,00004 \text{ de cualquier mes } L > 2500 \text{ km} \quad \text{Ec.2.23}$$

Si L es menor a 280 Km los parámetros ESR y SESR consideran a L igual a 280 Km.

Desvanecimientos

Se conoce con el nombre de desvanecimiento a toda disminución de la potencia recibida de señal con relación a su valor nominal. La diferencia entre este nivel nominal y el nivel recibido en condiciones de desvanecimiento se llama profundidad de desvanecimiento y

se expresa en dB. Al intervalo de tiempo entre la disminución y la recuperación del nivel nominal, se le llama duración del desvanecimiento.

Desvanecimiento Plano y Selectivo

Un desvanecimiento es plano, cuando la caída de nivel afecta por igual a todas las componentes del espectro de una portadora modulada. En cambio, los desvanecimientos selectivos producen distorsión en el espectro de la señal modulada al afectar de modo diferente a unas frecuencias y a otras. Ello provoca una degradación en la señal demodulada.

Desvanecimiento por Multitrayectoria

Hernando (2008) encontró lo siguiente:

Los desvanecimientos multitrayecto se originan por la aparición de varios caminos de propagación entre el transmisor y el receptor, de forma que se produce una interferencia entre el rayo directo y los rayos que alcanzan la antena receptora con diversos ángulos, tras recorrer otros trayectos de propagación (reflexión en el suelo o en capas atmosféricas). La señal resultante es la suma de una componente prácticamente constante (señal directa) y otras componentes de amplitudes variables y fases aleatorias, creando esto una señal resultante que puede tener una amplitud variable en función de las amplitudes y fases instantáneas de las componentes interferentes. (p. 142)

Firma o Signatura de un Receptor

La firma o signatura de un receptor de radio digital, es una característica de <<personalización>>, que indica la medida en que el equipo introducirá errores cuando reciba una señal afectada por distorsión debida a desvanecimiento selectivo.

Factor de Aparición de Desvanecimiento

El Factor de aparición de desvanecimiento “Po” es un parámetro que depende de la longitud del enlace, de la frecuencia, de la rugosidad del terreno y del clima.

Existen métodos alternativos para hallar Po descritos en la Rec. UIT-R P.530-10, los cuales se expondrán a continuación:

Paso 1: En el trayecto del radioenlace, se estima el factor geoclimatico “K” correspondiente al mes más desfavorable medio, a partir de los datos de desvanecimiento de la zona geográfica que interesa. Si no se dispone de datos medidos para K, y se necesita un cálculo rápido de K para aplicaciones de planificación puede obtenerse una estimación bastante precisa a partir de la fórmula:

$$K = 10^{-4,2-0,0029.d.N_1} \quad \text{Ec.2.24}$$

En la que dN_1 es el gradiente de refractividad puntual que es especificado en la recomendación UIT-R P.453 según la zona del planeta donde se encuentre el trayecto del radioenlace.

Paso 2: A partir de las alturas de las antenas de transmisión “ h_t ” y recepción “ h_r ” medidas en metros sobre el nivel del mar, se calcula la magnitud de la inclinación del trayecto “ $|\epsilon_p|$ ” (medida en mrad), mediante la siguiente ecuación.

$$|\epsilon_p| = \frac{|h_r - h_t|}{d} \quad \text{Ec.2.25}$$

En la que d es la longitud del trayecto del tramo medida en km, y h_t como h_r vienen dadas por:

$h_t = \text{Altura del sitio del transmisor} + \text{Altura de la torre}$

$h_r = \text{Altura del sitio del receptor} + \text{Altura de la torre}$

Paso 3: Para aplicaciones de diseño del enlace, el factor de aparición de desvanecimiento “Po” viene dado por la siguiente expresión:

$$P_o = K \cdot d^3 \cdot (1 + |\epsilon p|)^{-1,2} \cdot 10^{0,033f - 0,001hL} \quad \text{Ec.2.26}$$

Donde f es la frecuencia en GHz, hL es la altura de la antena inferior (es decir, el valor menor de h_e y h_t), y donde el factor geoclimático “K” se obtiene de la ecuación dada en el paso 1.

Calidad de Fidelidad de un Radioenlace Digital

“La evaluación de la calidad de fidelidad se realiza para cada tramo, con la finalidad de sumar los porcentajes hallados y comparar el total con el rango especificado en la recomendación UIT-R F.634.” (Fernandez 2008, p. 25)

Para el cálculo de la proporción de segundos con muchos errores “PTT” se puede realizar mediante la suma de los porcentajes **PTP** y **PTS** correspondientes a los desvanecimientos plano y selectivo, respectivamente:

$$PTT = PTP + PTS \quad \text{Ec. 2.27}$$

El porcentaje de tiempo total para la ruta es la suma de los porcentajes para cada tramo:

$$P = \sum_{i=1}^N P_{TT}(i) \quad \text{Ec. 2.28}$$

Donde **PTT** es proporción de segundos con muchos errores para el tramo i ésimo y N es el número total de tramos.

Para el cálculo de los porcentajes de tiempo que intervienen en la evaluación de la calidad, se distinguen dos casos:

- a) Para radioenlaces digitales de pequeña capacidad (<34Mbit/s), se evalúa solamente el porcentaje para desvanecimiento plano:

$$P_{TT} = P_{TP} = P_o \cdot 10^{-M_3/10} \cdot 100\% \quad \text{Ec. 2.29}$$

Donde M3 es el margen bruto de desvanecimiento para el umbral considerado y Po es el factor de aparición de desvanecimiento.

b) Para radioenlaces de capacidad media y alta, debe calcularse el porcentaje de tiempo de interrupción debido al desvanecimiento plano y selectivo. Siendo PTS hallada mediante el método de la signatura, y finalmente PTT con el método del margen de desvanecimiento:

• **Método de la signatura:** La probabilidad de interrupción debida a desvanecimiento selectivo, viene dada por el producto de la probabilidad de desvanecimiento multitrayecto η y la probabilidad condicional de que, en estas condiciones haya interrupción:

$$p_s = \eta \cdot p\left(\frac{o}{\eta}\right) \quad \text{Ec. 2.30}$$

El porcentaje de tiempo PTS es:

$$\text{PTS} = p_s \cdot 100\% \quad \text{Ec. 2.31}$$

Se han propuesto distintos métodos que proporcionan expresiones muy parecidas para el cálculo de la probabilidad condicional $p(o/\eta)$. La recomendación UIT-R F.1093-1 propone:

$$p\left(\frac{o}{\eta}\right) = \frac{C \cdot P_b(1) \cdot k \langle \tau^2 \rangle}{T_s^2} \quad \text{Ec. 2.32}$$

En donde:

C: Factor Constante

$P_b(1)$: Valor de la densidad de probabilidades de b, para $b=1$.

k: Constante de signatura normalizada, la cual puede obtenerse a partir de la curva de signatura del receptor. En la tabla 2.3 figuran los valores de k típicos para receptores sin ecualización adaptativa. La utilización de ecualizadores transversales adaptativos en banda base mejora la calidad de funcionamiento del

sistema de forma que las cifras para la zona de signatura normalizada k se reducen normalmente a 1/10, aproximadamente, de los valores señalados a continuación.

Tabla 2.3 Constante de signatura

Método de Modulación	k	
	Teórica (Sin Ecuación Adaptativa)	Con ecuación
64 QAM	15,4	1,54
16 QAM	5,5	0,55
8 PSK	7,0	0,7
4 PSK	1,0	0,1

Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

$\langle \tau^2 \rangle$: Momento de segundo orden de la distribución del retardo del eco.

Para los retardos con distribución exponencial:

$$\langle \tau^2 \rangle = 2\tau_m^2 \quad \text{Ec. 2.33}$$

En donde τ_m es el valor medio del retardo, que según la Recomendación UIT-R P.530-10 se define como:

$$\tau_m = 0,7 \left(\frac{d}{50} \right)^{1,3} \text{ .ns} \quad \text{Ec. 2.34}$$

Siendo d la longitud del trayecto en (Km).

T_s : Periodo del símbolo que depende del tipo de modulación “M” usada y la velocidad de transmisión V_b , y viene dada por:

$$T_s = \frac{\log_2(M)}{V_b} \quad \text{Ec. 2.35}$$

η : Denominado *factor de actividad multitrayecto* y representa la fracción de tiempo (del mes más desfavorable) en que se produce desvanecimiento multitrayecto y viene dado según la Rec. UIT-R F.1093-1 para el método B como:

$$\eta = 1 - \exp \left[-0,2 P_o^{3/4} \right] \quad \text{Ec. 2.36}$$

Utilizando el valor de Mojoli para C·pb (1) = 2,16, correspondiente al método B propuesto en la Rec. UIT-R F.1093-1, entonces, se tiene que el porcentaje de tiempo para desvanecimiento selectivo está dado por la expresión:

$$P_{TS} = 100 \cdot \eta \cdot 4,32 k \left(\tau_m / T_S \right)^2 \% \quad \text{Ec. 2.37}$$

Cabe destacar que según se puede observar que PTS no depende del margen bruto M3, por lo que no puede reducirse su valor aumentando la potencia. La disminución de PTS solo se logra mediante la equalización en FI o en BB, utilizando diversidad, o empleando una combinación de estas técnicas.

• **Método del Margen Neto de Desvanecimiento:** La probabilidad total de interrupción PTT puede escribirse en términos de un margen efectivo o neto de desvanecimiento **Me** que es un valor teórico elegido de forma que PTT pueda expresarse mediante una ley similar a la del desvanecimiento plano:

$$P_{TT} = P_o \cdot 10^{-M_e/10} \quad \text{Ec. 2.38}$$

En donde, el margen neto deducido de las ecuaciones Ec. 2.37 y Ec. 2.38, arrojan la siguiente expresión para Me:

$$M_e(\text{dB}) = M_3 - 10 \log \left(1 + \frac{P_{TS}}{P_o} \cdot 10^{-M_3/10} \right) \quad \text{Ec. 2.39}$$

Donde M3 es el margen bruto de desvanecimiento y tanto Po como PTS están dadas en forma porcentual.

Para valores pequeños de M3, resulta $M_e \approx M_3$. En cambio, para valores grandes de M3, el margen neto tiende a un límite dado por

$$\lim_{M_3 \rightarrow \infty} M_e = 10 \log \left(\frac{P_o}{P_{TS}} \right) \quad \text{Ec. 2.40}$$

Esto se debe a que, cuando el margen bruto es muy alto, no hay ulterior mejora cuando se incrementa la potencia, quedando las interrupciones controladas por el desvanecimiento selectivo.

2.1.5 Ancho de Banda Empleado por Radioenlaces Digitales

En los radioenlaces digitales, la anchura de banda de transmisión se calcula mediante la siguiente expresión:

$$B_T = \frac{(1+\alpha).V_b}{\text{FEC}.\log_2(M)} \quad \text{Ec. 2.41}$$

BT: Ancho de banda espectral empleado en la modulación.

α : Es el valor del parámetro de caída progresiva del filtro variando el mismo en el rango 0 a 1 ($0 \leq \alpha \leq 1$). Su rango de valores práctico oscila entre 0,13 y 0,5 ($0.13 < \alpha < 0.50$) siendo típico el valor de 0.2.

Vb: Velocidad de la señal binaria antes del proceso de modulación (bit/s).

FEC: Forward error correction. Parámetro conocido como corrección de error por anticipo tomando el valor de uno si no es usado y en caso contrario viene dado por la siguiente expresión.

$$\text{FEC} = \text{VC} \cdot \text{RS} \quad \text{Ec. 2.42}$$

VC: Código de Viterbi, que toma valores típicos de 1/2, 2/3, 5/6, 3/4, 7/8.

RS: Reed Solomon, que toma valores típicos de 188/204, 192/208

M: Es el número de niveles del tipo de modulación multinivel.

2.1.6 Modulación Digital Multinivel M-PSK y M-QAM

Fernandez (2008) encontró lo siguiente:

Las técnicas de modulación digital pueden agruparse en tres grupos, dependiendo de la característica que se varíe en la señal portadora. Cuando se varía la amplitud, la técnica de modulación digital que se utiliza se conoce como **Conmutación por Corrimiento en Amplitud** (ASK, por sus siglas en inglés). Si se varía la frecuencia o la fase, las técnicas empleadas serían la **Conmutación por Corrimiento en Frecuencia** (FSK) o la **Conmutación por Corrimiento en Fase** (PSK), respectivamente. Cualquiera que sea la técnica de modulación digital empleada, la amplitud, la frecuencia o la fase de la señal portadora podrá tomar únicamente un número finito de valores discretos.

Debido a que permite una visualización muy clara del ambiente de modulación digital que se utilice, resulta muy práctico representar una fuente discreta de señales a partir de su espacio de señal o constelación. Una constelación es una representación geométrica de señales en un espacio de n dimensiones, en donde se visualizan todos los símbolos de salida posibles que puede generar un modulador. (p. 31)

Gracias a que en una constelación cada símbolo tiene asociado un valor de magnitud y uno de fase (como sucede en una representación polar), salvo en el caso de la Modulación FSK, todos los demás esquemas de modulación digital pueden representarse en un plano de dos dimensiones.

La amplitud y la fase de una señal pueden modularse simultáneamente o por separado, aunque esto resulta difícil de generar y principalmente de detectar. En vez de ello, es muy práctico separar la señal en dos componentes independientes conocidos como I (componente en fase) y Q (componente en cuadratura), ambos ortogonales entre sí. Cuando nos referimos a comunicaciones digitales, es común expresar la modulación en términos de estas dos componentes, razón por la cual, la representación de una constelación bidimensional I-Q es particularmente útil y puede asociarse a la mayor parte

de los métodos de modulación digital. En una constelación I-Q, la componente en fase se proyecta en el eje de las abscisas (eje x) y la componente en cuadratura se proyecta en el eje de las ordenadas (eje y) de un plano cartesiano.

En esta representación I-Q, cada señal que se mapea en una constelación tendrá asociada una posición precisa. (Esto es, un punto de coordenadas (I,Q).) Es con base en esta posición que los equipos receptores pueden determinar qué señal se transmitió. Para ello, cada señal mapeada en la constelación tiene asociada una región de decisión (Ver figura 2.5). Sin embargo, conforme una señal se propaga a través del canal de comunicación, ésta se verá afectada por ruido, provocando una modificación en la posición de los símbolos mapeados en la constelación. Cuando uno de estos símbolos se ubica más allá de la región de decisión que le corresponde, éste se confundirá con alguno de los símbolos adyacentes y, en consecuencia, provocará un error de bits.

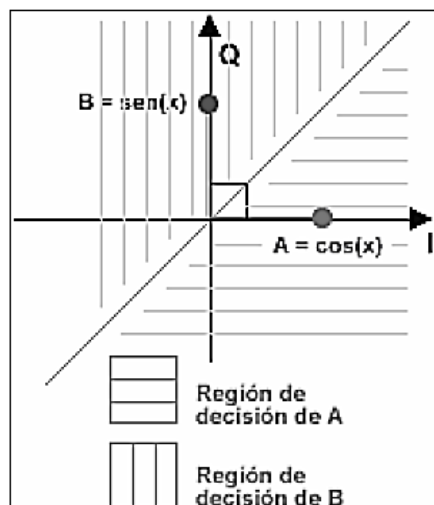


Figura 2.5. Representación de regiones de decisión en una constelación bidimensional I-Q
Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

Fernandez (2008, p.33) encontró lo siguiente:

En la modulación conocida como Conmutación por Corrimiento en Fase (PSK), la característica que varía de la señal portadora es la fase, manteniéndose la amplitud y la

frecuencia constantes. Para una modulación multinivel (M-PSK), la señal PSK podrá contar con tantos valores distintos de fase como símbolos se tengan mapeados en la constelación I-Q. Debido a que entre cada señal existe una diferencia de fase de $2\pi/m$ radianes, donde p es constante y m es el número de símbolos posibles, cada símbolo mapeado podrá componerse de una componente en fase y una componente en cuadratura. Obsérvese en la figura 2.6 los diagramas de las constelaciones BPSK y QPSK.

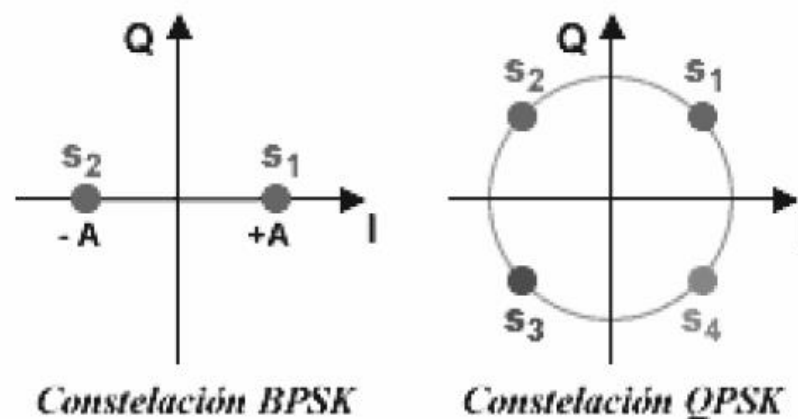


Figura 2.6 Diagramas de las constelaciones BPSK y QPSK

Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

Entre los formatos de modulación digital destaca el método conocido como Modulación en Amplitud por Cuadratura (QAM, por sus siglas en inglés) que es un esquema de modulación multinivel en donde se envían señales, con distintas combinaciones de amplitud y fase. Utilizando múltiples niveles, tanto en la modulación en amplitud como en la modulación en fase, es posible la transmisión de grupos de bits, de manera que cada uno de estos grupos será representativo de un conjunto nivel-fase característico de la portadora de la señal, mismo que dará cabida a un símbolo.

Una de las características principales de la modulación QAM es que modula la mitad de los símbolos con una frecuencia y la otra mitad con la misma frecuencia, pero desfasada 90° . El resultado de las componentes después se suma, dando lugar a la señal QAM. De esta forma, QAM permite llevar dos canales en una misma frecuencia mediante la transmisión ortogonal de uno de ellos con relación al otro.

Representándose lo anteriormente expuesto a manera ilustrativa en las constelaciones de la figura 2.7.

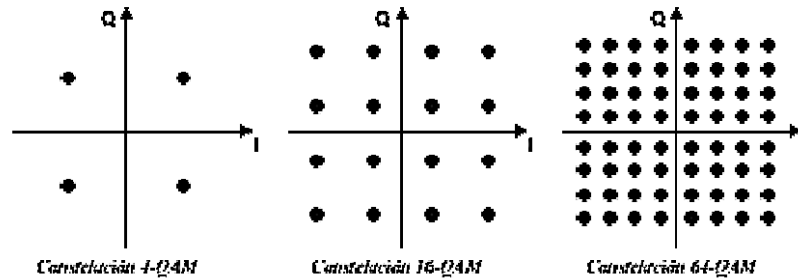


Figura 2.7 Ejemplos de constelaciones QAM.

Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

2.1.7 Ecuación Adaptativa de los Canales

Normalmente, el radiocanal necesita algún tipo de ecualización en recepción.

El ecualizador debe controlarse de forma adaptativa para seguir las variaciones de las características de transmisión a medida que varían las condiciones de propagación.

Las técnicas de ecualización utilizadas pueden clasificarse en dos grupos, dependiendo de que su modo de funcionamiento se describa de forma más natural en el dominio de la frecuencia o en el dominio del tiempo:

Ecuación en el Dominio de la Frecuencia

Este tipo de ecualizador comprende una o más redes lineales diseñadas para producir respuestas de amplitud y de retardo de grupo que compensen las degradaciones de transmisión que se considera que provocarán más probablemente una degradación de la calidad de funcionamiento del sistema durante periodos de desvanecimiento multitrayecto.

Ecuación en el Dominio del Tiempo

Hernando (2008 p.143) encontró lo siguiente:

Para los sistemas digitales, el procesamiento de la señal en el dominio del tiempo puede considerarse la técnica de ecualización más natural, puesto que trata de combatir directamente la interferencia entre símbolos. La información de control se obtiene correlacionando la interferencia que aparece en el instante de la decisión con los diversos símbolos adyacentes que la producen, y se utiliza para ajustar redes de línea de retardo con tomas a fin de proporcionar señales de supresión apropiadas. Este tipo de ecualizador tiene la capacidad de tratar simultánea e independientemente las distorsiones producidas

por las desviaciones de amplitud y de retardo de grupo en el canal con desvanecimiento, proporcionando así compensación para las características de fase mínima o de fase no mínima.

CAPÍTULO III: INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.1 NECESIDAD DEL PROYECTO

El proyecto surge de la necesidad de independizar el enlace hacia la Central Hidroeléctrica de Pachachaca, desde el Cerro Oroya pues el enlace actual pasa por Mahr Túnel que está dentro de las instalaciones de la empresa minera VOLCAN.

La necesidad mencionada se da porque se han dado varios casos en los cuales la comunicación hacia la Central Hidroeléctrica de Pachachaca se ha interrumpido no por falla en los equipos o sistemas de Electroandes si no por trabajos de mantenimiento en Mahr Túnel o por alguna falla de energía no ocasionada por Electroandes.

3.2 TECNOLOGÍA A UTILIZAR

Como se ha podido analizar en el capítulo I, el enlace actual entre el Cerro Oroya y la Central Hidroeléctrica de Pachachaca es analógico, empleando equipos de la marca FARINON, modelo FL1-7 NP de 1 vatio de potencia, en la banda de 7 GHz.

Como parte del plan de modernización de los equipos de la empresa Electroandes, el nuevo enlace se realizará empleando equipos de tecnología digital Marca Ceragon en la misma banda de frecuencia y en las frecuencias específicas de transmisión y recepción asignadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

3.3 INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.3.1 Ubicación del Proyecto

El proyecto se centra en la Central Hidroeléctrica de Pachachaca la cual debía enlazarse con el Cerro Oroya sin pasar por Mahr Túnel.

Luego de analizar la carta geográfica de nivel, con escala 1:100,000 del Instituto Geográfico Nacional, se determinó que al no existir línea de vista directa entre los dos

puntos, era necesario un punto intermedio ubicado en el Cerro Empalma en el cual se tendría que utilizar un reflector pasivo (repetidora pasiva Back to Back), según se muestra en la figura 3.1 a continuación mostramos los datos de las ubicaciones de los 3 puntos en la Tabla 3.1. así como los perfiles de ambos enlaces figura 3.3, 3.4, 3.6, 3.7 obtenidas del Software Solaria.

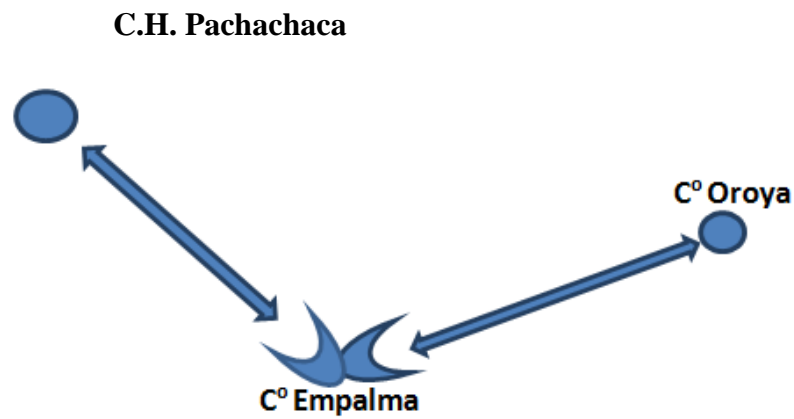


Figura 3.1 Diagrama del Enlace
Fuente: Datos del Proyecto

Tabla 3.1 Tabla de Coordenadas de Ubicación del Proyecto

	COORDENADAS	
	LONGITUD OESTE	LATITUD SUR
CERRO OROYA	75° 53' 7.44"	11° 28' 34.92"
CERRO EMPALMA	75° 59' 45.3"	11° 37' 50"
CENTRAL HIDROELÉCTRICA PACHACHACA	76° 02' 7.38"	11° 37' 18.78"

Fuente: Datos obtenidos en Campo

3.3.2 Línea de Vista del Enlace 1

Usando el programa ACP del paquete de software Solaria se obtienen los siguientes resultados para el enlace entre la Central Hidroeléctrica Pachachaca y el C° Empalma según se muestra en la figura 3.2.

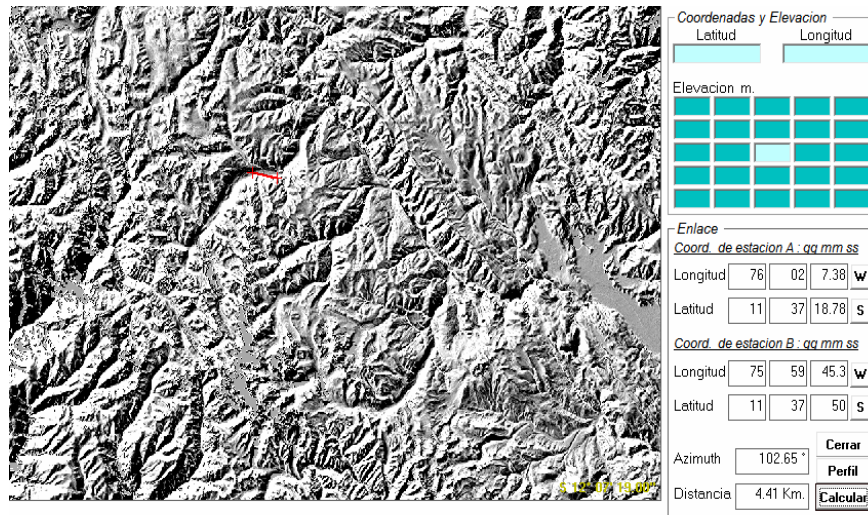


Figura 3.2 Enlace Central Hidroeléctrica – Cerro Empalma

Fuente: Software Solaría

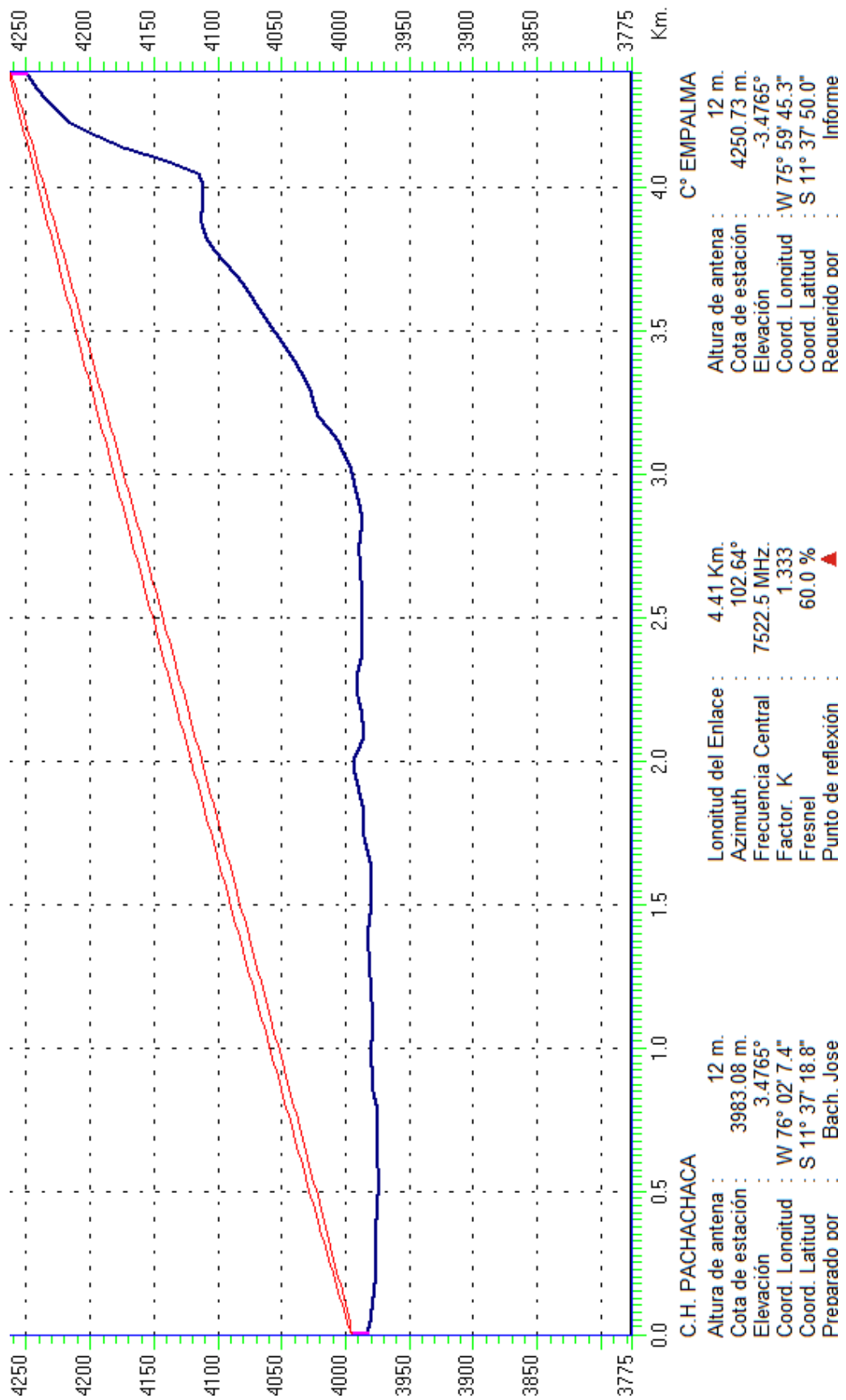


Figura 3.3 Perfil del Enlace 1

Fuente : Software Solaria

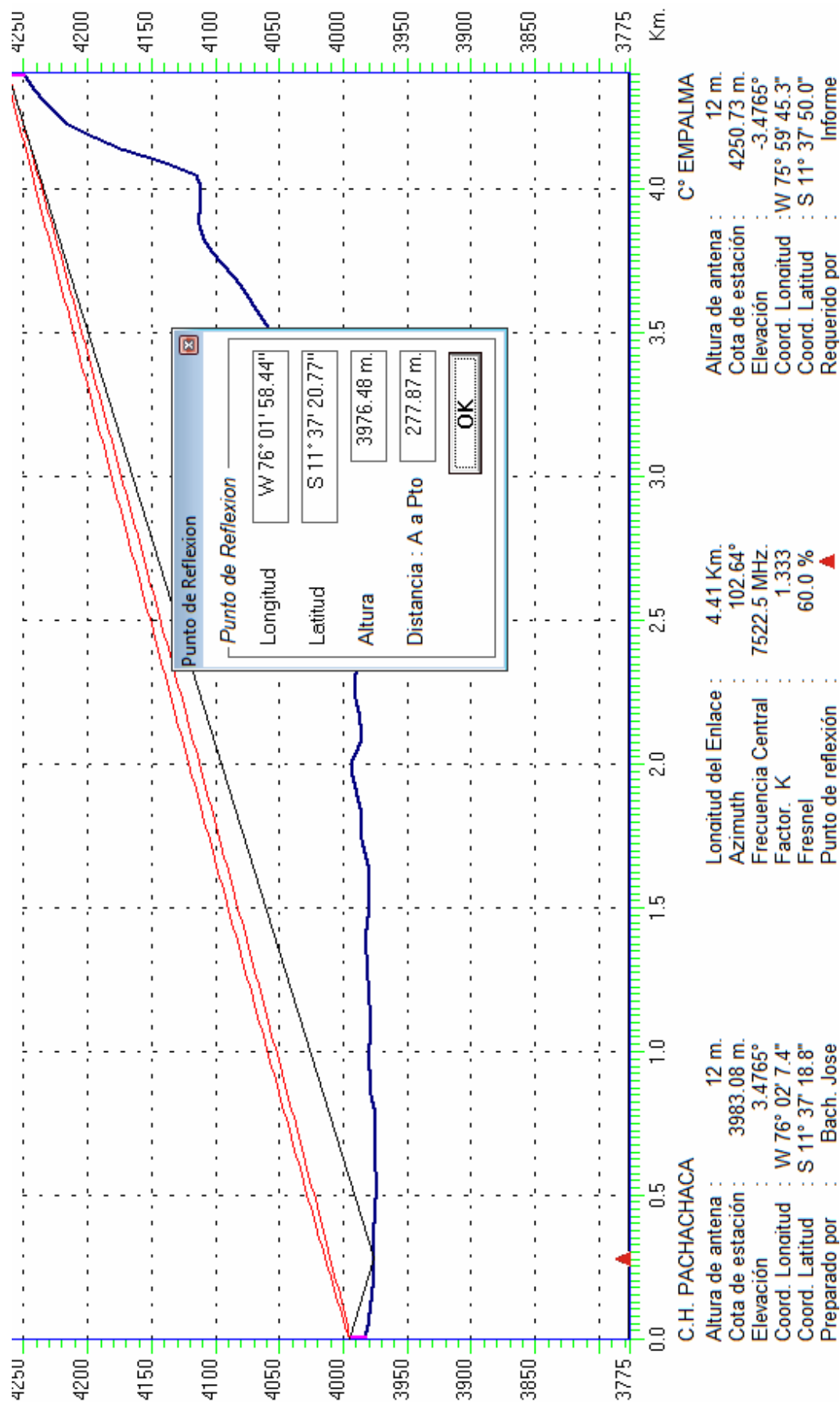


Figura 3.4 Punto de Reflexión 1

Fuente : Software Solaria

TABULACIÓN DEL PERFIL

Red : Electroandes
Enlace : 1
Estación A : C.H. PACHACHACA
Estación B : C° EMPALMA
Longitud : 4,41 Km.

N°	Distancia Km.	Altitud m.s.n.m.	Vegetación m.	Continuación
				Alt. Total m.
01	00,000	3983	00.00	3983
02	00,045	3981	00.00	3981
03	00,089	3980	00.00	3980
04	00,134	3978	00.00	3978
05	00,178	3977	00.00	3977
06	00,223	3976	00.00	3976
07	00,267	3976	00.00	3976
08	00,312	3977	00.00	3977
09	00,356	3977	00.00	3977
10	00,401	3976	00.00	3976
11	00,445	3975	00.00	3975
12	00,490	3974	00.00	3974
13	00,534	3974	00.00	3974
14	00,579	3974	00.00	3974
15	00,623	3974	00.00	3974
16	00,668	3975	00.00	3975
17	00,712	3975	00.00	3975
18	00,757	3975	00.00	3975
19	00,801	3976	00.00	3976
20	00,846	3978	00.00	3978
21	00,890	3978	00.00	3978
22	00,935	3980	00.00	3980
23	00,979	3980	00.00	3980
24	01,024	3980	00.00	3980
25	01,068	3978	00.00	3978
26	01,113	3979	00.00	3979
27	01,157	3979	00.00	3979
28	01,202	3980	00.00	3980
29	01,246	3980	00.00	3980
30	01,291	3981	00.00	3981
31	01,335	3982	00.00	3982
32	01,380	3982	00.00	3982
33	01,424	3982	00.00	3982
34	01,469	3981	00.00	3981
35	01,513	3980	00.00	3980
36	01,558	3979	00.00	3979
37	01,602	3979	00.00	3979
38	01,647	3981	00.00	3981
39	01,691	3984	00.00	3984

TABULACIÓN DEL PERFIL

Red : Electroandes
Enlace : 1
Estación A : C.H. PACHACHACA
Estación B : C° EMPALMA
Longitud : 4,41 Km.

N°	Distancia	Altitud	Vegetación	Continuación
				Alt. Total
40	01,736	3985	00.00	3985
41	01,780	3985	00.00	3985
42	01,825	3985	00.00	3985
43	01,869	3987	00.00	3987
44	01,914	3990	00.00	3990
45	01,958	3992	00.00	3992
46	02,003	3994	00.00	3994
47	02,047	3989	00.00	3989
48	02,092	3985	00.00	3985
49	02,136	3986	00.00	3986
50	02,181	3988	00.00	3988
51	02,225	3990	00.00	3990
52	02,270	3990	00.00	3990
53	02,314	3990	00.00	3990
54	02,359	3988	00.00	3988
55	02,403	3986	00.00	3986
56	02,448	3986	00.00	3986
57	02,492	3987	00.00	3987
58	02,537	3987	00.00	3987
59	02,581	3987	00.00	3987
60	02,626	3988	00.00	3988
61	02,670	3988	00.00	3988
62	02,715	3989	00.00	3989
63	02,759	3989	00.00	3989
64	02,804	3988	00.00	3988
65	02,848	3986	00.00	3986
66	02,893	3989	00.00	3989
67	02,937	3992	00.00	3992
68	02,982	3994	00.00	3994
69	03,026	3996	00.00	3996
70	03,071	4001	00.00	4001
71	03,115	4006	00.00	4006
72	03,160	4013	00.00	4013
73	03,204	4021	00.00	4021
74	03,249	4024	00.00	4024
75	03,293	4028	00.00	4028
76	03,338	4032	00.00	4032
77	03,382	4038	00.00	4038
78	03,427	4045	00.00	4045
79	03,471	4052	00.00	4052

80	03,516	4058	00.00	4058
81	03,560	4065	00.00	4065
82	03,605	4071	00.00	4071
83	03,649	4078	00.00	4078
84	03,694	4085	00.00	4085
85	03,738	4094	00.00	4094
86	03,783	4103	00.00	4103
87	03,827	4109	00.00	4109
88	03,872	4113	00.00	4113
89	03,916	4113	00.00	4113
90	03,961	4111	00.00	4111
91	04,005	4111	00.00	4111
92	04,050	4116	00.00	4116
93	04,094	4143	00.00	4143
94	04,139	4173	00.00	4173
95	04,183	4196	00.00	4196
96	04,228	4217	00.00	4217
97	04,272	4227	00.00	4227
98	04,317	4236	00.00	4236
99	04,361	4244	00.00	4244
100	04,406	4251	00.00	4251

Fuente: Software Solaría

3.3.3 Línea de Vista Enlace 2

En la figura 3.5 se muestran los resultados de aplicación del programa ACP para el enlace entre C° Empalma y el C° Oroya:

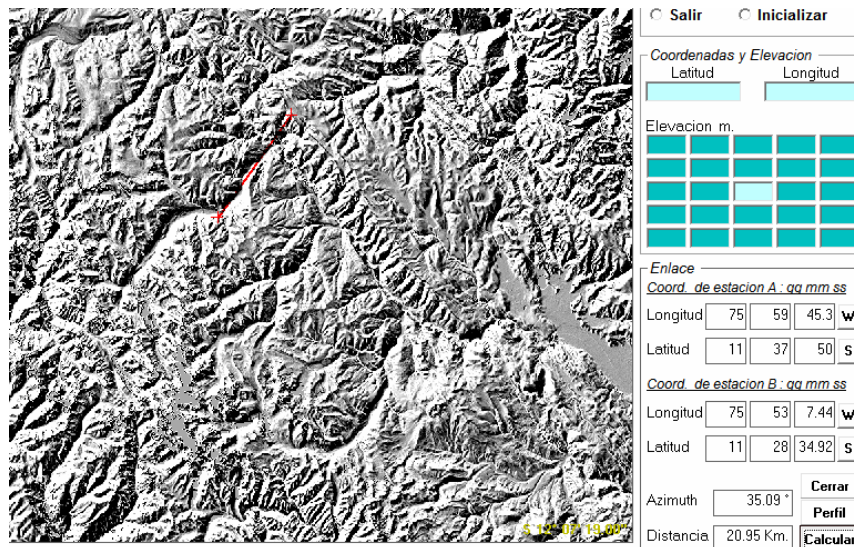


Figura 3.5 Línea de Vista Enlace 2

Fuente: Software Solaría

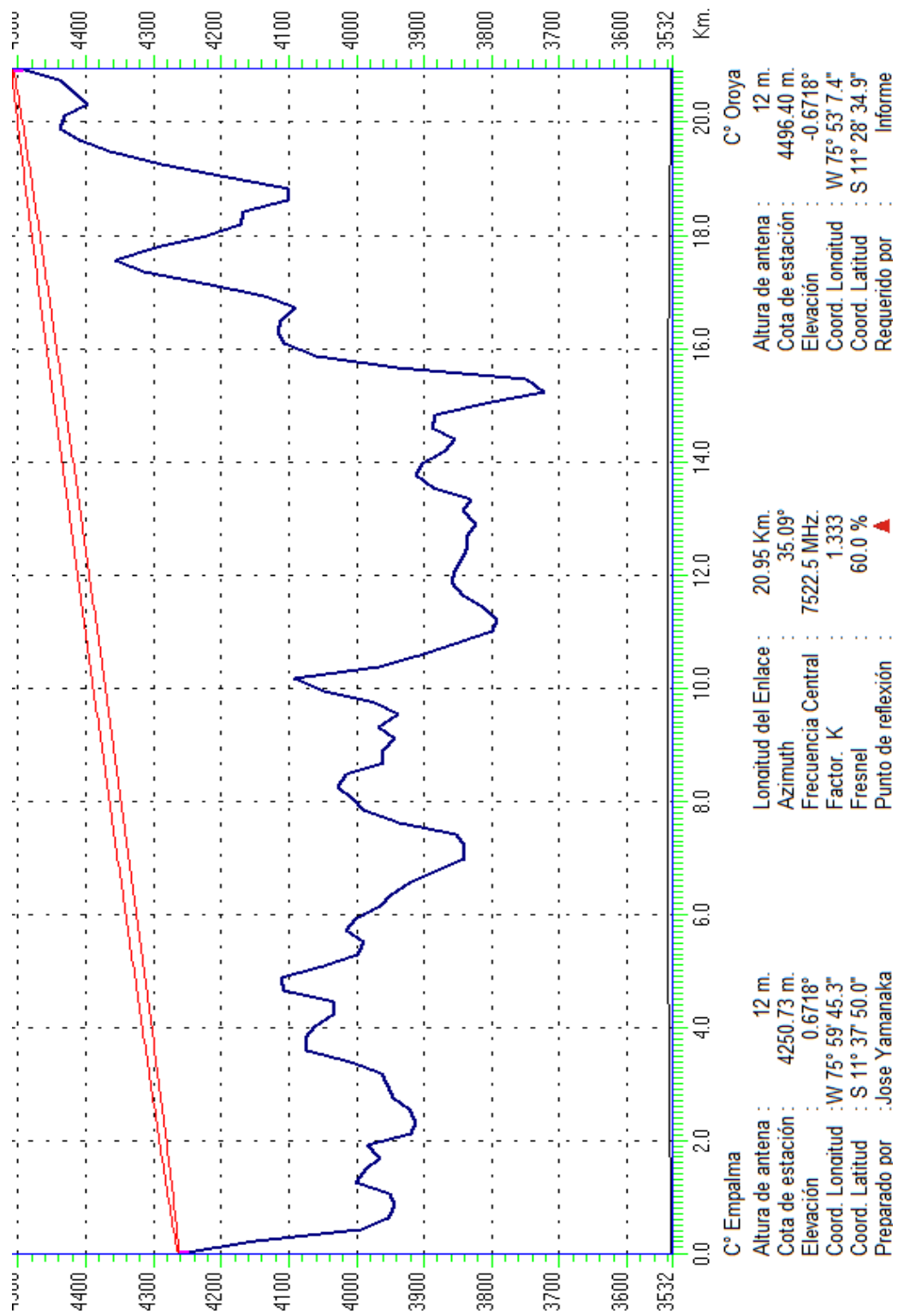


Figura 3.6 Perfil del Enlace 2

Fuente : Software Solaria

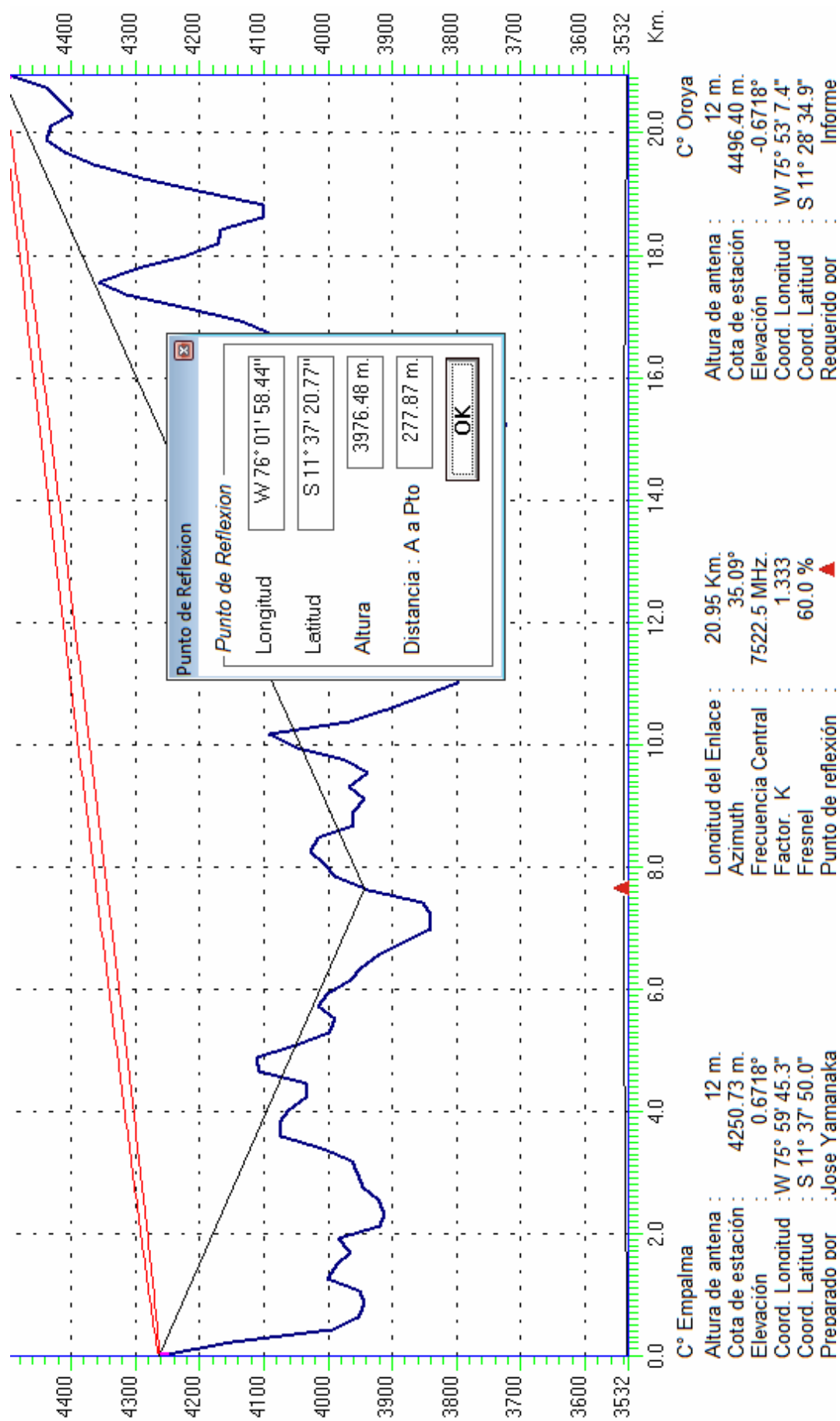


Figura 3.7 Punto de Reflexión 2

Fuente : Software Solaria

TABULACIÓN DEL PERFIL

Red : Electroandes
Enlace : 2
Estación A : C° EMPALMA
Estación B : C° OROYA
Longitud : 20,95 Km.

N°	Distancia Km.	Altitud m.s.n.m.	Vegetación m.	Alt. Total m.
01	00.000	4250	00.00	4250
02	00.213	4210	00.00	3981
03	00.432	4183	00.00	3980
04	00.618	4056	00.00	3978
05	00.874	4018	00.00	3977
06	01.023	3997	00.00	3976
07	01.292	3981	00.00	3976
08	01.431	3950	00.00	3977
09	01.656	3932	00.00	3977
10	01.801	3911	00.00	3976
11	02.045	3896	00.00	3975
12	02.290	3902	00.00	3974
13	02.434	3926	00.00	3974
14	02.679	3943	00.00	3974
15	02.823	3967	00.00	3974
16	03.068	3971	00.00	3975
17	03.212	3924	00.00	3975
18	03.457	3916	00.00	3975
19	03.601	3932	00.00	3976
20	03.846	3974	00.00	3978
21	04.090	3996	00.00	3978
22	04.235	4041	00.00	3980
23	04.479	4056	00.00	3980
24	04.624	4087	00.00	3980
25	04.868	4114	00.00	3978
26	05.013	3979	00.00	3979
27	05.257	3979	00.00	3979
28	05.402	3980	00.00	3980
29	05.646	3980	00.00	3980
30	05.891	3981	00.00	3981
31	06.035	3982	00.00	3982
32	06.280	3982	00.00	3982
33	06.424	3982	00.00	3982
34	06.669	3981	00.00	3981
35	06.813	3980	00.00	3980
36	07.058	3979	00.00	3979
37	07.202	3979	00.00	3979
38	07.447	3981	00.00	3981
39	07.691	3984	00.00	3984

TABULACIÓN DEL PERFIL

Red : Electroandes
Enlace : 2
Estación A : C° EMPALMA
Estación B : C° OROYA
Longitud : 20,95 Km.

N°	Distancia	Altitud	Vegetación	Continuación
				Alt. Total
40	07.836	3985	00.00	3985
41	08.080	3985	00.00	3985
42	08.225	3985	00.00	3985
43	08.469	3987	00.00	3987
44	08.614	3990	00.00	3990
45	08.858	3992	00.00	3992
46	09.003	3994	00.00	3994
47	09.247	3989	00.00	3989
48	09.492	3985	00.00	3985
49	09.636	3986	00.00	3986
50	09.881	3988	00.00	3988
51	10.025	3990	00.00	3990
52	10.270	3990	00.00	3990
53	10.414	3990	00.00	3990
54	10.659	3988	00.00	3988
55	10.803	3986	00.00	3986
56	11.048	3986	00.00	3986
57	11.292	3987	00.00	3987
58	11.437	3987	00.00	3987
59	11.681	3987	00.00	3987
60	11.826	3988	00.00	3988
61	12.070	3988	00.00	3988
62	12.215	3989	00.00	3989
63	12.459	3989	00.00	3989
64	12.604	3988	00.00	3988
65	12.848	3986	00.00	3986
66	13.093	3989	00.00	3989
67	13.237	3992	00.00	3992
68	13.482	3994	00.00	3994
69	13.626	3996	00.00	3996
70	13.871	4001	00.00	4001
71	14.015	4006	00.00	4006
72	14.260	4013	00.00	4013
73	14.404	4021	00.00	4021
74	14.649	4024	00.00	4024
75	14.893	4028	00.00	4028
76	15.038	4032	00.00	4032
77	15.282	4038	00.00	4038
78	15.427	4045	00.00	4045
79	15.771	4052	00.00	4052

80	16.016	4058	00.00	4058
81	16.360	4065	00.00	4065
82	16.605	4071	00.00	4071
83	16.849	4078	00.00	4078
84	17.094	4085	00.00	4085
85	17.338	4094	00.00	4094
86	17.583	4103	00.00	4103
87	17.827	4109	00.00	4109
88	18.072	4113	00.00	4113
89	18.296	4113	00.00	4113
90	18.561	4111	00.00	4111
91	18.805	4111	00.00	4111
92	19.050	4116	00.00	4116
93	19.394	4143	00.00	4143
94	19.539	4173	00.00	4173
95	19.883	4196	00.00	4196
96	20.028	4217	00.00	4217
97	20.472	4227	00.00	4227
98	20.617	4236	00.00	4236
99	20.861	4244	00.00	4244
100	20.951	4496	00.00	4496

Fuente: Software Solaría

3.3.4 Cálculos Matemáticos

Ecuación General:

$$R_{SL} = Pt - Lt + Gt - \lambda_{B-C} + GR - \lambda_{B-A} + Gr - Lr - a - b - c - d - e$$

De donde el valor a obtener será el nivel de Recepción en la antena de Pachachaca :

R_{SL} = Nivel de recepción en dBd

Pt = Potencia de transmisión en dBm

Gt = Ganancia de antena transmisora en dB

Lt = -Pérdida nel cable del Transmisor

λ_{B-C} = Pérdida de espacio libre

GR = Ganancia de reflector

Lr = Pérdida en el cable de Recepción

a = Atenuación por el vapor de agua en la atmosfera

b = Atenuación por niebla

c = Atenuación por oxigeno

d = Suma de las pérdidas por absorción por otros gases

e = Pérdida por lluvias

λ_{B-A} = Pérdida de espacio libre

La ecuación general se reduce al tener varias variables que son despreciables para nuestro caso, debido a la zona geográfica que nos encontramos.

Quedando de la siguiente manera:

$$R_{SL} = P_t - L_t + G_t - \lambda_{B-C} + G_R - \lambda_{B-A} + G_r - L_r - e$$

De donde:

R_{SL} = Nivel de recepción en XXX en dB

P_t = Potencia de transmisión en dBm

G_t = Ganancia de antena transmisora en dB

L_t = Pérdida en el cable del Transmisor

λ_{B-C} = Pérdida de espacio libre

G_R = Ganancia de reflector

L_r = Pérdida en el cable de Recepción

e = Pérdida por lluvias

λ_{B-A} = Pérdida de espacio libre

Obtenemos la pérdida por espacio libre

$$\lambda_{B-C} = \frac{20 \log 4 \pi d}{\lambda} \quad d = 4,41 \text{ Km}$$

Hallamos λ : $\lambda = \frac{c}{\text{frecuencia}}$ $c = 3 \times 10^5 \text{ Km/seg}$

$$f = 7522,5 \text{ MHz}$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^5}{7,5255 \times 10^9}$$

$$\lambda = 0,3988 \times 10^{-4} \text{ km}$$

$$\lambda_{B-C} = 20 \log \frac{4 (3,14) (4,41 \text{ km})}{0,3988 \times 10^{-4} \text{ km}}$$

$$\lambda_{B-C} = 20 \log (31,494) (10^4) (4.41)$$

$$\lambda_{B-C} = 20 \log (1388885,4)$$

$$\lambda_{B-C} = \underline{\underline{122,85 \text{ dB}}}$$

$$\lambda_{B-A} = \frac{20 \log 4 \pi d}{\lambda} \quad d = 20,95 \text{ km}$$

$$\lambda = 0,39880 \times 10^{-4} \text{ km}$$

$$\lambda_{B-A} = 20 \log \frac{4 (3,14) (20,95 \text{ km})}{0,3988 \times 10^{-4} \text{ km}}$$

$$\lambda_{B-A} = 20 \log (31,494) (10^4) (20,95)$$

$$\lambda_{B-A} = 20 \log (6597993)$$

$$\lambda_{B-A} = \underline{\underline{136,388 \text{ dB}}}$$

Reemplazamos algunos valores obtenidos y conocidos:

$$R_{SL} =$$

$$P_t = 24,52 \text{ dBm}$$

$$G_t = \text{Ganancia de antena transmisora}$$

$$L_t = -3\text{dB pérdida en tx}$$

$$\lambda_{B-C} = \text{Pérdida de espacio libre} = 122,85\text{dB}$$

$$G_R = \text{Ganancia de reflector}$$

$$L_r = -3\text{dB pérdida en Receptora}$$

$$e = \text{Pérdida por lluvias}$$

$$\lambda_{B-A} = \text{Pérdida de espacio libre} = 136,388 \text{ dB}$$

Hallaremos “e” desvanecimiento Interruptor por lluvia

$$A_{0,01\%} = \gamma_R \cdot d.r \text{ (dB)}$$

$$\gamma_R = \text{Atenuación específica dB/km}$$

$$\gamma = \text{factor distancia} \quad d = \text{longitud del enlace (km)}$$

$$\text{Hallamos: } \gamma_R = K R^\alpha$$

α_v y K_v = Coeficiente obtenido de la tabla 3.2.

$$\therefore \alpha_v = 1,311 \text{ para frecuencia } 7,5225 \text{ GHz}$$

$$K_v = 0,00330 \text{ para frecuencia } 7,5225 \text{ GHz}$$

$$\gamma_R = 0,00330 (R)^{1.311}$$

$$R = 95$$

(Ver figura 3.8 y Tabla 3.3)

TABLA 3.2

Coefficientes para la atenuación específica

Frecuencia (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0,0000387	0,0000352	0,9122	0,8801
1,5	0,0000868	0,0000784	0,9341	0,8905
2	0,0001543	0,0001388	0,9629	0,9230
2,5	0,0002416	0,0002169	0,9873	0,9594
3	0,0003504	0,0003145	1,0185	0,9927
4	0,0006479	0,0005807	1,1212	1,0749
5	0,001103	0,0009829	1,2338	1,1805
6	0,001813	0,001603	1,3068	1,2662
7	0,002915	0,002560	1,3334	1,3086
7.5		0,00330		1,311
8	0,004567	0,003996	1,3275	1,3129
9	0,006916	0,006056	1,3044	1,2937
10	0,01006	0,008853	1,2747	1,2636
12	0,01882	0,01680	1,2168	1,1994
15	0,03689	0,03362	1,1549	1,1275
20	0,07504	0,06898	1,0995	1,0663
25	0,1237	0,1125	1,0604	1,0308
30	0,1864	0,1673	1,0202	0,9974
35	0,2632	0,2341	0,9789	0,9630
40	0,3504	0,3104	0,9394	0,9293
45	0,4426	0,3922	0,9040	0,8981
50	0,5346	0,4755	0,8735	0,8705
60	0,7039	0,6347	0,8266	0,8263
70	0,8440	0,7735	0,7943	0,7948
80	0,9552	0,8888	0,7719	0,7723
90	1,0432	0,9832	0,7557	0,7558
100	1,1142	1,0603	0,7434	0,7434
120	1,2218	1,1766	0,7255	0,7257
150	1,3293	1,2886	0,7080	0,7091
200	1,4126	1,3764	0,6930	0,6948
300	1,3737	1,3665	0,6862	0,6869
400	1,3163	1,3059	0,6840	0,6849

Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

TABLA 3.3

Lluvias por zonas y porcentaje de tiempo

Porcentaje de tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1,0	< 0,1	0,5	0,7	2,1	0,6	1,7	3	2	8	1,5	2	4	5	12	24
0,3	0,8	2	2,8	4,5	2,4	4,5	7	4	13	4,2	7	11	15	34	49
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0,01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

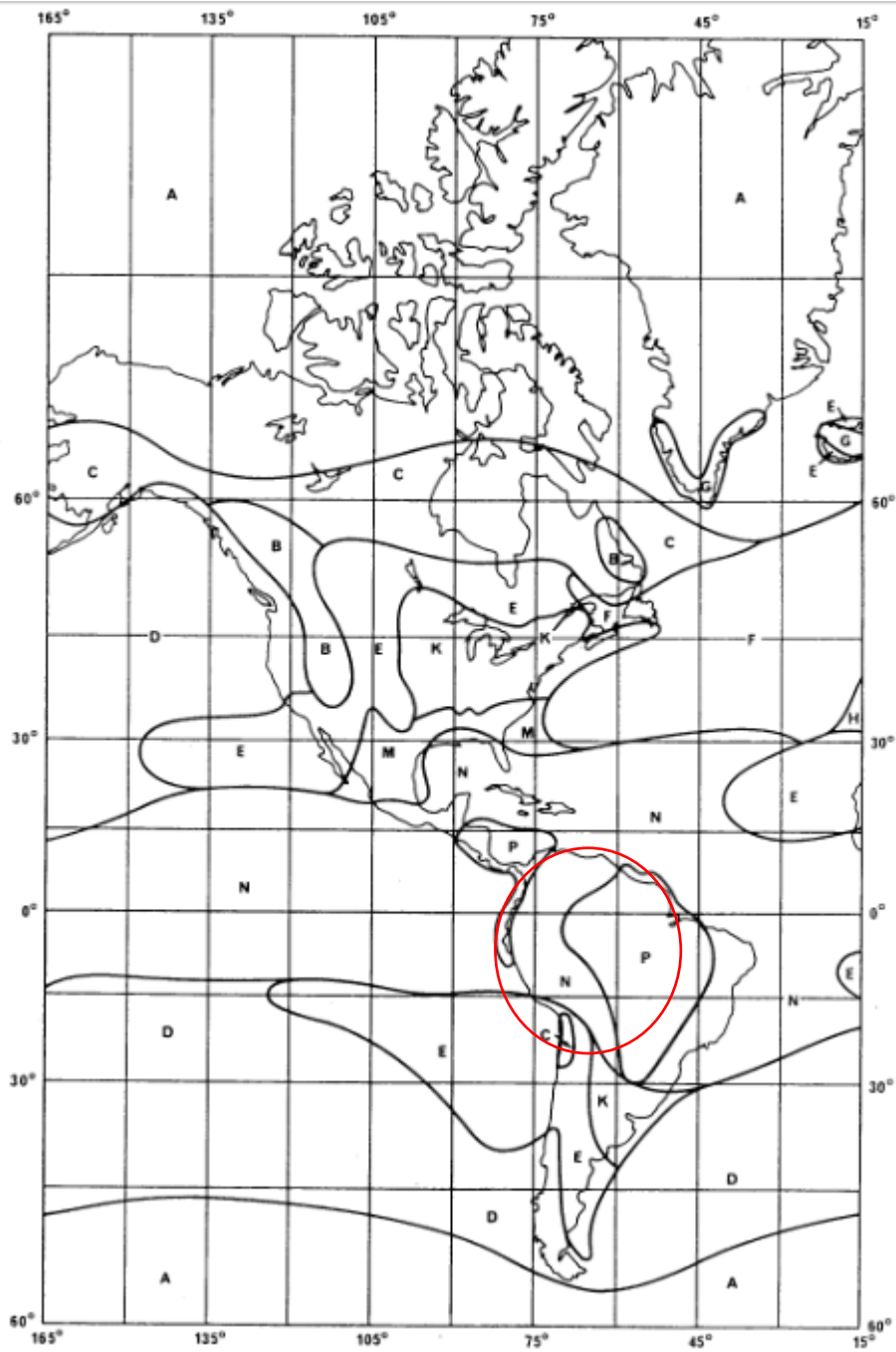


Figura 3.8 Zonas y Líneas con igual intensidad de Lluvia

Fuente: FERNANDEZ, J. 2008.

$$\gamma_R = 0,00330 (95)^{1,311} = 1,2921$$

Hallamos γ = factor distancia

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

$$d = \text{longitud del enlace} \quad d_0 = 35e^{-0,015R(0,0100)}$$

Para $d = 4,41 \text{ Km}$ Para $d = 20,95 \text{ km}$

$$d_0 = 35e^{-0,015R} \quad R = 95$$

$$d_0 = 35e^{-0,015(95)} \quad d_0 = 8,4178 \text{ km}$$

$$\gamma_{4,41 \text{ km}} = \left(\frac{1}{1 + \frac{4,41}{8,4178}} \right)$$

$$\gamma_{20,95 \text{ km}} = \left(\frac{1}{1 + \frac{20,95}{8,4178}} \right)$$

$$\gamma_{4,41 \text{ km}} = 0,6562$$

$$\gamma_{20,95 \text{ km}} = 0,2866$$

Hallamos la atenuación “ e_1 ” para 4,41 km

$$A_{0,01\%} = e_1 = (1,2921) (4,41) (0,6562)$$

$$e_1 = \mathbf{3,74 \text{ dB.}}$$

Hallamos la atenuación “ e_2 ” para 20,95 km

$$A_{0,01\%} = e_2 = (1,2921) (20,95) (0,2866)$$

$$e_2 = 7,76 \text{ dB}$$

$$\text{Atenuación por lluvia} = e_1 + e_2 = 3,74 \text{ dB} + 7,76 \text{ dB}$$

$$e = 11,50 \text{ dB}$$

Frecuencia: 7,603 y 7442 MHz

Media aritmética 7.522,5 MHz

$$\therefore \lambda = \frac{3 \times 10^5}{7526,5 \times 10^5} = 0,03988 \text{ mt} = 3,9886 \text{ cm}$$

$$\text{Fórmula } Gr = Z_{(0,5-0,7)} \times 10 \times (D/\lambda)^2$$

Dónde: D = diámetro de la antena; Z = ordenamiento

1. Para antenas de 1,20 mt

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{120}{3,988 \text{ cm}} = 30,09$$

a. $Z_{=0,5}$ Tenemos $Gr = 0,5 \times 10 \times (30,09)^2$

$$Gr = 4527,1$$

$$Gr = 10 \log (4527,1)$$

$$Gr = 36,55 \text{ dB}$$

b. $Z_{=0,6}$ Tenemos $Gr = 0,6 \times 10 \times (30,09)^2$

$$Gr = 5432,52$$

$$Gr = 10 \log (5432,52)$$

$$Gr = 37,35 \text{ dB}$$

c. $Z_{=0,7}$ Tenemos $Gr = 0,7 \times 10 \times (30,09)^2$

$$Gr = 6337,94$$

$$Gr = 10 \log (6337,94)$$

$$Gr = 38,01 \text{ dB}$$

2. Para antenas de 1,80mt

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{180}{3,988\text{cm}} = 45,1354$$

a. $Z_{=0,5}$ Tenemos $Gr = 0,5 \times 10 \times (45,1354)^2$

$$Gr = 10186,02$$

$$Gr = 10 \log (10186,02)$$

$$Gr = 40,08 \text{ dB}$$

b. $Z_{=0,6}$ Tenemos $Gr = 0,6 \times 10 \times (45,1354)^2$

$$Gr = 12223,2$$

$$Gr = 10 \log (12223,2)$$

$$Gr = 40,87 \text{ dB}$$

c. $Z_{=0,7}$ Tenemos $Gr = 0,7 \times 10 \times (45,1354)^2$

$$Gr = 14260$$

$$Gr = 10 \log (14260,4)$$

$$Gr = 41,54 \text{ dB}$$

3. Para antenas de 2,40mt

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{240}{3,988\text{cm}} = 60,18$$

a. $Z_{=0,5}$ Tenemos $Gr = 0,5 \times 10 \times (60,18)^2$

$$Gr = 18108,16$$

$$Gr = 10 \log (18108,16)$$

$$Gr = 42,57 \text{ dB}$$

b. $Z_{=0,6}$ Tenemos $Gr = 0,6 \times 10 \times (60,18)^2$

$$Gr = 21729,78$$

$$Gr = 10 \log (21729,78)$$

$$Gr = 43,30 \text{ dB}$$

c. $Z_{=0,7}$ Tenemos $Gr = 0,7 \times 10 \times (60,18)^2$

$$Gr = 25351,41$$

$$Gr = 10 \log (25351,41)$$

$$Gr = 44,04 \text{ dB}$$

4. Para antenas de 3,60mt

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{360}{3,988\text{cm}} = 90,27$$

a. $Z_{=0,5}$ Tenemos $Gr = 0,5 \times 10 \times (90,27)^2$

$$Gr = 40743,31$$

$$Gr = 10 \log (40743,31)$$

$$Gr = 46,12\text{dB}$$

b. $Z_{=0,6}$ Tenemos $Gr = 0,6 \times 10 \times (90,27)^2$

$$Gr = 48892,02$$

$$Gr = 10 \log (48892,02)$$

$$Gr = 46,89 \text{ dB}$$

Reemplazando todos los valores obtenidos:

$$R_{SL} =$$

$$Pt = 33,00 \text{ dBm}$$

$$Gt = \text{Ganancia de antena transmisora}$$

$$Lt = -3\text{dB}$$

$$\lambda_{B-C} = 122,85\text{dB}$$

$$G_R = \text{Ganancia de reflector}$$

$$Lr = -3\text{dB}$$

$$e = 11.5 \text{ dB}$$

Gr = Ganancia de antena receptora

$$\lambda_{B-A} = 136,388 \text{ dB}$$

$$R_{SL} = P_t - L_t + G_t - \lambda_{B-C} + GR - \lambda_{B-A} + Gr - L_r - e$$

$$R_{SL} = 33 - 3 + G_t - 122.85 + GR - 136.388 + Gr - 3 - 11.5$$

Considerando una antena de 2.4 mts.

$$R_{SL} = 33 - 3 + G_t - 122.85 + GR - 136.388 + Gr - 3 - 11.5$$

$$R_{SL} = -64.1 \text{ dBm}$$

3.3.5 Gestión del Enlace

El sistema será gestionado desde La Oroya donde se tendrá una computadora exclusiva para este fin; se usará un pool de IPs privadas (véase figura 3.9).

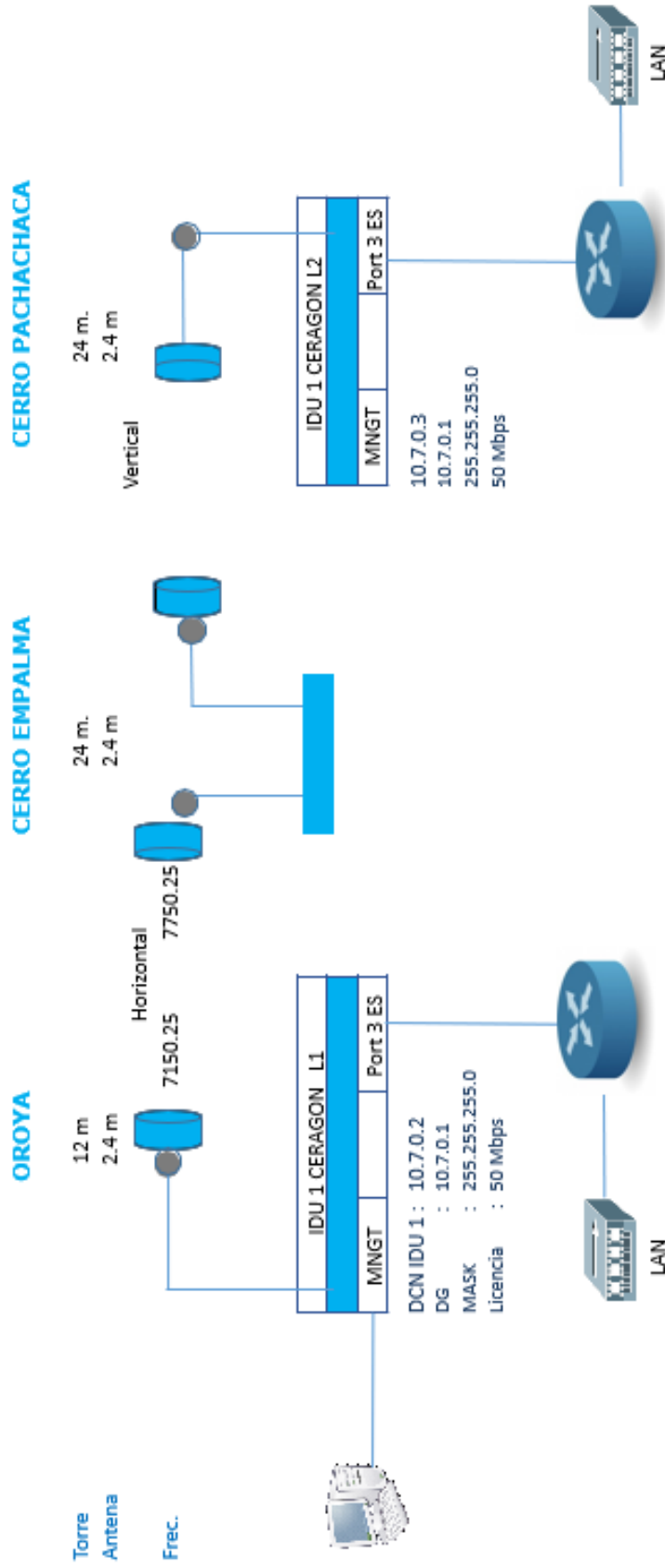


Figura 3.9 Topología de la Nueva Red de Radio

Fuente: Diseño Propio

3.3.6 Equipamiento Definitivo

De acuerdo a los cálculos realizados, se decidió por los siguientes equipos pues cumplen a satisfacción con las condiciones de los enlaces:

3.3.6.1 Antenas

HP8-70

Communication and Interfaces => Communications => Chip Antennas

7125 MHz - 7750 MHz PARABOLIC ANTENNA, 42.6 dBi GAIN, 1.1 deg 3dB BEAMWIDTH 2.4 mts

Specifications

Primary Frequency Range 7125,0 to 7750,0 MHz

Gain 42,6 dB

VSWR 1,06 1

Power 0,2010 HP (0.1500 k watts)

Operating Temperature -58 to 158 F (223 to 343 K)

Fuente: Datasheet del fabricante

3.3.6.2 Línea de Transmisión

RG8X-BEL Coaxial cable, Flexible, Stranded Center Conductor, Black Jacket

mini-8" foam/low loss, For more details, see Data Sheet

MFR: Belden

Attenuation (dB)/100 Ft.

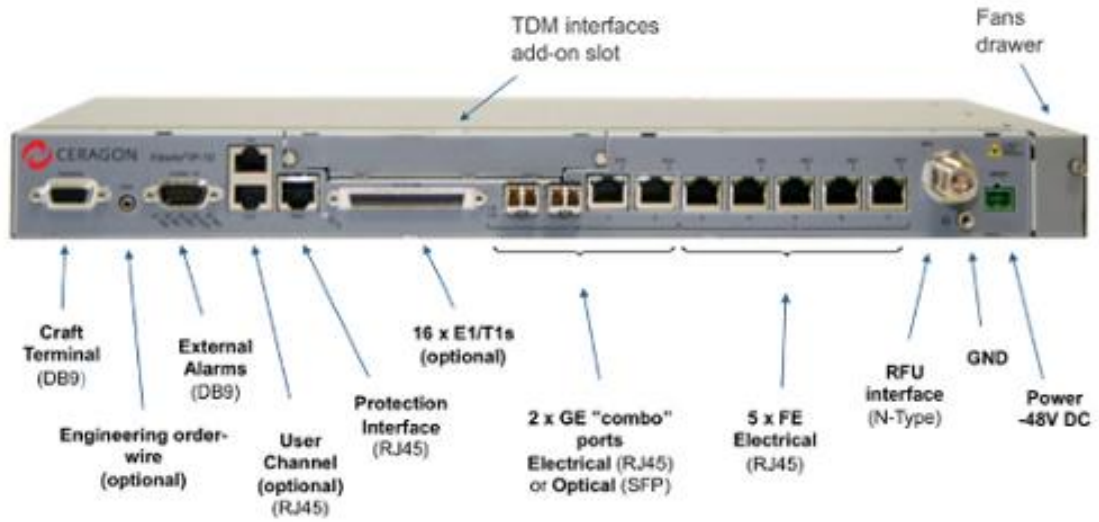
30 MHz	1,9
150 MHz	4,6
450 MHz	8,6
824 MHz	12,2
960 MHz	13,3
1500 MHz	16,6
2000 MHz	19,2
2300 MHz	20,6
5800 MHz	32,8

General Characteristics

Max. Frequency	N/A
Propagation Velocity	82%
Overall Diameter(in)	.242
Dielectric	Foam Polyethylene
Outer Conductor	90% Bare Copper Braid
Inner Conductor	Stranded Bare Copper
Min. Bending Radius(in)	2,4"
Warranty	10 Year
Shipping Method	UPS
Jacket Material	Black PVC
Ship Weight (lbs.)	20
Impedance	50 Ohm
Cable Type	RG8X Type

EQUIPAMIENTO CERAGON

EQUIPO INDOOR



EQUIPO OUTDOOR



3.3.7 Presupuesto

El presupuesto considera solamente el costo de los equipos nuevos necesarios y la renovación de torres pues los costos de operación y mantenimiento no sufrirán variación debido a que el consumo de energía eléctrica es muy similar al estado anterior y el personal de operación y mantenimiento seguirá siendo el mismo.

Los costos de instalación no incluyen el costo de personal pues éste es personal de planta encargado de la operación y mantenimiento.

EQUIPO	COSTO US\$	CANT.	TOTAL US\$
Sistema de Microondas IDU+ODU, 24.52 dBm	12,500.00	2	25,000.00
Antena Parabólica de 2.4m ϕ	1,400.00	2	2,800.00
Reflector Pasivo	1,100.00	2	2,200.00
Guía de Onda Elíptica EW64	45	40	1,800.00
Torre Autoportada de 22m	5,400.00	1	5,400.00
Torre Autoportada de 12m	3,800.00	2	7,600.00
Accesorios para instalación, puesta a tierra, etc.	900.00	3	2,700.00
Sistema de Protección (pararrayos)	1,030.00	3	3,090.00
		TOTAL US\$	50,590.00

CONCLUSIONES

El avance de la tecnología permite ejecutar mejoras como la realizada con el presente trabajo el cual al hacer uso de las técnicas de modulación digital incrementan la calidad de la comunicación haciéndola más segura y confiable.

A diferencia del mundo análogo donde la variación en la potencia de la portadora recibida por efecto del medio radioeléctrico, las comunicaciones por microondas digitales empleando QPSK o QAM sumadas a técnicas de corrección de errores en transmisión y en la recepción permiten una comunicación bidireccional o full dúplex con pérdida de información imperceptible aún para el caso de comunicación de voz.

El presente trabajo, además de la modernización tecnológica, permitió la independización al evitarse el paso por las instalaciones de otra empresa.

Los trabajos de simulación en gabinete fueron muy útiles pues permitieron ahorrar muchas horas hombre en campo, herramientas como el programa Solaria, el Google Earth y los programas propios de los fabricantes permitieron un diseño óptimo de la solución planteada e implementada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hernando, J. (2008). Transmisión por Radio. España: Ramon Areces
2. Fernandez, J. (2008). Diseño de un Enlace de Microondas y Estación Teledifusora Mechedores-Agua Fría-Caricua para la C.A. Venezolana de Televisión. Venezuela: Universidad Central de Venezuela
3. Wayne Tomasi, Sistemas de comunicaciones electrónicas -Tomasi (4ta Edición) 2001

GLOSARIO

BER (Bit Error Rate): Indica cada cuántos bits transmitidos se transmite uno erróneo.

BIT (Binary Digit): Dígito Binario (unidad mínima de información, puede tener dos estados "0" o "1").

DVB: Digital Video Broadcasting (estándar europeo de teledifusión digital).

FEC: Forward Error Correction (conjunto de dispositivos de corrección de errores de transmisión por adición de redundancia calculada en la emisión).

QAM: Quadrature Amplitude Modulation (modulación de amplitud en cuadratura).

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying (modulación de fase en 4 estados).

RS (204,188,8): Notación abreviada de la codificación de Reed-Solomon utilizada en transmisión DVB.

Asíncrono: Designa el modo utilizado para transportar datos cuando el tiempo no es un factor crítico.

Eficacia Espectral: Relación entre el flujo y la banda de paso de una señal de RF modulada por un tren digital.

Multiplexado Estadístico: Modo de multiplexado de varios programas que asigna un flujo variable a cada programa del múltiplex en función de su contenido, en el límite del flujo total admitido por el canal de RF. Su finalidad es aumentar el número de programas por canal, modulando un flujo instantáneo elevado solo en los pasajes de mayor movimiento de un programa, a expensas de otros programas del múltiplex supuestamente más "calmado" en esos instantes. Correctamente utilizado, este sistema permite hasta una duplicación del número de programas transmitidos sin degradación apreciable.

Multitrayecto: Es un fenómeno consistente en la propagación de una onda por varios caminos diferentes. Ello se debe a los fenómenos de reflexión y de difracción.

Tramo: El enlace radioeléctrico entre dos estaciones.

Microondas: Se denomina microondas a unas ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz.

Señal Digital: Se dice que una señal es digital cuando las magnitudes de la misma se representan mediante valores discretos en lugar de variables continuas.

Desvanecimiento: Variación temporal de la amplitud, fase y polarización de la señal recibida con relación al valor nominal debido al trayecto de propagación: multitrayecto, conductos, reflexión, difracción y dispersión.

Rugosidad: La rugosidad superficial es el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminadas.

Factor Geoclimático: Factor empírico estimado a partir de datos de desvanecimientos obtenidos de una determinada región para una medida del peor mes.

Gradiente: Vector que señala el cambio en cierta dirección de la magnitud escalar.

Radio Propagación: Conjunto de fenómenos físicos que permiten intercambiar información entre el transmisor y el receptor a nivel de ondas electromagnéticas de radio.

Refracción: Cambio de dirección de propagación de la luz, que se produce cuando ésta pasa de un medio a otro de diferente densidad (o diferente índice de refracción).

Zona de cobertura (de una estación transmisora terrenal): Zona asociada a una región determinada y una frecuencia de operación específica en donde proporcionar un servicio, en el interior de la cual y en condiciones técnicas determinadas se puede establecer una radiocomunicación entre equipos compatibles.

Analógico: Término utilizado en contraposición de “digital”, para indicar aquellos dispositivos, variables o señales, de carácter no numérico, que representan los datos de modo continuo –analógico-, en correspondencia con un determinado fenómeno físico.

Código de Reed Solomon: Código de corrección de errores utilizado para corregir paquetes corruptos durante la transmisión.

Compresión: Proceso que limita la cantidad de datos necesarios para la transmisión de una señal digital.

Latitud: Se denomina latitud a la distancia angular, medida sobre un meridiano, entre la línea ecuatorial y el paralelo de una localización terrestre (o de cualquier otro planeta).

Longitud: expresa la distancia angular, medida paralelamente al plano del Ecuador terrestre, entre el Meridiano de Greenwich y un determinado punto de la Tierra.

Datum: El término se aplica en varias áreas de estudio y trabajo específicamente cuando se hace una relación hacia alguna geometría de referencia importante, sea ésta una línea o un plano.

Rack: Es un bastidor destinado a alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones. Sus medidas están normalizadas para que sea compatible con equipamiento de cualquier fabricante.

ANEXOS



FibeAir[®] IP-10 G-Series

Integrated Wireless Backhaul Solution

FibeAir IP-10 G-Series is a high capacity carrier-grade wireless backhaul product family. Combining advanced Ethernet and TDM networking functionality with best-in-class microwave radio performance, FibeAir IP-10 G-Series facilitates cost effective, risk-free migration to IP/Ethernet and can be integrated in any pure IP/Ethernet, Native² (hybrid) or TDM network.

FibeAir IP-10 G-Series features a powerful, integrated Ethernet switch for advanced networking functionality and an optional TDM cross-connect for nodal site applications. With advanced service management and Operation Administration & Maintenance (OA&M) tools, the solution simplifies network design, reduces CAPEX and OPEX and improves overall network availability and reliability to support services with stringent SLA.

The FibeAir IP-10 G-Series covers the entire licensed frequency spectrum and offers a wide capacity range. Taking into account Quality of Experience (QoE), the FibeAir IP-10 G-Series is engineered to deliver up to 2Gbps of IP traffic per channel.

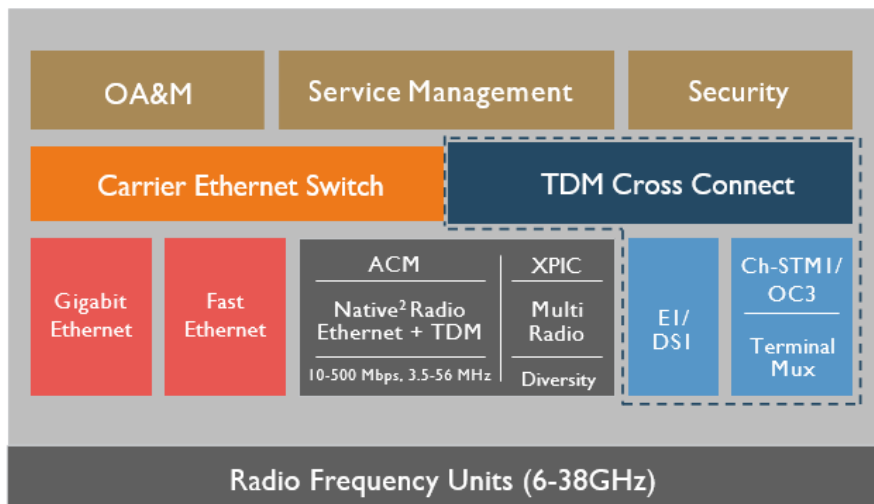
The solution can utilize a breakthrough asymmetrical traffic delivery mode to enable higher download capacities in asymmetric scenarios. Additional functionality and capacity are enabled via license keys while using the same hardware.



FibeAir IP-10 G-Series is Ceragon's next generation carrier-grade wireless Ethernet backhaul product family. Featuring an advanced architecture, FibeAir IP-10 G-Series uniquely combines the latest radio technology integrated with TDM and Ethernet networking.

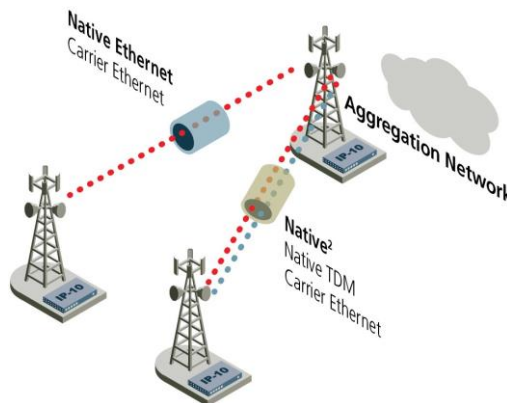
FibeAir IP-10 G-Series radio core engine is designed to support both native Ethernet and native TDM over the air interface enhanced with Adaptive Power and Adaptive Coding & Modulation for maximum spectral efficiency in any deployment scenario.

This versatile solution is equipped with an optional integrated Cross Connect and an SNCP TDM protection engine on top of a MEF certified Ethernet switch. The modular design is easily scalable with the addition of units or license keys.



Risk-Free Migration from TDM to All-Packet Architecture

FibeAir IP-10 G-Series provides seamless migration enabling operators to gradually evolve their network from an all TDM and hybrid concept to all-packet. FibeAir IP-10 G-Series can be easily adapted and configured to any applied network migration concept whether hybrid, pseudowire based or native packet using the same hardware. Operators benefit from highly flexible deployment scenarios options as well as multiple architectures and topologies.



Adaptive Bandwidth Recovery (ABR)

FibeAir IP-10 G-Series uses Protected ABR to effectively double the capacity of wireless rings. Protected ABR is a unique network level method of dynamic capacity allocation for TDM and Ethernet

flows. By using the bidirectional capabilities of the ring, TDM-based information is transmitted in one direction and unused protection capacity is allocated for Ethernet traffic.

FibeAir IP-10 G-Series networking capabilities include support for ring optimized RSTP for all Packet while in the Native² mode it also supports SNCP and Protected ABR mode for TDM traffic.

FibeAir IP-10 G-Series Applications

Mobile Backhaul

Designing LTE-ready backhaul networks is not just about simple transport capacity upgrade. With FibeAir IP-10 G-Series operators can manage the entire network migration process to 4G, while keeping revenue generating 2G/3G services intact. FibeAir IP-10 G-Series incorporates Ceragon's proven Native² concept and synchronization tools to support hybrid network topologies, as well as all-IP and pseudowire based migration architectures.

Converged/ Fixed Networks

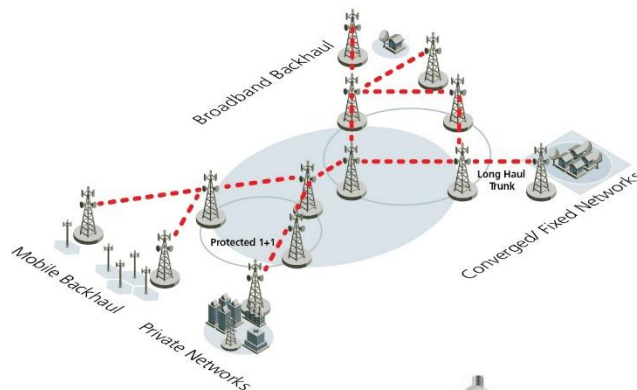
Ceragon's FibeAir IP-10 G-Series delivers integrated high speed data, video and voice traffic in the most optimum and cost-effective manner. Operators can build an ultra high capacity converged network to support multiple types of services utilizing FibeAir IP-10 G-Series scalable capacity.

Private Networks

FibeAir IP-10 G-Series enables government agencies, enterprises and utilities of all kinds to rapidly deploy a cost effective, self owned private network. Meeting the utmost service availability requirements, FibeAir IP-10 G-Series integrated

Ethernet and TDM functions deliver high capacity, wherever it is needed. FibeAir IP-10 G-Series

is available in easy split-mount or all-indoor installation



Key Features

Highest possible capacity and efficiency at any given channel bandwidth

- Up to 2 Gbps of IP traffic on a single radio channel
- Asymmetrical traffic delivery mode to enable higher download capacities in asymmetric scenarios.
- 3.5 MHz - 56 MHz (ETSI & FCC)
- 6 GHz - 38 GHz licensed bands
- Hitless and Errorless Adaptive Coding & Modulation (ACM) QPSK - 256 QAM
- Adaptive power and exceptionally high system gain
- Supports XPIC and diversity configurations
- Native Ethernet or Native2 technology (native Ethernet and native TDM)

Simplified network design and maintenance – reducing Capex and Opex.

- Integrated Carrier Ethernet switching and TDM cross-connect
- Network Management System (NMS) with full FCAPS including End-to-End trails
- Integrated Web based Element Management System (EMS)
- Enhanced user access control for increased security
- Comprehensive Service OA&M tools

Flexible synchronization solution.

- Synchronization using native E1/DS1 trails
- ITU-T G.8262 Synchronous Ethernet including optimized regenerator for point-to-point
- Precision-Timing-Protocol (e.g IEEE 1588-2008) Optimized Transport based on low and consistent PDV (Packet delay variation)

Enabling Support for services with stringent SLA.

- Full hardware / interface redundancy and network level resiliency
- Comprehensive QoS mechanisms enabling differentiated services with SLA assurance.
- Low latency and jitter with packet cut through mechanism
- MEF-9 and MEF-14 certified

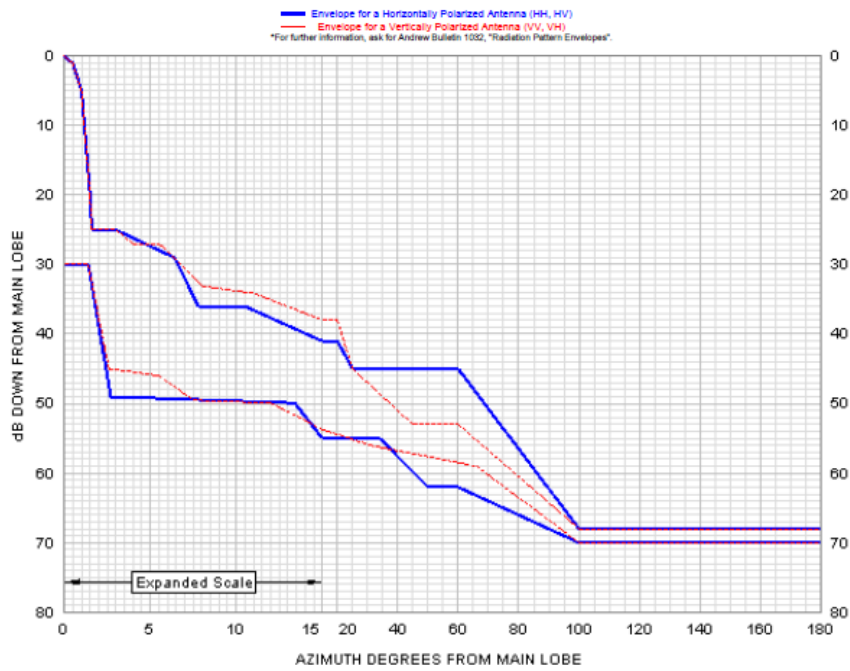
Optimized for deployment today with higher capacity and future mobile broadband.

- Pay-as-you-grow concept to reduce network costs
- Future capacity growth and additional functionality enabled with license keys and innovative stackable nodal solution using the same hardware

HP8-71 - Radiation Pattern Envelope



ANDREW
 RPE: 2770E
 Engineering Approved:
 18 February 1976



HP8-71 - Radiation Pattern Envelope



ANDREW
 RPE: 2770E
 Engineering Approved:
 18 February 1976

HH		HV		VV		VH	
Angle	dB	Angle	dB	Angle	dB	Angle	dB
0.00	0.00	0.00	-30.00	0.00	0.00	0.00	-30.00
0.50	-1.10	1.40	-30.00	0.50	-1.10	1.40	-30.00
1.00	-5.00	2.70	-49.00	1.00	-5.00	2.60	-45.00
1.50	-20.00	13.40	-49.00	1.50	-20.00	5.50	-46.00
1.60	-25.00	15.00	-55.00	1.60	-25.00	7.50	-49.50
3.00	-25.00	34.00	-55.00	3.00	-25.00	12.00	-49.00
6.40	-29.00	50.00	-62.00	4.00	-27.00	15.00	-53.70
7.80	-36.00	60.00	-62.00	5.50	-27.00	31.00	-56.00
10.50	-36.00	100.00	-70.00	6.40	-29.00	66.00	-59.00
15.00	-41.00	180.00	-70.00	8.00	-33.10	100.00	-70.00
20.00	-41.00			11.10	-34.20		
25.00	-45.00			15.00	-38.00		
60.00	-45.00			20.00	-38.00		
100.00	-68.00			25.00	-45.00		
180.00	-68.00			45.00	-53.00		
				60.00	-53.00		
				100.00	-68.00		
				180.00	-68.00		



HP8-71

2.4 m | 8 ft High Performance Parabolic Shielded Antenna, single-polarized, 7.125–7.750 GHz

General Specifications

Antenna Type single-polarized	HP - High Performance Parabolic Shielded Antenna,
Diameter, nominal	2.4 m 8 ft
Polarization	Single

Electrical Specifications

Beam width, Horizontal	1.1 °
Beam width, Vertical	1.1 °
Cross Polarization Discrimination (XPD)	30 dB
Electrical Compliance	US FCC Part 74A
Front-to-Back Ratio	68 dB
Gain, Low Band	42.3 dBi
Gain, Mid Band	42.5 dBi
Gain, Top Band	42.9 dBi
Operating Frequency Band	7.125 – 7.750 GHz Radiation Pattern Envelope
Reference (RPE) 2770E	
Return Loss	30.7 dB
VSWR	1.06

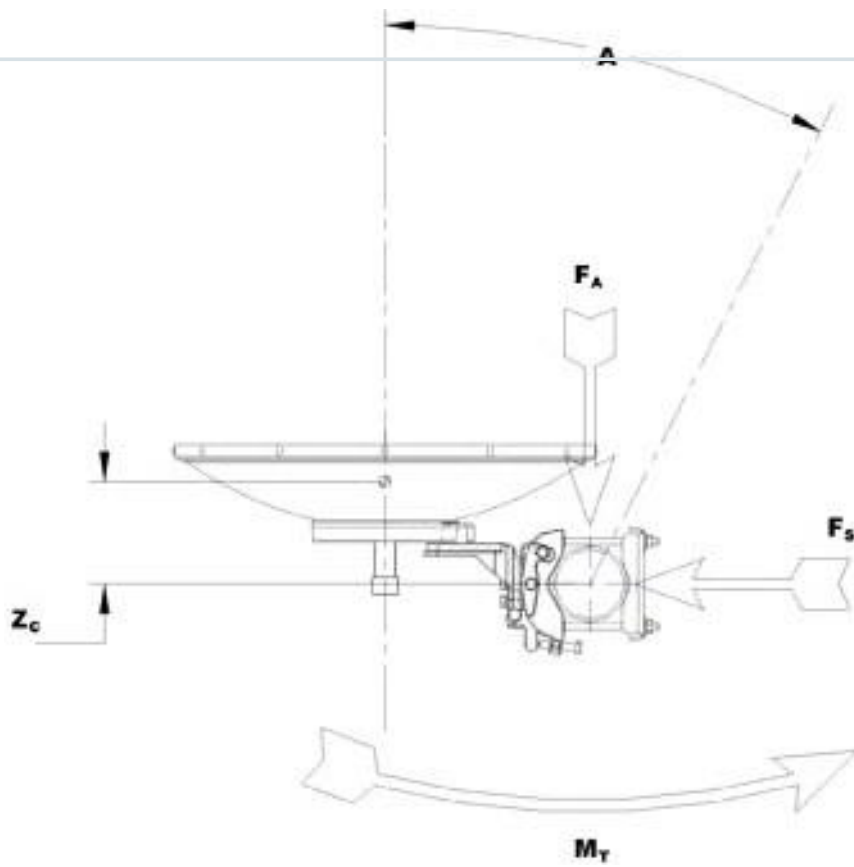
Mechanical Specifications

Fine Azimuth Adjustment	±5°
Fine Elevation Adjustment	±5°
Mounting Pipe Diameter	115 mm 4.5 in
Net Weight	227 kg 500 lb
Side Struts, Included	1 inboard 1 outboard
Side Struts, Optional	2 outboard
Wind Velocity Operational	110 km/h 68 mph
Wind Velocity Survival Rating	200 km/h 124 mph

Wind Forces At Wind Velocity Survival Rating

Angle α for MT Max	-110 °
Axial Force (FA)	11284 N 2537 lbf
Force on Inboard Strut Side	4260 N 958 lbf
Force on Outboard Strut Side	5630 N 1266 lbf

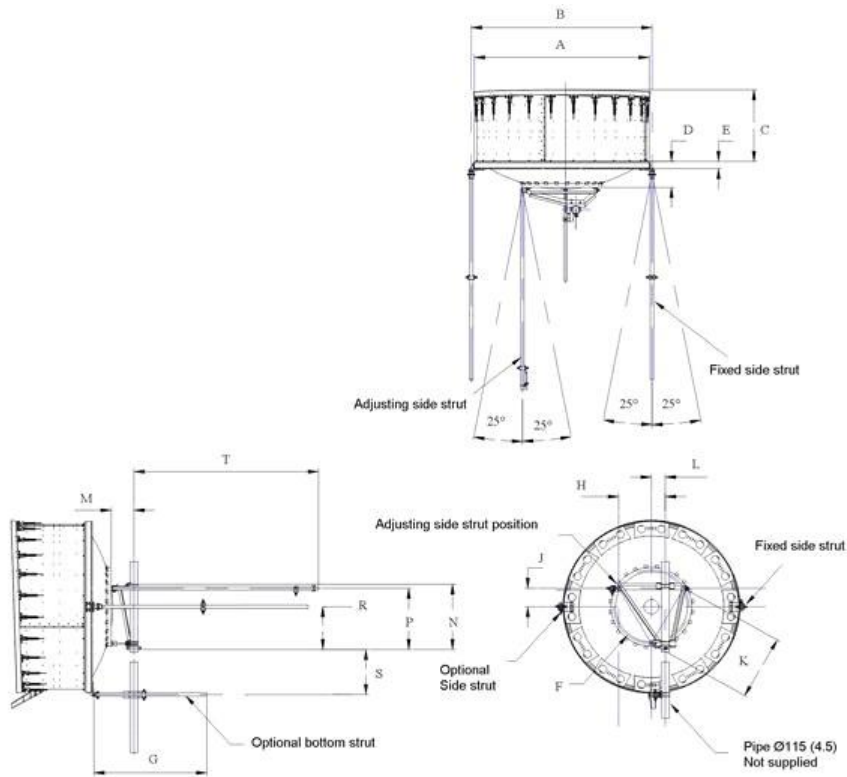
Wind Forces At Wind Velocity Survival Rating Image



Product Specifications

COMMSCOPE™

Antenna Dimensions And Mounting Information



ANTENNA DIMENSIONS			
All dimensions in mm (inches)			
A	2555 (100.5)	K	950 (37.5)
B	2705 (106.5)	L	200 (8)
C	1060 (41.75)	M	330 (13)
D	395 (15.5)	N	950 (37.5)
E	125 (5.0)	P	895 (35.25)
F	1100 (43.25)	R	625 (24.5)
G	1525 (60)	S	695 (27.25)
H	680 (26.75)	T	3050 (120)
J	275 (10.75)		