

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO DE UNA RED DIGITAL PARA EL INSTITUTO GEOFÍSICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

JIMÉNEZ JIMÉNEZ MARLON VINICIO

marlonpoli@hotmail.com

PAUCAR ROJAS FRANKLIN DELFÍN

frankapap1979@yahoo.com

DIRECTOR: ING. ANTONIO CALDERÓN

a_calderon_e@hotmail.com

Quito, Octubre 2008

DECLARACIÓN

Nosotros, Marlon Vinicio Jiménez Jiménez y Franklin Delfín Paucar Rojas, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Marlon Vinicio Jiménez Jiménez

Franklin Delfín Paucar Rojas

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Marlon Vinicio Jiménez Jiménez y Franklin Delfín Paucar Rojas bajo mi supervisión.

Ing. Antonio Calderón
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Mi especial agradecimiento al Ingeniero Antonio Calderón por su gran labor en la dirección de este proyecto y por su constante apoyo.

A mi madre: Maria Concepción Rojas Moromenacho, que me dio la vida y me enseñó a dar mis primeros pasos.

A mi padre: Segundo Cecilio Paucar Suquillo, que me enseñó a ser un hombre trabajador y persistente en la vida.

A mis hermanos: Elsa, Fanny, Fernando, Sara y Adriana, por su desinteresado apoyo en todo lo que me propuse en la vida.

Y mi agradecimiento a Fernando Pérez, Xavier Pacheco y Daniel Robalino mis compañeros inseparables de la universidad.

Franklin

AGRADECIMIENTO

Al Señor dios, que desde los cielos en su Reino nos ha brindado la gracia de compartir la vida con los seres más queridos que se hallan juntos a nosotros.

A todas las personas que de forma desinteresada contribuyeron a la culminación de este proyecto, en especial al Ing. Antonio Calderón por su acertada dirección en el presente trabajo.

A mis padres por todo su amor, sacrificio y esfuerzo y dedicación para forjar el hombre que soy.

A mi hermana por su amor y tolerancia.

A mis tíos por su inmensa ayuda desinteresada que me acogieron en su hogar.

Marlon

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la oportunidad de existir y estar junto a mí en todo momento y darme fuerzas para seguir adelante.

A Mateo y Patricia, por su cariño, apoyo, motivación y ayuda incondicional por cerca de siete años.

A todos ellos, mil gracias por ser divinos.

Franklin

DEDICATORIA

A mis padres; por lo que soy y por lo que tengo, se los debo a ellos.

A mi hermana, por ser un ejemplo para mí.

A mi novia Andrea con mucho amor.

Marlon

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
RESUMEN	XVIII
PRESENTACIÓN	XX
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	2
1.1 RADIOPROPAGACIÓN	2
1.2 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO	3
1.2.1 REFRACCIÓN	3
1.2.2 REFLEXIÓN	5
1.2.3 DIFRACCIÓN	9
1.2.4 ABSORCIÓN	13
1.2.5 INTERFERENCIA	14
1.2.5.1 Interferencia en Radioenlaces digitales.	15
1.2.5.1.1 Interferencia entre símbolos (ISI: Intersymbol Interference)	16
1.2.5.2 Tipos de Interferencia	17
1.2.5.3 Control de Interferencia	17
1.2.6 RUIDO	18
1.3 CARACTERÍSTICAS DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO	19
1.3.1 ONDAS DE TIERRA	19
1.3.2 ONDAS ESPACIALES	19
1.3.3 ONDAS DE CIELO	20
1.4 CARACTERÍSTICAS DE PROPAGACIÓN DE ACUERDO A LAS BANDAS UTILIZADAS.	21
1.5 HORIZONTE ÓPTICO Y HORIZONTE DE RADIO	23
1.6 ZONA DE FRESNEL	25
1.6.1 DEDUCCIÓN DEL RADIO DE LAS ZONAS DE FRESNEL	31
1.6.2 EL DESPEJE	34
1.6.2.1 Cálculo de las alturas de las antenas	38
1.6.3 PÉRDIDAS DEBIDO A LA OBSTRUCCIÓN DE LA ZONA DE FRESNEL	41
1.7 ANTENAS PARA RADIOENLACES DE MICROONDA	43
1.7.1 DIAGRAMA DE RADIACIÓN.	44
1.7.2 POLARIZACIÓN DE LA ANTENA	44
1.7.2.1 Polarización vertical	45
1.7.2.2 Polarización Horizontal	45
1.7.3 GANANCIA DIRECTIVA Y GANANCIA DE POTENCIA	46
1.7.4 POTENCIA ISOTRÓPICA EFECTIVA IRRADIADA.	47
1.7.5 ANTENA YAGUI	48
1.8 REPETIDORES.	48
1.9 RADIOENLACES ANALÓGICOS Y DIGITALES	49
1.9.1 VENTAJAS DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES FRENTE AL	

ANALÓGICO	50
1.9.2 VENTAJAS DE LOS RADIOENLACES DE MICROONDAS COMPARADOS CON MEDIOS GUIADOS.....	52
1.9.3 DESVENTAJAS DE LOS RADIOENLACES DE MICROONDAS COMPARADOS CON MEDIOS GUIADOS.....	53
CAPÍTULO 2 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TRANSMISIÓN ACTUAL.....	55
2.1 SISTEMAS DE MONITOREO SÍSMICO Y VOLCÁNICO	55
2.1.1 MONITOREO SÍSMICO	55
2.1.2 MONITOREO VOLCÁNICO.....	56
2.1.3 OBSERVATORIOS CON NIVEL DE VIGILANCIA 1.....	58
2.1.3.1 Observatorio volcánico Tungurahua (OVT).....	58
2.1.3.1.1 Sísmica.....	58
2.1.3.1.2 Deformación.....	59
2.1.3.1.3 Geoquímica.....	59
2.1.3.1.4 Lahares.....	59
2.1.3.1.5 Observaciones visuales.....	60
2.1.3.1.6 Medidas térmicas.....	60
2.1.3.2 Observatorio Volcánico Cotopaxi (OVCTX).....	63
2.1.3.2.1 Sísmica.....	63
2.1.3.2.2 Deformación.....	63
2.1.3.2.3 Geoquímica.....	64
2.1.3.2.4 Lahares.....	64
2.1.3.2.5 Observaciones visuales.....	64
2.1.3.2.6 Mediciones térmicas.....	64
2.1.3.3 Observatorio volcánico Guagua Pichincha (OVGGP).....	66
2.1.3.3.1 Sísmica.....	66
2.1.3.3.2 Deformación.....	66
2.1.3.3.3 Geoquímica.....	67
2.1.3.3.4 Mediciones térmicas.....	67
2.1.4.1 Observatorio volcánico Reventador (OVREV).....	69
2.1.4.1.1 Sísmica.....	69
2.1.4.1.2 Geoquímica.....	70
2.1.4.1.3 Mediciones térmicas.....	70
2.1.4.1.4 Observaciones Visuales.....	70
2.1.4.2 Observatorio volcánico Cayambe (OVCAYA).....	71
2.1.4.2.1 Sísmica.....	71
2.1.4.2.2 Deformación.....	71
2.1.4.2.3 Geoquímica.....	71
2.1.4.2.4 Mediciones térmicas.....	71
2.1.4.2.5 Observaciones visuales.....	72
CAPÍTULO 3 DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE MICROONDA DIGITAL... 74	
3.1 DISEÑO DE UN RADIOENLACE DIGITAL.....	74

3.1.1 PERDIDAS EN TRAYECTORIA POR EL ESPACIO LIBRE.....	75
3.1.2 BALANCE DE POTENCIA.....	76
3.1.3 MARGEN DE DESVANECIMIENTO Y OBJETIVO DE CONFIABILIDAD.....	78
3.1.4 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA.....	80
3.1.5 UMBRAL DE RECEPCIÓN (Threshold).....	80
3.1.6 OBJETIVOS DE DESEMPEÑO REQUERIDOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE RADIOENLACES.....	81
3.1.7 INDISPONIBILIDAD DE EQUIPOS.....	82
3.2 PLAN DE FRECUENCIAS.....	83
3.3 ALGORITMO DE LONGLEY-RICE.....	86
3.4 EJEMPLO DE CÁLCULO.....	90
3.5 GENERALIDADES DEL SOFTWARE RADIO MOBILE.....	100
3.5.1 LIMITACIONES DEL SOFTWARE.....	101
3.5.2 EJEMPLO DE CÁLCULO DEL DESEMPEÑO DE UN RADIOENLACE UTILIZANDO EL SOFTWARE RADIO MOBILE.....	101
3.5.3 COMPARACIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO TEÓRICO Y EL MODELO DE CÁLCULO DE UN RADIOENLACE UTILIZANDO EL SOFTWARE RADIO MOBILE.....	119
3.6 DESCRIPCIÓN DE LOS ENLACES.....	120
3.6.1 EQUIPOS QUE SE UTILIZARÁ EN LOS RADIOENLACES.....	120
3.6.2 RED IGEPN-1.....	122
3.6.2.1 Enlace TENA-CALVARIO.....	123
3.6.2.2 Enlace CALVARIO-RETU.....	124
3.6.2.3 Enlace RETU-ILINIZAS.....	125
3.6.2.4 Enlace ILINIZAS-MONJAS.....	126
3.6.2.5 Enlace MONJAS-ATACAZO(MIL).....	127
3.6.2.6 Enlace ATACAZO(MIL)-QUITO.....	128
3.6.2.7 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-1.....	129
3.6.3 RED IGEPN-2.....	130
3.6.3.1 Enlace RUN- LOMA GRANDE.....	131
3.6.3.2 Enlace JUIVE- LOMA GRANDE.....	132
3.6.3.3 Enlace RETU- LOMA GRANDE.....	133
3.6.3.4 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-2.....	134
3.6.4 RED IGEPN-3.....	135
3.6.4.1 Enlace PALORA - RETU.....	136
3.6.4.2 Enlace ULBA - RETU.....	137
3.6.4.3 Enlace OVT - RETU.....	138
3.6.4.4 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-3.....	139
3.6.5 RED IGEPN-4.....	140
3.6.5.1 Enlace NASA - ILINIZA.....	141
3.6.5.2 Enlace CAMI - ILINIZA.....	142
3.6.5.3 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-4.....	143
3.6.6 RED IGEPN-5.....	144
3.6.6.1 Enlace PUTZULAGUA - TERRAZA.....	145
3.6.6.2 Enlace TERRAZA- ATACAZO (PETRO).....	146
3.6.6.3 Enlace BORDE- ATACAZO (PETRO).....	147

3.6.6.4 Enlace SAN FRANCISCO- ATACAZO (PETRO)	148
3.6.6.5 Enlace ATACAZO (PETRO)-QUITO	149
3.6.6.6 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-5	150
3.6.7 RED IGEPN-6.	151
3.6.7.1 Enlace YANA - COTACACHI	152
3.6.7.2 Enlace COTACACHI - QUITO	153
3.6.7.3 Enlace VC1 - COTR.....	154
3.6.7.4 Enlace COTR-QUITO	155
3.6.7.5 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-6	156
 CAPITULO 4. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO	 158
4.1 REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS.....	158
4.1.1 RADIO TRANSMISOR / RECEPTOR.	158
4.1.1.1 Radio digital de microondas APRISA SE.....	158
4.1.1.2 Radio digital de microondas LEDR 400S.	161
4.1.2. ANTENAS.	163
4.1.3. LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y CONECTORES.	164
4.1.4. EQUIPOS DE CONMUTACIÓN.....	165
4.1.4.1. Características y ventajas del switch 3COM 4200G	165
4.1.4.2. Características y ventajas del switch CISCO Catalyst C2912.....	167
4.2 EQUIPAMIENTO PARA LOS RADIOENLACES	168
4.2.1 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIÓN RETU	171
4.2.2 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIÓN ILINIZAS	171
4.2.3 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIÓN QUITO.....	172
4.2.4 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIÓN ATACAZO (PETRO).....	172
4.2.5 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIÓN LOMA GRANDE.....	173
4.2.6 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIONES QUE CUENTAN CON UN RADIOENLACE.....	173
4.2.7 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIONES QUE CUENTAN CON DOS RADIOENLACE.....	174
4.2.8 RESUMEN DEL EQUIPAMIENTO DE ESTACIONES.	175
 CAPITULO 5. ESTIMACIÓN DE COSTOS	 177
5.1 COSTOS DE INVERSIÓN	177
5.1.1 COSTO DE EQUIPOS	178
5.1.1.1 Costo de equipos de la estación RETU	178
5.1.1.2 Costo de equipos de la estación ILINIZAS	179
5.1.1.3 Costo de equipos de la estación QUITO	179
5.1.1.4 Costo de equipos de la estación ATACAZO(PETRO)	180
5.1.1.5 Costo de equipos de la estación LOMA GRANDE	180
5.1.1.6 Costo de equipos de la estaciones que cuentan con un radioenlace	182
5.1.1.7 Costo de equipos de la estaciones que cuentan con dos radioenlaces	182
5.1.1.8 Costo total de equipos	183
5.1.2 COSTOS DE INFRAESTRUCTURA	185

5.1.3 COSTOS DE INSTALACIÓN.....	186
5.1.4 COSTOS DE INGENIERÍA	186
5.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	187
5.2.1 COSTO POR DERECHO DE CONCESIÓN Y POR EL USO DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	187
5.2.1.1 Derechos de Concesión	187
5.2.1.2 Tarifa mensual	188
5.2.1.3 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-1	189
5.2.1.4 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-2	190
5.2.1.5 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-3	191
5.2.1.6 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-4	192
5.2.1.7 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-5	193
5.2.1.8 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-6	194
5.2.1.9 Resumen de costos por derechos de concesión y tarifas mensuales.....	195
5.2.2 COSTOS DE SOPORTE Y OPERACIÓN DE LA RED	196
5.3 ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL	196
5.4 DEPRECIACIÓN O AMORTIZACIÓN	197
CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	199
6.1 CONCLUSIONES	199
6.2 RECOMENDACIONES	201
GLOSARIO	202
BIBLIOGRAFÍA.....	209
ANEXOS	211
ANEXO A: FORMULARIOS	212
ANEXO B: EQUIPOS	221
ANEXO C: REC UIT R PN 525 -2.....	239
ANEXO D: NORMA EIA-568A Y EIA-568B	243

INDICE DE FIGURAS.

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 Formas de propagación de las ondas electromagnéticas.....	3
Figura 1.2 Fenómeno de refracción.....	4
Figura 1.3 Fenómeno de reflexión.....	6
Figura 1.4 Variación del coeficiente de reflexión respecto al ángulo de incidencia.....	8
Figura 1.5 Difracción de una onda electromagnética.	9
Figura 1.6 Frentes de onda y rayos.....	10
Figura 1.7 Principio de Huygens	12
Figura 1.8 Tipos de difracción.....	13
Figura 1.9 Fenómeno de interferencia.....	15
Figura 1.10 BER en función E_b/N_0	16
Figura 1.11 Fenómeno de superposición de una señal con el ruido	18
Figura 1.12 Capas de la ionósfera.	20
Figura 1.13 Tipos de ondas según el medio en que se propagan.....	21
Figura 1.14 Horizonte óptico y horizonte de radio.....	23
Figura 1.15 Difracción de un frente de onda producida por un obstáculo	25
Figura 1.16 Nivel de señal luego de pasar un obstáculo	26
Figura 1.17 Formación de un nuevo frente de onda	27
Figura 1.18 El espiral Cornu.....	28
Figura 1.19 Variación del espiral Cornu	28
Figura 1.20 Elipsoide de Fresnel para un radio enlace.....	29
Figura 1.21 Elipsoide de círculos concéntricos	29
Figura 1.22 Sección transversal del frente de ondas	31
Figura 1.23 Ilustración del concepto del Despeje y de su variación respecto a $k^{[5]}$	34
Figura 1.24 Calculo del despeje	35
Figura 1.25 Método para el cálculo de las alturas de las antenas.....	38
Figura 1.26 Obstrucción de la zona de fresnel (caso 1).....	40
Figura 1.27 Obstrucción de la zona de fresnel (caso 2).....	40
Figura 1.28 Pérdidas por obstrucción.....	42
Figura 1.29 Atenuación en función de la razón despeje/radio de la primera zona de Fresnel.	43
Figura 1.30 Diagrama de radiación de antenas.....	44
Figura 1.31 Polarización vertical.....	45
Figura 1.32 Polarización horizontal.....	45
Figura 1.33 Antena yagi	48
Figura 1.34 Repetidor para salvar obstáculos.....	49

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Ubicación de las estaciones de la Red Sísmica Nacional.	57
Figura 2.2 Ubicación de las estaciones sísmicas que monitorean el volcán Tungurahua	61
Figura 2.3 Ubicación de la red de EDM en el volcán Tungurahua	62
Figura 2.4 Ubicación de las estaciones sísmicas que monitorean el volcán Cotopaxi.....	65
Figura 2.5 Ubicación de las estaciones sísmicas que monitorean el volcán Guagua Pichincha.....	68
Figura 2.6 Ubicación de las redes de inclinometría.....	69

Figura 2.7 Ubicación de la red de estaciones sísmicas en el volcán El Reventador.	70
Figura 2.8 Ubicación de estaciones sísmicas del volcán Cayambe	72

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Esquema básico de un radioenlace digital	75
Figura 3.2 Balance de potencia	76
Figura 3.3 Representación gráfica de la relación entre Mu y FM para un enlace.	79
Figura 3.4 Objetivo de calidad según la UIT.....	81
Figura 3.5 Plan de frecuencias.....	84
Figura 3.6 Frecuencia máxima y mínima de un radiocanal.....	85
Figura 3.7 Rayo directo y rayo reflejado.....	88
Figura 3.8 Perfil topográfico COTR –QUITO.	90
Figura 3.9 Altura de antenas para liberar el 60% de la primera zona de fresnel.....	92
Figura 3.10 Esquema de una estación.	94
Figura 3.11 Angulo de elevación COTR -QUITO	98
Figura 3.12 Angulo de apuntamiento y Azimut	100
Figura 3.13 Creación de nueva red.....	102
Figura 3.14 Propiedades de red (Parámetros).....	103
Figura 3.15 Topología de red.	104
Figura 3.16 Propiedades de red (Sistemas)	105
Figura 3.17 Propiedades de red (Style)	106
Figura 3.18 Pantalla de extracción de datos de elevación.	108
Figura 3.19 Coordenadas WGS.	108
Figura 3.20 Relieve sombreado	109
Figura 3.21 Selección de mapas	110
Figura 3.22 Mapa político de Ecuador.	111
Figura 3.23 Posicionamiento de estaciones.....	111
Figura 3.24 Ubicación de estaciones.	112
Figura 3.25 Propiedades de red (Membership)	113
Figura 3.26 Perfil y resultados del radioenlace COTR-QUITO.....	114
Figura 3.27 Despeje de la zona de fresnel del radioenlace COTR –QUITO.....	115
Figura 3.28 Diagramas de radiación de las antenas de transmisión y recepción.....	117
Figura 3.29 Resumen de las características del radioenlace COTR-QUITO	117
Figura 3.30. Ganancia del radioenlace COTR-QUITO	118
Figura 3.31 Distribución estadística del margen de umbral.	118
Figura 3.32 Red IGEPN-1.	122
Figura 3.33 Enlace Tena- Calvario.....	123
Figura 3.34 Enlace CALVARIO-RETU.	124
Figura 3.35 Enlace RETU-ILINIZAS.	125
Figura 3.36 Enlace ILINIZA-MONJAS.	126
Figura 3.37 Enlace MONJAS-ATACAZO(MIL).	127
Figura 3.38 Enlace ATACAZO(MIL)-QUITO.....	128
Figura 3.39 Red IGEPN-2.	130
Figura 3.40 Enlace RUN - LOMA GRANDE.....	131
Figura 3.41 Enlace JUIVE-LOMA GRANDE.....	132

Figura 3.42 Enlace RETU-LOMA GRANDE.....	133
Figura 3.43 RED IGEPN-3.....	135
Figura 3.44 Enlace PALORA -RETU	136
Figura 3.45 Enlace ULBA -RETU	137
Figura 3.46 Enlace OVT -RETU	138
Figura 3.47 Red IGEPN-4	140
Figura 3.48 Enlace NASA - ILINIZA	141
Figura 3.49 Enlace CAMI - ILINIZA	142
Figura 3.50 Red IGEPN-5	144
Figura 3.51 Enlace PUTZULAGUA - TERRAZA	145
Figura 3.52 Enlace TERRAZA – ATACAZO (PETRO).....	146
Figura 3.53 Enlace BORDE – ATACAZO (PETRO).....	147
Figura 3.54 Enlace SAN FRANCISCO – ATACAZO (PETRO)	148
Figura 3.55 ATACAZO (PETRO)-QUITO.....	149
Figura 3.56 RED IGEPN-6.....	151
Figura 3.57 Enlace YANA – COTACACHI.....	152
Figura 3.58 Enlace COTACACHI.-QUITO.....	153
Figura 3.59 Enlace VC1 - COTR	154
Figura 3.60 Enlace COTR- QUITO	155

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 Arquitectura del radio APRISA SE.....	159
Figura 4.2 Radio digital LEDR 400S	161
Figura 4.3 Antena yagi DB436-A.....	164
Figura 4.4.Esquema general de equipamiento de estaciones.....	169
Figura 4.5 Esquema total de radioenlaces	170

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1.1 Características de algunos tipos de terreno	8
Tabla 1.2 Designación de bandas de frecuencia.....	21
Tabla 3.1 Plan de frecuencias	86
Tabla 3.2 Constantes eléctricas del terreno.	87
Tabla 3.3 Modelos de climas caracterizados.	88
Tabla 3.4 Correspondencia entre los niveles de señal según S y el margen de umbral (Mu) .	116
Tabla 3.5 Comparación entre el modelo cálculo teórico y el modelo de cálculo con Radio mobile.	119
Tabla 3.6 Requerimientos técnicos para radio transmisor/receptor.	121
Tabla 3.7 Requerimientos técnicos para antenas.....	121
Tabla 3.8 Parámetros de la red IGEPN-1	129
Tabla 3.9 Parámetros de la red IGEPN-2	134
Tabla 3.10 Parámetros de la red IGEPN-3	139
Tabla 3.11 Parámetros de la red IGEPN-4	143
Tabla 3.12 Parámetros de la red IGEPN-5	150
Tabla 3.13 Parámetros de la red IGEPN-6	156
Tabla 4.1 Características de radio transmisores /receptores.....	162
Tabla 4.2 Características de antena yagi DB436-A.....	164
Tabla 4.3 Características de líneas de transmisión.	165
Tabla 4.4 Características de conectores.....	165
Tabla 4.5 Características de switch.	168
Tabla 4.6 Equipamiento de la estación RETU	171
Tabla 4.7 Equipamiento de la estación ILINIZAS.....	171
Tabla 4.8 Equipamiento de la estación QUITO	172
Tabla 4.9 Equipamiento de la estación ATACAZO(PETRO)	172
Tabla 4.10 Equipamiento de la estación LOMA GRANDE	173
Tabla 4.11 Equipamiento para estaciones que cuentan con un enlace	173
Tabla 4.12 Equipamiento para estaciones que cuentan con dos enlaces.	174
Tabla 4.13 Resumen de equipamiento para todas las estaciones.	175
Tabla 5.1 Costo de equipos de la estación RETU.	178
Tabla 5.2 Costo de equipos de la estación ILINIZAS.....	179
Tabla 5.3 Costo de equipos de la estación QUITO	180
Tabla 5.4 Costo de equipos de la estación ATACAZO(PETRO)	181
Tabla 5.5 Costo de equipos de la estación LOMA GRANDE	181
Tabla 5.6 Costo de equipos para estaciones que cuentan con un radioenlace.....	182
Tabla 5.7 Costo de equipos para estaciones que cuentan con dos radioenlaces.....	183
Tabla 5.8 Costo total de estaciones	183
Tabla 5.9 Costos de infraestructura	185
Tabla 5.10 Costos de instalación.	186
Tabla 5.11 Costos de ingeniería.	186
Tabla 5.12 Costos por derecho de conseción y tarifa mensual de la red IGEPN-1.....	189
Tabla 5.13 Costos por derecho de conseción y tarifa mensual de la red IGEPN-2.....	190
Tabla 5.14 Costos por derecho de conseción y tarifa mensual de la red IGEPN-3.....	191
Tabla 5.15 Costos por derecho de conseción y tarifa mensual de la red IGEPN-4.....	192

Tabla 5.16 Costos por derecho de conseción y tarifa mensual de la red IGEPN-5.....	193
Tabla 5.17 Costos por derecho de conseción y tarifa mensual de la red IGEPN-6.....	194
Tabla 5.18 Costos de soporte y operación de la red.	195
Tabla 5.19 Costos totales por derecho de concesión y tarifas mensuales.	196
Tabla 5.20 Costo total del proyecto.....	196

RESUMEN

El presente proyecto propone el diseño de una red digital que permita la integración de los diferentes puntos de monitoreo existentes a nivel nacional y que permita centralizarlos en el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, para ello el contenido del proyecto se ha dividido en seis capítulos claramente definidos que se resumen de la siguiente manera:

Capítulo Uno

Se definen los conceptos básicos que intervienen en la radiopropagación, comprendiendo: formas de propagación, propiedades ópticas de las ondas de radio, tipos de interferencia, despeje y obstrucción de la zona de fresnel. Además se detallan parámetros básicos de antenas para radioenlaces.

Capítulo Dos

Se hace una descripción total del sistema de telecomunicaciones con que cuenta actualmente el Instituto Geofísico, detallando los equipos inmersos en los distintos tipos de monitoreo.

Capítulo Tres

En su primera parte se hace una descripción de los parámetros necesarios para el diseño de un radioenlace con microonda digital, como: balance de potencia, margen de desvanecimiento, pérdidas en espacio libre, sensibilidad del receptor. Luego se diseña la red digital en su totalidad, basándose en las coordenadas de las estaciones ya existentes, así como el equipo que reemplazara al actual. Además se realiza una simulación del desempeño de cada radioenlace diseñado mediante el software libre Radio Mobile.

Capítulo Cuatro

En este capítulo se presenta una descripción y comparación técnica entre diferentes equipos escogidos para el diseño, con la finalidad de tener la posibilidad de escoger el dispositivo que más se ajusta a las necesidades.

Capítulo Cinco

En este capítulo se realiza la estimación del costo total de la implementación del sistema de telecomunicaciones, el mismo que contempla: derechos de concesión y tarifas mensuales de todos los radioenlaces, así como el costo de los equipos y accesorios presentes en cada estación.

Capítulo Seis.

Se presentan conclusiones del trabajo realizado y recomendaciones que servirán para la implementación del proyecto.

Al final del trabajo se incluyen anexos que amplían ciertos temas tratados en cada capítulo como: Recomendaciones de la UIT, formularios para derechos de concesión planteados por la SENATEL, datos de los equipos utilizados en el diseño.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto lleva como título “Diseño de una red digital para el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional”, plantea el diseño para poder migrar de una red ya existente, que en su mayor parte es analógica hacia una red digital.

El Instituto Geofísico es una entidad sin fines de lucro, cuya misión es reducir el impacto de los fenómenos sísmicos y volcánicos en el Ecuador a través del monitoreo permanente, la investigación científica y la aplicación tecnológica promoviendo la creación de una cultura de prevención. La visión del Instituto Geofísico será una organización líder en la investigación científica que incida en políticas de Estado para propender al mejoramiento de la seguridad individual y colectiva, así como al desarrollo sostenible del país, vía reducción de su vulnerabilidad frente a los fenómenos naturales.

El sistema de telecomunicaciones que se presenta en el proyecto, se basa en el diseño de radioenlaces con microonda digital, siendo una alternativa de optimización aplicable para el Instituto Geofísico.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.

La propagación de las ondas electromagnéticas por el espacio libre se suele llamar propagación de radiofrecuencia (RF), o simplemente radiopropagación. Aunque el espacio libre implica al vacío, con frecuencia la propagación por la atmósfera terrestre se llama propagación por el espacio libre.

El trayecto que sigue la señal desde el transmisor hasta el receptor, puede ser desde una simple línea de vista hasta un ambiente donde la geografía sea irregular presentado obstáculos como montañas o árboles que interfieran.

En este capítulo se describe conceptos básicos de propagación y factores que intervienen en la propagación de ondas electromagnéticas.

1.1 RADIOPROPAGACIÓN

El constante crecimiento de las aplicaciones de transmisión de ondas electromagnéticas usando el espacio como medio de transmisión, ha dado lugar a diferentes formas en que las ondas pueden propagarse por el espacio.

Las ondas electromagnéticas pueden viajar en línea recta, pero su trayectoria rectilínea puede ser alterada por la tierra y la atmósfera. Existen tres formas de propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio las cuales son: ondas de tierra, ondas espaciales y ondas de cielo.

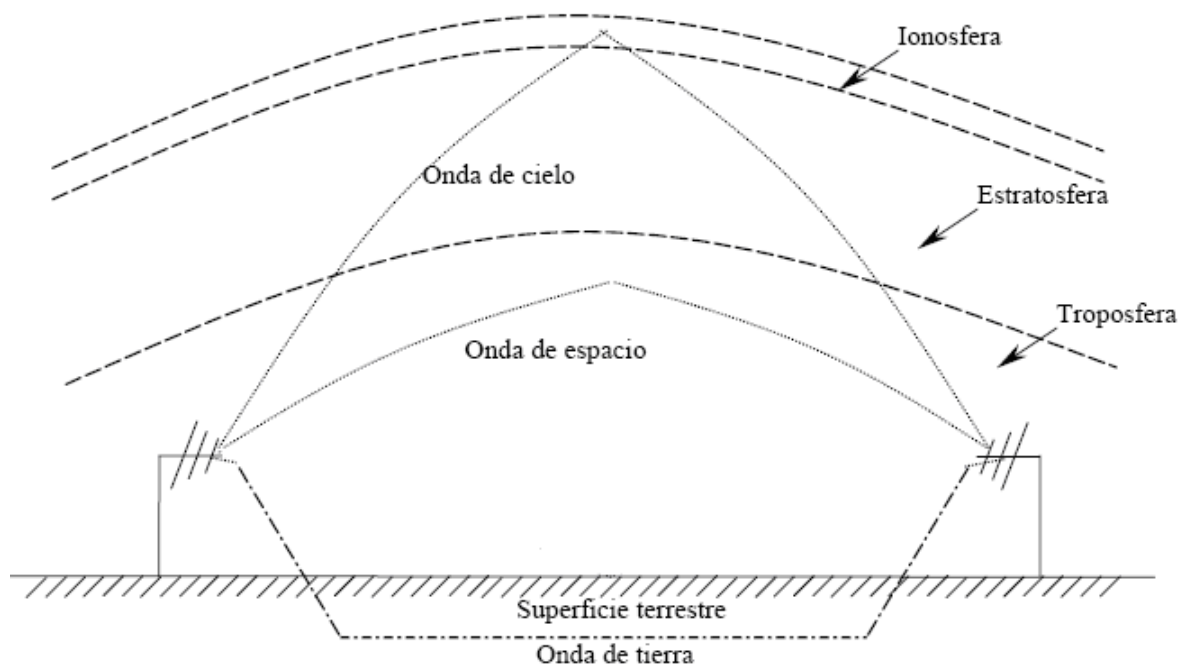


Figura 1.1 Formas de propagación de las ondas electromagnéticas

1.2 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS ONDAS DE RADIO

En la atmósfera de la tierra, la propagación del frente de onda puede alterarse por efectos ópticos como la refracción, reflexión y difracción.

1.2.1 REFRACCIÓN

Es la desviación aparente de un rayo cuando pasa de un medio a otro con diferente índice de refracción. La velocidad a la cual una onda electromagnética se propaga es inversamente proporcional a la densidad del medio en el cual se está propagando. Cuando una onda pasa de un medio menos denso a uno más denso, la velocidad de propagación disminuye y se inclina hacia abajo (se dobla hacia la normal). El ángulo de incidencia es el ángulo formado entre la onda incidente y la normal, el ángulo de refracción es el ángulo formado entre la onda refractada y la normal.

El ángulo de refracción depende del índice de refracción de los dos materiales, definido como la relación de la velocidad de propagación de un rayo de luz en el espacio libre a la velocidad de propagación en un material dado.^[1]

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{ec. (1.1)}$$

Donde: n = Índice de refracción [adimensional]

c = velocidad de la luz en el espacio libre [3×10^8 m/s]

v = velocidad de la luz en un material dado [m/s]

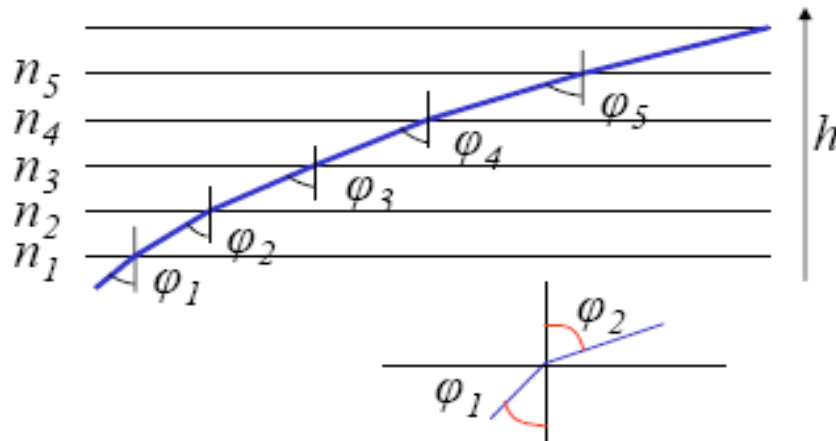


Figura 1.2 Fenómeno de refracción

La ley de Snell para refracción establece que:^[1]

$$n_1 \text{sen}(\varphi_1) = n_2 \text{sen}(\varphi_2) \quad \text{ec. (1.2)}$$

Donde: n_1 = índice de refracción del material 1

n_2 = índice de refracción del material 2

φ_1 = ángulo de incidencia [grados]

φ_2 = ángulo de refracción [grados]

Además, $n = \sqrt{\mathcal{E}_r}$

Por tanto:

$$\sqrt{\mathcal{E}_{r1}} \text{sen}(\varphi_1) = \sqrt{\mathcal{E}_{r2}} \text{sen}(\varphi_2) \quad \text{ec. (1.3)}$$

Donde: \mathcal{E}_{r1} = constante dieléctrica del medio 1

\mathcal{E}_{r2} = constante dieléctrica del medio 2

1.2.2 REFLEXIÓN

Para la radio frecuencia, la reflexión se presenta esencialmente en el metal, pero también en superficies de agua y otros materiales con propiedades similares. El principio básico de la reflexión consiste en reflejar la onda electromagnética con el mismo ángulo con el que impacta una superficie.

La reflexión electromagnética ocurre cuando una onda incidente choca con una barrera existente entre dos medios y parte de la potencia incidente no penetra el segundo material. Las ondas que no penetran al segundo material se reflejan. Debido a que todas las ondas reflejadas permanecen en el mismo medio que las ondas incidentes, sus velocidades son iguales, y por lo tanto el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia. Sin embargo, la intensidad del campo de voltaje reflejado es menor que la del campo incidente. La relación de las intensidades de voltaje reflejado a incidente se llama *coeficiente de reflexión* Γ .^[1]

$$\Gamma = \frac{E_r e^{j\varphi_r}}{E_i e^{j\varphi_i}} = \frac{E_r}{E_i} e^{j(\varphi_r - \varphi_i)} \quad \text{ec. (1.4)}$$

Donde: E_r = intensidad del campo eléctrico reflejado [V/m]

E_i = intensidad del campo eléctrico incidente [V/m]

φ_r = ángulo reflejado [grados]

φ_i = ángulo incidente [grados]

Para los conductores imperfectos, Γ es función del ángulo de incidencia, de la polarización de campo eléctrico y de las constantes dieléctricas de los dos materiales. Si el medio 2 no es un conductor perfecto, algunas de las ondas incidentes las penetran y son absorbidas, produciendo corrientes en la superficie del material y convirtiendo la energía en calor. La fracción de potencia que penetra al medio 2 se llama *coeficiente de absorción*.

La reflexión también ocurre cuando la superficie reflejante es irregular o áspera. Sin embargo, una superficie así puede destruir el frente de onda. Cuando el frente de onda incidente golpea una superficie irregular, se dispersa aleatoriamente en muchas direcciones, como se muestra en la figura 1.3. Este tipo de condición se llama reflexión difusa, mientras que la reflexión en una superficie perfectamente lisa se llama reflexión especular. Las superficies que están entre lisas e irregulares se llaman superficies semiásperas, las cuales causan una combinación de reflexión difusa y especular. Una superficie semiáspera no destruirá por completo la forma del frente de onda, pero reduce la potencia transmitida.

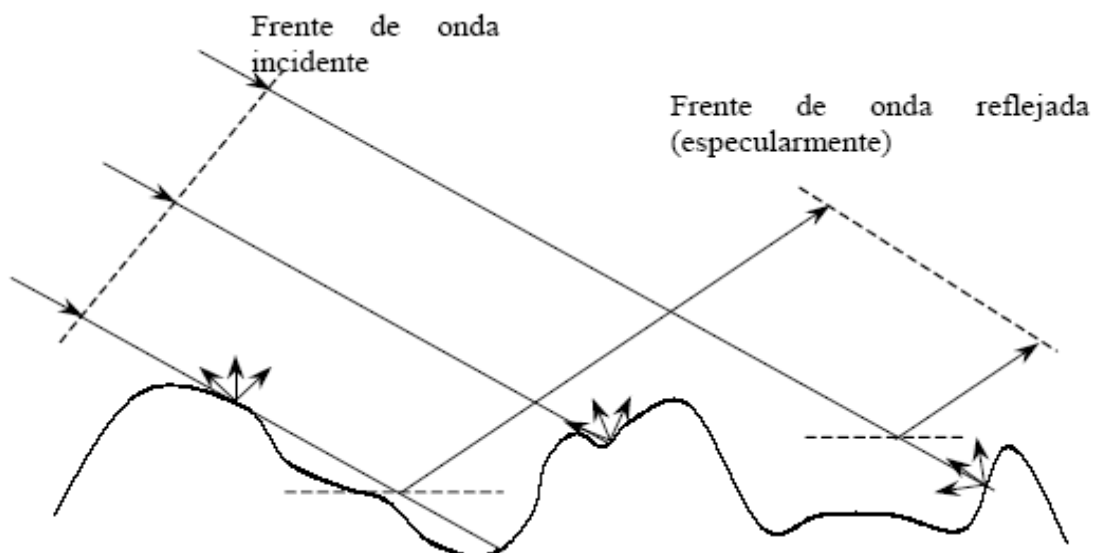


Figura 1.3 Fenómeno de reflexión ^[1]

El valor de coeficiente de reflexión depende de las características eléctricas de los dos medios y del ángulo de incidencia. Tomando un medio incidente de características idénticas a las del vacío, los coeficientes de reflexión para las polarizaciones vertical y horizontal están dados por las expresiones siguientes:^[2]

$$\varphi = \varphi_i = \varphi_r$$

$$\Gamma_V = \frac{\varepsilon \cdot \text{sen} \varphi - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \varphi}}{\varepsilon \cdot \text{sen} \varphi + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \varphi}} \quad \text{ec. (1.5)}$$

$$\Gamma_H = \frac{\text{sen} \varphi - \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \varphi}}{\text{sen} \varphi + \sqrt{\varepsilon - \cos^2 \varphi}} \quad \text{ec. (1.6)}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \cdot \varepsilon_0} \quad \text{ec. (1.7)}$$

Donde:

Γ_V = coeficiente de reflexión en polarización vertical [adimensional]

Γ_H = coeficiente de reflexión en polarización horizontal [adimensional]

φ = ángulo de incidencia sobre la superficie del terreno [grados]

ε = permitividad compleja, expresada en función de la permitividad relativa ε_r

σ = conductividad [S/m]

$\omega = 2\pi \cdot f$ = frecuencia angular

ε_0 = permitividad del vacío [8.85×10^{-12} C²/Nm²]

Resulta ilustrativo representar la variación del módulo del coeficiente de reflexión en función del ángulo de incidencia φ como se muestra en la figura 1.4. Para la polarización vertical el valor del módulo del coeficiente de reflexión desciende rápidamente al aumentar el ángulo de incidencia para posteriormente aumentar, mientras que para la polarización horizontal el grado de variación es mucho menos pronunciado.

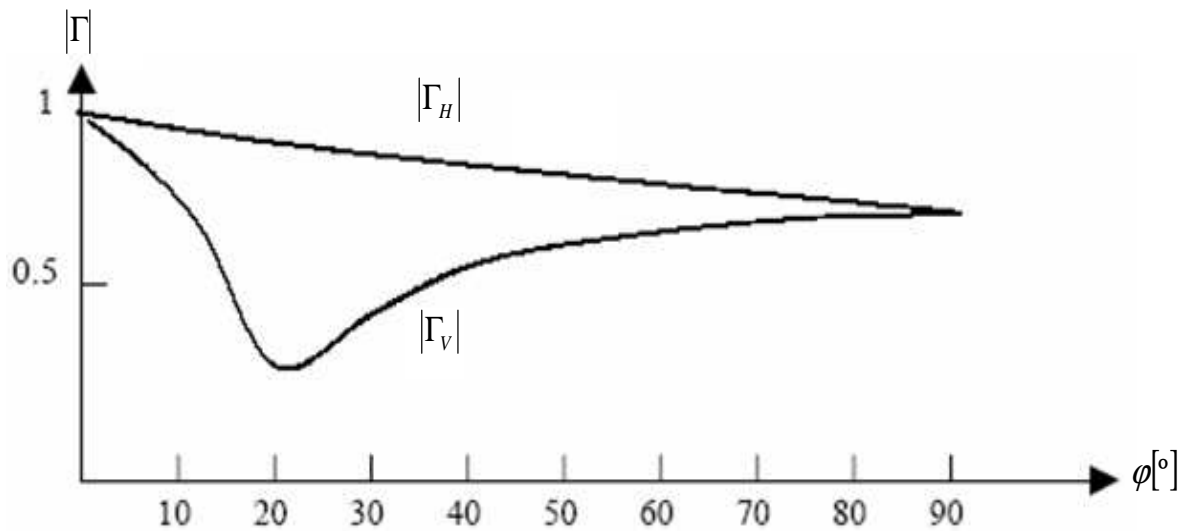


Figura 1.4 Variación del coeficiente de reflexión respecto al ángulo de incidencia

En la tabla 1.1 se recogen los valores de la conductividad y permitividad para algunos tipos de terreno habituales.

Terreno	σ (mS/m)	ϵ_r
Mar	4000	80
Agua dulce	5	80
Tierra húmeda	5	15
	20	15
	5	30
	20	30
Tierra rocosa	1	7
	5	7
Tierra seca	1	4
	10	4

Tabla 1.1 Características de algunos tipos de terreno

Cuando la superficie reflejante no es plana, la curvatura de la onda reflejada es diferente a la de la onda incidente. Cuando el frente de onda incide sobre una superficie plana, el ángulo del frente de onda reflejada es igual a la del frente de onda incidente. Debe observarse que cuando el ángulo de reflexión es pequeño, lo

cual es frecuente en los enlaces en la práctica, la magnitud del coeficiente de reflexión es igual o muy cercano a uno, tanto en polarización vertical como horizontal. En el caso que la superficie reflectora sea un conductor perfecto, la magnitud y fase del coeficiente de reflexión dependen poco del ángulo de incidencia, siendo su modulo igual a 1, su fase cero para polarización vertical y 180 para polarización horizontal. La variación del coeficiente de reflexión en polarización horizontal está muy correlacionado con el ángulo de incidencia, llegando en algunos casos a anularse, pero debido a que nuestro control sobre el ángulo de incidencia es limitado, esta correlación generalmente no es significativa para el diseño de radio enlaces. Los conductores perfectos reflejan la energía incidente sin atenuación. Los dieléctricos reflejan una fracción de la energía incidente.

1.2.3 DIFRACCIÓN

La difracción es un fenómeno que se basa en el hecho de que las ondas no viajan en una sola dirección, se suscita cuando una onda electromagnética choca con el borde de un obstáculo y divergen en muchos haces.

La difracción es una consecuencia directa del principio de Huygens y se incrementa en función de la longitud de onda.

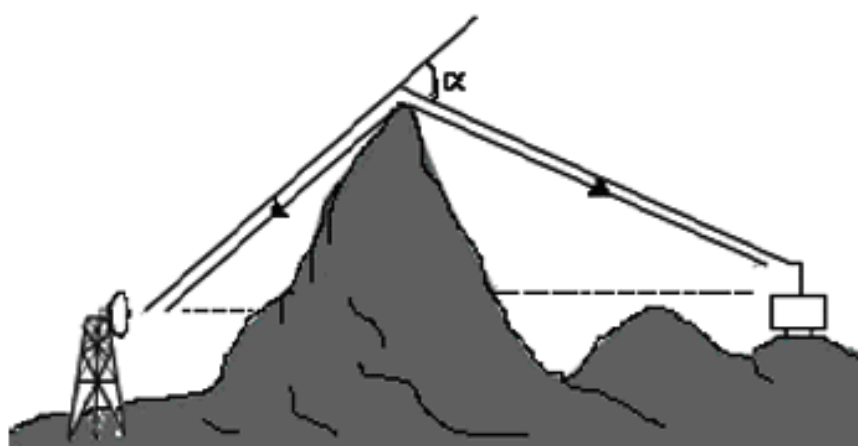


Figura 1.5 Difracción de una onda electromagnética

La difracción también se define como la redistribución de energía de un frente de onda cuando este pasa cerca del extremo de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas de luz o de radio se propaguen a la vuelta de las esquinas.

Un frente de onda se define como el lugar geométrico determinado por los puntos del medio que son alcanzados simultáneamente por la onda y que en consecuencia en cualquier instante dado están en el mismo estado o fase de la perturbación.

La dirección de propagación de la perturbación es perpendicular al frente de onda. La línea perpendicular a los frentes de onda que indica la dirección y sentido de propagación de la perturbación se llama rayo.

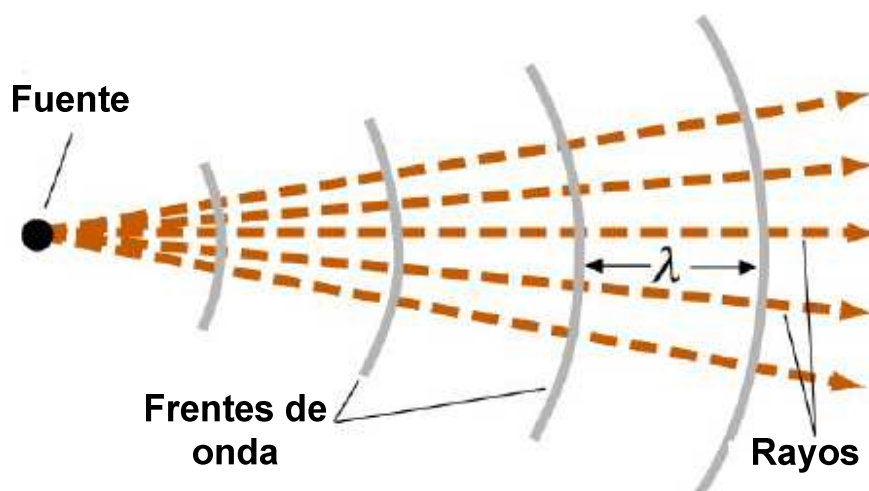


Figura 1.6 Frentes de onda y rayos

El principio de Huygens indica que cada punto de un frente de onda esférico actúa como un nuevo frente secundario de ondas, cuya envolvente constituye el nuevo frente de onda. La energía en un punto determinado la podemos calcular como la sumatoria vectorial de las contribuciones de las ondas secundarias, o sea, debemos sumar en magnitud y fase de la energía radiada por cada una; sin embargo, las

contribuciones no longitudinales (las que tienen dirección distinta a la de propagación) de las ondas vecinas se cancelan, mientras las componentes transversales (las que están en la dirección de propagación) se refuerzan, manteniendo la forma y dirección del frente de onda.

Consideremos la figura 1.7a, donde se muestra un frente de onda que se propaga en dirección normal a un plano infinito (o sea, el frente de ondas es plano). La magnitud del campo en el punto A está dado por la sumatoria de las componentes provenientes de cada ondaleta, se puede observar que la componente longitudinal proveniente de la ondaleta O_2 se cancela con la componente longitudinal proveniente de la ondaleta O_3 , la componente longitudinal de O_4 se cancela con la componente O_5 , y así sucesivamente. De esta forma, las únicas contribuciones distintas de cero son las producidas por las componentes transversales, o sea; las que tienen la misma dirección de propagación del frente de onda. De esta forma, el frente de onda continúa con su forma y en su dirección original.

Cuando se considera un frente de onda plano y finito, la cancelación en direcciones aleatorias es incompleta. En consecuencia, el frente de onda se extiende hacia fuera o se dispersa. Este efecto de dispersión de la energía se llama difracción. La difracción ocurre en el extremo del obstáculo, que permite que las ondas secundarias sean recibidas tras el obstáculo, a lo que se llama zona de sombra.

Consideremos la figura 1.7b, en donde se ilustra lo que ocurre cuando un frente de onda plano incide sobre un plano opaco. Las ondas que inciden sobre el obstáculo se reflejan. En los puntos ubicados bajo el obstáculo, la contribución de las componentes longitudinales se cancelan parcialmente, por ejemplo, en el punto B la componente longitudinal producida por O_6 se cancela con la contribución de O_7 , pero la contribución de O_8 no se cancela, ya que la componente que la cancelaría está bloqueada por el obstáculo. Por lo tanto, podemos deducir que bajo el obstáculo el frente de onda cambia de forma y dirección. Veamos lo que sucede detrás del obstáculo, en el punto C vemos que no se cancelan algunas de las componentes de

las ondaletas bajo el obstáculo y que a pesar que la energía radiada frente al obstáculo se refleja, existe campo tras el obstáculo producido por las ondaletas bajo de él. También podemos apreciar que el campo en el punto D es menor que en el punto C, ya que las ondaletas que lo producen están mas alejadas y en una ubicación tal que la energía que radia hacia C es menor que la radiada hacia B. Apreciamos también que la dirección del campo (obtenida por la suma vectorial de todas las contribuciones que llegan a C) tiene una dirección distinta al campo en B. En conclusión, **existe campo tras el obstáculo** (la llamada zona de sombra) siendo mayor su magnitud cuanto más cercano se éste del extremo de este y el frente de onda se ve alterado tanto bajo como tras del obstáculo. También podemos concluir que existe una zona de silencio, o sea; una zona donde la magnitud del campo es cercana a cero, que se encuentra también tras el obstáculo pero muy cercano a este.

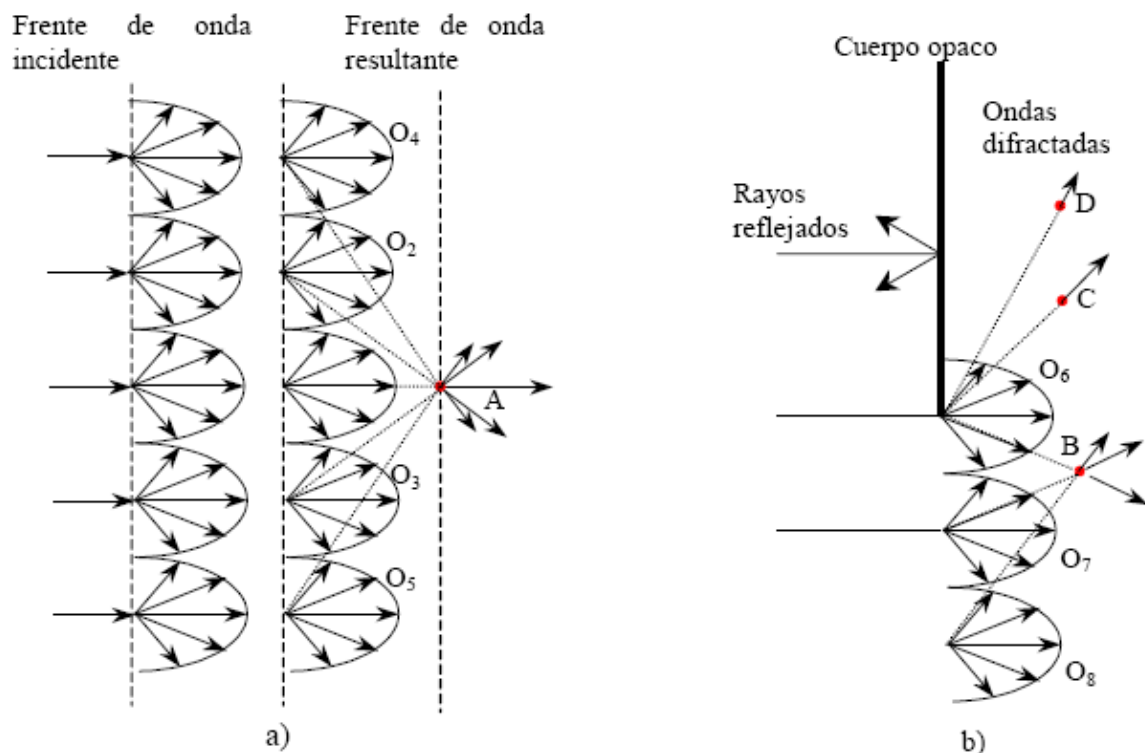


Figura 1.7 Principio de Huygens a) Frente de onda resultante en el espacio libre
b) Frente de onda resultante con obstrucción ^[1]

Los casos más importantes de difracción en el estudio de los fenómenos de propagación se ilustran en la figura 1.8, y son la difracción causada por la curvatura de la superficie terrestre (figura 1.8b), la cual dirige las ondas de radio a la zona de sombra debajo de la línea visual y la difracción filo de cuchillo (figura 1.8a), la cual orienta la onda de radio a la zona de sombra detrás de una montaña aguda y ocurre cuando existe una obstrucción en la trayectoria de un enlace de comunicaciones.

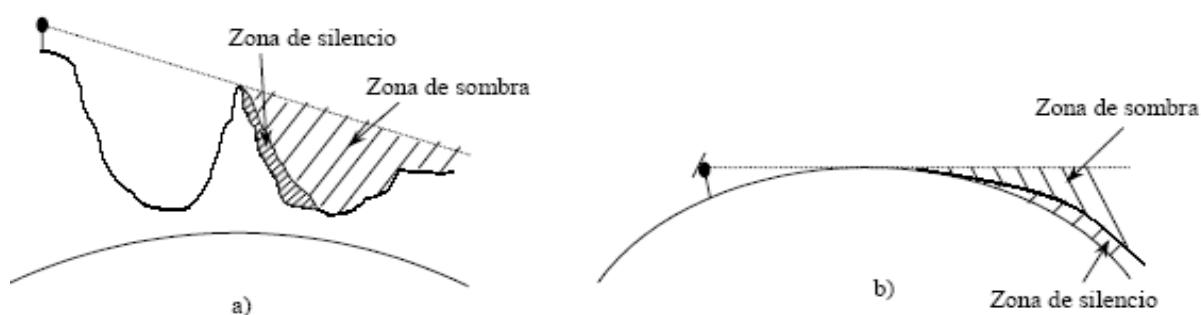


Figura 1.8 Tipos de difracción a) Por filo de cuchillo b) Por la curvatura de la superficie terrestre

1.2.4 ABSORCIÓN

La parte baja de la atmósfera produce absorción de las ondas de radio, la cual depende de parámetros que pueden ser fijos, como la frecuencia de la portadora, el ángulo de elevación de la antena y la altura de cada estación sobre el nivel del mar y variables, como la densidad del vapor de agua contenido en el aire y la temperatura de la superficie del terreno. El factor más inestable es la densidad del vapor, que puede tener fluctuaciones de efecto considerable

El fenómeno de absorción en la atmósfera, aunque no tiene un valor constante, está siempre presente, las pérdidas por este fenómeno son muy bajas, los cuales se puede ignorarse a frecuencias que van desde los 10 Ghz y alcanza menos de 0,5 dB hasta 15 Ghz.

Las ondas de radio, de cualquier clase, son atenuadas o debilitadas mediante la transferencia de energía al medio en el cual viajan cuando éste no es el vacío.

La potencia de la onda decrece exponencialmente, correspondiendo a un decrecimiento lineal en dB.

Dependiendo de la composición ciertos materiales presentan absorción como: árboles, concreto, su comportamiento es determinado por su concentración de agua.

1.2.5 INTERFERENCIA

La interferencia de ondas de radio ocurre cuando dos o más ondas electromagnéticas se combinan de tal forma que el funcionamiento del sistema se degrada. La interferencia se apoya en el principio de superposición lineal de ondas electromagnéticas y ocurre cada vez que dos o más ondas coinciden simultáneamente en espacio, tiempo y frecuencia. A pesar que ciertos tipos de medios de propagación tienen propiedades no lineales, la atmósfera terrestre se puede tomar como lineal.

La figura 1.9a muestra la suma lineal de dos vectores de voltaje instantáneos, cuyos ángulos de fase difieren por un ángulo θ . Puede observarse que el voltaje total no es simplemente la suma de las magnitudes de los dos vectores, si no su suma vectorial (en magnitud y fase).

Con la propagación en espacio libre, puede existir una diferencia de fase producto de las diferentes trayectorias recorridas tanto por el rayo directo como por el rayo reflejado; dependiendo de esta, puede darse el caso de: interferencia destructiva o de interferencia constructiva de la señal recibida.

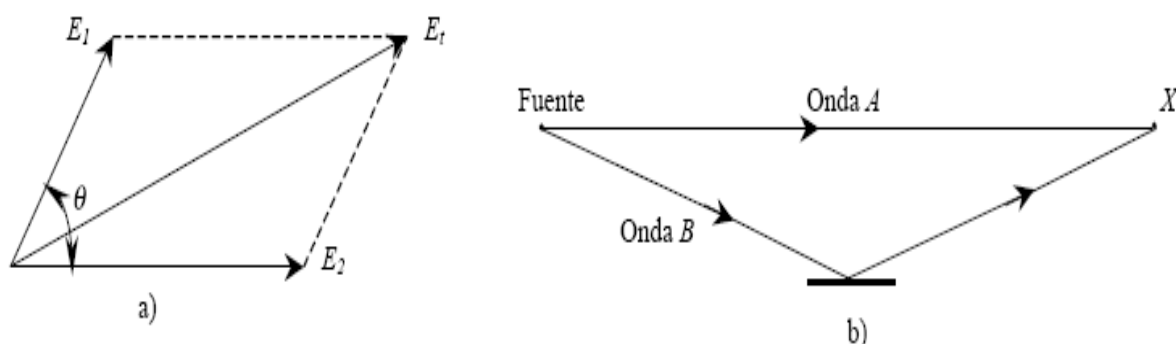


Figura 1.9 Fenómeno de interferencia ^[1]

En la figura 1.9b muestra la interferencia entre dos ondas electromagnéticas que están en el espacio libre. Puede verse que en el punto X los rayos se encuentran, pero la onda B ha viajado una trayectoria distinta a la de la onda A y sus ángulos de fase pueden ser diferentes. Si la diferencia de distancia viajada es múltiplo de un entero impar de la mitad de longitud de onda, se lleva a cabo el refuerzo, si es múltiplo de un entero par, ocurre la cancelación; generalmente en la práctica ocurre un cancelación parcial.

1.2.5.1 Interferencia en Radioenlaces digitales

La interferencia en radioenlaces digitales es consecuencia de un incremento del BER para una relación E_b/N_0 dada (desplazamiento hacia la derecha de las curvas del BER).

- **TASA DE BITS ERRADOS (BER: Bit Error Rate).** Indica la proporción de bits errados respecto a los bits transmitidos en un determinado intervalo de tiempo así:

$$\text{BER} = \frac{\text{Número de bits errados}}{\text{Número de bits transmitidos}}$$

Si se tiene un bit errado en una transmisión de 1000 bits promedio, el BER será de 10^{-3} .

- *ENERGÍA DE LA SEÑAL POR BIT / DENSIDAD DE POTENCIA DE RUIDO POR HERTZ* (E_b/N_o : *Energy Bit / Noise*). Existe una relación directamente proporcional entre E_b/N_o y el BER como se muestra en la figura 1.10.

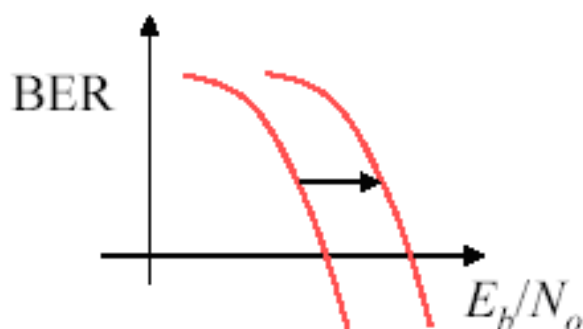


Figura 1.10 BER en función E_b/N_o

La interferencia se puede modelar como un ruido gaussiano que se suma en potencia con el ruido térmico.

1.2.5.1.1 Interferencia entre símbolos (ISI: Intersymbol Interference)

En los sistemas de transmisión digital, la distorsión de la señal recibida se manifiesta mediante ensanchamiento temporales, y el consecuente solapamiento de pulsos individuales hasta el punto en que el receptor puede no distinguir correctamente entre cambios de estado.

Para minimizar la interferencia entre símbolos en los instantes de muestreo, en los sistemas de transmisión digital, se utilizan filtros de Nyquist.

En los radioenlaces digitales, la interferencia entre símbolos se debe fundamentalmente a las siguientes causas:

- *Inexactitud de la señal de reloj y Ancho de banda insuficiente*: Cuando la velocidad de la señal de un enlace de transmisión digital se aproxima a la máxima velocidad para un ancho de banda dado, tanto el comportamiento del

canal como el tiempo de muestreo llegan a ser más críticos. Pequeñas perturbaciones en la respuesta del canal o en el tiempo de muestreo producen sobrelapamientos de la señal diferentes de cero al momento del muestreo.

- *Distorsión de fase o distorsión por retardo*: Causada por el hecho de que las diferentes componentes de frecuencia de una señal viajan a diferentes velocidades, experimentando diferentes retardos y arribando al receptor en diferentes tiempos.

1.2.5.2 Tipos de Interferencia

- *INTERFERENCIA DEL CANAL ADYACENTE. (ACI: Adjacent channel Interference)*. Este tipo de interferencia se debe fundamentalmente a la pequeña separación entre canales. La utilización de Filtros de caída brusca ofrece protección contra la interferencia entre canales adyacentes
- *INTERFERENCIA COCANAL. (CCI: Cochannel Interference)*. Debida a la reutilización de frecuencias en la propia red, como a la utilización de polarización cruzada sin margen suficiente. Como precaución contra la interferencia, la polarización de la onda se invierte en cada repetidor y se cambia la dirección para evitar la interferencia directa de una sección de la ruta afectando al repetidor de una sección posterior.

1.2.5.3 Control de Interferencia

Para tratar de minimizar los efectos de la interferencia se adoptan las siguientes opciones:

- Separación espectral adecuada: La separación espectral entre el Transmisor y el Receptor, debe existir en un rango de frecuencia mucho mayor que el ancho de banda ocupado por un canal de radiofrecuencia.
- Diferencia de polarización entre canales adyacentes: La polarización debe ser diferente en los canales adyacentes, en los sistemas con antenas en la configuración back to back.
- Filtros RF y FI de gran selectividad: Para que estos filtros tengan una gran selectividad, el coeficiente de roll off debe ser muy pequeño.
- Minimizar lóbulos secundarios de radiación: Para poder minimizar los lóbulos secundarios de debe usar antenas con una relación Frente/Espalda elevado.

1.2.6 RUIDO

El ruido esta presente en todo sistema de telecomunicaciones, que se manifiesta como una señal no deseada que se superpone a una onda portadora, en el proceso de propagación, generado por causas internas y externas al sistema. Constituye uno de los principales factores que limitan el desempeño de un sistema de comunicaciones.

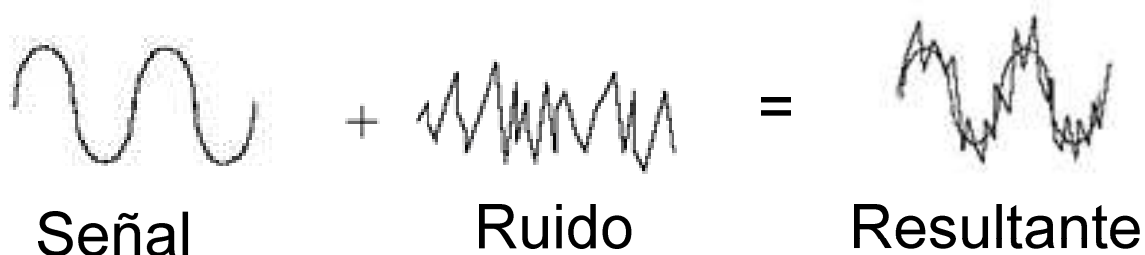


Figura 1.11 Fenómeno de superposición de una señal con el ruido

El ruido térmico se debe a causas internas, se genera por el movimiento térmico de los electrones y es por tanto función de la temperatura. La potencia de dicho ruido N presente en un ancho de banda es directamente proporcional a la temperatura y al ancho de banda: así:^[3]

$$N = K.T.B.W \quad \text{ec (1.8)}$$

Donde: N = potencia de ruido [w]
 K = constante de Boltzman $1,38 \times 10^{-23}$ [J/ °K]
 T = temperatura absoluta [°K]

1.3 CARACTERÍSTICAS DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO

1.3.1 ONDAS DE TIERRA

Son ondas electromagnéticas que viajan a lo largo de la superficie de la tierra, las cuales deben tener polarización vertical, ya que la tierra es un medio conductor que desvanece la componente tangencial del campo, produciendo flujos de corriente muy similares a las producidas en las líneas de transmisión.

Las pérdidas producidas por la tierra aumentan rápidamente con la frecuencia, por lo que este tipo de propagación queda limitado a frecuencias por debajo de 2 MHz.

Las ondas de tierra se usan normalmente para la comunicación barco a barco o barco a costa, para radio navegación y para comunicaciones marítimas móviles.

1.3.2 ONDAS ESPACIALES

Las ondas espaciales concentran la energía radiada a pocos kilómetros de la superficie terrestre, ya que debe existir línea de vista entre el transmisor y el receptor.

La propagación por ondas espaciales está limitada por la curvatura de la tierra, sin embargo, la comunicación se puede lograr usando ondas espaciales sin tener línea de vista, por medio de los fenómenos de difracción o dispersión.

1.3.3 ONDAS DE CIELO

Son ondas dirigidas sobre el nivel del horizonte, generalmente se radian con ángulos grandes respecto a la tierra, reflejándose o refractándose en la ionosfera.

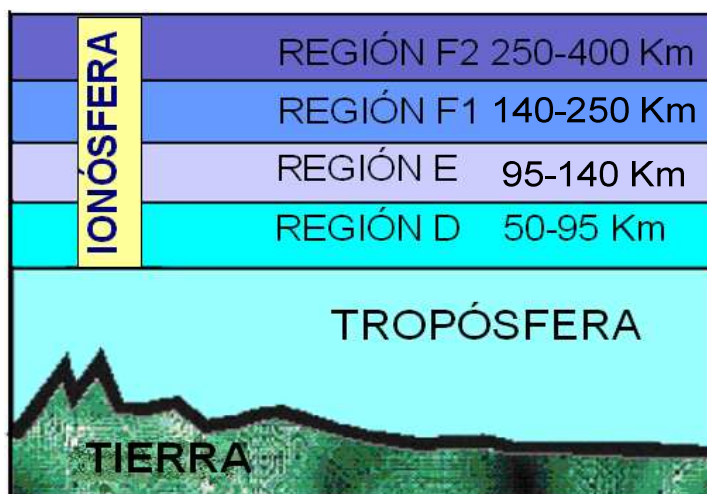


Figura 1.12 Capas de la ionósfera.

Durante el día:

- Las capas D y E absorben las señales con frecuencias por debajo de 8 - 10 Mhz.
- Las capas F reflejan señales desde 10 - 30 Mhz.

Durante la noche:

- Las capas D, E "Desaparecen".
- Las capas F se funden en una sola que refleja señales desde 2 – 10 Mhz

La ionosfera es la región del espacio localizada aproximadamente entre los 50 y 400 Kilómetros sobre la superficie terrestre y constituye la porción superior de la atmósfera.

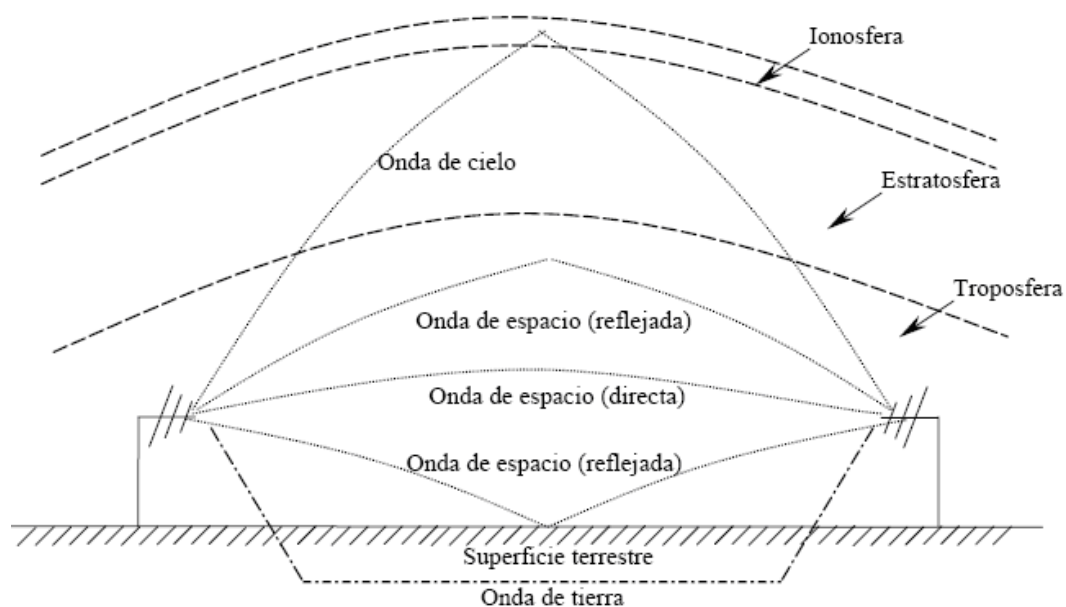


Figura. 1.13 Tipos de ondas según el medio en que se propagan ^[1]

1.4 CARACTERÍSTICAS DE PROPAGACIÓN DE ACUERDO A LAS BANDAS UTILIZADAS.

RANGO DE FRECUENCIAS	DESIGNACIÓN	USOS
30 Hz-300 Hz	ELF (Extremely Low Frequency)	Submarino/Energía
300 Hz-3 KHz	ULF (Ultra Low Frequency)	Oído Humano
3 KHz-30 KHz	VLF (Very Low Frequency)	Oído Humano
30 KHz-300 KHz	LF (Low Frequency)	
300 KHz-3 MHz	MF (Médium Frequency)	Radio AM
3 MHz-30 MHz	HF (High Frequency)	
30 MHz-300 MHz	VHF (Very High Frequency)	Radio FM y TV en difusión
300 MHz-3 GHz	UHF (Ultra High Frequency)	TV en difusión
3 GHz-30 GHz	SHF (Super High Frequency)	Microondas terrestre/satelital
30 GHz-300 GHz	EHF (Extremely High Frequency)	Microondas terrestre/satelital
300 GHz-3 THz	THF (Tremendously High Frequency)	Infrarrojo caliente

Tabla 1.2 Designación de bandas de frecuencias.

Las características principales en las bandas ELF, ULF, VLF, LF y MF que van desde 0-3 MHz son:

- Las ondas siguen la curvatura de la tierra.
- Poseen baja capacidad de información.
- La atenuación depende de la conductividad del medio, esto significa que es alta para la tierra, lo que obliga a utilizar altos niveles de potencia, siendo esta atenuación baja sobre el mar.
- Se requiere de antenas grandes y en contacto con la superficie terrestre.
- Independencia de condiciones climatológicas.
- Reflexión nocturna en la ionosfera para MF, lo que permite alcanzar grandes distancias. En el día a causa de la luz solar se forma una capa en la parte inferior de la ionosfera a unos 80 a 100 Km que absorben a las frecuencias de la banda MF.

Las características principales en la banda HF que va desde 3-30 MHz son:

- Propagación por onda superficial altamente atenuada.
- Propagación por reflexión en la ionosfera. Los gases en la ionosfera están expuestos a la radiación ultravioleta del sol, y sus moléculas liberan electrones que se convierten en iones positivos, y cuya densidad aumenta con la altura. Para determinada concentración de electrones por metro cúbico existe una frecuencia máxima que puede reflejarse en ella; ondas de radio a frecuencias superiores se reflejarán en capas con mayor concentración y si no las hay, pasarán a través de la ionosfera sin retorno a la tierra. Este medio se usó ampliamente en los enlaces internacionales para las comunicaciones punto a punto, antes de la aparición de los satélites.

Las características principales en las bandas VHF, UHF, SHF y EHF que van desde 0.03-300 GHz son:

- El mecanismo de propagación fundamental es debido a la onda de espacio.
- Las ondas no son reflejadas por la ionosfera.
- La propagación superficial es despreciable.
- Las ondas se refractan en la troposfera.

1.5 HORIZONTE ÓPTICO Y HORIZONTE DE RADIO

En los sistemas con línea de vista, las ondas de radio viajan en línea recta en el vacío y se limitan en el horizonte a causa de la curvatura de la tierra. Sin embargo, cuando viajan por la troposfera, las ondas de radio se curvan o difractan más allá del horizonte óptico, distancia llamada horizonte de radio, que es aproximadamente cuatro tercios del horizonte óptico. La refracción es causada por la troposfera, debido a cambios en su densidad, temperatura, contenido de vapor de agua y conductividad relativa. El horizonte de radio depende de las alturas de las antenas y puede extenderse elevándolas. El horizonte efectivo de radio, se expresa como:^[4]

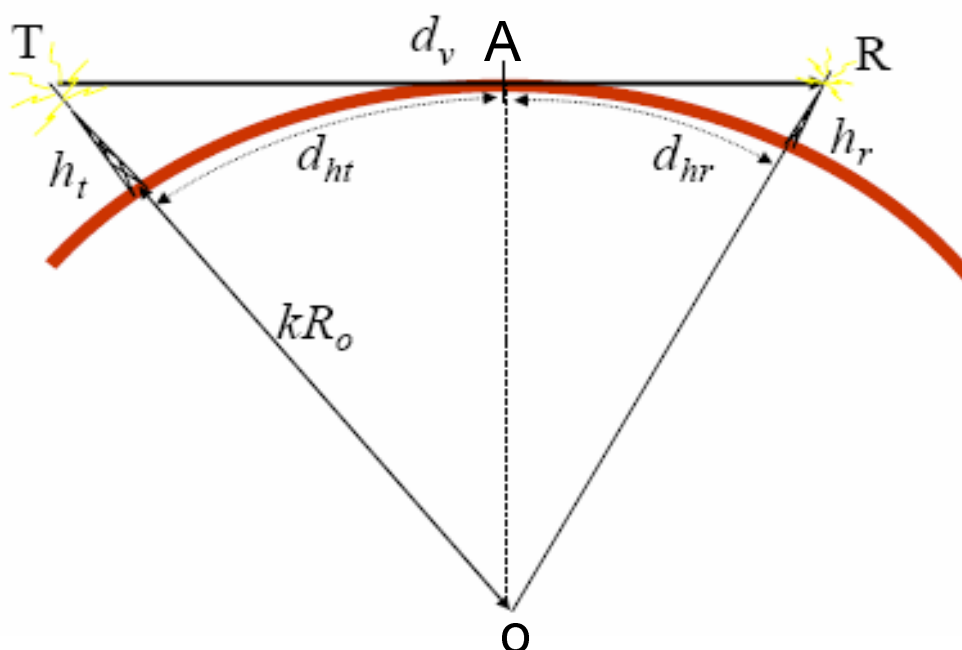


Figura. 1.14 Horizonte óptico y horizonte de radio

Donde: kR_o = corrección del radio de la tierra ($k=4/3$ y $R_o=6370$ Km)
 h_t = altura de la antena transmisora sobre el nivel del mar [Km]
 h_r = altura de la antena receptora sobre el nivel del mar [Km]
 d_{ht} = distancia al horizonte de radio de la antena transmisora [Km].
 d_{hr} = distancia al horizonte de radio de la antena receptora [Km].
 d_v = distancia total [km]

En el triángulo rectángulo OAT, aplicamos el teorema de Pitágoras, así:

$$(kR_o + h_t)^2 = d_{ht}^2 + OA^2$$

$$(kR_o + h_t)^2 = d_{ht}^2 + (kR_o)^2$$

Desarrollando el binomio al cuadrado, se tiene:

$$(kR_o)^2 + 2kR_o h_t + h_t^2 = d_{ht}^2 + (kR_o)^2$$

Eliminando de la ecuación el término $(kR_o)^2$, resulta la siguiente ecuación:

$$2kR_o h_t + h_t^2 = d_{ht}^2$$

$$0 \quad 2kR_o h_t \gg h_t^2$$

$$d_{ht}^2 \approx 2kR_o h_t$$

$$d_{ht} = \sqrt{2R_o k h_t} \quad \text{ec (1.9)}$$

$$d_{hr} = \sqrt{2R_o k h_r} \quad \text{ec (1.10)}$$

El horizonte efectivo de radio crece con la \sqrt{k} , donde k es un factor de ajuste que tiene en cuenta la refracción. Una buena aproximación es $k=4/3$. Así, la distancia máxima entre dos antenas siguiendo la propagación por línea de vista es:

$$d_v = d_{ht} + d_{hr} = \sqrt{2k \cdot R_o} (\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r})$$

Reemplazando el valor de $k=4/3$ y $R_0=6370$ Km, se tiene:

$$d_v = 4.121(\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r})[Km] \quad \text{ec (1.11)}$$

1.6 ZONA DE FRESNEL

Consideremos la figura 1.15, donde un frente de onda que viaja de izquierda a derecha encuentra un obstáculo que absorbe o refleja toda la energía incidente sobre él. Si el frente de onda es uniforme, ¿Cuál será la magnitud del campo a lo largo de la línea B-B' al otro lado del obstáculo?. Para cuantificarla, tomamos el eje M-N' en el que el cero coincide con el tope del obstáculo y los números positivos y negativos representan posiciones sobre y bajo este respectivamente.^[5]

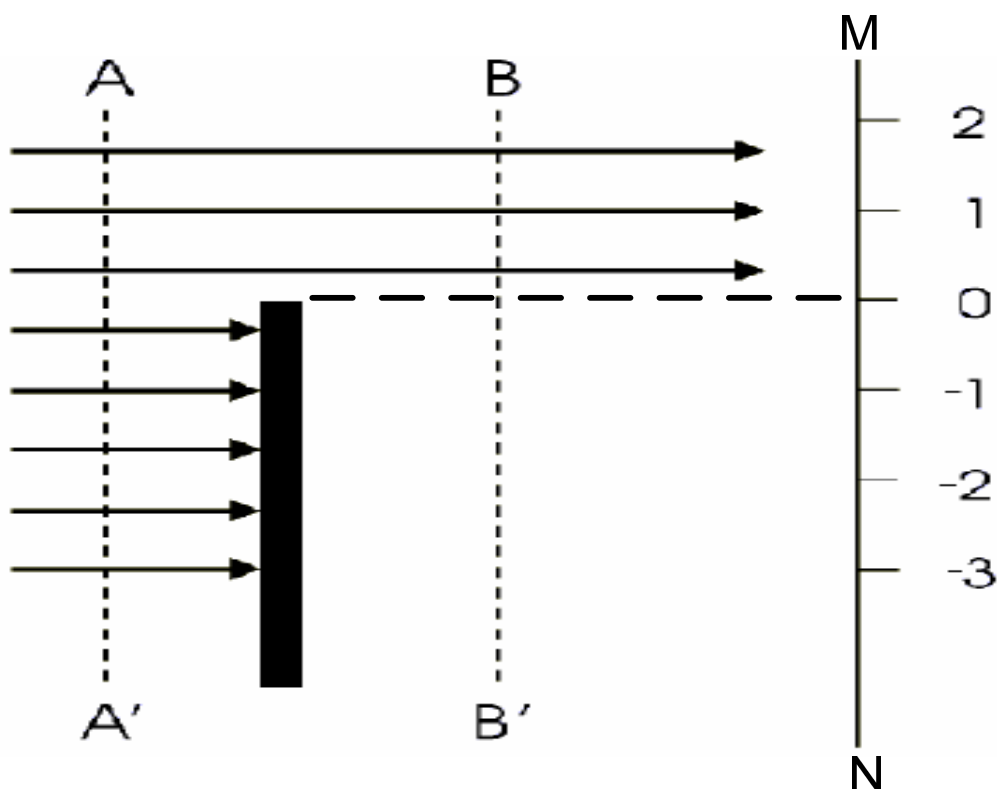


Figura 1.15 Difracción de un frente de onda producida por un obstáculo

La intuición puede hacernos esperar que la intensidad del campo a lo largo de B-B' tenga la forma de la línea punteada de la figura 1.16, con una obstrucción total de la señal detrás del obstáculo y sin afectar a la señal sobre él. La línea sólida muestra lo que en realidad ocurre: no solo se filtra la energía en la zona de sombra, sino que el campo sobre el obstáculo también se ve afectada. En una posición exactamente a nivel de la punta del obstáculo, la densidad de potencia de la señal se ve disminuida en 6 dB, aunque haya línea de vista. La explicación de este comportamiento poco intuitivo se fundamenta en el principio de Huygens, el cual ya ha sido tratado anteriormente. En un punto dado del nuevo frente de onda (punto B de la figura 1.17), el vector señal (fasor) es resultado de la adición de las contribuciones de los puntos del frente A, considerado radiadores diferenciales por Huygens (ondaletas). El componente de mayor magnitud es el proveniente de la ondaleta más cercana, obteniéndose contribuciones simétricas de los puntos superiores e inferiores; estos últimos vectores son más pequeños, debido a la mayor distancia recorrida, que produce también mayor tiempo de retardo y por lo tanto la rotación de los vectores que se muestra en la figura 1.17. A medida que incluimos contribuciones de puntos cada vez más alejados los vectores correspondientes continúan rotando y disminuyendo en longitud, de forma que se trazan una ruta en espiral simétrico conocido como la espiral Cornu.

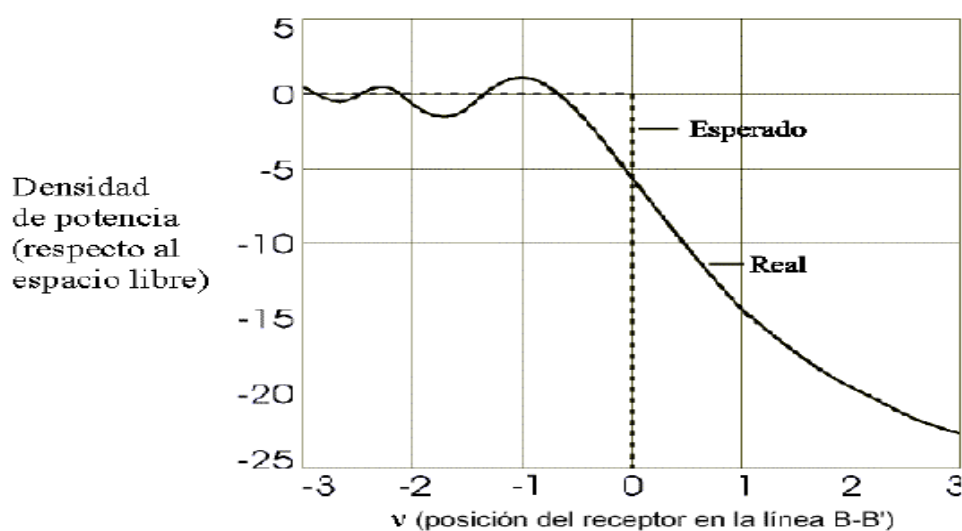


Figura 1.16 Nivel de señal luego de pasar un obstáculo

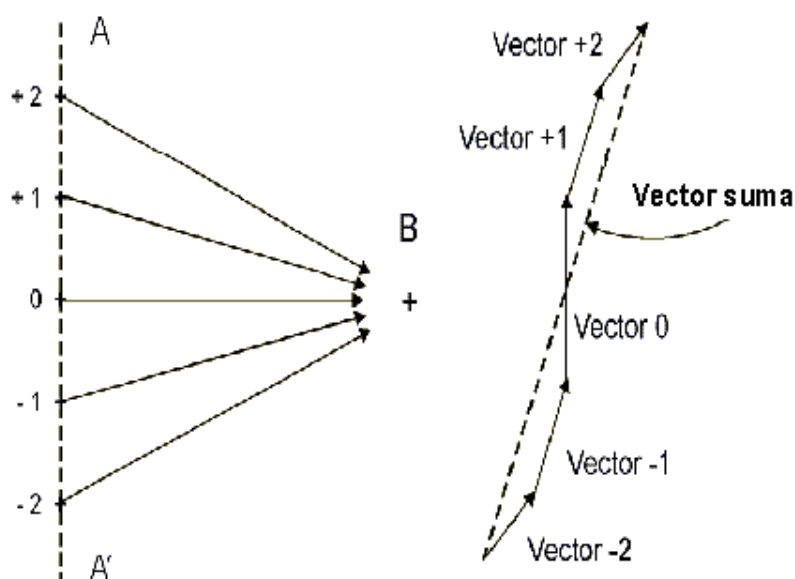


Figura 1.17 Formación de un nuevo frente de onda

La espira Cornu, mostrada en la figura 1.18, es una herramienta importante para visualizar lo que sucede cuando una onda electromagnética encuentra un obstáculo. En el espacio libre, en cada punto del nuevo frente de onda están presentes todas las contribuciones de las ondas secundarias del frente de onda precedente, de tal manera que el vector correspondiente es el resultado del espiral completo (o sea, sus puntos terminales son X y Y). Consideremos nuevamente la figura 1.15 y por cada localización sobre el frente de onda B-B', visualicemos la formación del espiral de Cornu (el tope del obstáculo se ha asumido suficientemente estrecho para que no produzca reflexiones significativas). En la posición 0 (a nivel del obstáculo), tendremos las contribuciones de la porción superior del frente A-A' y el vector resultante es exactamente de la mitad de longitud que en el espacio libre, correspondiendo a una reducción en amplitud de 6 dB. A medida que bajamos por la línea B-B', bloqueamos los componentes de la porción superior de A-A', removiendo más y más vectores y dejando solo la parte superior del espiral. La amplitud resultante disminuye monótonamente hacia cero a medida que nos ubicamos detrás del obstáculo, pero aún la magnitud del campo es no nula. A medida que nos

movemos a lo largo de B-B' por encima del obstáculo, añadimos contribuciones de la parte negativa de A-A' (vectores -1, -2, etc.). El espiral aumenta su longitud a medida que añadimos más componentes, siempre que sus contribuciones sean aditivas, o sea, que la diferencia de fase entre el campo con que llega proveniente del radiador y el vector de referencia (vector 0 en la figura 1.17) sea menor de 180° . El espiral alcanza su máxima longitud (ver figura 1.19a) y cuando se añade contribuciones de ondas secundarias que llegan con diferencia de fase mayores a 180° respecto al vector de referencia, el espiral se curva y la intensidad de campo es mínima (ver figura 1.19b). Contribuciones adicionales resultan en un movimiento sobre el espiral alrededor del punto X y la amplitud del vector resultante oscila alrededor de la magnitud del campo en el espacio libre.^[5]

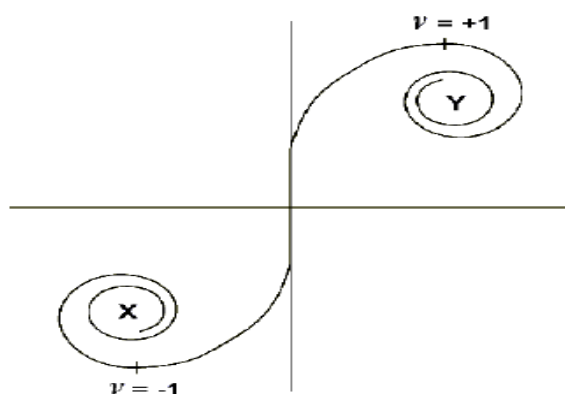


Figura 1.18. El espiral Cornu

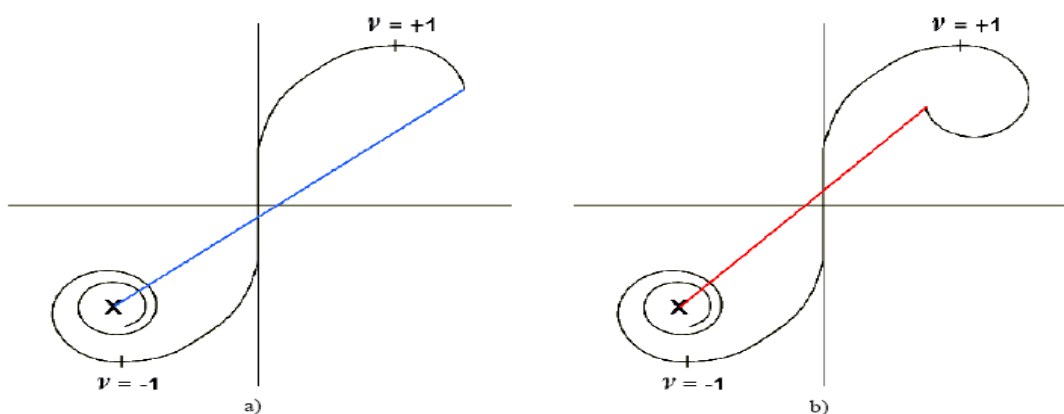


Figura 1.19 Variación del espiral Cornu: a) máximo local b) mínimo local

Consideremos ahora la citación ilustrada en la figura 1.20, donde se han dibujado las torres que soportan las antenas de un enlace de radio y el elipsoide de Fresnel formado. Si hacemos un corte transversal a dicho elipsoide, podemos considerar al plano resultante como dividido por círculos concéntricos como en la figura 1.21.

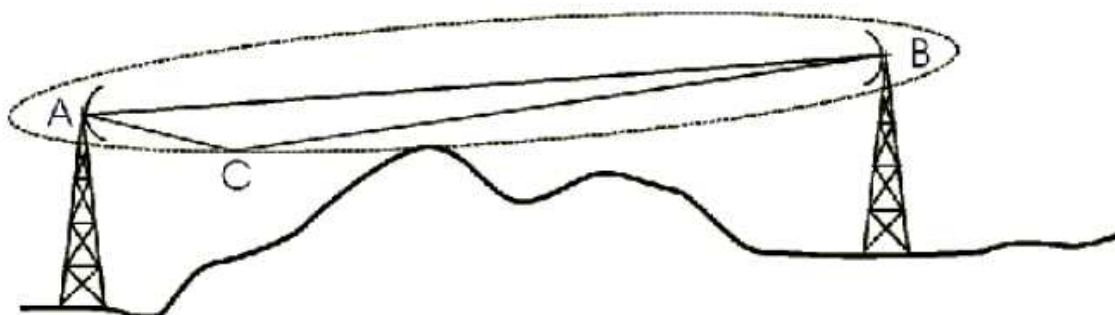


Figura 1.20 Elipsoide de Fresnel para un radio enlace

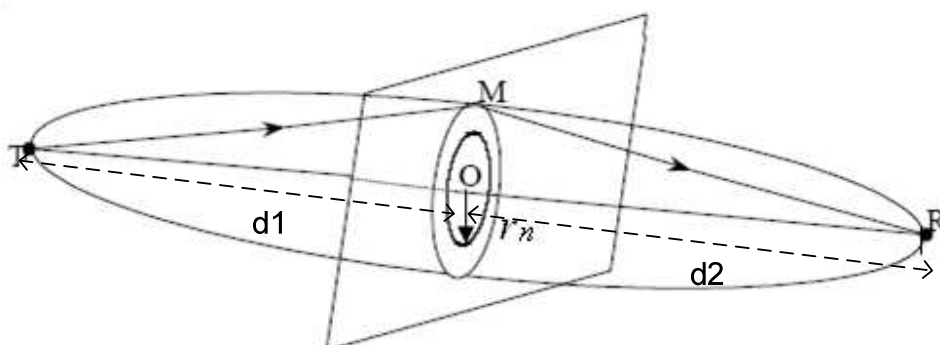


Figura 1.21 Elipsoide de círculos concéntricos

Los puntos del plano que están a igual distancia del receptor (punto R) llegan con la misma fase y contribuyen al campo de la misma forma. El plano se puede considerar como dividido en círculos concéntricos y el campo resultante en el receptor como la suma de las contribuciones de estos círculos con sus respectivas fases. La referencia de fase es la trayectoria TOR , de modo que un rayo emitido en T que pasa por el punto M recorre una trayectoria TMR mayor que la del radio directo en una cantidad ΔT , así: .

$$\Delta T = TMR - TOR \quad \text{ec(1.12)}$$

Donde: ΔT = diferencia de distancias recorridas [Km]
 TMR = distancia recorrida de TM a MR [Km]
 TOR = distancia recorrida por el rayo directo [Km]

Los puntos del plano que recorren la misma distancia ΔT contribuyen con la misma fase al campo en R . Si el plano se desplaza ortogonal a la trayectoria TOR y se conserva el mismo valor de ΔT , el círculo que contiene a los puntos de igual fase generará un elipsoide de revolución con focos en T y R . Las diferencias de recorridos pueden asociarse al radio de los círculos, sí expresamos esta diferencia como:

$$\Delta T = \frac{n\lambda}{2} \quad \text{ec (1.13)}$$

Donde: $\frac{n\lambda}{2}$ = radio del enésimo círculo.

Tenemos que los valores enteros de n definen una familia de elipsoides homofocales conocidos como *elipsoides de Fresnel* y las zonas circulares en el plano ortogonal TOR conocidas como *zonas de Fresnel* (figura 1.21). Por medio del espiral Cornu, podemos ver que las ondas que llegan al receptor con diferente fase respecto a TOR aumentan o disminuyen la intensidad de la señal dependiendo de la zona de Fresnel a la que pertenece, el campo total recibido está dado por la contribución de cada una de las zonas de Fresnel, es decir:

$$E_R = E_1 - E_2 + E_3 - E_4 + \dots = \sum_{i=1}^{\infty} (-1)^{i-1} E_i \quad \text{ec (1.14)}$$

Donde: E_R = campo eléctrico resultante en el receptor [V/m]

E_1, E_3 = componentes de campo eléctrico en fase en el receptor [V/m]

E_2, E_4 = componentes de campo eléctrico desfasadas en el receptor [V/m]

Como el campo debido a las diferentes zonas disminuye monótonamente, el campo resultante es igual a la mitad del de la primera zona. Por lo tanto, si en el enlace existe una obstrucción entre el transmisor y el receptor, es mejor graduar la altura de las antenas hasta dejar pasar solamente la primera zona de Fresnel.

Esto permite definir la condición de propagación con visibilidad, la cual establece que es suficiente con dejar libre el 55% (generalmente el 60%) del radio de la primera zona de Fresnel para que el nivel de la señal en el receptor sea igual al que se recibiría en el espacio libre.

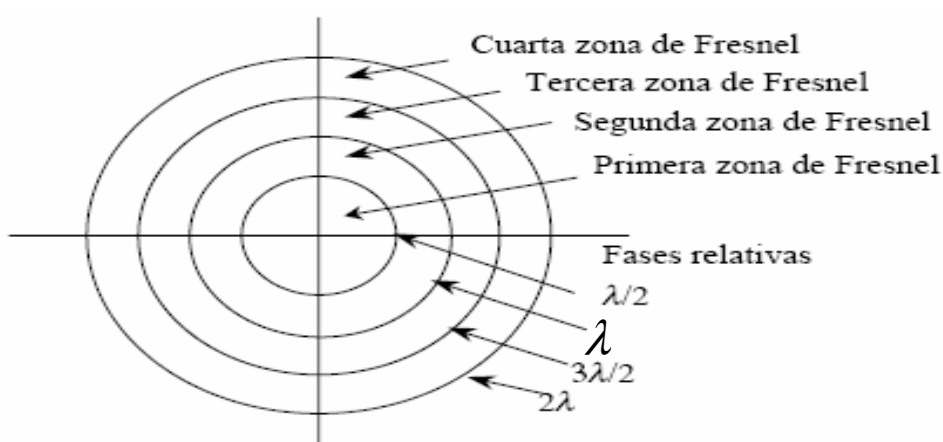


Figura 1.22 Sección transversal del frente de ondas

1.6.1 DEDUCCIÓN DEL RADIO DE LAS ZONAS DE FRESNEL^[5]

De acuerdo a la figura 1.21 tenemos que, *TOM* y *ROM* son triángulos rectángulos.

En el triángulo rectángulo *TOM*, se tiene:

$$TM^2 = d_1^2 + r_n^2$$

$$TM^2 = d_1^2 \left[1 + \left(\frac{r_n}{d_1} \right)^2 \right]$$

$$TM = d_1 \left[1 + \left(\frac{r_n}{d_1} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Donde: TM= hipotenusa del triangulo TOM [Km]
 d_1 = distancia del transmisor al centro al lugar en estudio [Km]
 r_n = Radio del enésimo círculo.

En el triángulo rectángulo ROM, se tiene:

$$MR^2 = d_2^2 + r_n^2$$

$$TM^2 = d_2^2 \left[1 + \left(\frac{r_n}{d_2} \right)^2 \right]$$

$$TM = d_2 \left[1 + \left(\frac{r_n}{d_2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Donde: MR= hipotenusa del triangulo TOM [Km]
 d_2 = distancia del receptor al lugar en estudio [Km]
 r_n = Radio del enésimo círculo.

Además: $d_1 + d_2 = d$;

$$TM + MR = \frac{n\lambda}{2} + d$$

Remplazando TM y MR en la ecuación anterior, tenemos:

$$d_1 \left[1 + \left(\frac{r_n}{d_1} \right)^2 \right]^{1/2} + d_2 \left[1 + \left(\frac{r_n}{d_2} \right)^2 \right]^{1/2} = \frac{n\lambda}{2} + d$$

Haciendo uso de la serie del binomio² y que $r_n \ll d_1, d_2$

$$\left[1 + \left(\frac{r_n}{d_i} \right)^2 \right]^{1/2} \cong 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{r_n}{d_i} \right)^2$$

² Según la serie del binomio

$$(1+ax)^n = 1 + n(ax) + \frac{n(n-1)}{2!} (ax)^2 + \dots + \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-i+1)}{i!} (ax)^i = 1 + n(ax)$$

Para todo $ax \ll 1$

$$d_1 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{r_n}{d_1} \right)^2 \right] + d_2 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{r_n}{d_2} \right)^2 \right] = \frac{n\lambda}{2} + d$$

$$(d_1 + d_2) + \frac{1}{2} \left(\frac{r_n^2}{d_1} + \frac{r_n^2}{d_2} \right) = \frac{n\lambda}{2} + d$$

$$d + \frac{1}{2} \left(\frac{r_n^2}{d_1} + \frac{r_n^2}{d_2} \right) = \frac{n\lambda}{2} + d$$

$$\frac{1}{2} r_n^2 \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) = \frac{n\lambda}{2}$$

$$r_n^2 \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right) = n\lambda$$

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{(d_1 + d_2)}}$$

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{(d)}}$$

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

$$r_n = 547,72 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}}$$

ec (1.15)

- Donde:
- r_n = Radio del n ésimo círculo [Km]
 - c = Velocidad de la luz 3×10^8 [Km/s]
 - n = Cualquier número entero 1,2,3....
 - d_1 = Distancia del transmisor al centro del n ésimo círculo [Km]
 - d_2 = Distancia del receptor al centro del n ésimo círculo [Km]
 - d = Distancia del transmisor al receptor [Km]
 - f = Frecuencia en [Mhz]

1.6.2 EL DESPEJE

El despeje (también llamado “clearance” en la literatura) es la distancia entre la línea de vista (trayecto directo entre el transmisor y el receptor) y el perfil del terreno a lo largo de un vano que permita la recepción del 60% de la primera zona de Fresnel.

Sin embargo, para garantizar que tengamos libre este porcentaje de la primera zona de Fresnel es necesario tomar en cuenta las variaciones atmosféricas, que consideramos al estimar el factor de corrección del radio de la tierra (k) y que modifican la distancia entre el perfil del terreno y el haz que va del transmisor al receptor. La figura 1.23 ilustra estas variaciones y su efecto sobre el despeje.

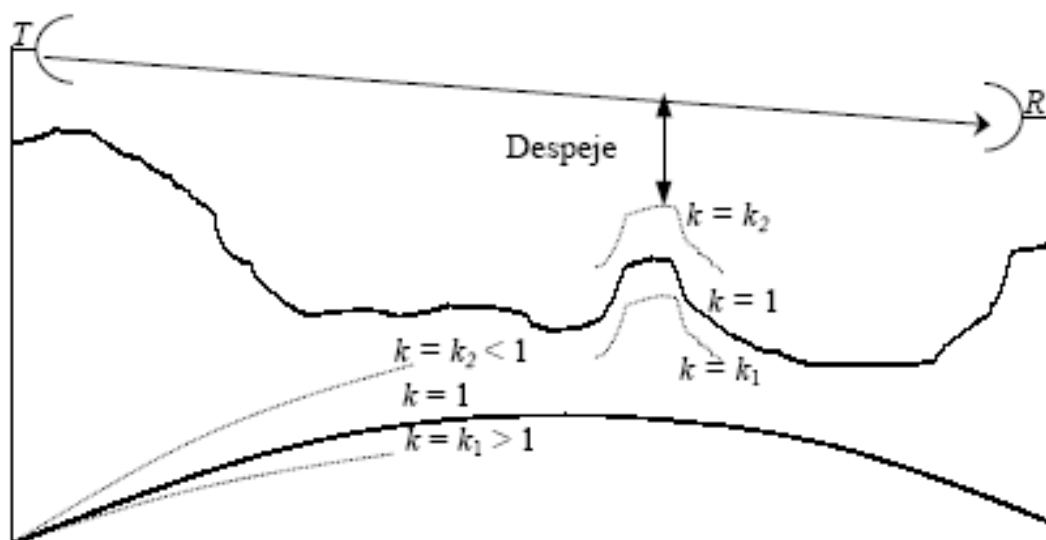


Figura 1.23 Ilustración del concepto del Despeje y de su variación respecto a k ^[5]

Para obtener una expresión que relacione el despeje con otras variables del sistema, calculemos la distancia entre una línea horizontal respecto a una curva en función de k . De esta manera, una vez estimada la variación de k de acuerdo a la zona sobre la que la onda se esté propagando, podremos calcular la variación de esta distancia y con ello el factor adicional que debemos añadir para garantizar que no esté obstruida más del 60% de la primera zona de Fresnel, distancia que representa el despeje.

En el triángulo rectángulo CDE, se tiene:

$$p^2 = (kR_o)^2 - \left(\frac{d}{2} - d_1\right)^2 = (kR_o)^2 - \left(d_2 - \frac{d}{2}\right)^2$$

$$p = kR_o \left[1 - \left(\frac{d_2 - \frac{d}{2}}{kR_o}\right)^2 \right]^{1/2}$$

Haciendo uso de la serie del binomio²

$$q \cong kR_o \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{d}{2kR_o}\right)^2 \right]$$

$$p \cong kR_o \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{d_2 - \frac{d}{2}}{kR_o}\right)^2 \right]$$

Para calcular l_o realizamos la siguiente diferencia:

$$l_o = p - q = kR_o \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{d_2 - \frac{d}{2}}{kR_o}\right)^2 \right] - kR_o \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{d}{2kR_o}\right)^2 \right]$$

$$l_o = \frac{kR_o}{2} \left[\left(\frac{d}{2kR_o}\right)^2 - \left(\frac{d_2 - \frac{d}{2}}{kR_o}\right)^2 \right]$$

² Según la serie del binomio

$$(1+ax)^n = 1 + n(ax) + \frac{n(n-1)}{2!} (ax)^2 + \dots + \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-i+1)}{i!} (ax)^i = 1 + n(ax)$$

Para todo $ax \ll 1$

$$l_o = \frac{1}{2kR_o} \left[\frac{d^2}{4} - \left(d_2 - \frac{d}{2} \right)^2 \right]$$

$$l_o = \frac{1}{2kR_o} \left[\frac{d^2}{4} - d_2^2 + dd_2 - \frac{d^2}{4} \right]$$

$$l_o = \frac{1}{2kR_o} \left[-d_2^2 + dd_2 \right]$$

Ademas: $d=d_1+d_2$

$$l_o = \frac{1}{2kR_o} \left[-d_2^2 + d_2(d_1 + d_2) \right]$$

$$l_o = \frac{1}{2kR_o} \left[-d_2^2 + d_1d_2 + d_2^2 \right]$$

$$l_o = \frac{d_1d_2}{2kR_o} \quad \text{ec(1.16)}$$

Donde: l_o = diferencia entre el rayo directo y el perfil del terreno para cualquier punto del perfil [Km]

R_o = radio real de la tierra, 6370 [Km]

K = Factor de corrección del radio de la tierra [adimensional]

d_1 = Distancia desde el transmisor al punto E [Km]

d_2 = Distancia desde el Receptor al punto E. [Km]

Calculo de L_o :

$$L_o = kR_o - q = kR_o - kR_o \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{d}{2kR_o} \right)^2 \right]$$

$$L_o = kR_o - kR_o + kR_o \frac{1}{2} \left(\frac{d}{2kR_o} \right)^2$$

$$L_o = \frac{d^2}{8kR_o} \quad \text{ec(1.17)}$$

Donde: L_o = Diferencia entre el rayo directo y el perfil del terreno para el punto del perfil
 R_o = Radio real de la tierra, 6370 [Km]
 K = Factor de corrección del radio de la tierra [adimensional]
 d = Distancia al punto medio entre el transmisor y el receptor [Km]

1.6.2.1 Cálculo de las alturas de las antenas

Se dimensiona las alturas de las antenas tanto de transmisión como de recepción, de tal manera que se mantenga libre el 60% de la primera zona de Fresnel, esto con el fin de asegurar la propagación de las ondas en espacio libre, así:^[6]

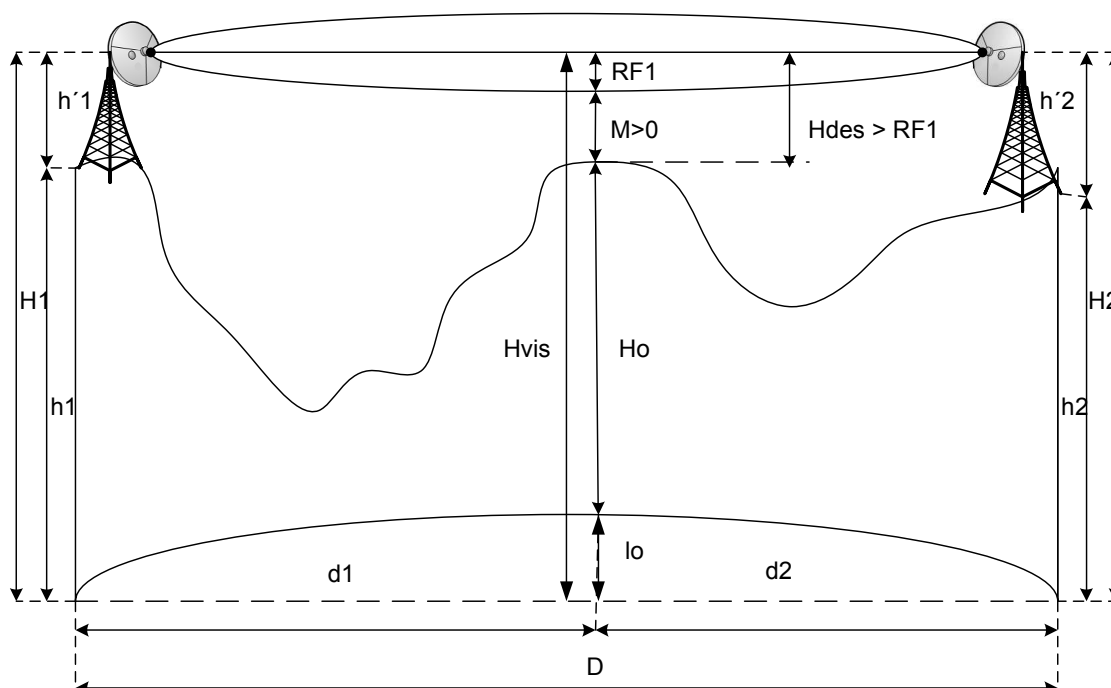


Figura 1.25 Método para el cálculo de las alturas de las antenas

Donde: $d1$ = distancia desde el punto de transmisión al punto más alto [Km]
 $d2$ = distancia desde el punto de recepción al punto más alto [Km]
 H_o = altura sobre el nivel del mar del obstáculo [Km]

h_1 =altura sobre el nivel del mar del punto de transmisión [km]

h_1' =altura de la antena de transmisión [m]

h_2 =altura sobre el nivel del mar del punto de recepción [km]

h_2' =altura de la antena de recepción [m]

M = margen de despeje [m]

H_{vis} = altura a la línea de vista [Km]

De la figura 1.25, se tiene H_{des} :^[6]

$$H_{des} = H_{vis} - H_o - l_o$$

$$H_{des} = \frac{H_1 \cdot d_2 + H_2 \cdot d_1}{D} - H_o - \frac{d_1 \cdot d_2}{2 \cdot k \cdot R_o}$$

Si $R_o = 6370$ Km, se tiene:

$$H_{des} = \frac{H_1 \cdot d_2 + H_2 \cdot d_1}{D} - H_o - 0,0785 \frac{d_1 \cdot d_2}{k} \quad \text{ec (1.18)}$$

Donde: $H_1 = h_1 + h_1'$ [m].

$H_2 = h_2 + h_2'$ [m].

k = coeficiente de corrección del radio de la tierra

El Margen de despeje “ M ”, esta dado por:

$$M = H_{des} - R_{F1} \quad \text{ec (1.19)}$$

Si $M > 0$, la primera zona de Fresnel está libre.

Si $M < 0$, la primera zona de Fresnel se encuentra obstruida.

Si se basa en la condición de que el margen de despeje $M < 0$, se presentan dos casos de obstrucción:

- CASO 1: $0 < H_{des} < RF1$.

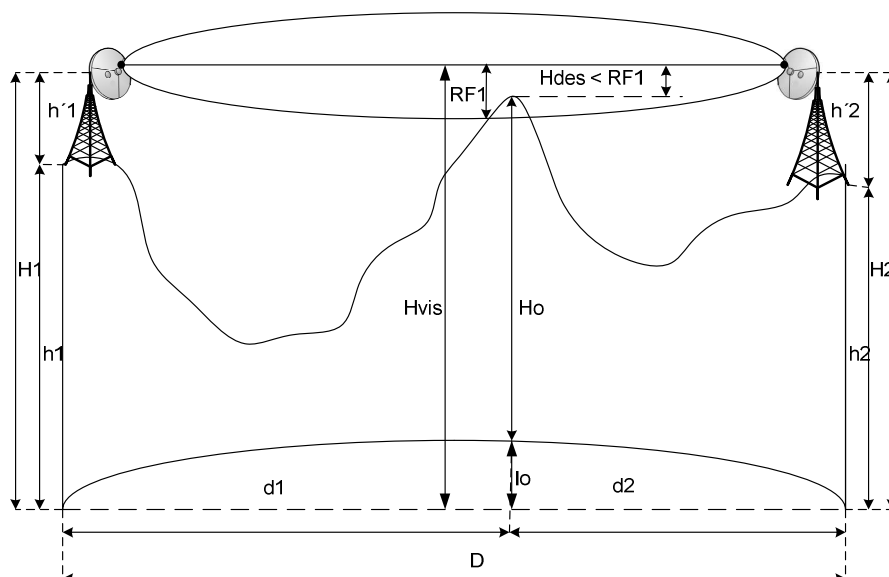


Figura 1.26 Obstrucción de la zona de fresnel (caso 1)

- CASO 2: $H_{des} < 0$.

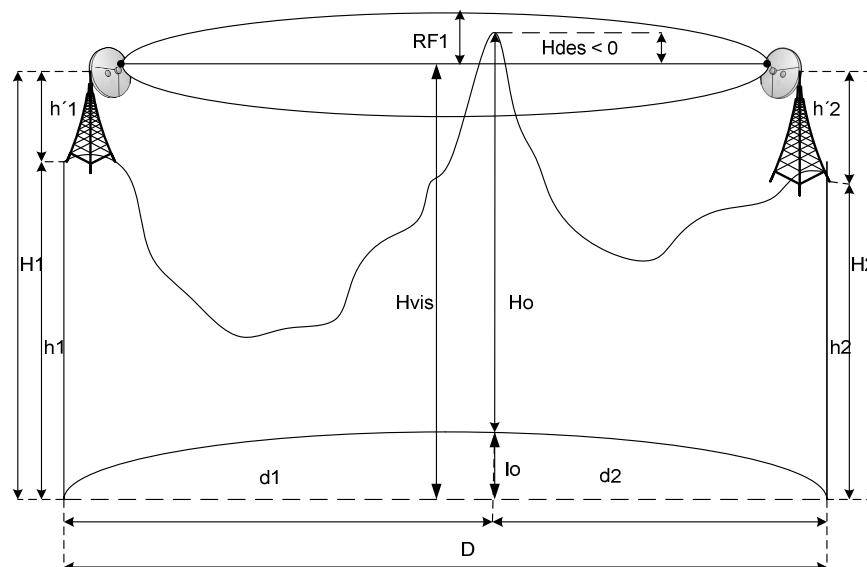


Figura 1.27 Obstrucción de la zona de fresnel (caso 2)

1.6.3 PÉRDIDAS DEBIDO A LA OBSTRUCCIÓN DE LA ZONA DE FRESNEL

Cuando se pierde condición de visión directa es necesario tener en cuenta la pérdida o ganancia adicional sobre propagación en espacio libre que se produce por difracción en obstáculos que interfieren en la zona de fresnel. Este factor depende del despejamiento del rayo.

Frecuentemente los radioenlaces de servicio fijo punto a punto se diseñan bajo el supuesto de condiciones de visión directa entre las antenas de la estación transmisora y receptora. Para esto se requiere que nada interfiera en la primera elipsoide de fresnel. Sin embargo debido a la variación de las condiciones atmosféricas, puede ocurrir que, durante un pequeño intervalo de tiempo haya obstrucción de la primera zona de fresnel. Esta situación puede ser consecuencia de la mala planificación del radioenlace al no analizar más de una trayectoria.

Cuando se pierde condición de visión directa es necesario tener en cuenta la pérdida o ganancia adicional sobre propagación en espacio libre que se produce por difracción en obstáculos que interfieren en la zona de fresnel. Este factor depende del despejamiento del rayo.

La Difracción es la responsable de la atenuación por obstáculos. Dependiendo de la forma, el tamaño y de las propiedades eléctricas del obstáculo. Las pérdidas por obstrucción se calculan en base a la geometría y la frecuencia de trabajo utilizada.

La UIT proporciona la forma de calcular la atenuación producida por un obstáculo en función del parámetro adimensional v , definido como:

$$v = \sqrt{2} \left(\frac{-H_{des}}{R_{F1}} \right) \quad \text{ec (1.20)}$$

La atenuación por difracción en función v , se puede expresar como:^[7]

$$L_D(v) = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \text{dB}, \quad \text{si } v > -1 \quad \text{ec (1.21)}$$

$$L_D(v) = 0, \quad \text{si } v < -1 \quad \text{ec (1.22)}$$

Esta aproximación, nos lleva a la curva de la figura 1.28, normalmente utilizada en la mayoría de los casos.

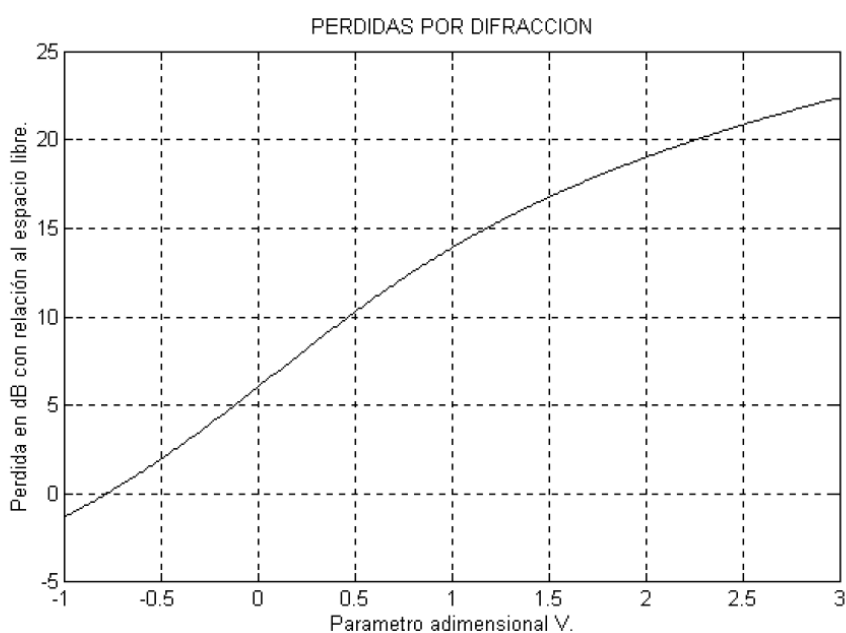


Figura 1.28 Pérdidas por obstrucción

Usando la teoría de difracción de fresnel, se han derivado expresiones para el “factor de atenuación” en función del despeje. La atenuación en magnitud se ha graficado en la figura 1.29, usando como variable independiente la razón entre el despeje y el radio de la primera zona de fresnel. Se puede apreciar que cuando la punta del obstáculo coincide con la línea de vista, hay una pérdida de 6dB. Cuando el receptor está por debajo del obstáculo las pérdidas aumenta rápidamente, pero cuando el receptor está sobre el obstáculo (o sea, cuando hay línea de vista entre el transmisor y el receptor) la señal oscila alrededor del campo en el espacio libre, con desviación entre ± 1 dB. La señal recibida tiene una magnitud cercana a la que tendría si la

propagación fuera en el espacio libre si el obstáculo está por debajo de la línea de vista cuando el despeje es de aproximadamente el 55% de la primera zona de fresnel. Por lo tanto, la práctica usual es colocar el transmisor y el receptor a alturas tales que exista a la menos despeje para este porcentaje de la primera zona de Fresnel.

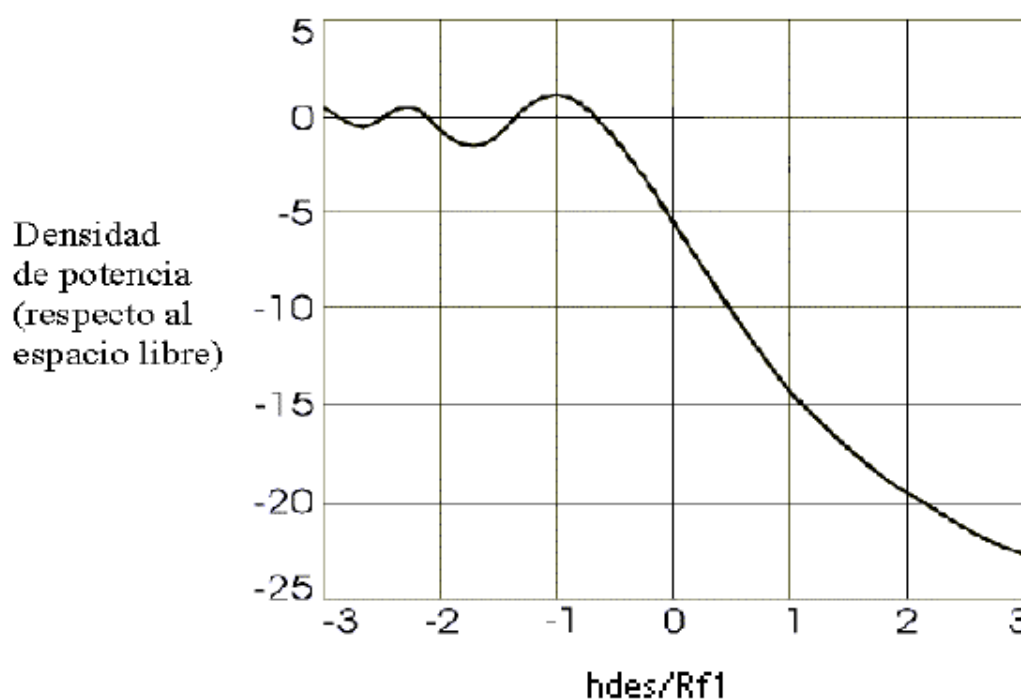


Figura 1.29 Atenuación en función de la razón despeje/radio de la primera zona de Fresnel

1.7 ANTENAS PARA RADIOENLACES DE MICROONDA

Una antena es un componente esencial de los sistemas de telecomunicaciones, constituida de un conductor metálico capaz de radiar y recibir ondas electromagnéticas. Esta convierte la energía eléctrica que viaja por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas y viceversa en el extremo del receptor.

1.7.1 DIAGRAMA DE RADIACIÓN

Corresponde a la distribución espacial, generalmente en diagrama polar, del campo de radiación o de la densidad de potencia en diversas posiciones angulares con relación a una antena.

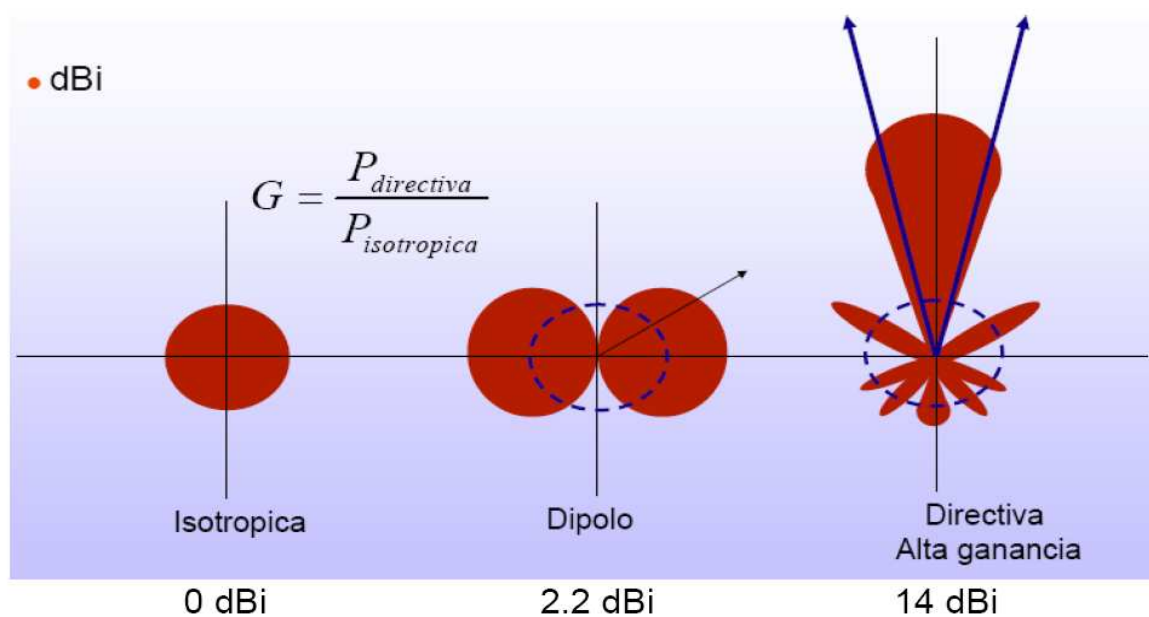


Figura 1.30 Diagrama de radiación de antenas

1.7.2 POLARIZACIÓN DE LA ANTENA

La polarización de una onda radiada corresponde a la dirección del vector del campo eléctrico, que siempre es perpendicular a la dirección de propagación, tomando como referencia el plano de la tierra.

Los enlaces de radio deben diseñarse para transmitir y recibir en la misma polarización. La polarización depende del tipo de antena y de su posición respecto a la referencia.

Se presentan los siguientes tipos de polarización:

1.7.2.1 Polarización vertical^[8]

EL vector campo eléctrico tiene una sola componente paralela al eje polar o perpendicular al plano de la tierra, Las líneas de fuerza de campo magnético son horizontales.

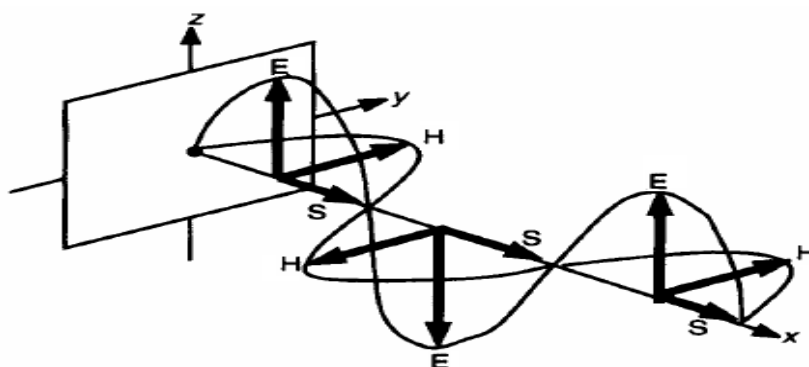


Figura 1.31 Polarización vertical

1.7.2.2 Polarización Horizontal^[8]

EL vector de campo eléctrico tiene una sola componente perpendicular al eje polar o paralela al plano de la tierra. Las líneas de fuerza de campo magnético son verticales.

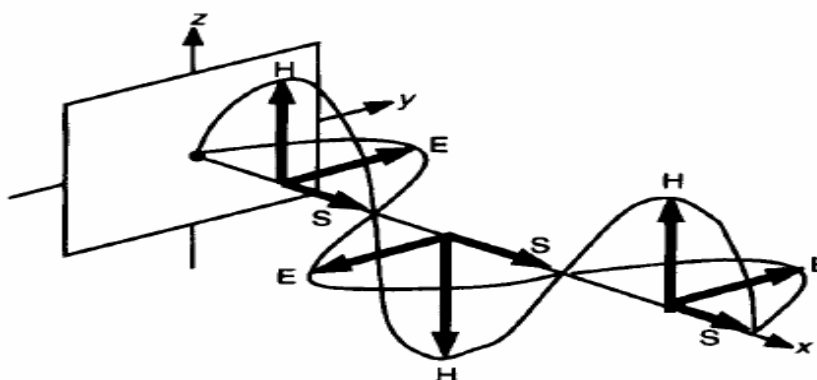


Figura 1.32 Polarización horizontal

1.7.3 GANANCIA DIRECTIVA Y GANANCIA DE POTENCIA^[1]

La ganancia directiva es la relación entre la intensidad de radiación en una dirección dada y la intensidad de radiación promedio de una antena de referencia irradiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas están irradiando la misma cantidad de potencia.

La ganancia directiva máxima se llama *directividad*. La ecuación de definición es:

$$D = \frac{P}{P_{ref}} \quad \text{ec (1.23)}$$

En donde:

D = ganancia directiva [adimensional]

P = intensidad de radiación en una dirección dada [watts/m²]

P_{ref} = intensidad de radiación promedio de una antena de referencia [watts/m²]

La *ganancia de potencia* es lo mismo que la ganancia directiva, excepto que se usa la potencia total alimentada a la antena; es decir se toma en cuenta la eficiencia de la antena. Se supone que la antena dada y la antena de referencia tienen la misma potencia de entrada, y que la antena de referencia no tiene pérdidas ($\eta = 100\%$). La ecuación de ganancia de potencia A_p , es:

$$A_p = D \cdot \eta \quad \text{ec (1.24)}$$

Donde: A_p = ganancia de potencia [adimensional]

D = ganancia directiva [adimensional]

η = rendimiento o eficiencia [adimensional]

Si la antena es sin pérdidas, irradia 100% de la potencia de entrada, y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva. La ganancia de potencia de una antena también se expresa en decibelios en relación con una antena de referencia. En este caso la ganancia de potencia es:

$$A_{p(dB)} = 10 \log \frac{P}{P_{ref}} \quad \text{ec (1.25)}$$

Para una referencia isotrópica, la ganancia de potencia en decibelios, de un dipolo de media onda, es 1,64 (2.15 dB), aproximadamente. Se acostumbra expresar la ganancia de potencia en decibelios, cuando se refiere a un dipolo de media longitud de onda en dBd(dB referidos aun dipolo de media onda). Sin embargo, si la referencia es un radiador isotrópico, se mencionan los decibelios como dBi (dB referidos a una antena isotrópica), y es 2.15 dB mayor que si se usara un dipolo de media onda como referencia.

1.7.4 POTENCIA ISOTRÓPICA EFECTIVA IRRADIADA^[1]

La *potencia isotrópica efectiva irradiada* (*EIRP*: *Effective Isotropic Radiated Power*), se define como la potencia equivalente de transmisión y se expresa como:

$$EIRP = P_{rad} D_t (\text{watts}) \quad \text{ec (1.26)}$$

Donde: P_{rad} = potencia total irradiada [watts]

D_t = ganancia directiva de la antena de transmisión [adimensional]

o bien:
$$EIRP_{(dBm)} = 10 \log \frac{P_{rad}}{0,001} + 10 \log D_t \quad \text{ec (1.27)}$$

o también:
$$EIRP_{(dBw)} = 10 \log (P_{rad} \cdot D_t) \quad \text{ec (1.28)}$$

La Ecuación de *EIRP*, se puede escribir en función de la potencia de entrada y la ganancia de potencia de la antena, así:

$$EIRP = P_{ent} \cdot A_t \quad \text{ec(1.29)}$$

Donde: P_{ent} = potencia total de entrada de la antena [watts]

A_t = ganancia de potencia de la antena de transmisión [adimensional]

o bien:
$$EIRP_{(dBm)} = 10 \log \frac{P_{ent} \cdot A_t}{0,001} \quad \text{ec (1.30)}$$

o también:
$$EIRP_{(dBw)} = 10 \log (P_{ent} \cdot A_t) \quad \text{ec (1.31)}$$

1.7.5 ANTENA YAGUI

Es una antena direccional, consiste de una estructura simple de dipolo, combinando con elementos parásitos como:

- **Dipolo:** Este es el elemento que transmite o recibe las ondas electromagnéticas.
- **Reflector:** Son varillas que actúan reflejando las ondas en la dirección del elemento conductor.
- **Directores o guías de ondas:** Son varillas, cuya longitud disminuye progresivamente a medida que se aleja del dipolo y se encuentran espaciadas a distancias precisas, hacen que la onda siga el camino correcto hasta llegar al elemento conductor. También influyen sobre la impedancia de la antena.

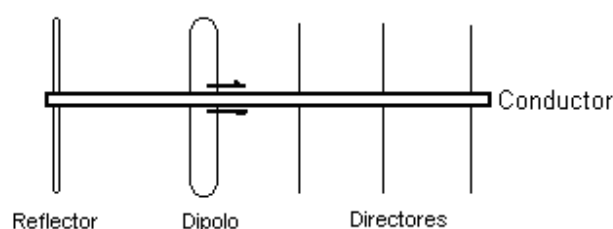


Figura 1.33 Antena yagi

1.8 REPETIDORES

Los sistemas de microondas terrestres simplemente no pueden tolerar colinas altas, árboles, u otros obstáculos en el camino de un enlace a larga distancia. Es necesario que se tenga una idea del relieve de la tierra entre dos puntos antes de poder determinar si un enlace es posible.

Las estaciones repetidoras se componen de: equipos tranceptores, antenas y elementos de supervisión y control.

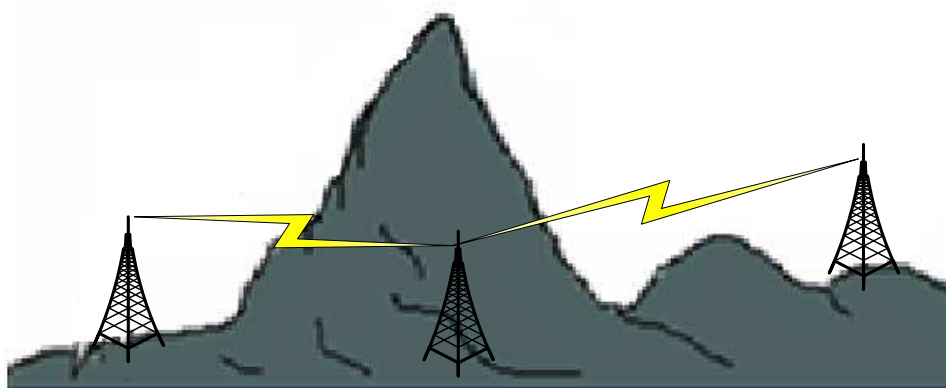


Figura 1.34 Repetidor para salvar obstáculos

Los repetidores pueden ser activos o pasivos, así:

- *Activos*: Son amplificadores de radiofrecuencia, sin conversión a frecuencia intermedia y demodulación a banda base.
- *Pasivos*: No presentan ganancia y se comportan como reflectores para cambiar la dirección del rayo radioeléctrico, pueden ser del tipo espejo o espalda-espalda.

1.9 RADIOENLACES ANALÓGICOS Y DIGITALES

En los radioenlaces analógicos la modulante y la portadora son señales analógicas, en tanto que en los radioenlaces digitales la modulante es una señal digital y la portadora una señal analógica, el tipo de modulación usualmente es PSK y QAM, se distinguen sistemas de baja, media y alta capacidad.

Los sistemas analógicos en una red de telecomunicaciones han sido gradualmente reemplazados con sistemas digitales.

La conversión de señales analógicas a digitales es el primer paso para poder someter a aquellas a procesos que logren una mayor eficiencia en la transmisión.

En la transmisión digital se envían los pulsos sobre un canal de comunicaciones a velocidades de datos fijas que dependen del sistema portador digital. Los datos digitalizados, pueden transmitirse en una forma digital si se dispone de suficiente ancho de banda.

Un sistema de transmisión digital es transparente a la naturaleza de la señal, así toda señal que pueda ser digitalizada, podrá ser transmitida a través de un sistema de transmisión digital. Esta característica otorga flexibilidad al uso del sistema, el cual podría transmitir por igual voz, datos, video, etc, permitiendo la disponibilidad de nuevos servicios.

La transmisión analógica envía una gama continua de frecuencias y amplitud en un canal de comunicaciones que incluya tanto voz como datos. Se necesitan amplificadores lineales, atenuadores, filtros y transformadores para mantener la calidad de la señal. Sin embargo, los amplificadores aumentan el ruido, así como el contenido de información de una señal, por lo que las tasas de error son mayores en la transmisión analógica que en la digital.

1.9.1 VENTAJAS DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES FRENTE AL ANALÓGICO

La ventaja inicial de las señales digitales consiste en que, debido a que manejan dos valores de la amplitud de la señal, pueden reconstruirse con fidelidad después de haberse degradado con niveles moderados de ruido, mediante equipos de amplificación. Este proceso denominado regeneración, realiza la eliminación prácticamente total del ruido térmico introducido en diversos puntos del trayecto de la señal.

Los repetidores digitales crean nuevamente la forma de onda original con más confiabilidad que los amplificadores lineales de los sistemas analógicos y como consecuencia, hay menos errores de transmisión. Las tasas de error en la transmisión digital son típicamente de uno a dos por ciento de las que se dan en transmisión de las que se dan en transmisión analógica. Además la transmisión digital se puede cifrar o codificar más eficazmente por seguridad y se puede comprimir para ahorrar ancho de banda

Existen muchas razones por las que el procesado digital de una señal analógica puede ser preferible al procesado de la señal directamente en el dominio analógico. Primero, un sistema digital programable permite flexibilidad a la hora de reconfigurar las operaciones de procesamiento digital de señales sin más que cambiar el programa. La reconfiguración de un sistema analógico implica habitualmente el rediseño del hardware, seguido de la comprobación y verificación para ver que opera correctamente.

También desempeña un papel importante al elegir el formato del procesador de señales la consideración de la precisión. Las tolerancias en los componentes de los circuitos analógicos hacen que para el diseñador del sistema sea extremadamente difícil controlar la precisión de un sistema de procesamiento analógico de señales. En cambio, un sistema digital permite un mejor control de los requisitos de precisión. Tales requisitos, a su vez, resultan en la especificación de requisitos en la precisión del conversor A/D y del procesador digital de señales, en términos de longitud de palabra, aritmética de coma flotante frente a coma fija y factores similares.

Las señales digitales se almacenan fácilmente en soporte magnético (cinta o disco) sin deterioro o pérdida en la fidelidad de la señal, aparte de la introducida en la conversión A/D. Como consecuencia, las señales se hacen transportables y pueden procesarse en tiempo no real en un laboratorio remoto.

El método de procesamiento digital de señales también posibilita la implementación de algoritmos de procesamiento de señal más sofisticados. Generalmente es muy difícil realizar operaciones matemáticas precisas sobre señales en formato analógico, pero esas mismas operaciones pueden efectuarse de modo rutinario sobre un ordenador digital utilizando software.

Como consecuencia de estas ventajas, el procesamiento digital de señales se ha aplicado a sistemas prácticos que cubren un amplio rango de disciplinas.

Citamos, por ejemplo, la aplicación de técnicas de procesamiento digital de señales al procesamiento de voz y transmisión de señales en canales telefónicos, en procesamiento y transmisión de imágenes, en sismología y geofísica, en prospección petrolífera, en la detección de explosiones nucleares, en el procesamiento de señales recibidas del espacio exterior, y en una enorme variedad de aplicaciones.

Sin embargo, la implementación digital tiene sus limitaciones. Una limitación práctica es la velocidad de operación de los conversores A/D y de los procesadores digitales de señales. Veremos que las señales con anchos de banda extremadamente grandes precisan conversores A/D con una velocidad de muestreo alta y procesadores digitales de señales rápidos.

1.9.2 VENTAJAS DE LOS RADIOENLACES DE MICROONDAS COMPARADOS CON MEDIOS GUIADOS

- *Volumen de inversión generalmente más reducido.* Implica que el costo de un sistema de microonda digital es independiente de la distancia, ya que la onda electromagnética se propaga en el espacio libre. Mientras que para sistemas guiados, cada kilómetro de cable, implica un costo alto en el diseño, ya que la onda necesita de un medio físico para propagarse.

- *Instalación más rápida y sencilla.* Se requiere de menos infraestructura y equipos, que al trabajar con medios cableados.
- *Supervisión, control y mantenimiento en puntos definidos.* En sistemas de radioenlaces, la supervisión, el control y mantenimiento, se enfocan en el punto de recepción y transmisión. En tanto que en sistemas que operan con medios guiados, cada tramo requiere de supervisión, control y mantenimiento.

1.9.3 DESVENTAJAS DE LOS RADIOENLACES DE MICROONDAS COMPARADOS CON MEDIOS GUIADOS

- *Exploración restringida a tramos con visibilidad directa para enlaces.* Las irregularidades presentes en la geografía del terreno, suponen la existencia de obstáculos importantes, obligando al estudio de rutas alternativas.
- *Necesidad de acceso a las estaciones repetidoras.* En las que hay que disponer de energía y acondicionamiento para equipos. Se han hecho ensayos para utilizar generadores autónomos y células solares.
- *La Calidad del enlace depende de las condiciones climatológicas.* . Las condiciones atmosféricas, como fuertes lluvias, pueden ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz, lo que implica utilizar sistemas de diversidad y equipo auxiliar requerido, supone un importante problema en el diseño.

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DE LA RED DE
TRANSMISIÓN ACTUAL

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TRANSMISIÓN ACTUAL. ^[9]

En este capítulo se da una visión sobre la ubicación de las estaciones de monitoreo, que el Instituto Geofísico cuenta para informar y alertar la ocurrencia de eventos sísmicos, climáticos y volcánicos.

El Ecuador al presentar una geografía irregular debe contar con un sistema de alerta temprana proporcionado por el Instituto Geofísico, para reducir el impacto de los fenómenos sísmicos y volcánicos en el Ecuador a través del monitoreo permanente, la investigación científica y la aplicación tecnológica promoviendo la creación de una cultura de prevención.

2.1 SISTEMAS DE MONITOREO SÍSMICO Y VOLCÁNICO

A pesar de que el Ecuador carece de un Sistema de Alertas Tempranas, en el sentido estricto, sí se emiten avisos de alertas por parte de algunas instituciones oficiales como es el caso de los avisos emitidos por las redes de vigilancia para procesos sísmicos y volcánicos.

2.1.1 MONITOREO SÍSMICO

Está representado por la Red Nacional de Sismógrafos que está a cargo del Instituto Geofísico – Escuela Politécnica Nacional (RENSIG), que cuenta con veinte y dos estaciones sísmicas en el Ecuador continental.

La RENSIG transmite datos a tiempo real todos los días del año y cubre el 70% del país.

Como complemento de la vigilancia sísmica en la región interandina, se cuenta con una estación de Banda Ancha en el sector de Otavalo (OTAV); dicha estación es parte de la red mundial de estaciones IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology). La ubicación de las estaciones se observa en la figura 2.1.

La RENSIG emite reportes sísmicos para las autoridades, medios de comunicación y población a partir de magnitudes iguales o superiores a cuatro grados en la escala de Richter (es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar el tamaño de un terremoto. Esta escala mide la energía del terremoto), magnitud sobre la cual la mayoría de eventos son sentidos. Por otro lado, se realizan informes sísmicos sobre eventos de importancia ocurridos en el país. A través de esta red el país cuenta con una base de datos sísmica desde 1988.

En el sector insular de las Islas Galápagos se cuenta con cinco estaciones sísmicas instaladas en las Islas Fernandina (una estación), Isabela (tres estaciones), Bartolomé (una estación). Adicionalmente, en Santa Cruz está instalada una estación de Banda Ancha que es parte de la red mundial de estaciones sísmicas IRIS. Cada una de las estaciones se encuentra alimentada por una batería de 75 Amperios-hora con gell cell y un panel solar de 53 W.

2.1.2 MONITOREO VOLCÁNICO

El monitoreo se ha dividido por volcán y según técnicas empleadas, por esta razón al monitoreo se agrupó en la Red Nacional de Observatorios Volcánicos que mantiene el Instituto Geofísico – Escuela Politécnica Nacional (ROVIG).

La red consta de tres observatorios que tienen un nivel de vigilancia 1 correspondientes a los volcanes Tungurahua, Cotopaxi y Guagua Pichincha.

Dos observatorios de nivel intermedio, dos para los volcanes Cayambe y Reventador. Por último, para los volcanes Antisana, Cuicocha, Cerro Negro, Soche, Quilotoa y Chimborazo, se tiene un nivel de vigilancia básico.

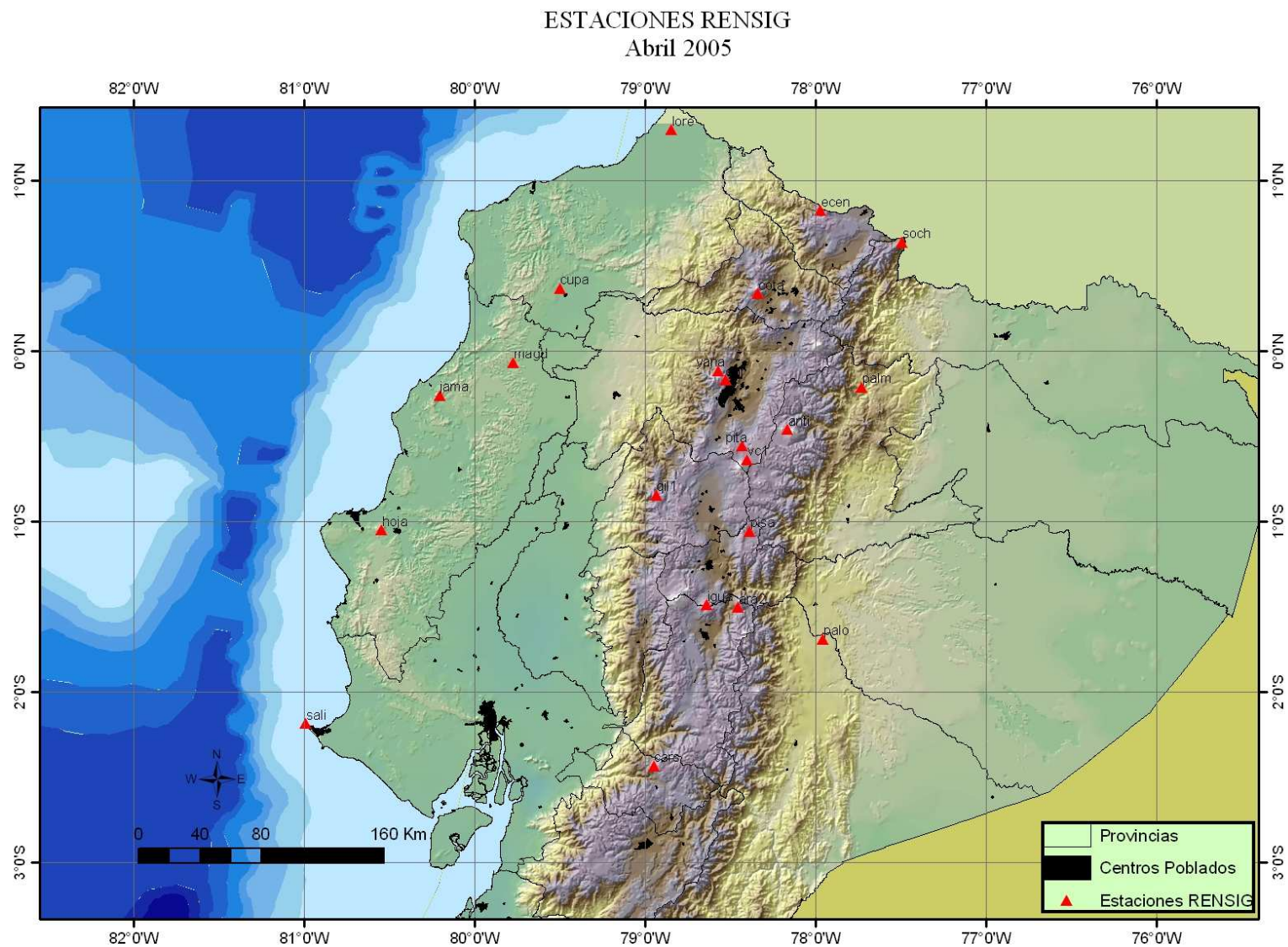


Figura 2.1 Ubicación de las estaciones de la Red Sísmica Nacional

2.1.3 OBSERVATORIOS CON NIVEL DE VIGILANCIA 1

Estos observatorios utilizan técnicas de vigilancia sísmica (con redes de más de cuatro instrumentos), deformación de flancos, monitoreo de fluidos y en volcanes en procesos eruptivos se monitorea flujos de lodo y lahares, así como observaciones visuales y térmicas de los procesos.

2.1.3.1 Observatorio volcánico Tungurahua (OVT)

2.1.3.1.1 Sísmica

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, inició el monitoreo instrumental del volcán Tungurahua a mediados de 1989 cuando instaló una estación sísmica ubicada a 8.5 km del cráter en el flanco Norte del volcán. En 1992 se instalaron tres estaciones sísmicas denominadas “RUNT”, “MSON” y “ARAY”, con sensores verticales de 1Hz, con transmisión telemétrica (esta tecnología nos permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema) hasta la base general de vigilancia en Quito. Posteriormente en 1993, dicha red sísmica fue reforzada con la instalación de dos estaciones denominadas “JUIVE” y “RETU”. Debido al proceso eruptivo del volcán Tungurahua, iniciado en 1999, se perdió la estación MSON y se reforzó la red instalando tres estaciones sísmicas más, denominadas “PATA”, “ARENAL” e “IGUA”, con sensores verticales de período corto (1Hz), una de las cuales es de tres componentes.

Adicionalmente posee una estación sísmica de Banda Ancha, perteneciente al Federal Institute for Geosciences and National Resources (BGR: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) instalada en el año 2003. La ubicación de las estaciones se observa en la figura 2.2.

Se dispone además de una red temporal de tres estaciones sísmicas de banda ancha y tres micrófonos de infrasonido (transductor que detecta señales inferiores a los 20 Hz) localizados en los flancos sur occidental, norte y noroccidental, como parte de un convenio con la Universidad de Carolina del Norte (Estados Unidos).

2.1.3.1.2 Deformación

El monitoreo de la deformación del volcán se realiza utilizando dos métodos diferentes: la distancimetría electrónica (EDM: Electronic Distance Meter) y los inclinómetros electrónicos desde 1993. En el Tungurahua se cuenta con dos estaciones de inclinometría electrónica, mientras que el control topográfico por EDM se realiza desde cinco bases denominadas “El Salado”, “Cardonpamba”, “Montirón”, “Palmar” y “Pillate”, desde las cuales se controla los cambios topográficos de los flancos occidental y norte del volcán por medio de doce líneas de medición. La ubicación de las estaciones se observa en la figura 2.3.

2.1.3.1.3 Geoquímica

Se efectúan periódicas mediciones de la concentración de SO_2 (anhídrido sulfúrico) de las emisiones de gases del volcán usando el COSPEC (Correlation Spectrometer). En la actualidad se tiene dos estaciones de medición a tiempo real de SO_2 , usando el sistema DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) ubicadas en el flanco occidental.

Adicionalmente hay puntos fijos para medición de parámetros físico-químicos de las aguas termales en Palitahua, El Salado, La Virgen y Santa Ana.

2.1.3.1.4 Lahares

Desde 1995, se cuenta con un pluviómetro y desde 1999 con dos estaciones para monitoreo de lahares, las cuales proveen alertas a las autoridades del cantón Baños con al menos cuarenta minutos antes de que el flujo llegue a la base del volcán.

2.1.3.1.5 Observaciones visuales

Desde octubre de 1999, con motivo del proceso eruptivo del Tungurahua, se instaló una base fija de observaciones en la zona de Guadalupe, 14 Km al nor-oeste del volcán. Desde esta base (llamada Observatorio del Volcán Tungurahua) se realizan observaciones del proceso eruptivo y correlaciones directas con los datos generados por la red de monitoreo descrita arriba.

2.1.3.1.6 Medidas térmicas

Dentro del convenio con el BGR, el Instituto Geofísico, desde el año 2003, efectúa medidas periódicas de la temperatura referencial de la superficie del cráter, usando una cámara térmica aeroportada.

En resumen el observatorio cuenta con el siguiente equipo:

- 7 estaciones con sismómetros verticales de período corto ubicados tanto en la caldera del volcán como en los flancos del mismo
- 1 estación de período corto de tres componentes
- 1 sismómetro de banda ancha
- 4 estaciones telemétricas para monitoreo de lahares
- 1 estación pluviométrica
- 2 estaciones para medición de SO₂, DOAS
- 1 estación videotelemétrica
- 12 líneas de control de deformación con EDM
- 2 inclinómetros electrónicos.

A continuación se muestran la distribución de las redes de monitoreo en este volcán:

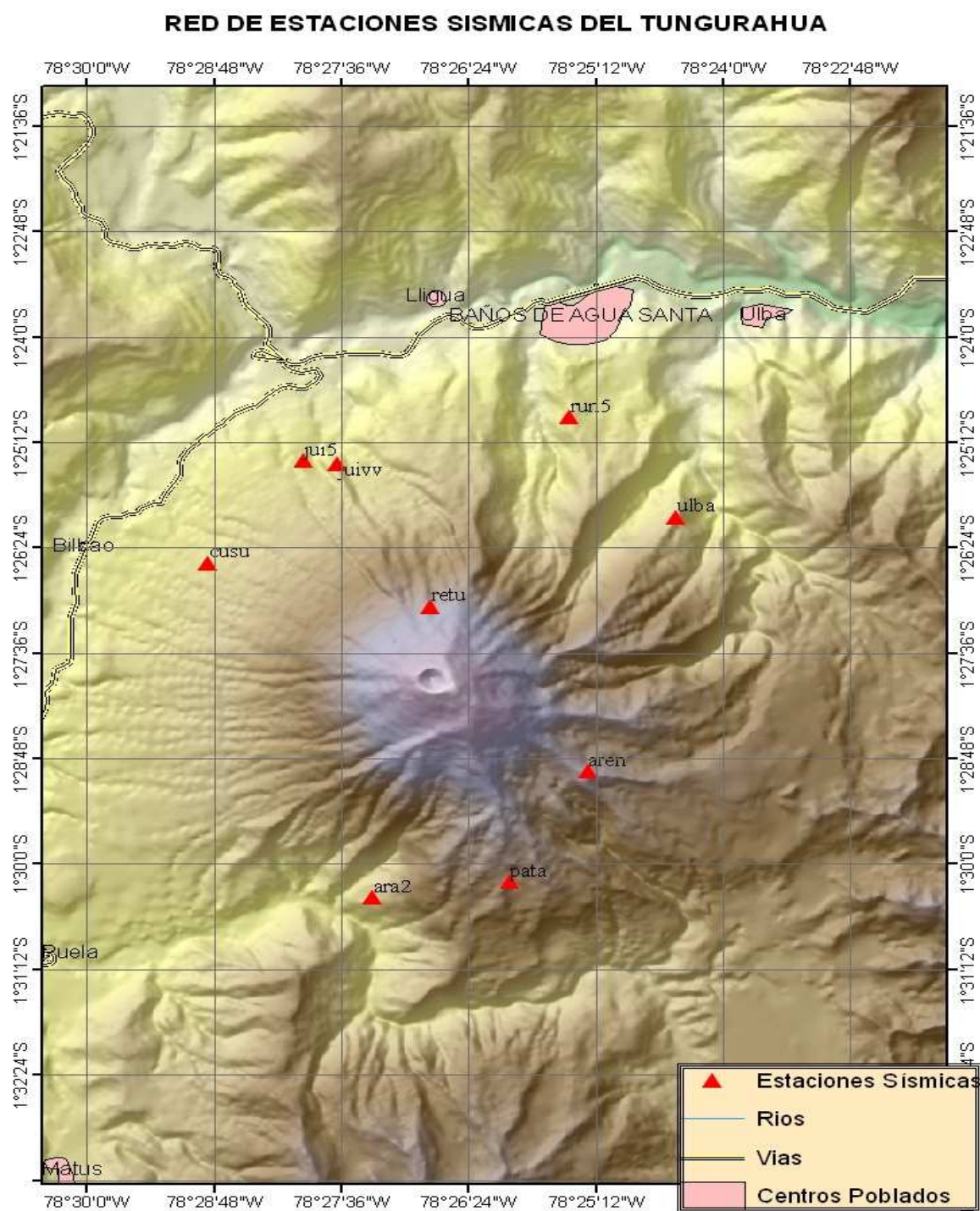


Figura 2.2 Ubicación de las estaciones sísmicas que monitorean el volcán Tungurahua

VOLCÁN TUNGURAHUA RED DE ESTACIONES EDM

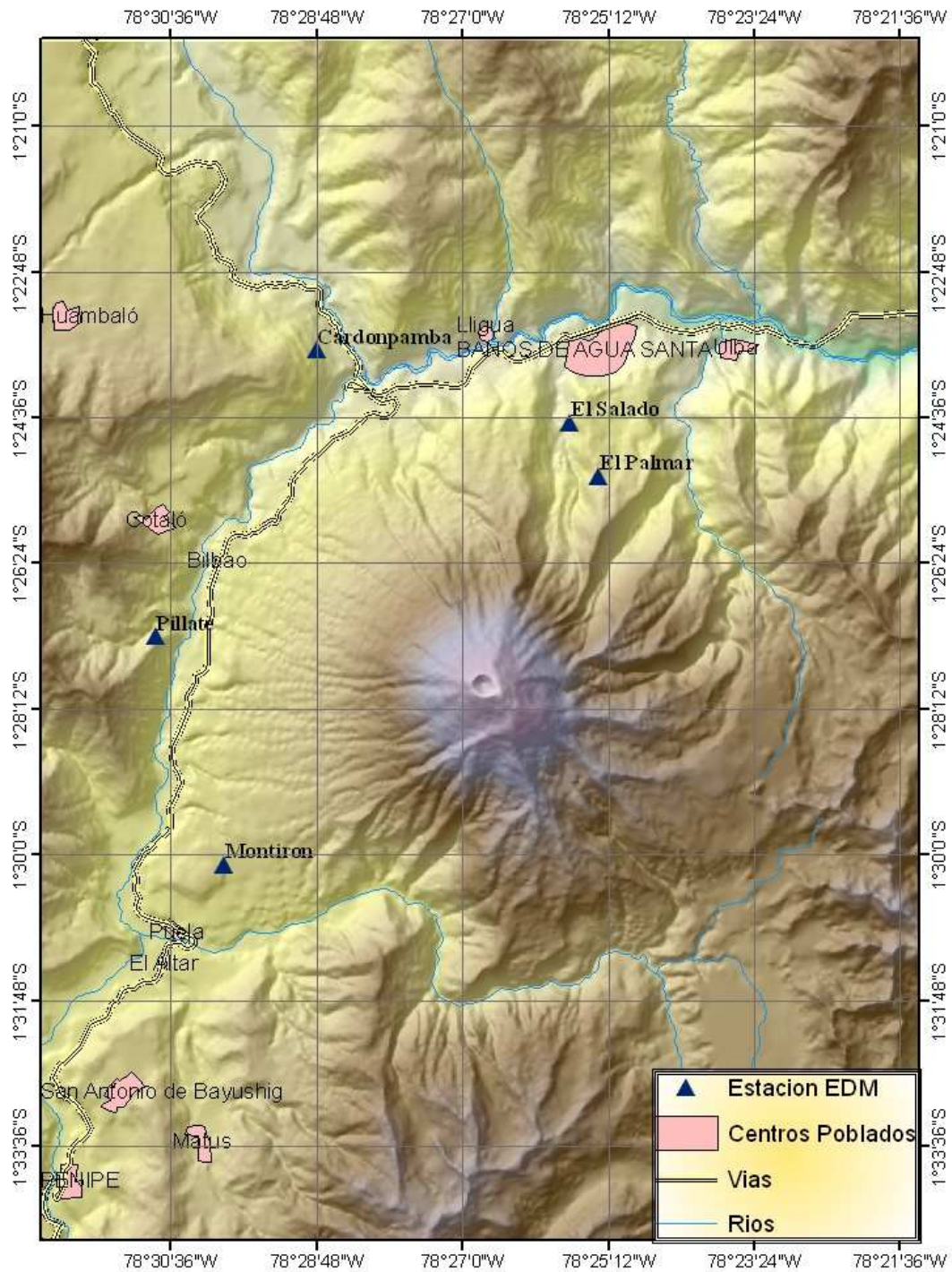


Figura 2.3 Ubicación de la red de EDM en el volcán Tungurahua

2.1.3.2 Observatorio Volcánico Cotopaxi (OVCTX)

2.1.3.2.1 Sísmica

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, inició el monitoreo instrumental del volcán Cotopaxi en el año 1977 con la instalación de una estación sísmica permanente ubicada en el flanco nor-occidental. Posteriormente, en 1990 se instaló una red sísmica permanente compuesta de tres sismómetros verticales de período corto con enlace telemétrico hasta Quito. En 1996 se instaló una estación en la cumbre del volcán con el auspicio del IRD (Institut de Recherche pour le Développement- Francia).

En 2001 se instalaron dos estaciones sísmicas, la primera una estación vertical de período corto y la segunda una estación de tres componentes de período corto, las mismas que envían sus datos en tiempo real a la base del Instituto Geofísico en Quito mediante enlaces telemétricos. La ubicación de las estaciones se observa en la figura 2.4

2.1.3.2.2 Deformación

En 1990 se definieron cinco bases de medida y doce líneas de distanciometría electrónica (EDM) para el control de la deformación. En el 2001 se instaló una estación de inclinometría electrónica ubicada en el refugio del volcán, y en el 2004 se colocó otro inclinómetro en el flanco norte.

Se incluye además dos estaciones de GPS, en tiempo continuo como parte de un convenio con UNAVCO, (University NAVTAR Consortium- Boulder Colorado), que recolectan datos desde el año 2002. Por otro lado, con un convenio con la Universidad de South Florida, se instalaron dos GPS, de las mismas características anteriores, en el flanco sur y en las cercanías al refugio.

2.1.3.2.3 Geoquímica

Con este método se realizan medidas y análisis físico-químicas de las fuentes termales de Salitre 1 y 2, ubicadas en el sector del río Pita. Adicionalmente se efectúan mediciones periódicas de la concentración y flujo de anhídrido sulfúrico (SO₂) emitidos por el volcán, utilizando el instrumento COSPEC.

2.1.3.2.4 Lahares

En el año 2002, se instaló una red de doce estaciones de detección de lahares cuyos datos llegan hasta Quito en dos grupos: primero mediante transmisión análoga y luego con transmisión digital.

2.1.3.2.5 Observaciones visuales

Por el momento se realizan con el aporte del personal del Instituto que efectúan ascensiones periódicas, así como también con los diferentes grupos de andinistas y con el personal de los refugios y Parque Nacional Cotopaxi.

2.1.3.2.6 Mediciones térmicas

Al igual que en el Tungurahua estas mediciones se efectúan con la misma cámara, que consta de:

- 5 estaciones con sismómetros verticales de período corto ubicados tanto en la caldera del volcán como en los flancos del mismo, 2 estaciones de período corto de tres componentes.
- 1 sismómetro de banda ancha, 12 estaciones telemétricas para monitoreo de lahares, 1 estación videotelemétrica.
- 10 líneas de control de deformación con EDM , 2 inclinómetros electrónicos.
- 4 GPS continuos

En la figura 2.4 se muestra la distribución de la red sísmica en el volcán.

RED DE ESTACIONES SISMICAS DEL OVCTX

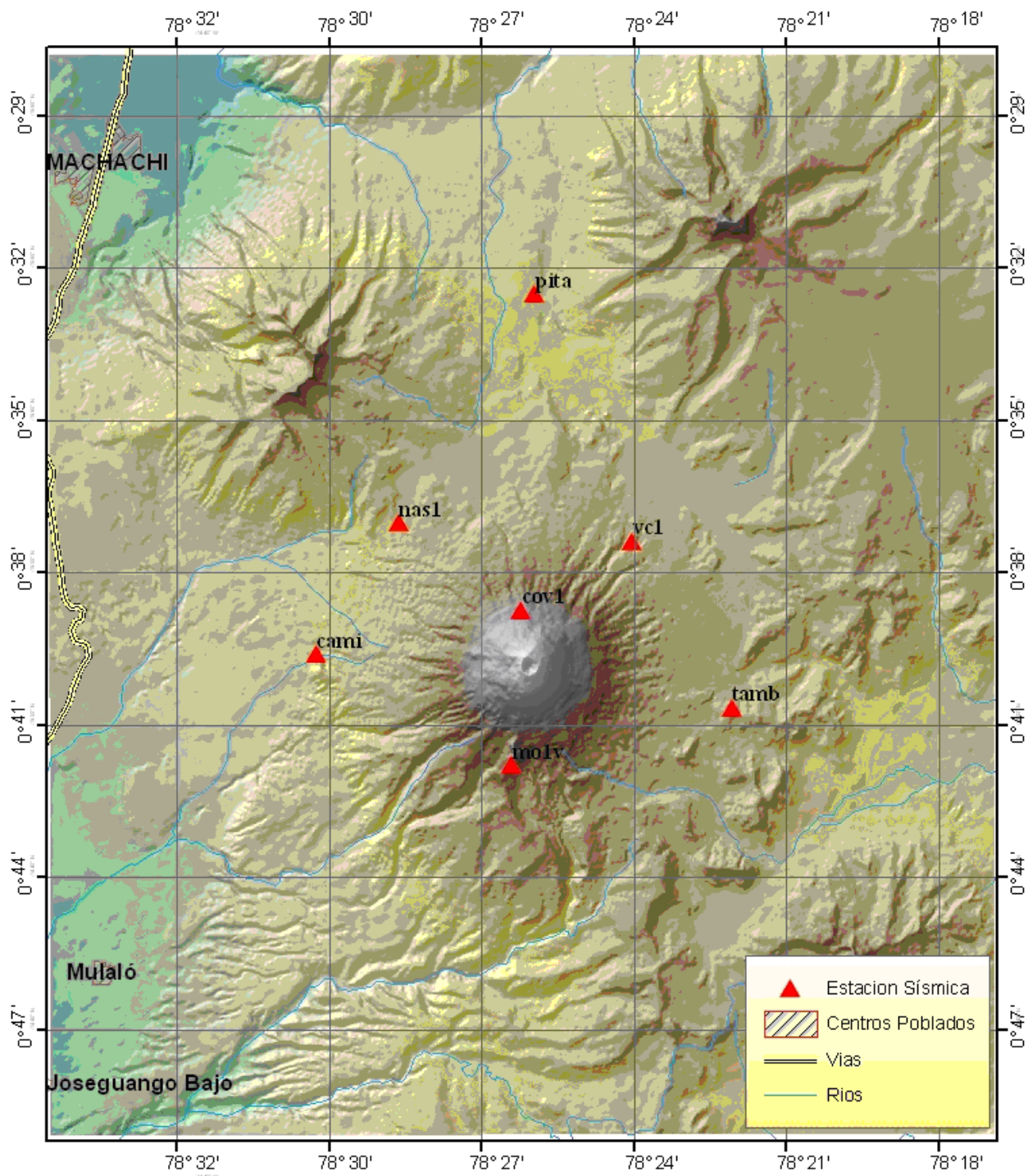


Figura 2.4 Ubicación de las estaciones sísmicas que monitorean el volcán Cotopaxi

2.1.3.3 Observatorio volcánico Guagua Pichincha (OVGGP).

2.1.3.3.1 Sísmica

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, inició el monitoreo instrumental del volcán Guagua Pichincha en el año 1981 con la instalación de una estación sísmica ubicada en sus flancos orientales. Posteriormente, en 1988 se instaló siete estaciones sísmicas temporales para estudiar el incremento en la actividad del volcán observado en ese año. Dos de estas estaciones sísmicas permanecieron definitivamente, que se denominan “GGP” y “YANA” y se encuentran en la cumbre y en el flanco norte del volcán.

En 1993, a raíz de las explosiones freáticas registradas ese año, se instaló la primera estación sísmica al interior de la caldera, denominada “CGGP” y en 1997 se instaló otra estación en el borde norte de la misma, conocida como “PINO”. Finalmente, en 1998 se instalaron nueve estaciones sísmicas adicionales.

Actualmente el volcán tiene seis estaciones de un componente vertical y dos estaciones de tres componentes. La ubicación de las estaciones se observa en la figura 2.5.

2.1.3.3.2 Deformación

En 1988 se definieron las líneas de distancimetría electrónica (EDM) para control de deformación y se instaló un inclinómetro en el domo al interior de la caldera. Este inclinómetro fue destruido por las explosiones freáticas ocurridas en 1990.

Actualmente en el volcán se mantiene una estación de inclinometría electrónica y una red de EDM, compuesta por cinco bases fijas y dieciséis líneas de control. La ubicación de las estaciones se observa en la figura 2.5.

2.1.3.3.3 Geoquímica

Se efectúan medidas fisicoquímicas en la fuente de Palmira y de las fumarolas de domo y de la denominada locomotora, ubicadas al interior del cráter. Por otra parte se efectúan mediciones de la concentración de SO₂ usando el COSPEC.

2.1.3.3.2. Mediciones térmicas

El mismo proceso aplicado a los volcanes Cotopaxi y Tungurahua se efectúa en el caso del Guagua Pichincha.

- 4 estaciones con sismómetros verticales de período corto ubicados tanto en la caldera del volcán como en los flancos del mismo.
- 2 estaciones con sismómetros de tres componentes.
- 7 líneas de control de deformación con EDM.
- 1 inclinómetro electrónicos.

En la figura 2.5 se muestra las estaciones sísmicas que monitorean el volcán Guagua Pichincha

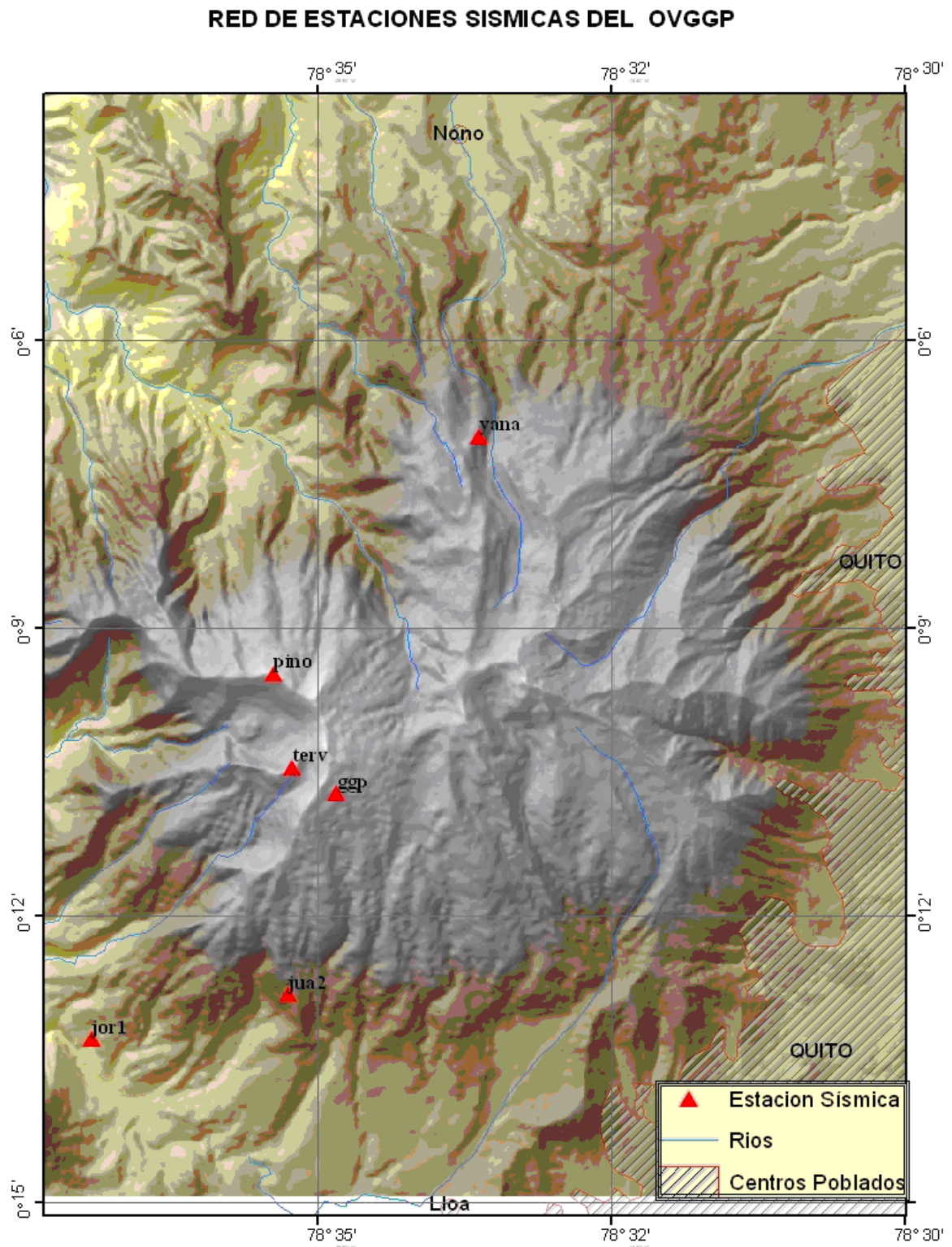


Figura 2.5 Ubicación de las estaciones sísmicas que monitorean el volcán Guagua Pichincha

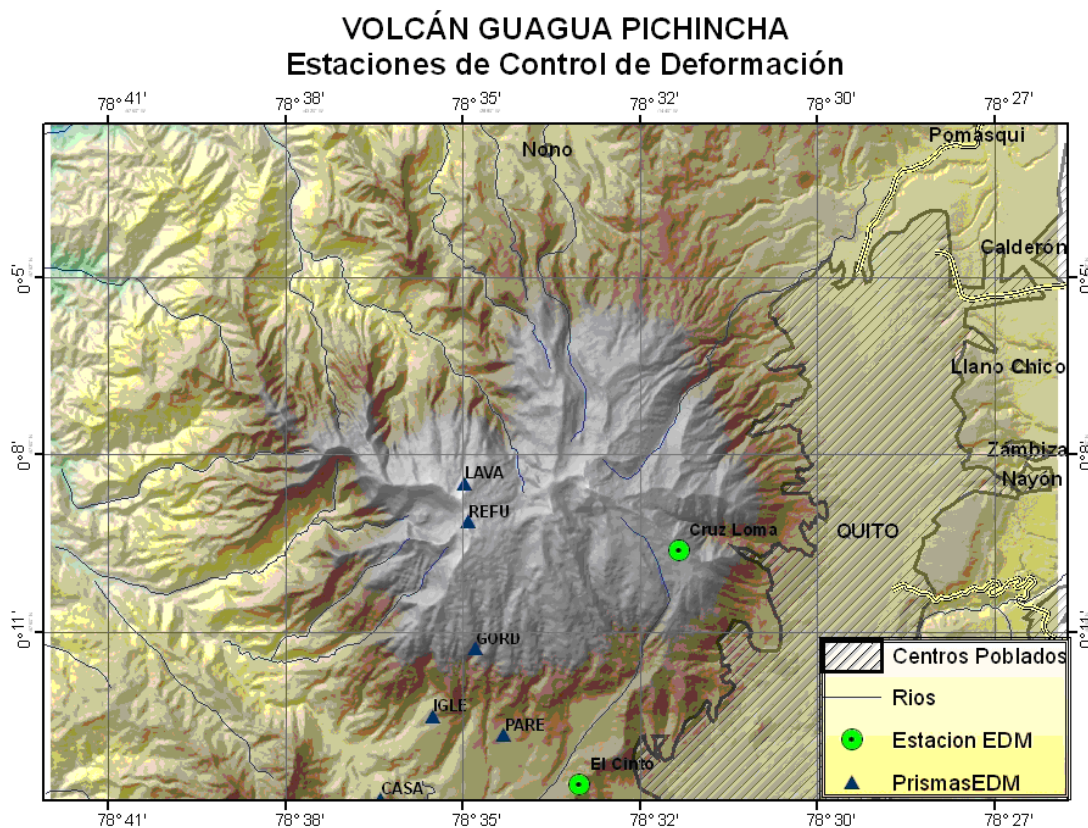


Figura 2.6 Ubicación de las redes de inclinometría.

2.1.4 OBSERVATORIOS CON NIVEL DE VIGILANCIA 2

En estos se han implementado al menos dos técnicas de monitoreo y son:

2.1.4.1 Observatorio volcánico Reventador (OVREV)

2.1.4.1.1 Sísmica

Se mantienen instaladas tres estaciones sísmicas de un componente vertical de 1Hz. Estas estaciones sísmicas permiten monitorear el comportamiento del volcán, pero además son utilizadas para emitir alertas sobre flujos de lodo, que regularmente se forman con los depósitos dejados por la erupción de noviembre del 2002.

2.1.4.1.2 Geoquímica

Se efectúan periódicas mediciones de la concentración de SO₂ usando el COSPEC.

2.1.4.1.3 Mediciones térmicas

Con el mismo tipo de equipo usado en los otros volcanes se realiza este monitoreo.

2.1.4.1.4 Observaciones Visuales

Se realizan visitas periódicas al volcán y se mantiene un contacto continuo con los guardias del SOTE (Oleoducto Transecuatoriano) ubicados en el pueblo de Reventador y en la estación de El Salado.

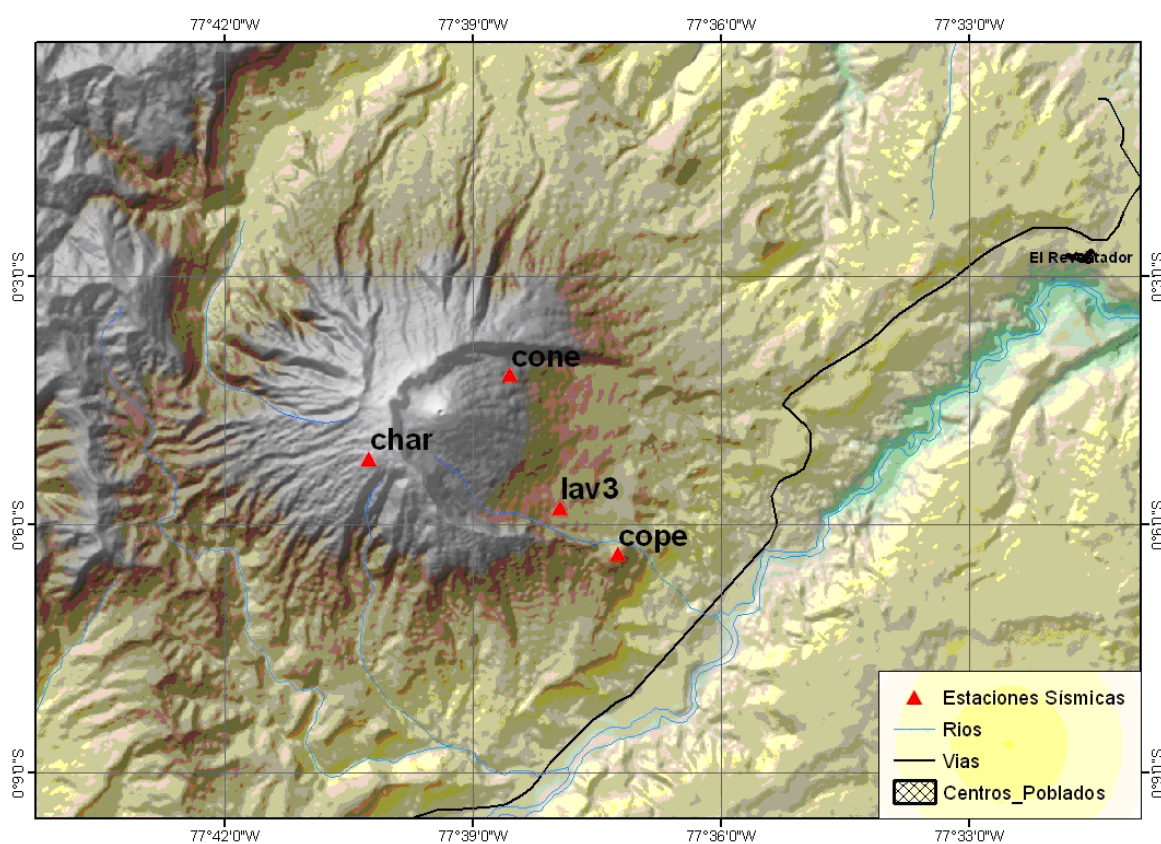


Figura 2.7 Ubicación de la red de estaciones sísmicas en el volcán El Reventador

2.1.4.2 Observatorio volcánico Cayambe (OVCAYA)

2.1.4.2.1 Sísmica

El monitoreo sísmico del volcán Cayambe comenzó en el año 1987, con la instalación de una estación sísmica en el flanco occidental cerca de la población de Pesillo. En ese mismo año se cambió la ubicación de la estación hacia el flanco noroccidental donde actualmente se encuentra la estación denominada "CAYA". En el 2001 debido a una actividad sísmica anómala en el volcán se instaló una estación en las cercanías del refugio, denominada "CAYR" y durante los primeros meses del 2003 se colocó una nueva estación, conocida como "LAGU", en el flanco sur – occidente, para controlar la sismicidad generada durante el mes de diciembre del 2002.

En la actualidad el volcán posee dos estaciones de un componente vertical y una de tres componentes.

2.1.4.2.2 Deformación

En este volcán se tiene una base de EDM y dos líneas de control. Al igual que la sísmica se instalaron dos inclinómetros electrónicos.

2.1.4.2.3 Geoquímica

Periódicamente se efectúan medidas de la concentración de SO₂ con el COSPEC.

2.1.4.2.4 Mediciones térmicas

Al igual que en otros volcanes se realiza también este tipo de control.

2.1.4.2.5. Observaciones visuales

Este tipo de monitoreo se efectúa con personal del Instituto y el valioso aporte de andinistas que visitan la zona.

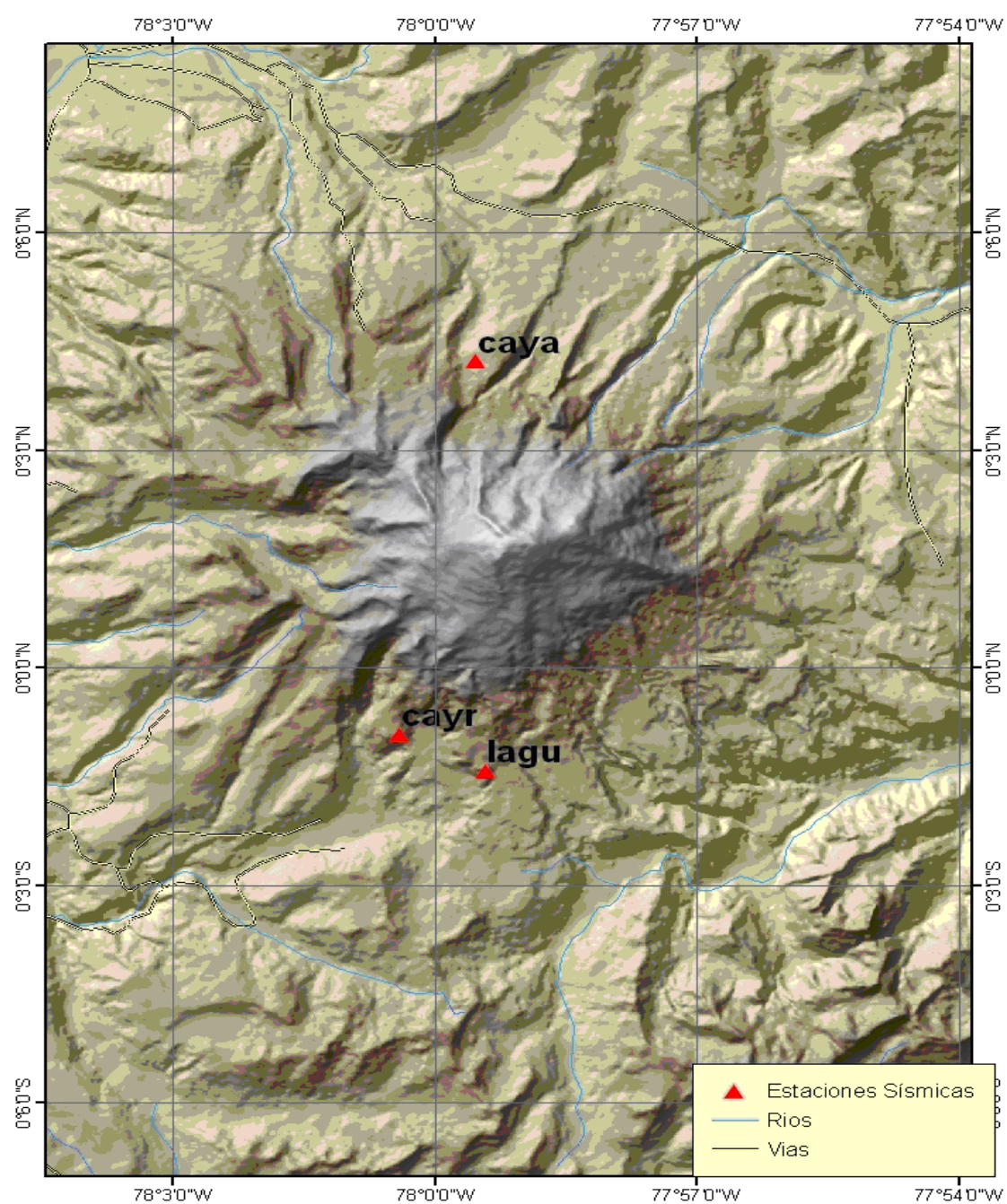


Figura 2.8 Ubicación de estaciones sísmicas del volcán Cayambe

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE MICROONDA DIGITAL

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE MICROONDA DIGITAL.

La predicción y el modelado de los canales de radiocomunicaciones constituyen la parte esencial en el diseño de sistemas de microondas, por lo general esta parte se hace de manera estadística, tomando como referencia mapas digitalizados para determinado sistema.

En el diseño de los sistemas de microondas, la predicción de la señal recibida, depende del tipo de terreno, la frecuencia, altura de las antenas de transmisión y recepción, y de los equipos de radiocomunicación.

En este capítulo se diseña la red digital en su totalidad, analizando las posibles trayectorias de los enlaces, visualizando los perfiles digitalizados a través de un software. Se realiza la simulación del desempeño del enlace para cada trayecto utilizando el software libre "Radio Mobile".

El diseño contempla la transmisión de datos de todas las estaciones ubicadas en el país, hacia la estación central del Instituto Geofísico ubicada en Quito, reutilizando la infraestructura existente.

3.1 DISEÑO DE UN RADIOENLACE DIGITAL

A la hora de planificar el diseño de un radioenlace digital del microondas se debe considerar:

- Longitud del vano (Distancia del Transmisor al Receptor) aproximado de 80Km, para frecuencias menores a 10 Ghz. Por encima de esta frecuencia la atenuación por lluvia es el factor que limita la longitud del vano

- Cálculo de Coordenadas
- Perfiles
- Plan de Frecuencias
- Diagrama de Ruta
- Pérdidas de Espacio Libre
- Diseño con Radio Mobile
- Selección Antenas y Radios

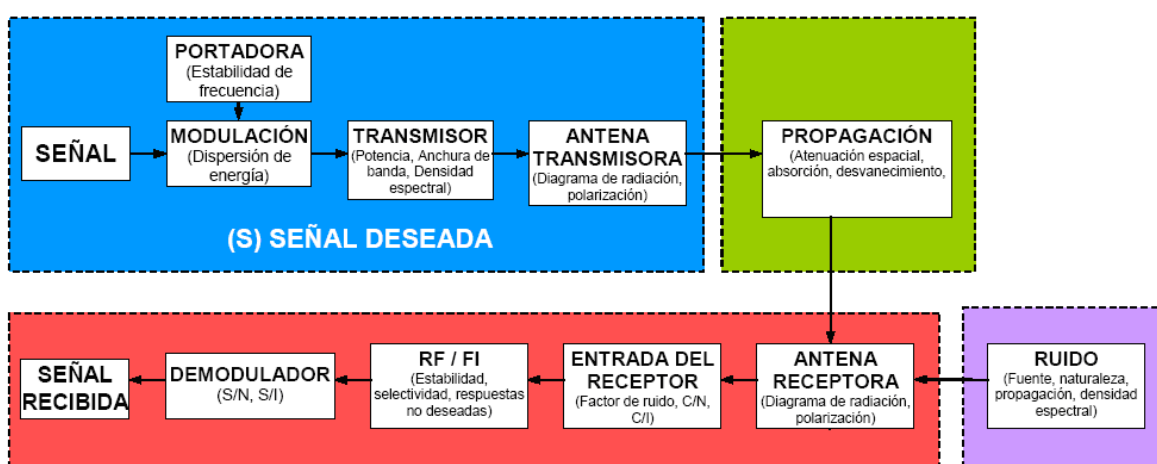


Figura 3.1 Esquema básico de un radioenlace digital

3.1.1 PERDIDAS EN TRAYECTORIA POR EL ESPACIO LIBRE.^[1]

La pérdida en trayectoria por el espacio libre se suele definir como la pérdida de potencia sufrida por una señal de radio al propagarse en línea recta por el vacío, sin absorción ni reflexión de energía en objetos cercanos, las pérdidas son directamente proporcionales a la distancia de separación entre transmisor y receptor, la ecuación que define a la pérdida en trayectoria por el espacio libre es:

$$L_p = \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{4\pi Df}{c} \right)^2 \quad \text{ec (3.1)}$$

Donde: L_p = pérdida en trayectoria por el espacio libre [adimensional]
 D = distancia entre transmisor y receptor [km]
 f = frecuencia de la portadora [Hz]
 λ = longitud de onda [m]
 c = velocidad de la luz en el espacio libre [3×10^8 m/s]

Expresada la ecuación 3.1 en decibeles, resulta la siguiente ecuación:^[1]

$$L_{P(dB)} = 20 \log \frac{4\pi f D}{c} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log f + 20 \log D \quad \text{ec (3.2)}$$

Cuando la frecuencia se expresa en MHz y la distancia en km, se tiene:^[1]

$$L_{P(dB)} = 20 \log \frac{4\pi(10)^6(10)^3}{3 \times 10^8} + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(km)}$$

$$L_{P(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(km)} \quad \text{ec (3.3)}$$

3.1.2 BALANCE DE POTENCIA

El esquema que se muestra en la figura 3.2 expone de una forma simplificada el concepto de balance de potencia.

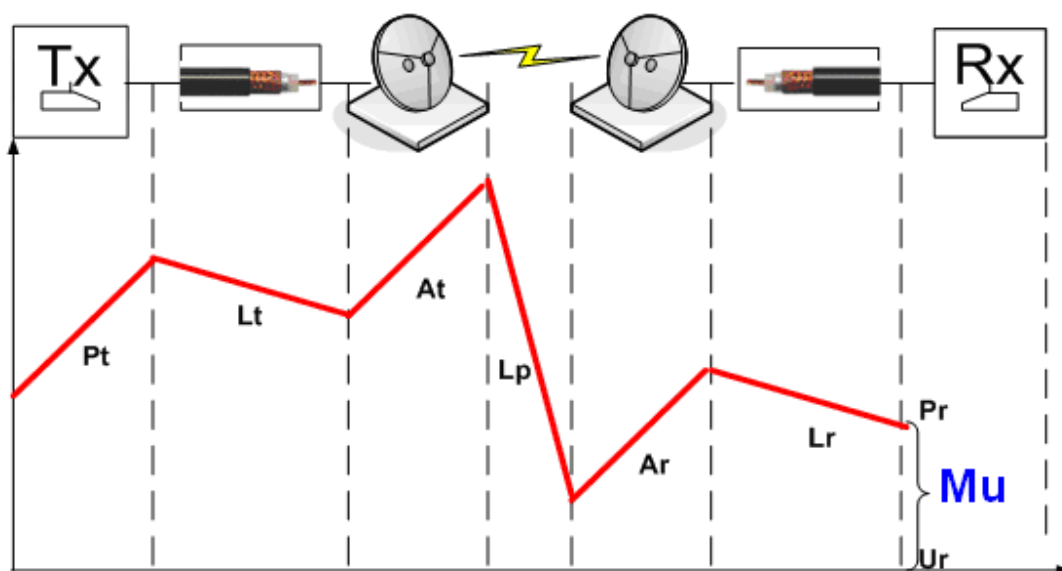


Figura 3.2 Balance de potencia

El desempeño de un radioenlace se calcula de la siguiente manera:

$$Pr = Tx - Lt + At - Lp + Ar - Lr \quad \text{ec (3.4)}$$

Donde:

Pr (dBm) = Potencia de recepción

Tx (dBm) = Potencia de transmisión

Lt (dB) = Pérdida de la línea de transmisión

At (dBi) = Ganancia relativa de la antena respecto a una isotrópica

Lp (dB) = Pérdida en espacio libre

Ar (dBi) = Ganancia de la antena de recepción con respecto a una isotrópica

Lr (dB) = Pérdida de línea en el receptor

La anterior ecuación es válida teniendo en cuenta que:

- Las antenas están orientadas en la dirección en la que presentan su máxima ganancia (no hay pérdidas por desapuntamiento)
- El estado de polarización de la antena transmisora y receptora es el mismo (no hay pérdidas por desajuste de polarización)

El Margen de umbral se define como:

$$Mu = Pr - Ur \quad \text{ec (3.5)}$$

Donde:

Mu (dB) = Margen de umbral

Pr (dBm) = Potencia de recepción

Ur (dBm) = Umbral de recepción o sensibilidad del equipo receptor.

3.1.3 MARGEN DE DESVANECIMIENTO Y OBJETIVO DE CONFIABILIDAD^[1]

Al propagarse una onda electromagnética por la atmósfera terrestre, la señal puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, además de la pérdida normal en la trayectoria. Esas pérdidas se pueden atribuir a diversos fenómenos, que incluyen efectos de corto y largo plazo. Esta variación en la pérdida de la señal se llama *desvanecimiento* y se puede atribuir a perturbaciones meteorológicas como lluvia, nieve, granizo, etc; a trayectorias múltiples de transmisión y a una superficie terrestre irregular. Para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de transmisión a la pérdida en trayectoria normal. A esta pérdida se le llama *margen de desvanecimiento*.

En esencia, el margen de desvanecimiento es un "factor espurio" que se incluyen en la ecuación de ganancia del sistema para considerar las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, como por ejemplo la *propagación por trayectorias múltiples (pérdidas por trayectorias múltiples)* y la *sensibilidad del terreno*.

El margen de desvanecimiento también tiene en cuenta los objetivos de confiabilidad del sistema.

Al resolver las ecuaciones de confiabilidad de Barnett- Vignant para una disponibilidad anual específica en un sistema no protegido sin diversidad se obtiene la siguiente ecuación:

$$F_M = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad \text{ec (3.6)}$$

Efecto de trayectoria sensibilidad del objetivos de
Multiple terreno confiabilidad

Siendo: F_M = margen de desvanecimiento [dB]

D = distancia entre transmisor y receptor [km]

f = frecuencia de la portadora [Ghz]

$(1 - R)$ = objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 km en un sentido

Por lo tanto el factor $(1 - R)$ para una distancia distinta de 400 Km es:

$$(1 - R) = \frac{0.0001 * D}{400} \quad \text{ec (3.7)}$$

A = factor de rugosidad

= 4 sobre agua o sobre un terreno muy liso

= 1 sobre un terreno promedio

= 0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso

B = factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual

= 1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual

= 0.5 para áreas calientes y húmedas

= 0.25 para áreas continentales promedio

= 0.125 para áreas muy secas o montañosas

Para que el sistema diseñado cumpla con el objetivo de confiabilidad, se requiere que el margen de umbral del sistema (Mu), sea mayor al margen de desvanecimiento (FM), así:

$$Mu \geq F_M \quad \text{ec (3.8)}$$

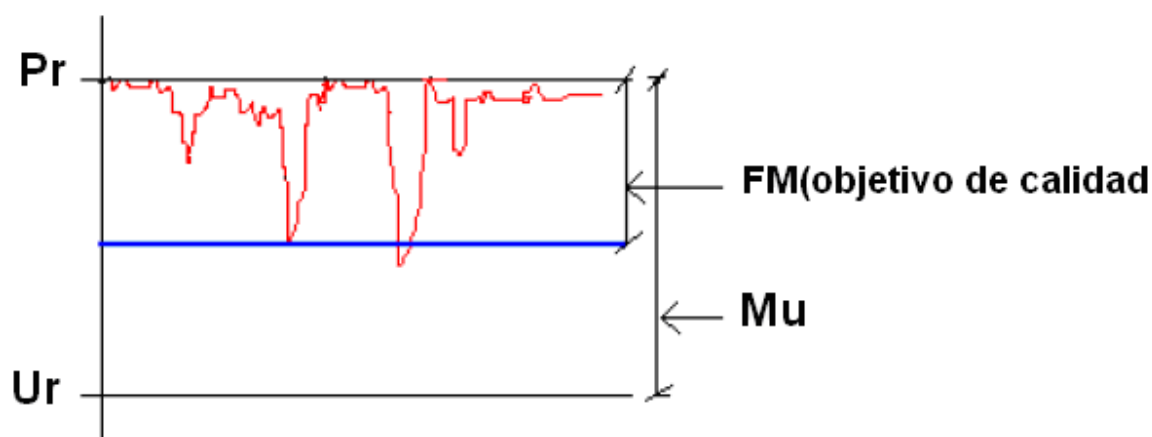


Figura 3.3 Representación gráfica de la relación entre Mu y FM para un enlace

3.1.4 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

La confiabilidad corresponde al porcentaje de tiempo probable que un enlace no se interrumpa por consecuencia del desvanecimiento. A partir del margen de desvanecimiento (F_M), se puede obtener la confiabilidad del sistema así:

$$P = 6 * 10^{-7} * C * f * D^3 * 10^{-F_M/10} \quad \text{ec (3.9)}$$

$$R = (1 - P) * 100 \quad \text{ec (3.10)}$$

Donde:

P = Indisponibilidad del sistema

R = confiabilidad del sistema, expresada en porcentaje

f = frecuencia de la portadora [Ghz]

D = distancia entre transmisor y receptor [km]

F_M = margen de desvanecimiento [dB]

C = factor dependiente del terreno ($A * B$) [adimensional]

3.1.5 UMBRAL DE RECEPCIÓN (Threshold)

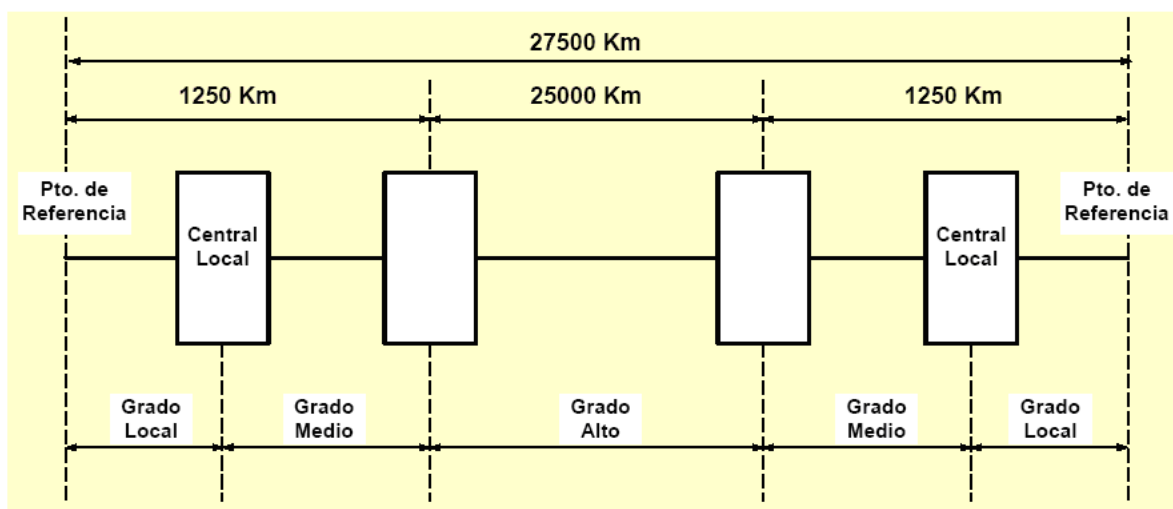
El umbral de recepción o sensibilidad del receptor es la mínima señal requerida para que el demodulador trabaje a una específica tasa de error. Dos umbrales son normalmente definidos para recepción digital, uno a un BER 10^{-6} y otro a un BER de 10^{-3}

El umbral de recepción es dependiente de la mínima S/N (Relación señal a ruido) requerida a la entrada del receptor. Los fabricantes de equipos de microondas especifican los valores de umbral del receptor de sus equipos de radio, relacionándolos con el ancho de banda del sistema.^[10]

3.1.6 OBJETIVOS DE DESEMPEÑO REQUERIDOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE RADIOENLACES

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es un organismo que ha desarrollado recomendaciones, en las que detalla los objetivos que deben cumplir los enlaces digitales. Las recomendaciones de la UIT no son regulaciones ni convenciones de cumplimiento obligatorio, cada país cuenta con su propio marco regulatorio de telecomunicaciones, en el que se decide si se adoptan o no las recomendaciones de la UIT.

La UIT en la recomendación G.801, define modelos de redes de transmisión digital, para la asignación y distribución de objetivos de calidad a los sistemas de transmisión.



HRX (Hypothetical Reference Connection) ó *conexión ficticia de referencia*.

Figura 3.4 Objetivo de calidad según la UIT

Una conexión ficticia de referencia (HRX) es un modelo de enlace en el que pueden efectuarse estudios de calidad global a fin de preparar objetivos de calidad. HRX incluye una variedad de sistemas de transmisión, equipos de multiplexación y de conmutación.

Para una conexión ficticia de referencia (HRX), para radioenlaces digitales, la indisponibilidad total será de 0,3 % repartido de forma proporcional a la longitud del enlace, hasta una distancia mínima de 280 Km, por debajo de la cual el porcentaje se mantiene constante. Al estimar la indisponibilidad, se debe incluir todas las causas, que interviene en la transmisión, propagación y recepción de la señal de radio.

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

$$P_T = \frac{0.3 * 280}{2500} \% = 0.0336\%, \quad \text{para } L < 280\text{Km} \quad \text{ec (3.11)}$$

$$P_T = \frac{0.3 * L}{2500} \%, \quad \text{para } 280 < L \leq 2500\text{Km} \quad \text{ec (3.12)}$$

La confiabilidad podemos definirla como el complemento de la indisponibilidad, así:

$$R_T = 1 - P$$

$$R_T = 99,9664\%, \quad \text{para } L < 280\text{Km} \quad \text{ec (3.13)}$$

$$R_T = 1 - \frac{0.3 * L}{2500} \%, \quad \text{para } 280 < L \leq 2500\text{Km} \quad \text{ec (3.14)}$$

3.1.7 INDISPONIBILIDAD DE EQUIPOS^[2]

La indisponibilidad de un equipo se define como la probabilidad de que éste no cumpla con su función, en ciertas condiciones, durante un período determinado de tiempo. La indisponibilidad es el resultado de fallos o averías en equipos y se la puede expresar como:

$$U_{E(\%)} = \frac{MTTR}{MTBF + MTTR} \cdot 100$$

$$MTBF \gg \gg MTTR$$

$$U_{E(\%)} \approx \frac{MTTR}{MTBF} \cdot 100 \quad \text{ec (3.15)}$$

Donde:

$U_{E(\%)}$ = porcentaje de indisponibilidad de equipos

$MTBF$ = (Mean Time Between Failures). Tiempo medio entre fallos, expresado en horas

$MTTR$ = (Mean Time to Repair). Tiempo medio de reparación, corresponde al valor medio del tiempo que transcurre entre la producción de la avería y el restablecimiento de la operación del equipo, depende del diseño del equipo y de la periodicidad de mantenimiento

3.2 PLAN DE FRECUENCIAS

En nuestro país el organismo gubernamental encargado de administrar el espectro radioeléctrico es el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones), el mismo que dispone del plan nacional de frecuencias en donde se atribuyen las bandas de 400 Mhz, 900 Mhz, 1400 Mhz, 4 – 5 Ghz, para servicio fijo. Tomando en cuenta la disponibilidad de la banda y aceptando la sugerencia del departamento de Radiocomunicaciones del CONATEL, se optó por la banda de 400 Mhz, para el diseño de la red.

Los formularios que se deben llenar para obtener la concesión de frecuencias se adjuntan en el anexo A

El objetivo del diseño del plan de frecuencia para el sistema de microonda digital, contempla:

- Optimizar la utilización del espectro radioeléctrico
- La reutilización de frecuencias
- Minimizar las interferencias
- Espaciamiento entre portadoras de 62,5 KHz
- 10 canales radioeléctricos
- Dos frecuencias para cada radiocanal.

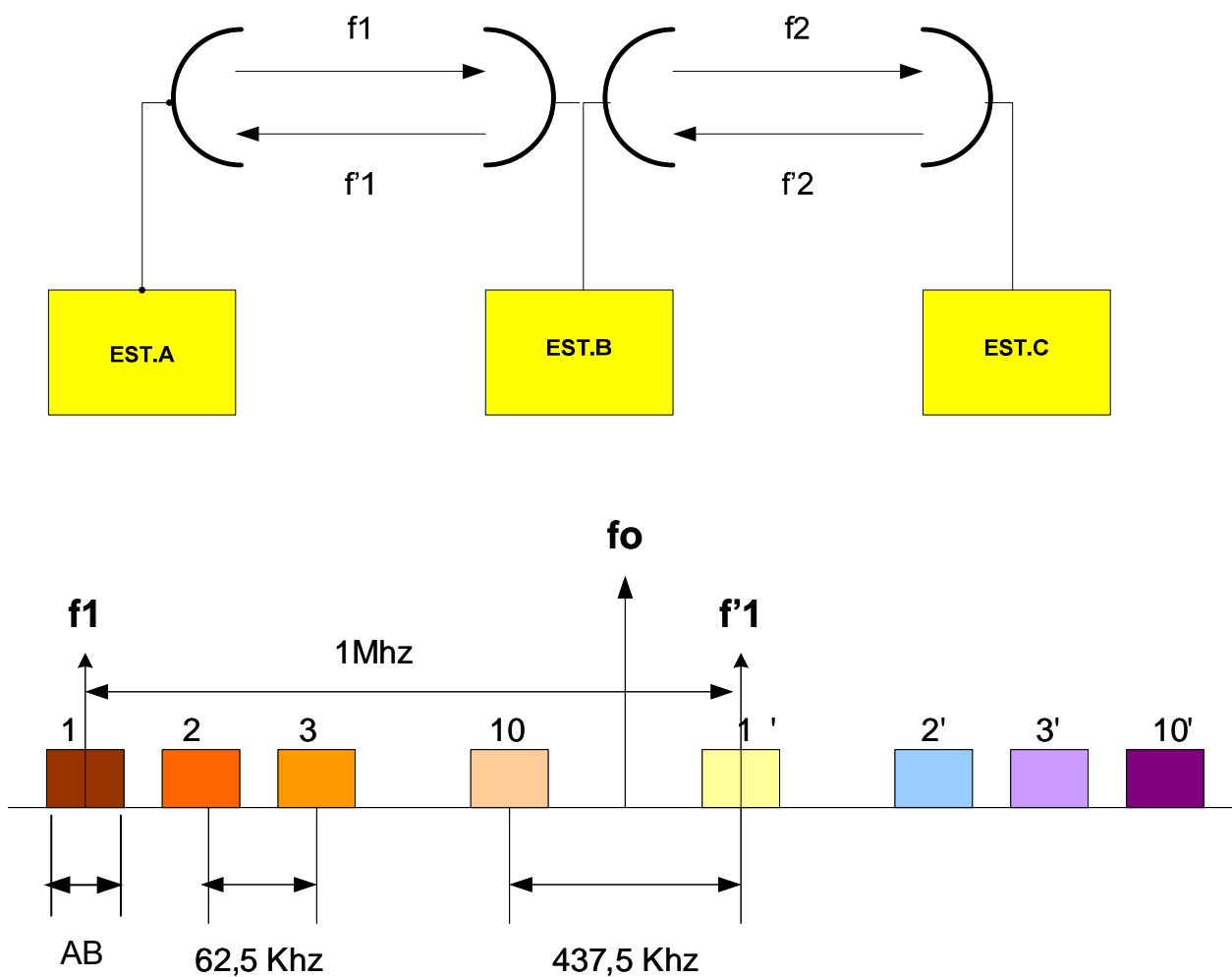


Figura 3.5 Plan de frecuencias

Donde:

1 Mhz = corresponde a la separación dúplex Tx/Rx (DS)

f_0 = frecuencia central del radiocanal [400,8125 Mhz]

f_n = frecuencia central de un radio canal en la mitad inferior de la banda [Mhz]

f'_n = frecuencia central de un radio canal en la mitad superior de la banda [Mhz]

62,5 KHz = corresponde a la separación de portadoras

AB = ancho de banda de un radiocanal [50 KHz]

A continuación se describe el plan de frecuencias, tomando en cuenta la banda de [400 – 400,625] Mhz emparejada a la banda [401 – 401, 625] Mhz, así se procede para el calculo de f_n y f'_n en función de f_o :

$$f_n = f_o - 0,8125 + 0,0625n \text{ [Mhz]} \quad \text{ec (3.16)}$$

$$f'_n = f_o + 0,1875 + 0,0625n \text{ [Mhz]} \quad \text{ec (3.17)}$$

Siendo: $n = 1,2,3,\dots,10$

Una vez determinada f_n y f'_n , es necesario calcular las frecuencias máximas y mínimas de cada radiocanal, así:

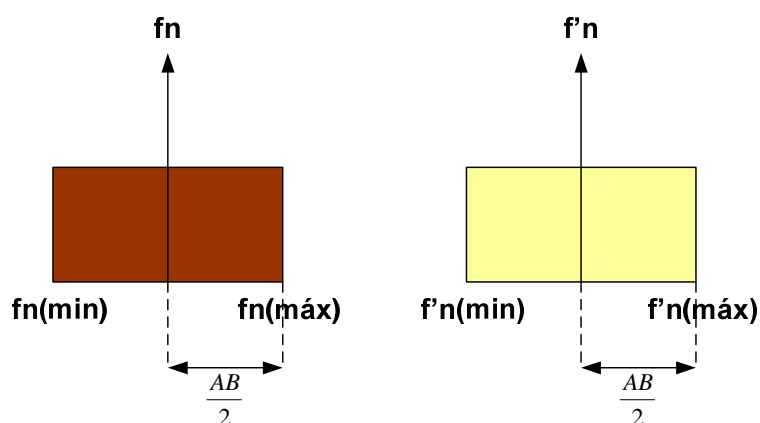


Figura 3.6 Frecuencia máxima y mínima de un radiocanal

Donde:

$$f_n(\text{min}) = f_n - AB/2 \text{ [Mhz]} \quad \text{ec (3.18)}$$

$$f_n(\text{máx}) = f_n + AB/2 \text{ [Mhz]} \quad \text{ec (3.19)}$$

$$f'_n(\text{min}) = f'_n - AB/2 \text{ [Mhz]} \quad \text{ec (3.20)}$$

$$f'_n(\text{máx}) = f'_n + AB/2 \text{ [Mhz]} \quad \text{ec (3.21)}$$

Las ecuaciones descritas, se resumen en la tabla 3.1, así:

n	f_n [Mhz] ec (3.16)	f_n (min)[Mhz] ec (3.18)	f_n (máx) [Mhz] ec(3.19)	f'_n [Mhz] ec (3.17)	f'_n (min) [Mhz] ec (3.20)	f'_n (máx) [Mhz] ec (3.21)
1	400,0625	400,0375	400,0875	401,0625	401,0375	401,0875
2	400,1250	400,1000	400,1500	401,1250	401,1000	401,1500
3	400,1875	400,1625	400,2125	401,1875	401,1625	401,2125
4	400,2500	400,2250	400,2750	401,2500	401,2250	401,2750
5	400,3125	400,2875	400,3375	401,3125	401,2875	401,3375
6	400,3750	400,3500	400,4000	401,3750	401,3500	401,4000
7	400,4375	400,4125	400,4625	401,4375	401,4125	401,4625
8	400,5000	400,4750	400,5250	401,5000	401,4750	401,5250
9	400,5625	400,5375	400,5875	401,5625	401,5375	401,5875
10	400,6250	400,6000	400,6500	401,6250	401,6000	401,6500

Tabla 3.1 Plan de frecuencias

3.3 ALGORITMO DE LONGLEY-RICE

El algoritmo de cálculo de propagación de **Longley-Rice**, también conocido como “Irregular Terrain Model” o ITM, se desarrolló específicamente para ordenador que permite predecir el nivel de potencia recibido sobre terreno irregular. Está basado en la teoría del electromagnetismo y en el análisis estadístico de las características del terreno y de los parámetros del radioenlace, prediciendo la atenuación media de una señal de radio que se propaga en un entorno troposférico sobre terreno irregular. Para ello, calcula la atenuación media de la misma, en función de la distancia y de variabilidad de la señal en el espacio y tiempo (propagación en espacio libre). Fue diseñado para frecuencias de trabajo entre 20 MHz y 20 GHz y para longitudes de trayecto entre 1 Km y 2000 Km.

La altura de la antena de cada Terminal sobre la elevación del terreno está comprendida entre 0.5m y 3000m.

Este modelo considera la refracción atmosférica (curvatura que sufrirán las ondas de radio). En otros modelos el parámetro de refractividad atmosférica, puede introducirse como la curvatura efectiva de la tierra, típicamente 4/3.

En el modelo de Longley-Rice, se puede introducir el valor de refractividad de superficie directamente, así:

- Una curvatura efectiva de la tierra de 4/3 (=1.333), corresponde a una refractividad de superficie de valor aproximadamente 301 [N-units]. Valor recomendado para condiciones atmosféricas promedio
- La relación entre los parámetros “k” y “N”, se define como:

$$N = 179.3 * \ln \left[\frac{1}{0.046665} \cdot \left(1 - \frac{1}{k} \right) \right] \quad \text{ec (3.22)}$$

Donde: N = refractividad [N-units]

$k = 4/3$

Los parámetros de entorno del modelo de longley-rice, se resumen a continuación en las siguientes tablas, así

Tipo de suelo	Permitividad relativa (ϵ_r)	Conductividad (S/m)
Tierra promedio	15	0.005
Tierra pobre	4	0.001
Tierra buena	25	0.020
Agua dulce	81	0.010
Agua salada	81	5.000

Tabla 3.2 Constantes eléctricas del terreno

CLIMA	N(n-units)
Ecuatorial	360
Continental subtropical	320
Marítimo subtropical	370
Desierto	280
Continental temperado	301
Marítimo temperado, sobre la tierra	320
Marítimo temperado, sobre el mar	350

Tabla 3.3 Modelos de climas caracterizados

El modelo de Longley-Rice usa como modelo primario la reflexión en el suelo y la difracción en obstáculos, así

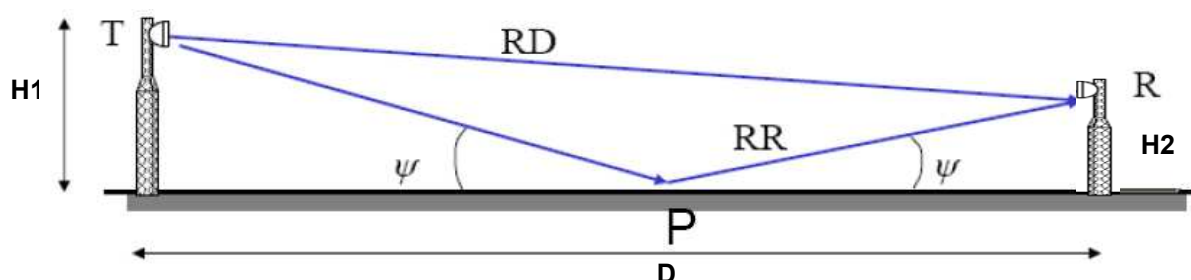


Figura 3.7 Rayo directo y rayo reflejado

Donde:

$H1$ = altura de la estación transmisora [m]

$H2$ = altura de la estación recepción [m]

RD = rayo directo

RR = rayo reflejado

ψ = ángulo de incidencia [°]

D = distancia del trayecto [m]

De la figura 3.7, se establece la diferencia de trayectos Δl , así:

$$\Delta l = TPR - TR = \left[D^2 + (H_1 + H_2)^2 \right]^{1/2} - \left[D^2 + (H_1 - H_2)^2 \right]^{1/2} \approx \frac{2 * H_1 * H_2}{D} \quad \text{ec (3.23)}$$

El ángulo de incidencia está definido por:

$$\psi = \text{tg}^{-1} \left(\frac{2 * H_1 * H_2}{D} \right) \quad \text{ec (3.24)}$$

Las pérdidas por difracción por obstáculos aislados son estimadas utilizando el modelo de “filo de cuchillo” (knife Edge) de Fresnel-Kirchoff. Estas pérdidas se las describieron en el apartado 1.6.3.

Los parámetros estadísticos que utiliza el algoritmo de Longley-rice, comprenden:

- *Variabilidad de tiempo* (de los cambios atmosféricos y otros efectos).
Considera las variaciones de los valores medios tomados por horas de atenuación: cambios de la refracción atmosférica o de la intensidad de turbulencia atmosférica.
Expresada como porcentaje (entre 0.1% y 99.9%): fracción de tiempo durante la cual el campo de fuerzas recibido se espera que sea igual o superior que el valor medio de campo por hora calculado por el programa.
Tomar un porcentaje mayor en este valor reduce la variabilidad resultante de estos factores; el valor real medido será igual o superior en un porcentaje más elevado de tiempo.
- *Variabilidad por localización*. Corresponde a datos estadísticos de largo plazo entre dos trayectos distintos: diferencias en los perfiles del terreno o diferencias ambientales.
Porcentaje (0.1% a 99.9%): fracción de localizaciones donde el campo recibido se espera que sea igual o superior al valor mediano.
- *Variabilidad por situación*. Para diferenciar casos con iguales equipos y condiciones de entorno similares.
Porcentaje (0.1% y 99.9%) para controlar lo mucho o poco que se quiere que afecten.

3.4 EJEMPLO DE CÁLCULO

A continuación se describe paso a paso un ejemplo de cálculo del desempeño de un radioenlace, tomando como referencia al modelo de longley-rice, así:

PASO 1. Consiste en determinar la posición geográfica de las estaciones, para luego construir el perfil topográfico con la ayuda de mapas topográficos o digitales, así:

COTR	QUITO
Lat: 00°39'44''S	Lat: 00°12'43''S
Lon: 78°26'14''W	Lon: 78°29'28''W
Elevación: 4906 [m]	Elevación: 2815[m]

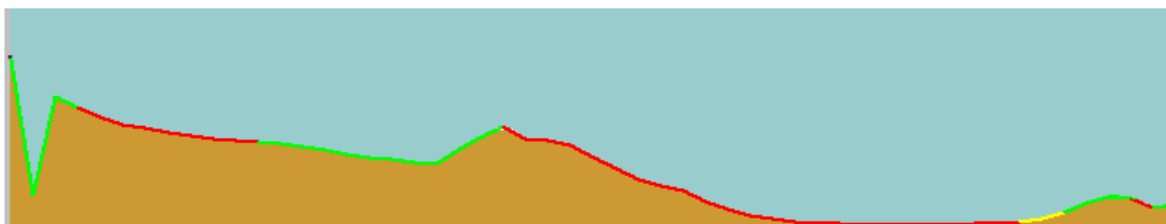


Figura 3.8 Perfil topográfico COTR –QUITO

PASO 2. Se determina la distancia existente entre la estación de transmisión y recepción, así:

$$D_{(km)} = \sqrt{(\Delta longitud * 111)^2 + (\Delta latitud * 111)^2 + (\Delta h)^2} \quad \text{ec (3.25)}$$

Donde: D = distancia entre la antena ubicada en COTR y QUITO [Km]
 $\Delta longitud$ = diferencia entre longitudes de las dos coordenadas [grados]
 $\Delta latitud$ = diferencia entre latitudes de las dos coordenadas [grados]
 Δh = diferencia entre elevaciones de la estación de transmisión y recepción [km]
 111 = factor para transformar a km (1° equivale aproximadamente 111 km)

$$\begin{aligned} \Delta \text{longitud} &= \text{lon}_{\text{QUITO}} - \text{lon}_{\text{COTR}} \\ \Delta \text{longitud} &= 78^{\circ}29'28'' - 78^{\circ}26'14'' \\ \Delta \text{longitud} &= 0^{\circ}3'14'' = 0,05388^{\circ} \\ \Delta \text{latitud} &= \text{lat}_{\text{QUITO}} - \text{lat}_{\text{COTR}} \\ \Delta \text{latitud} &= 0^{\circ}12'43'' - 0^{\circ}39'44'' \\ \Delta \text{latitud} &= -0^{\circ}27'1'' = -0,45027^{\circ} \\ \Delta h &= \text{elevación}_{\text{QUITO}} - \text{elevación}_{\text{COTR}} \\ \Delta h &= 2815\text{m} - 4906\text{m} \\ \Delta h &= -2,091 \text{ km} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{(Km)} &= \sqrt{(0,05388 * 111)^2 + (-0,45027 * 111)^2 + (2,091)^2} \\ D_{(Km)} &= 50,38 \end{aligned}$$

PASO 3. Se escoge un par de frecuencias de la tabla 3.1, para la canalización del radioenlace COTR –QUITO, así:

n	f _n (min)[Mhz]	f _n (máx) [Mhz]
6	400,3500	400,4000

La frecuencia central f del radiocanal es:

$$f_{(Mhz)} = \frac{f_{n(\text{min})} + f_{n(\text{máx})}}{2} = \frac{400,35 + 400,4}{2} = 400,375$$

PASO 4. Una vez determinada la distancia del radioenlace, tomamos en cuenta la altura del obstáculo más alto del trayecto, que pueda causar obstrucción, para dimensionar las alturas de las antenas de transmisión y recepción, con el fin de liberar el 60 % de la primera zona de fresnel, si no se consigue liberar dicha zona con alturas que comprendan de 8 a 35m, se sugiere analizar otra ruta, así:

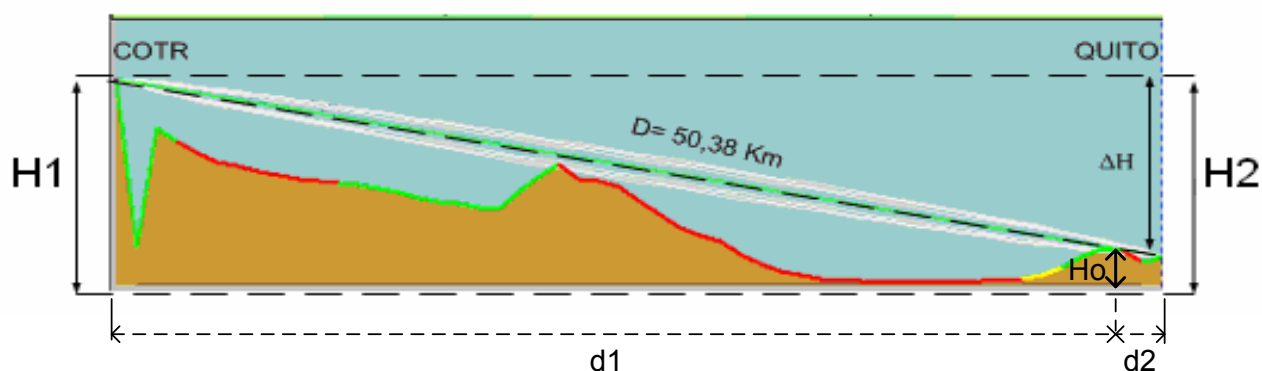


Figura 3.9 Altura de antenas para liberar el 60% de la primera zona de fresnel

$$H_1 = h_1 + h'_1 \text{ [m].}$$

$$H_2 = h_2 + h'_2 \text{ [m].}$$

- Donde:
- h_1 = elevación de COTR [m]
 - h'_1 = altura de la antena situada en COTR, asumida en 35 [m]
 - h_2 = elevación de QUITO [m]
 - h'_2 = altura de la antena situada en QUITO, asumida en 30 [m]
 - $d_1 = 48,47$ [Km]
 - $d_2 = 1,91$ [Km]
 - $H_o = 2899,6$ [m]

Aplicando la ecuación 1.18, se tiene:

$$H_{des(m)} = \frac{H_{1(m)} \cdot d_{2(Km)} + H_{2(m)} \cdot d_{1(Km)}}{D_{(Km)}} - H_{o(m)} - 0,0785 \frac{d_{1(Km)} \cdot d_{2(Km)}}{k}$$

$$H_{des(m)} = \frac{(35 + 4906) \cdot (1,91) + (30 + 2815) \cdot (48,47)}{50,38} - 2899,4 - 0,0785 \cdot \frac{48,47(1,91)}{\frac{4}{3}}$$

$$H_{des(m)} = 19,61$$

Para calcular el radio de la primera zona de fresnel, se aplica la ecuación 1.15, así:

$$R_{F1(m)} = 547,72 \cdot \sqrt{\frac{d_{1(Km)} \cdot d_{2(Km)}}{f_{(Mhz)} \cdot D_{(Km)}}$$

$$R_{F1(m)} = 547,72 \cdot \sqrt{\frac{(48,47)(1,91)}{(400,375)(50,38)}}$$

$$R_{F1(m)} = 37,11$$

$$\frac{H_{des}}{R_{F1}} = \frac{19,61}{37,11} = 0,53 ; \text{ la primera zona de fresnel se encuentra liberada al 53\%}$$

PASO 5. Se determina el margen de despeje aplicando la ecuación 1.19 y se analiza si existe obstrucción, para calcular pérdidas, así:

$$M_{(m)} = H_{des(m)} - R_{F1(m)}$$

$$M_{(m)} = 19,61 - 37,11$$

$$M_{(m)} = -17,5$$

$M < 0$, existe obstrucción y $0 < H_{des} < R_{F1}$, lo que implica el CASO 1, así aplicando la ecuación 1.20, se tiene:

$$v = \sqrt{2} \frac{(-H_{des})}{R_{F1}}$$

$$v = \sqrt{2} \frac{(-19,61)}{37,11}$$

$$v = -0,74$$

Como $v > -1$, la pérdida por obstrucción se obtiene aplicando la ecuación 1.21, así:

$$L_D(v)_{(dB)} = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right)$$

$$L_D(v)_{(dB)} = 6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(-0,7-0,1)^2 + 1} + (-0,7) - 0,1 \right)$$

$$L_D(v)_{(dB)} = 0,54$$

PASO 6. Se determina las pérdidas de propagación, tomando en cuenta, pérdidas en espacio libre, en líneas de transmisión y conectores, así:

- Pérdidas en espacio libre (Pathloss), aplicando la ecuación 3.3, se tiene:

$$L_{P(dB)} = 32,4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(km)}$$

$$L_{P(dB)} = 32,4 + 20 \log(400,0375) + 20 \log(50,38)$$

$$L_{P(dB)} = 118,5 dB$$

- Pérdidas en líneas de transmisión. Son las pérdidas de los cables que conectan el radio con la antena, para ello asumimos que utilizamos cables coaxiales con pérdidas típicas de 0,1 dB/m. En el caso de COTR, el radio se ubicará en un cuarto de equipos, y como la altura donde se situará la antena es de 35m, la distancia de conexión entre el radio y la antena, es de: 35m - 15m (altura inicial de referencia)= 20m. Para QUITO es de 30m -15m(altura inicial de referencia) = 15m, así tenemos:

$$L_{T-COTR(dB)} = 20m * 0,1dB / m = 2$$

$$L_{R-QUITO(dB)} = 15m * 0,1dB / m = 1,5$$

- Pérdidas en conectores. Se asumen valores de :

$$L_{C-COTR(dB)} = 1$$

$$L_{C-QUITO(dB)} = 1$$

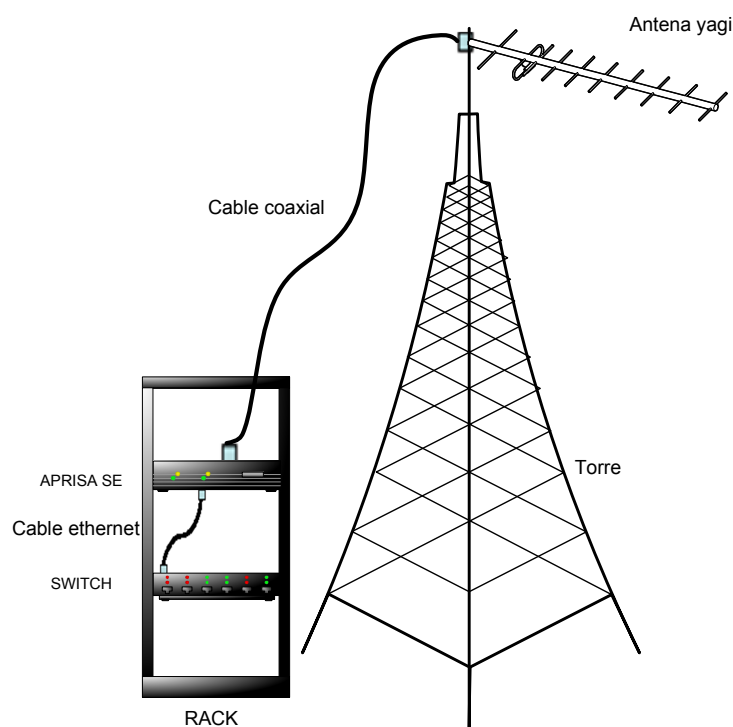


Figura 3.10 Esquema de una estación

PASO 7. Se calcula la potencia de recepción a partir de la ecuación de balance de potencia (ec 3.4), se asume que la potencia de transmisión del radio es de 29 dBm, ya que la SENATEL, sugiere que la potencia de transmisión no excede el 1W ó 30 dBm, así se tiene:

$$P_{R(dBm)} = T_{X(dBm)} - L_{T-COTR(dB)} + A_{T(dB)} - L_{P(dB)} + A_{R(dB)} - L_{R-QUITO(dB)}$$

$$P_{R(dBm)} = 29 - (2 + 1) + 12,1 - (118,5 - 0,54) + 12,1 - (1,5 + 1)$$

$$P_{R(dBm)} = -71,34$$

PASO 8. Se determina el margen de umbral Mu , asumiendo que la sensibilidad del receptor es de -96 dBm, que es uno de los valores típicos en los radios y se lo compara con el margen de desvanecimiento F_M , para establecer si cumple con el objetivo de confiabilidad, así aplicando la ecuación (3.5), (3.6) y (3.7) se tiene:

$$Mu_{(dB)} = P_{R(dBm)} - U_{r(dBm)}$$

$$Mu_{(dB)} = -71,34 - (-96)$$

$$Mu_{(dB)} = 24,66$$

$$F_{M(dB)} = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

$(1 - R)$ = objetivo de confiabilidad para una ruta de 400 km en un sentido

Por lo tanto el factor $(1 - R)$ para una distancia distinta de 400 Km es:

$$(1 - R) = \frac{0,0001 * D}{400} = \frac{0,0001 * 50,38}{400} = 0,000012595$$

Se asume: $A = 0,25$ sobre un terreno muy áspero y montañoso

$B = 0,25$ para áreas continentales promedio

$$F_{M(dB)} = 30 \log(50,38) + 10 \log(6 * 0,25 * 0,25 * 0,4) - 10 \log(0,000012595) - 70$$

$$F_{M(dB)} = 21,83$$

.Por tanto se cumple con el objetivo de confiabilidad: $Mu \geq F_M$

Paso 9. Se determina la indisponibilidad y confiabilidad del radioenlace aplicando la ecuación (3.9) y (3.10) y se la compara con el objetivo de calidad propuesto por la UIT, así:

- Indisponibilidad:

$$P = 6 * 10^{-7} * C * f * D^3 * 10^{-F_M/10}$$

$$P = 6 * 10^{-7} * (0,25 * 0,25) * 0,4 * (50,38)^3 * 10^{-21,83/10}$$

$$P = 0,000012595$$

- Confiabilidad:

$$R = (1 - P) * 100$$

$$R = (1 - 0,000012595) * 100$$

$$R = 99,9987\%$$

La confiabilidad propuesta por la UIT es:

$$R_T = 99,9664\%, \quad \text{para } L < 280Km$$

$$R \geq R_T$$

Por tanto se cumple con el objetivo de la UIT

PASO 10. Se determina la EIRP, el nivel de voltaje recibido por el receptor y la intensidad de campo eléctrico, así:

- EIRP (POTENCIA ISOTRÓPICA EFECTIVA RADIADA). Aplicando la ecuación (1.29), se tiene:

$$EIRP_{(W)} = P_{ent(W)} \cdot A_t$$

$$P_{ent(dBm)} = T_X(dBm) - L_{T-COTR}(dB)$$

$$P_{ent(dBm)} = 29 - 3 = 26$$

$$P_{ent(W)} = 0,001 * \text{anti log} \left(\frac{P_{ent(dBm)}}{10} \right)$$

$$P_{ent(W)} = 0,001 * \text{anti log} \left(\frac{26}{10} \right) = 0,398$$

$$A_t = \text{anti log} \left(\frac{A_t(dBi)}{10} \right)$$

$$A_t = \text{anti log} \left(\frac{12,1}{10} \right) = 16,22$$

$$EIRP_{(W)} = 0,398 * 16,22 = 6,46$$

- Nivel de voltaje recibido por el receptor. Aplicando la ley de OHM, se tiene:

$$P_R = \frac{V_r^2}{R}$$

Donde: P_R = Potencia de recepción [w]

V_r = Nivel de voltaje [V]

R = Impedancia nominal de la antena [Ω]

$$V_r = \sqrt{P_{R(W)} \cdot R_{(\Omega)}}$$

$$P_{R(W)} = 0,001 * \text{anti log} \left(\frac{P_{R(Bm)}}{10} \right)$$

$$P_{R(W)} = 0,001 * \text{anti log} \left(\frac{-71,34}{10} \right) = 7,35 \times 10^{-11}$$

$$V_{r(V)} = \sqrt{(7,35 \times 10^{-11})(50)} = 60,6 \times 10^{-6}$$

$$V_{r(\mu V)} = 60,6$$

- INTENSIDAD DE CAMPO ELECTRICO. Tomando como referencia la Recomendación. UIT-R PN.525-2 (Anexo C, ec (7)), se tiene;

$$E_{dB(\mu V/m)} = EIRP_{(dBW)} - 20 * \log d_{(km)} + 74,8$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 10 * \log(EIRP_{(W)}) - 20 * \log d_{(km)} + 74,8$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 10 * \log(6,46) - 20 * \log(50,38) + 74,8$$

$$E_{dB(\mu V/m)} = 48,85$$

PASO 11. Finalmente se alinean las antenas de transmisión y recepción, para ello se determina el ángulo de elevación, apuntamiento y azimut.

- Ángulo de elevación. Es el ángulo vertical que se forma entre la dirección de movimiento de una onda electromagnética irradiada por una antena y el plano horizontal. Mientras menor sea el ángulo de elevación, la distancia que debe recorrer una onda propagada a través de la atmósfera terrestre es mayor, así:

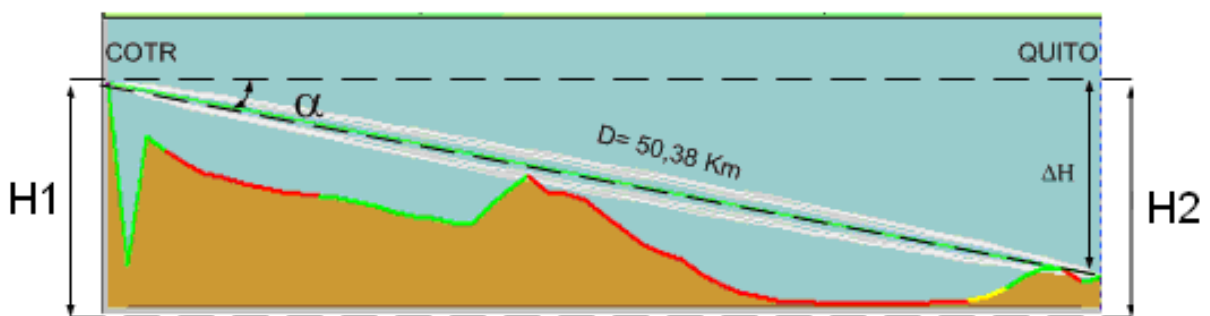


Figura 3.11 Ángulo de elevación COTR -QUITO

$$H1 = 4906 + 35 = 4941 \text{ m}$$

$$H2 = 2815 + 30 = 2845 \text{ m}$$

$$\Delta H = H1 - H2$$

$$\Delta H = 4941 - 2845$$

$$\Delta H = 2096 \text{ m}$$

$$\sin \alpha = \frac{\Delta H}{D}$$

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta H}{D}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{2,096}{50,38}\right)$$

$$\alpha = 2,64^\circ$$

- Angulo de Apuntamiento. Se determina relacionando la variación de latitud con la variación de longitud, así:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\Delta \text{latitud}}{\Delta \text{longitud}}\right)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{-0,45027}{0,05388}\right)$$

$$\theta = -83,18^\circ$$

- Azimut. Es el ángulo horizontal que se forma entre la dirección de movimiento de una onda electromagnética irradiada por una antena y el plano vertical. El ángulo de azimut se suele medir en grados a partir del norte verdadero, en el sentido de las manecillas del reloj, así:

$$A_{Z(QUITO)} = 90^\circ + |\theta|$$

$$A_{Z(QUITO)} = 90^\circ + 83,18^\circ$$

$$A_{Z(QUITO)} = 173,18^\circ$$

$$A_{Z(COTR)} = 270^\circ + |\theta|$$

$$A_{Z(COTR)} = 270^\circ + 83,18^\circ$$

$$A_{Z(COTR)} = 352,18^\circ$$

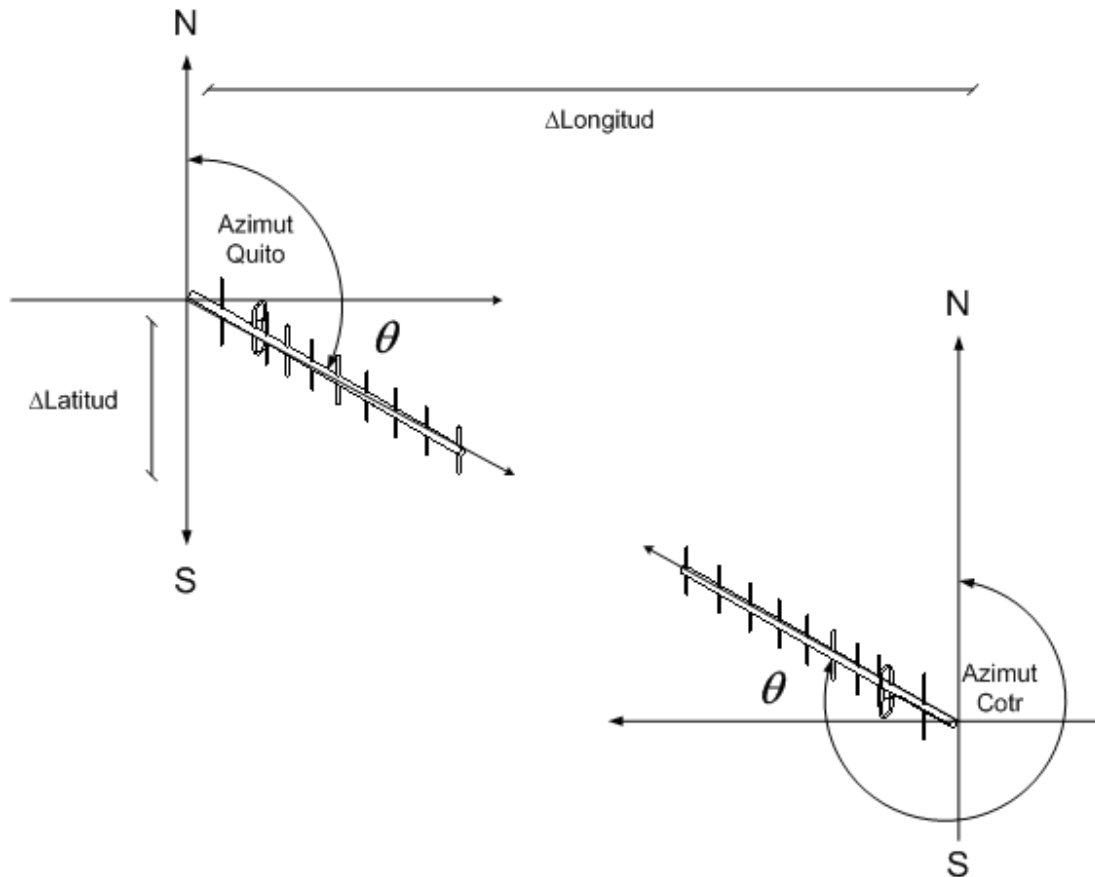


Figura 3.12 Angulo de apuntamiento y Azimut

3.5 GENERALIDADES DEL SOFTWARE RADIO MOBILE

“Radio Mobile” es un programa creado en 1998 y mantenido desde entonces por el ingeniero y radio aficionado canadiense **Roger Coudé**, para predecir el desempeño de sistemas de radio en exteriores, entre los parámetros importantes se tienen:

- Datos digitales de elevación del terreno para generar un perfil del trayecto entre un emisor y un receptor
- Está basado en el algoritmo de Longley-Rice e integrado en el propio programa

- Permite determinar el área de cobertura de un sistema de radio comunicaciones que trabaje en una frecuencia entre los 20 y los 20.000 MHz
- Altura, polarización, ganancia y azimut de las antenas
- Frecuencia de trabajo mínima y máxima del equipo
- Topología de red (depende del tipo de enlace)
- Pérdidas en el espacio libre
- Campo eléctrico presente en la antena receptora
- PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)
- Despeje de la Zona de Fresnel
- Sensibilidad del equipo receptor
- Pérdidas en las líneas de transmisión
- Clima de la zona en donde se diseña el radioenlace
- Refractividad del terreno, conductividad del terreno

3.5.1 LIMITACIONES DEL SOFTWARE

- El software al utilizar el modelo de Longley-Rice no incluye la ionosfera. Por lo tanto no funciona para enlaces entre estaciones terrenas y satelitales
- Algunas veces se generan problemas de alturas en los mapas por lo tanto éstas deben ser verificadas con estudios de campo.
- No permite diseñar radioenlaces aplicando diversidad.

3.5.2 EJEMPLO DE CÁLCULO DEL DESEMPEÑO DE UN RADIOENLACE UTILIZANDO EL SOFTWARE RADIO MOBILE

Como parte preliminar se describe los parámetros de cada una de las ventanas presentes en el software, para de esta manera comprender los resultados obtenidos en la simulación del radioenlace, así:

- a. Ingresamos al programa y creamos un nuevo proyecto de trabajo haciendo click en **File – New Networks**.

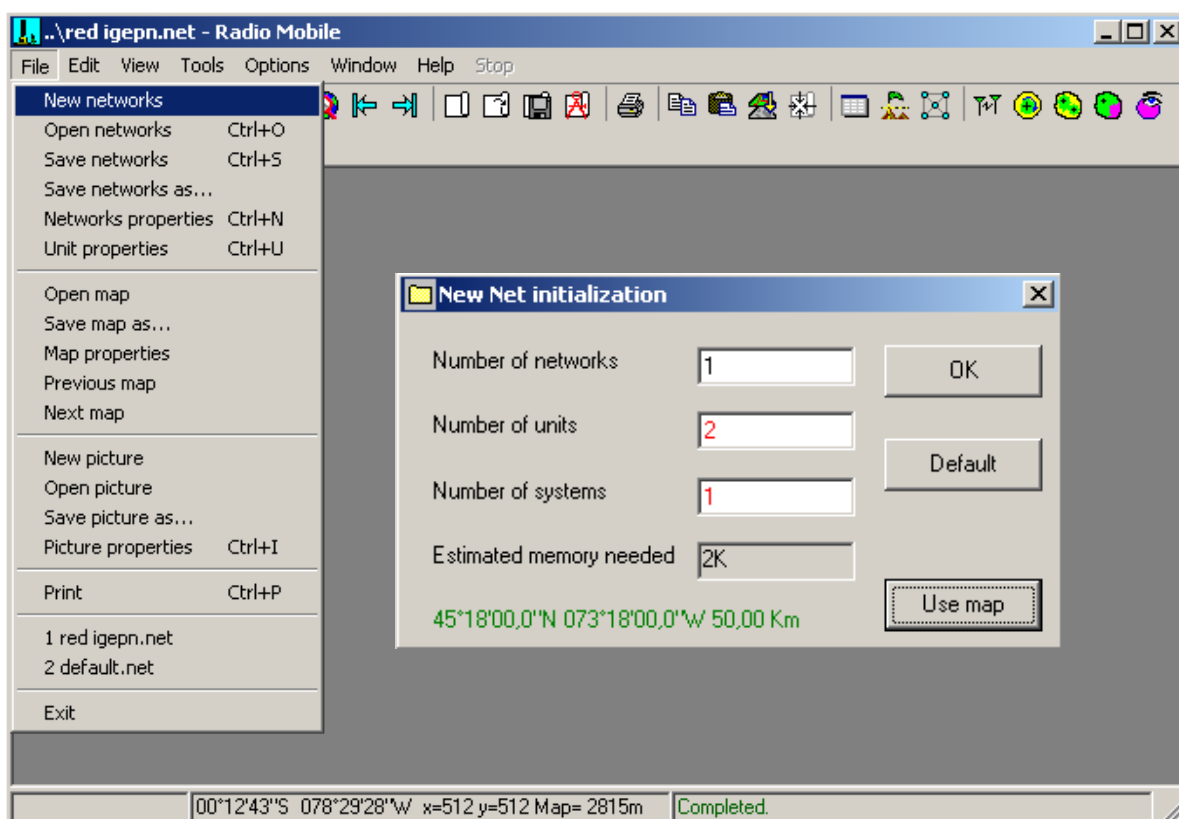


Figura 3.13 Creación de una nueva red

Ingresamos los datos a fin de configurar por primera vez nuestra red:

- Number of networks = 1, ya que se utiliza una sola red por cuanto no se considera interferencias de otras redes
- Number of units = 2, por cuanto vamos a usar un transmisor y un receptor en puntos diferentes.
- Number of systems = 1, debido a que ambos equipos son idénticos en sus características excepto por su localización.
- Estimated memory needed = 2K, espacio de memoria RAM, para ejecutar el programa

b. A continuación definimos las características de la red que vamos a utilizar, para ello ingresamos a **File – Networks properties**. Ahí completamos los valores de nuestra red.

c.

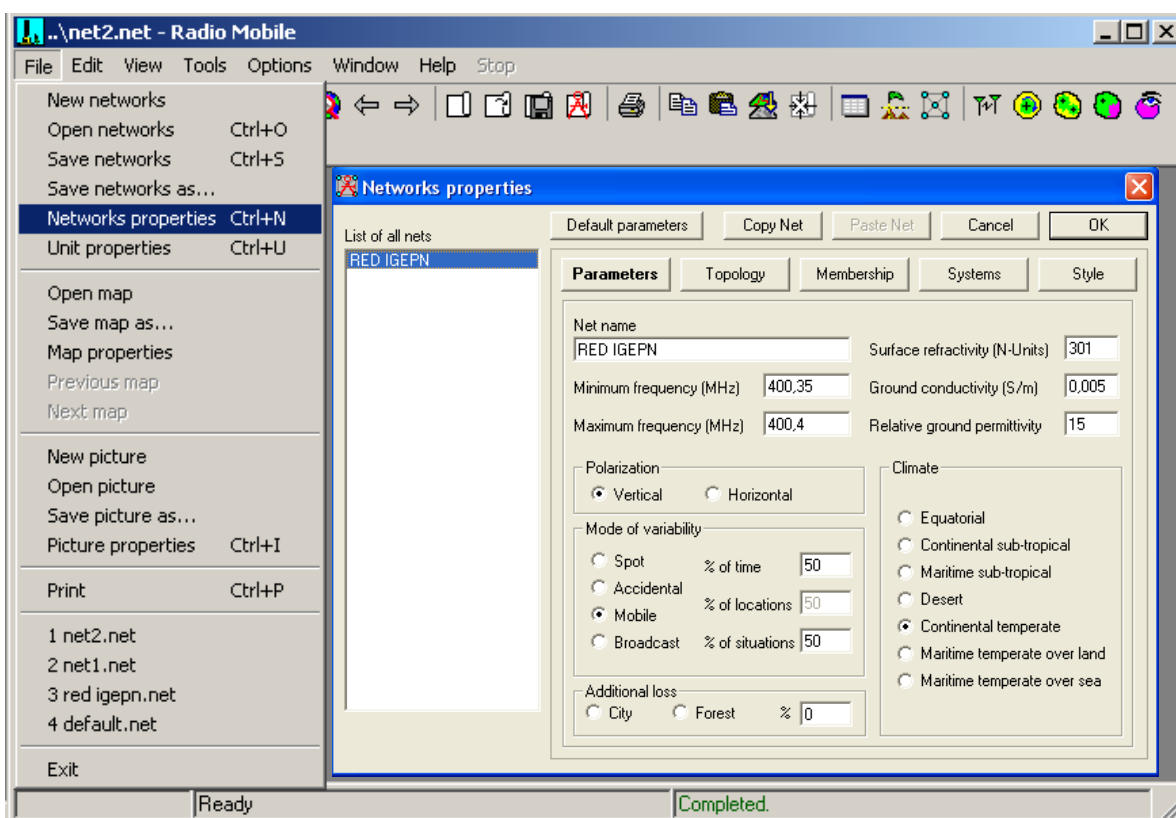


Figura 3.14 Propiedades de red (Parámetros)

- Net name: Asignamos el nombre red “RED IGEPN”.
- Minimum frequency [Mhz]: De acuerdo al plan de frecuencias ingresamos la frecuencia mínima 400,35 Mhz.
- Maximun frequency [Mhz]: De acuerdo al plan de frecuencias ingresamos la frecuencia máxima 400,4 Mhz.
- Polarization: La antena que se utilizará en el diseño, operará en polarización vertical.
- Mode of variability: Se selecciona el entorno móvil (Mobile), ya que es el más usado en los operativos de campo y por otro lado se trata de la peor

condición. Con un porcentaje de tiempo de 50% y con una probabilidad de 50%, significa que los valores de atenuación obtenidos no serán superados con una probabilidad de 50%, durante el 50% de tiempo.

- Climate: Considerando el modelo de longley-rice y basándose en la tabla (3.2) y (3.3) se selecciona el clima continental temperado con refractividad de 301 [N-units] y el tipo de suelo que escogemos es “tierra promedio” con conductividad de 0,005 [S/m] y permitividad relativa de 15.

d. Luego configuramos la topología de la red, haciendo click en la pestaña **Topology** y configuramos los parámetros mostrados.

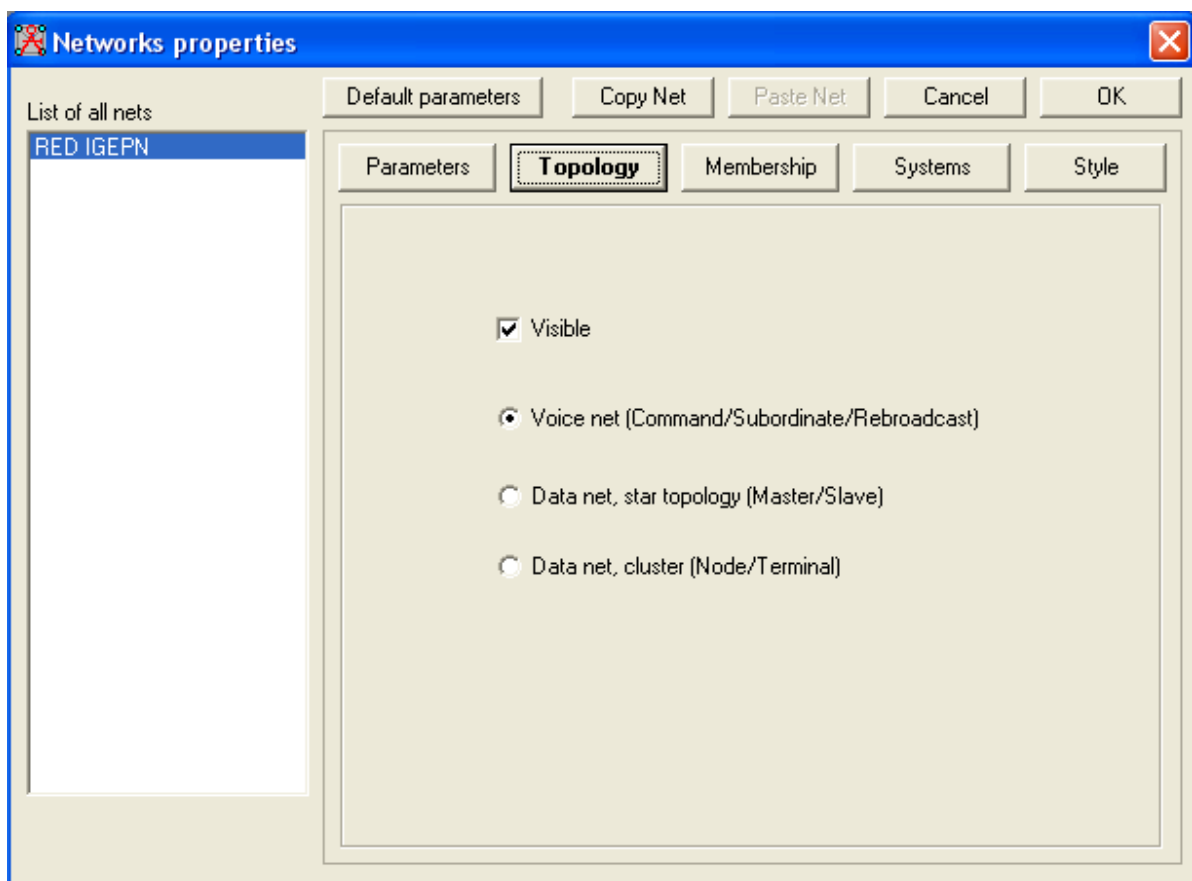


Figura 3.15 Topología de red.

- Visible: si está marcado, hace que la red sea visible en el mapa de trabajo.

- Voice net (Command/Subordinate/Rebroadcast): se usa esta opción para redes en las que la comunicación se hace entre una estación de referencia y varias estaciones subordinadas, lo que se ajusta a nuestro caso
- e. Luego configuramos los parámetros de los sistemas haciendo click en el botón de **Systems** podemos apreciar un área especial donde definir los equipos que utilizaremos.

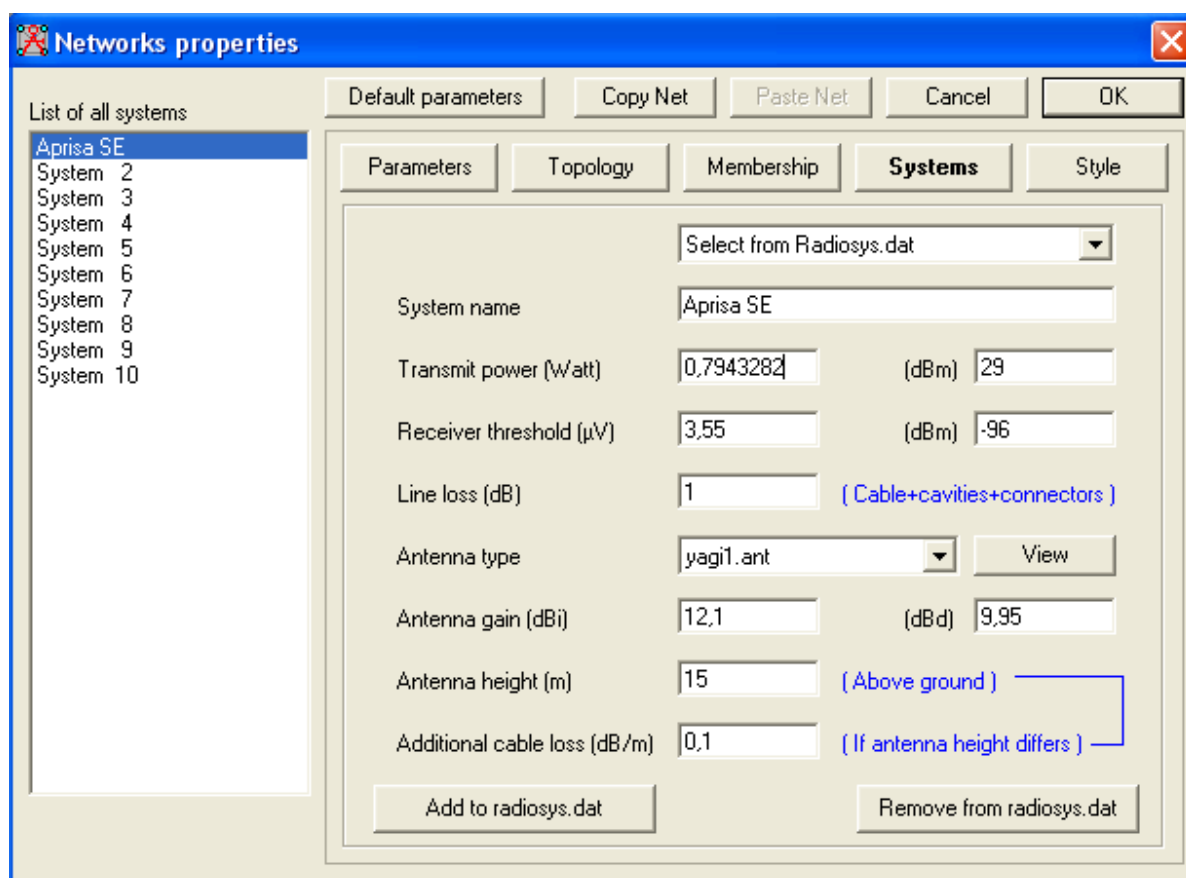


Figura 3.16 Propiedades de red (Sistemas)

- System name: Aquí especificaremos un nombre para nuestro equipo, en este caso **Aprisa SE**, que es la marca del equipo que utilizaremos en el diseño.
- Transmit power: De acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante, define una potencia de transmisión de 29dBm.
- Receiver threshold: La especificación técnica del radio, define una sensibilidad del receptor de -96dBm.

- Line loss: Corresponde a las pérdidas generadas en cables y conectores, se asume un valor de 1dB.
- Antenna type: Se especifica el tipo de antena utilizado en el diseño, se escoge una antena directiva que trabaje en la banda de 400 Mhz, lo más conveniente es usar antena yagui.
- Antenna gain: Corresponde a la ganancia de una antena referida a una antena isotrópica (dBi) o la del dipolo de media longitud de onda (dBd). Para el caso de la antena yagi escogida, la ganancia es 12,1dBi.
- Antenna height: Corresponde a la altura de referencia sobre el terreno de emplazamiento. Para el diseño el esta altura será de 15 m.
- Additional cable loss: Corresponde a la atenuación por unidad de longitud de la línea de transmisión debida al cable que conecta la antena con el radio. Para el diseño se utilizará cable coaxial de media pulgada, el mismo que tiene 0,1dB/m.

f. Se configura la pestaña Style, así:

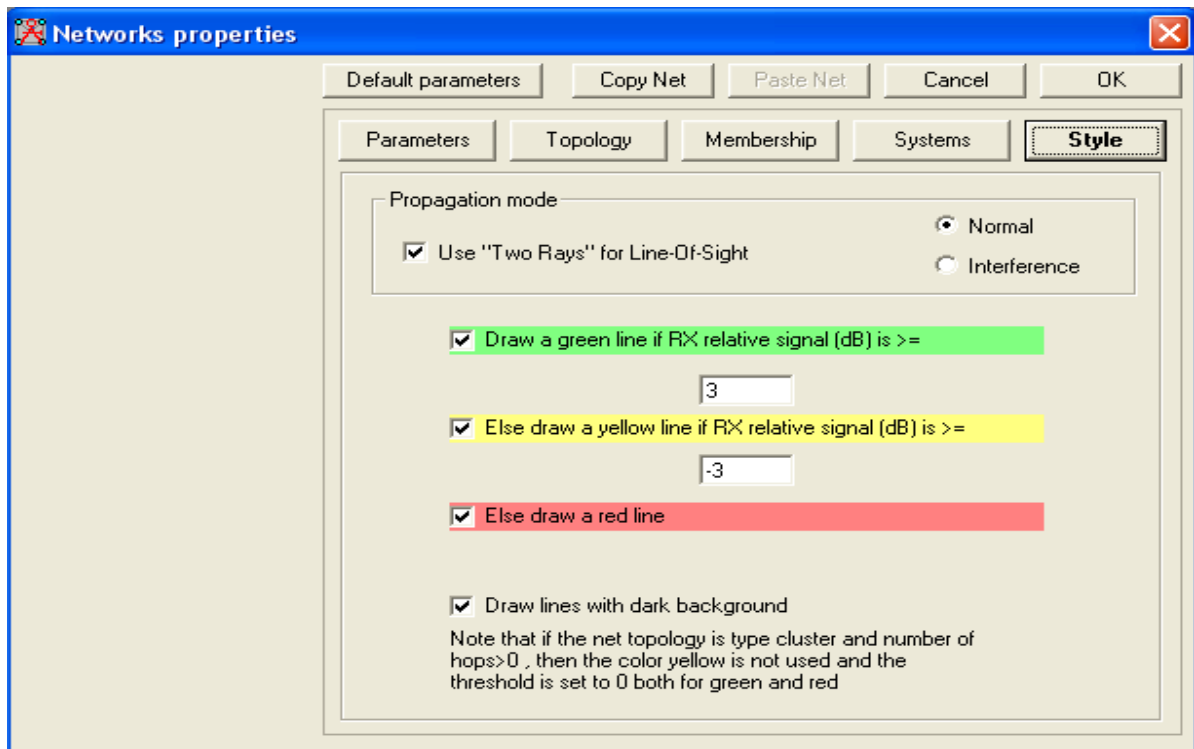


Figura 3.17 Propiedades de red (Style)

- Seleccionamos “Normal” en la opción “Propagation mode”, ya que en este diseño no se contempla el cálculo de interferencias que ocasionaran otras redes.
 - Use “two ray” for line-Of-sight: permite habilitar o deshabilitar la aplicación del método de dos rayos (directo y reflejado en la superficie terrestre). Simplifica los cálculos y el tiempo de procesamiento en caso de radioenlaces de visión directa.
 - Draw a green line if Rx signal (dB) is ≥ 3 ; Se dibuja una línea verde en el perfil, si la señal recibida en un punto del mapa supera el valor “3dB”.
 - Else draw a yellow line if Rx signal (dB) is ≥ -3 ; Si no, se dibuja una línea amarilla en el perfil, si la señal recibida en un punto del mapa supera el valor “-3dB”.
 - Else draw a red line: Si no se cumplen los dos casos anteriores, dibujar una línea roja, es decir si la señal recibida no supera -3dB y 3dB.
 - Draw lines with dark background: dibujar líneas en fondo oscuro.
- g. Ahora se procede a cargar los mapas necesarios para visualizar correctamente los puntos donde estarán ubicados ambos equipos así como los datos topográficos que se requieren para definir posibles problemas de obstrucciones en la línea visual que se requiere para este tipo de comunicaciones vía microondas. Lo primero que se requiere es obtener el mapa de relieve topográfico de la zona, esto lo logramos haciendo click en el botón de **Map properties**.

Donde obtenemos la ventana de configuración del mapa a utilizar:

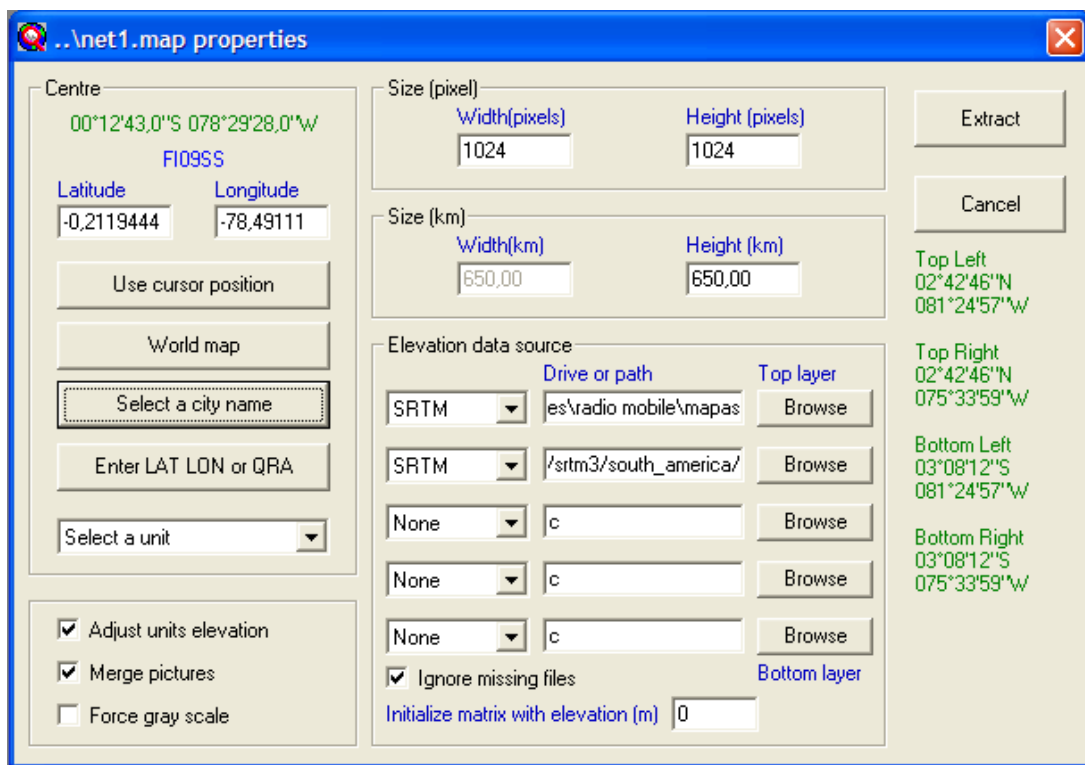


Figura 3.18 Pantalla de extracción de datos de elevación

- Centre (Latitude/Longitude): Corresponde a las coordenadas del punto que queremos sea el centro del mapa de trabajo, de acuerdo a los mapas digitales utilizados. Hacemos clic sobre **Enter LAT LON or QRA** e ingresamos los datos de una de las ubicaciones de la red, de esta manera obtendremos nuestro mapa centrado en ese punto (no debe olvidarse seleccionar correctamente el hemisferio).

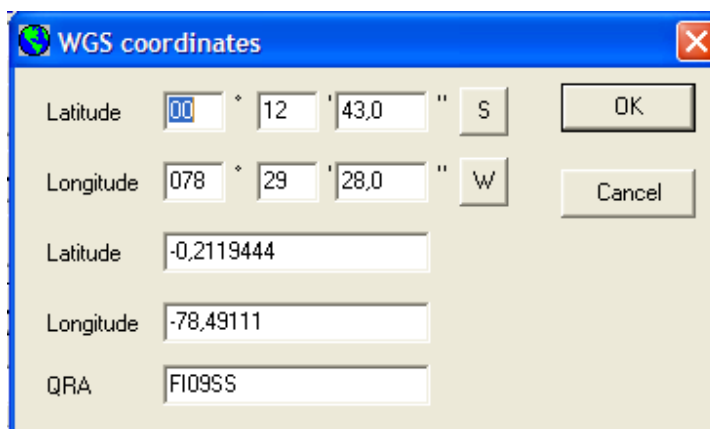


Figura 3.19 Coordenadas WGS (World Geodetic System)

- Size (Km) Width/Height: Corresponde al tamaño de la porción del mapa de trabajo que se representará en pantalla, tomando como punto central el definido anteriormente
- Size (pixel) Width/Height: Corresponde al tamaño del mapa en pantalla, mientras más alto sea este valor, se maneja mejor precisión.
- Elevation data source: Indica la ubicación de los ficheros que almacenan los datos de elevación del modelo digital del terreno. Los ficheros utilizados son del tipo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), que significa Misión Topográfica Radar Shuttle, dicha misión obtiene un modelo digital de elevación de la zona del globo terráqueo entre 56° S a 60° N, de modo de generar una completa base de cartas topográficas digitales de alta resolución de la tierra. Para Latinoamérica, las imágenes tienen una resolución de 3 segundos de arco correspondiendo a unos 90 metros.
- Una vez completados los datos de captura, se pulsa el botón “Extract” para generar una imagen.

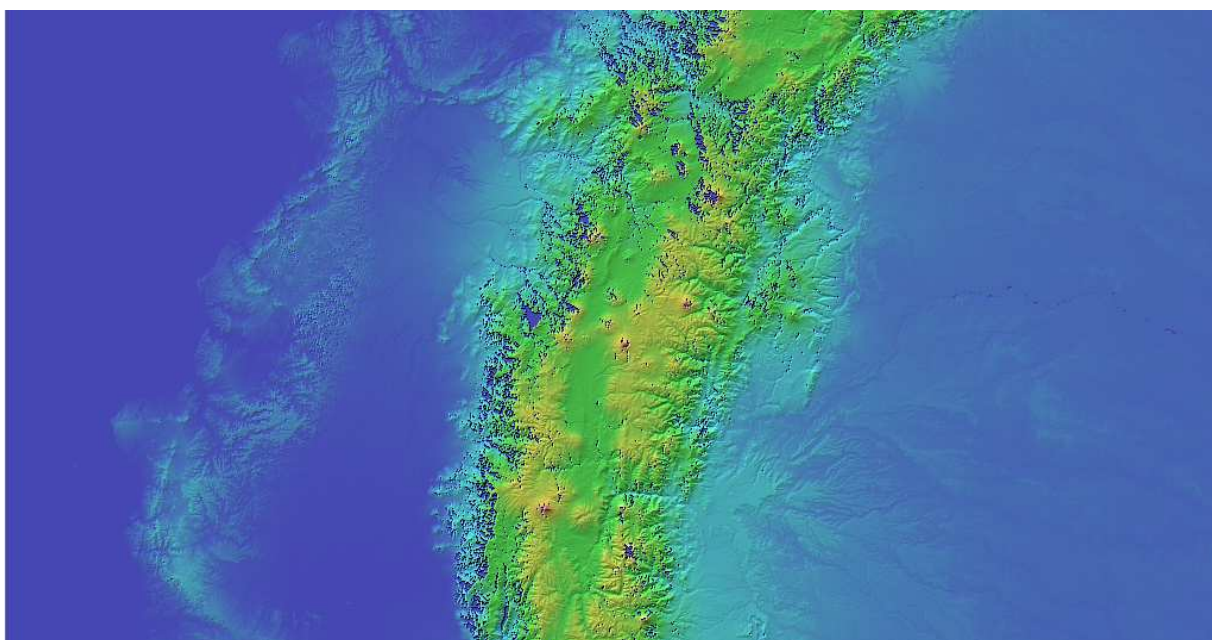


Figura 3.20 Relieve sombreado

- h. A continuación debemos colocar el mapa político que nos servirá de referencia para verificar la posición de las estaciones. Para ello hacemos click en **Edit>Merge pictures**

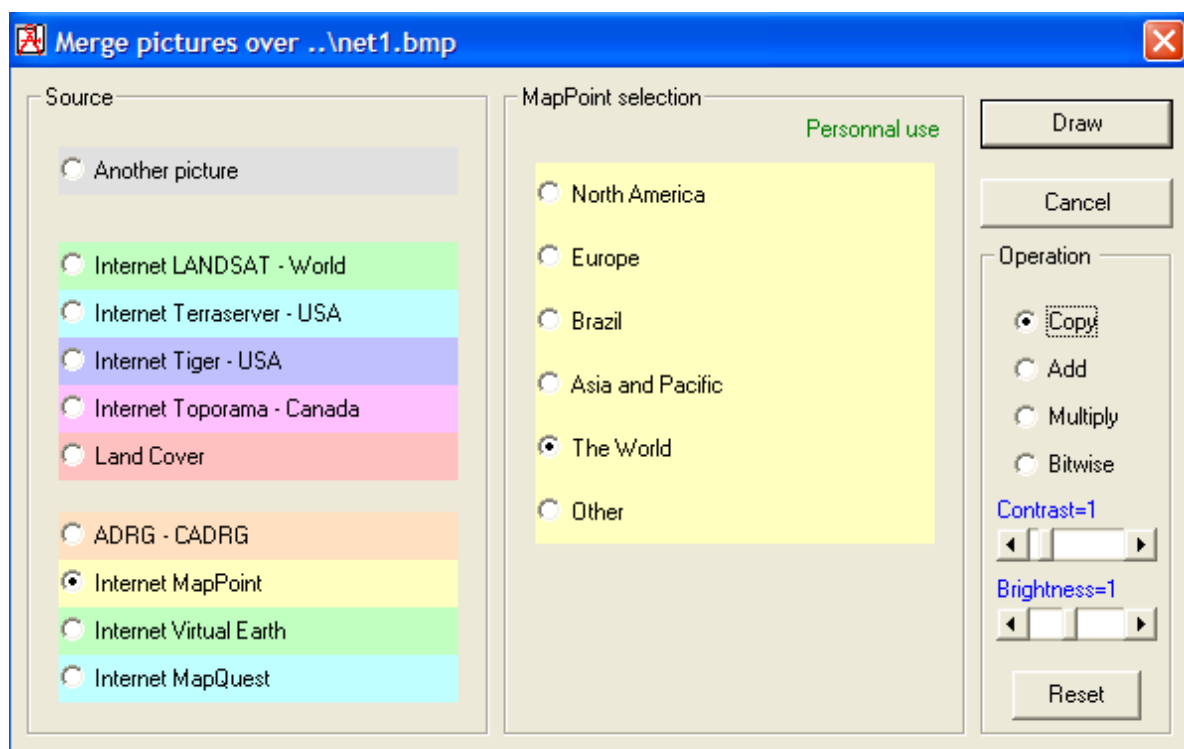


Figura 3.21 Selección de mapas

- Escogemos la fuente de nuestro mapa, para Ecuador los mapas más detallados se encuentran bajo la opción de **Internet MapPoint – The World**.
- En la operación debe seleccionar la opción **Copy** a fin de lograr una imagen semitransparente que permita ver los contornos del mapa topográfico.
- Dar click en **Draw** para comenzar la descarga y finalmente seleccionar **Keep in actual picture** para mantener el mapa descargado.



Figura 3.22 Mapa político de Ecuador

- i. A continuación definiremos el posicionamiento de las estaciones, para ello seleccionamos **File – Unit properties** y definimos un nombre y la ubicación para cada estación.

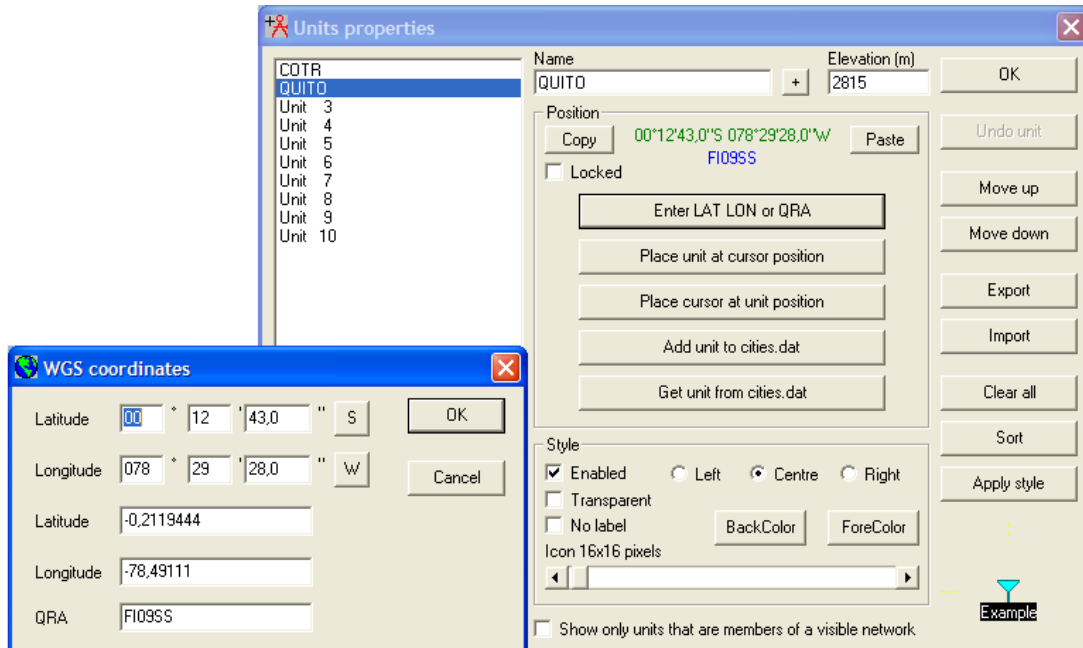


Figura 3.23 Posicionamiento de estaciones.

- En el marco izquierdo, se selecciona “Unit” y en el marco derecho se da un nombre a la(s) estación(es), QUITO y COTR.
- Se pulsa el botón “Enter LAT LON or QRA” para introducir las coordenadas de las ubicaciones de las estaciones en la ventana “WGS coordinates”.
- Los otros parámetros no mencionados, se usan para añadir y suprimir estaciones a la red.
- Al hacer click sobre **Ok** luego de ingresar los datos de ambas unidades obtendremos las ubicaciones en el mapa de los equipos.



Figura 3.24 Ubicación de estaciones

- j. Antes de obtener los resultados es conveniente indicarle al programa cuales son los Sistemas que caracterizan a cada una de las Unidades, para ello ingresamos nuevamente en **File – Networks properties** y bajo la opción de **Membership** seleccionamos el sistema asociado con cada unidad, en nuestro caso; COTR Y QUITO tendrán el rol de Comando, hacer clic en **OK** para salir.

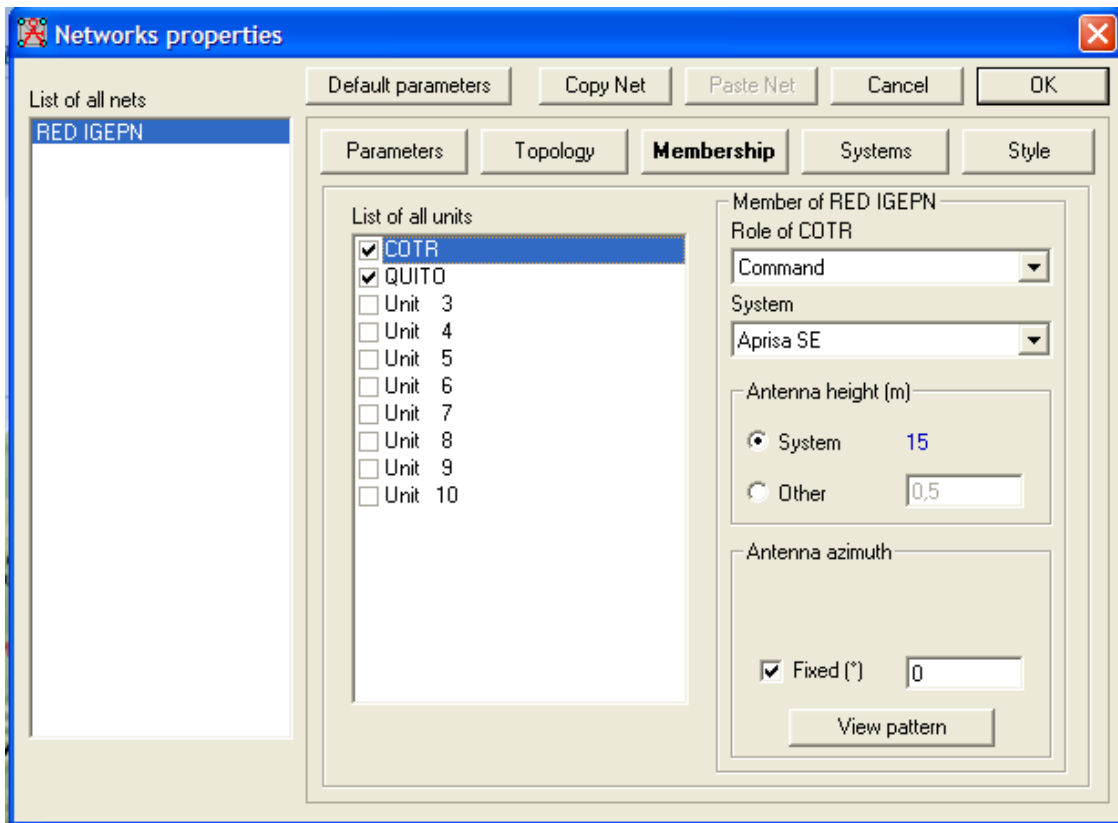


Figura 3.25 Propiedades de red (Membership)

- k. Para visualizar los resultados, hacemos click en el botón de **Tools> Radio link**. De esta manera ingresamos al espacio donde podemos verificar la altura que tendrá cada antena. Seleccionamos 35m en la altura del COTR y 30m en la altura de QUITO y verificamos que efectivamente el enlace es posible a 128Kbps. En la figura 3.25 se muestran las características de modelado más importantes del programa Radio Mobile en sistemas punto a punto.

Entre otra información, Radio Mobile provee la potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP, por su sigla en inglés) del transmisor y una medida de la señal recibida en el receptor (Rx Relative). Para alinear las antenas los parámetros más importantes son el azimuth y el ángulo de elevación. Se Utiliza el azimuth magnético para trabajar con brújula y el geográfico para trabajar con mapas.

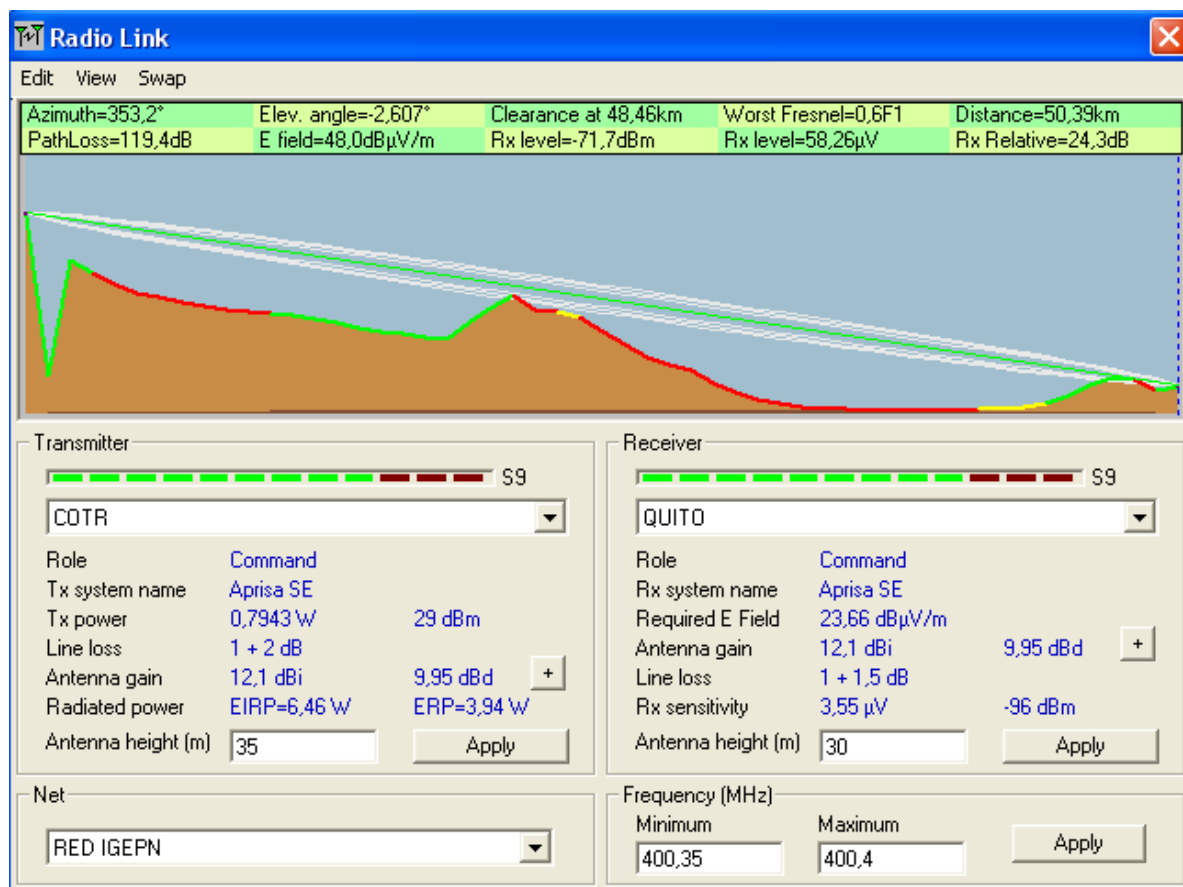


Figura 3.26 Perfil y resultados del radioenlace COTR-QUITO

- **Azimuth=353,2°**. Corresponde al ángulo azimuth de COTR hacia QUITO.
- **Elev. angle=-2,607°**. Corresponde al ángulo de elevación de COTR hacia QUITO.
- **PathLoss=119,4dB**. Corresponde la suma de las pérdidas en espacio libre y las ocasionadas por obstrucción.
- **E field=48,0dBμV/m**. Corresponde a la intensidad de campo eléctrico generado por la antena transmisora.
- **Clearance at 48,46km** y **Worst Fresnel=0,6F1**. Manifiestan que a una distancia de 48,46 Km, medida a partir del transmisor se encuentra el punto con el peor despeje de la primera zona de fresnel (60%), así se tiene:

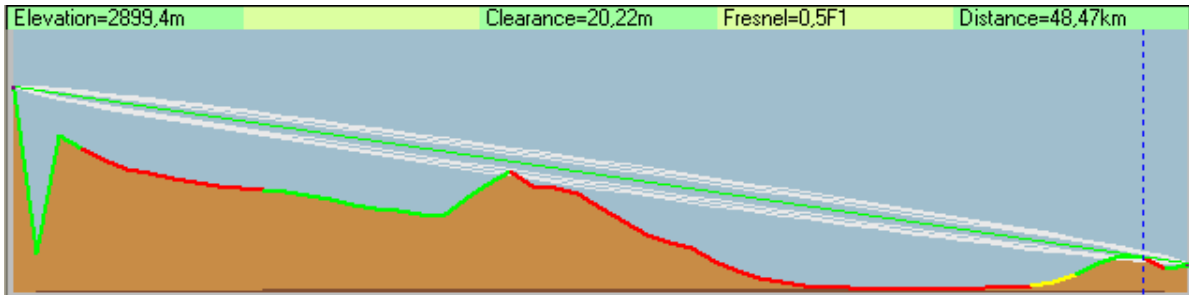


Figura 3.27 Despeje de la zona de fresnel del radioenlace COTR –QUITO

- La figura 3.26 indica la elevación del obstáculo que perjudica la transmisión (2899,4m), el despeje de la zona de fresnel (20,22m), el porcentaje al que se encuentra liberada la primera zona de fresnel (0,5F1) y la distancia a la que se encuentra e obstáculo, medida a partir del punto de transmisión.

- . Corresponde la potencia de recepción.
- . Corresponde al nivel del voltaje recibido en el receptor.
- . Corresponde la distancia del radioenlace COTR-QUITO
- . Corresponde al margen de umbral Mu.

- | Frequency (MHz) | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Minimum | Maximum |
| <input type="text" value="400,35"/> | <input type="text" value="400,4"/> |

. Corresponde a la frecuencia mínima y máxima, tomada del plan de frecuencias para el radioenlace COTR-QUITO

- . S-meters (Unidades S). Cada una de las luces verdes corresponden a una unidad S, las luces rojas, a un adicional de 10 dB sobre S9. El S-Meter de la derecha corresponde a la señal recibida para una transmisión de izquierda a derecha. El S-Meter de la izquierda al contrario. Los valores pueden diferir si la ganancia de los sistemas son diferentes en cada caso.

El rendimiento se muestra en unidades S para frecuencias ≥ 30 MHz, así se tiene:

Referencia (unidades S)	Margen de umbral (Mu)
S0	($Mu \leq -1.5\text{dB}$)
S1	($Mu > -1.5\text{dB}$ and $Mu < 1.5\text{dB}$)
S2	($1.5\text{dB} \leq Mu \leq 4.5\text{dB}$)
S3	($4.5\text{dB} < Mu < 7.5\text{dB}$)
S4	($7.5\text{dB} \leq Mu \leq 10.5\text{dB}$)
S5	($10.5\text{dB} < Mu < 13.5\text{dB}$)
S6	($13.5\text{dB} \leq Mu \leq 16.5\text{dB}$)
S7	($16.5\text{dB} < Mu < 19.5\text{dB}$)
S8	($19.5\text{dB} \leq Mu \leq 22.5\text{dB}$)
S9	($22.5\text{dB} < Mu < 27\text{dB}$)
S9 + 10	($27\text{dB} \leq Mu < 39\text{dB}$)
S9 + 20	($39\text{dB} \leq Mu < 49\text{dB}$)
S9 + 30	($49\text{dB} \leq Mu < 59\text{dB}$)

Tabla 3.4 Correspondencia entre los niveles de señal según S y el margen de umbral (Mu)

- Tx power 0,7943 W 29 dBm . Corresponde a la potencia de transmisión del radio, expresada en [W] y [dBm]
- Line loss 1 + 2 dB . Corresponden las pérdidas en conectores [1dB] y pérdidas del cable coaxial que conecta la antena con el radio [2dB].
- Radiated power EIRP=6,46 W ERP=3,94 W . Corresponde a la potencia isotrópica efectiva irradiada de la antena transmisora.
- Antenna gain 12,1 dBi 9,95 dBd . Corresponde a la ganancia de la antena referida a una antena isotrópica (12dBi) y a un dipolo (9,95dBd).

Pulsando el botón , podemos visualizar el diagrama de radiación de las antenas y también observamos la alineación de las antenas, así:

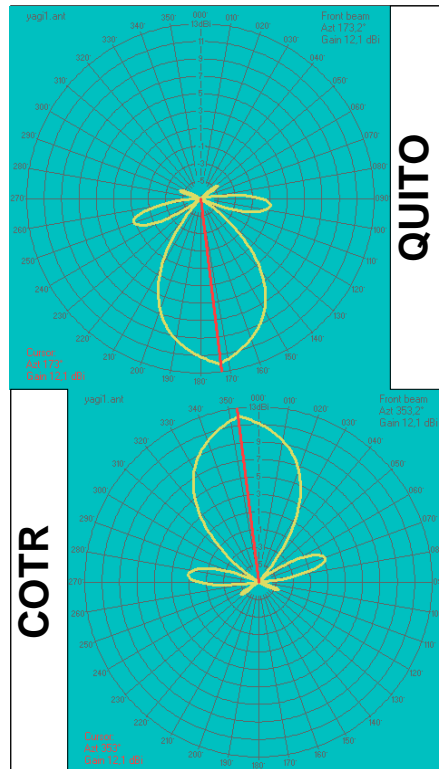


Figura 3.28 Diagramas de radiación de las antenas de transmisión y recepción.

- Bajo la opción de **View – Details** de la figura 3.25, tenemos un resumen de las características del enlace, distancia, pérdidas en espacio libre, pérdidas causadas por obstrucción y algunos datos útiles para la orientación de las antenas, azimut magnético y geográfico para lograr un ajuste correcto con brújula y la orientación vertical, así:

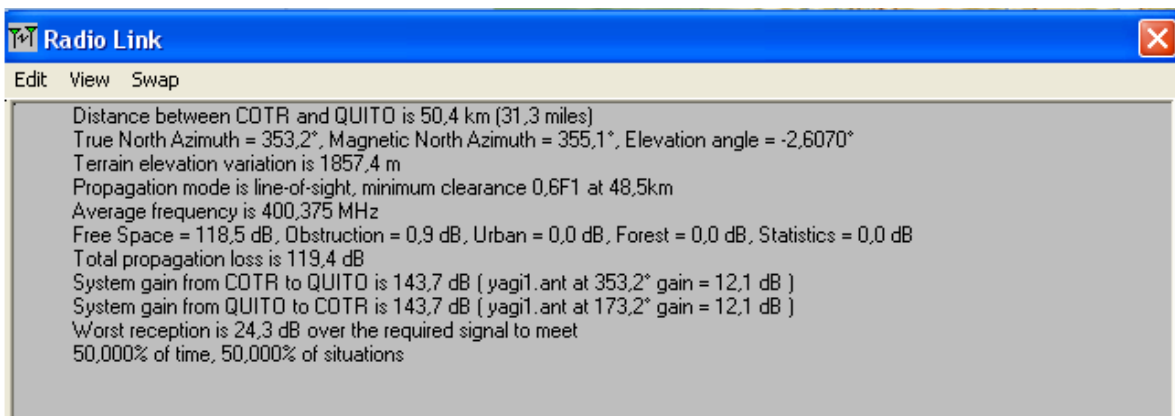


Figura 3.29 Resumen de las características del radioenlace COTR-QUITO

- Bajo la opción **View - Range** obtenemos información sobre el alcance del enlace y las áreas que pueden ser cubiertas o no. Se indica la ganancia del sistema (system gain =143,7), que no es mas que la suma de las pérdidas totales (pathloss=119,4dB) y el margen de umbral (Rx Relative=24,3dB).

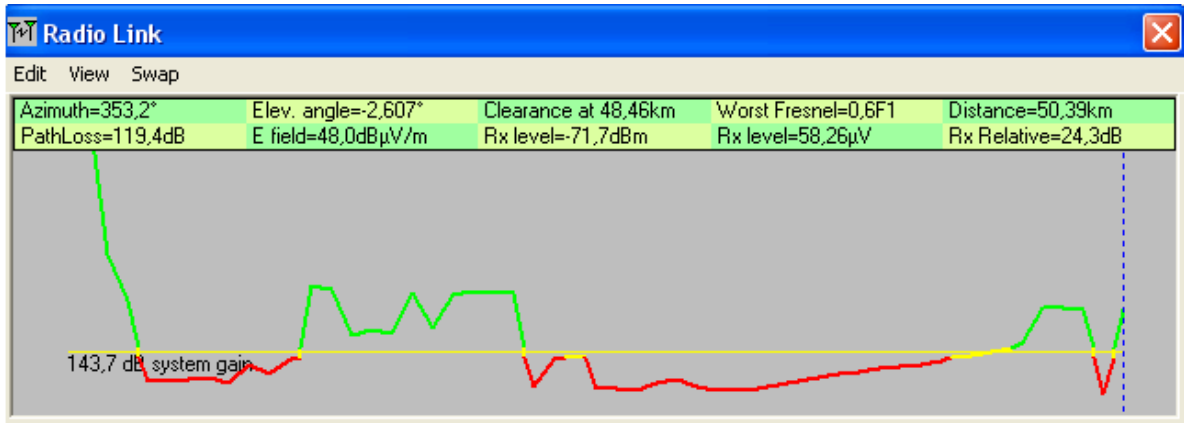


Figura 3.30 Ganancia del radioenlace COTR-QUITO

- Bajo la opción **View - Distribution**, observamos la distribución estadística del margen de umbral μ , así:

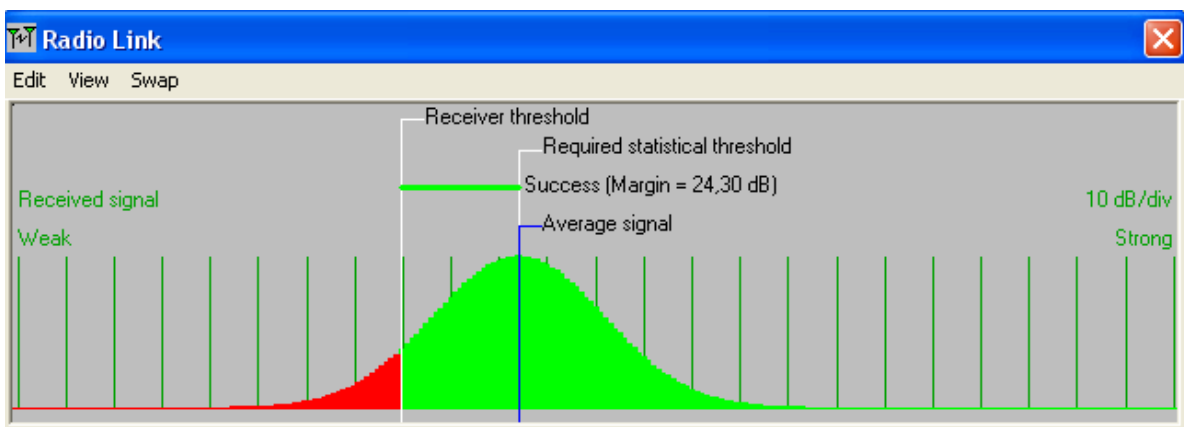


Figura 3.31 Distribución estadística del margen de umbral

3.5.3 COMPARACIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO TEÓRICO Y EL MODELO DE CÁLCULO DE UN RADIOENLACE UTILIZANDO EL SOFTWARE RADIO MOBILE.

A continuación se muestra la tabla 3.5 los datos obtenidos en el modelo de cálculo teórico y los datos obtenidos con la simulación del software Radio Mobile.

Parámetro	Modelo de cálculo teórico	Modelo de cálculo con Radio Mobile
Distancia de enlace "D" [Km]	50,38	50,39
Angulo de elevación COTR-QUITO [°]	-2,64	-2,61
Azimuth COTR-QUITO [°]	352,18	353,2
Azimuth QUITO-COTR [°]	173,18	173,2
Despeje "H _{des} " [m]	19,61	20,22
"H _{des} /R _{F1} "	0,54	0,5
Pérdidas en espacio libre "L _P " [dB]	118,5	118,5
Pérdidas por obstrucción "L _{D(v)} " [dB]	0,54	0,9
Potencia de recepción "P _r " [dBm]	-71,34	-71,7
Margen de umbral "Mu" [dB]	24,66	24,3
Potencia isotrópica efectiva irradiada "EIRP" [w]	6,46	6,46
Nivel de voltaje recibido en el receptor "V _r " [μV]	60,6	58,26
Intensidad de campo eléctrico "E" [dB(μV/m)]	48,45	48

Tabla 3.5. Comparación entre el modelo cálculo teórico y el modelo de cálculo con Radio Mobile.

Se concluye que los datos obtenidos en la simulación con el software Radio Mobile son muy cercanos a los valores obtenidos con el modelo de cálculo teórico, por lo que, para los demás radioenlaces será válida la utilización del software Radio Mobile.

3.6 DESCRIPCIÓN DE LOS ENLACES

En los gráficos que se presentan a continuación se muestra la información relevante acerca de todos los enlaces. Se muestran datos generales sobre los sitios, los códigos de las terminales, la longitud y latitud de cada sitio, así como la altura sobre el nivel del mar y la longitud del enlace.

Entre los datos relacionados con la transmisión están las frecuencias de transmisión y recepción en los sitios, pérdidas de propagación, potencias de transmisión y ganancias de las antenas.

Con la ayuda de la cartografía digitalizada se ubican los sitios para obtener una aproximación del perfil topográfico y de esta forma ubicar las antenas de transmisión para radioenlaces, a fin de que la potencia de recepción este por encima del nivel de sensibilidad del receptor.

Muchos de los cálculos necesarios para predecir el comportamiento y el desempeño de los radioenlaces, requieren de varias iteraciones un tanto dificultosas, por lo que es necesario recurrir al software Radio Mobile, que nos permite modelar y simular el desempeño de un radioenlace.

3.6.1 EQUIPOS QUE SE UTILIZARÁ EN LOS RADIOENLACES

Los equipos seleccionados para los diferentes radioenlaces deberán cumplir con los requerimientos impuestos en la tabla 3.6 y la tabla 3.7, así:

Radio transmisor / receptor

Banda de Frecuencia [MHz]	400
Rango de Frecuencia [MHz]	400 – 400.625 / 401 – 401.625
Ancho de Banda [KHz]	50
Capacidad [Kbps]	>128
Umbral de recepción [dBm]	*
Potencia de transmisión [dBm]	**
Modulación	16 / 32 / 64QAM

Tabla 3.6 Requerimientos técnicos para radio transmisor/receptor

* El umbral de recepción varía de una marca a otro, comprendido en un rango de -96 dBm a -102 dBm, siendo -96 dBm el valor típico.

** La potencia de transmisión varía de una marca a otra, dependiendo del tipo de modulación, esta potencia está comprendida en un rango de 29 dBm a 35 dBm. Cada equipo es capaz de controlar y variar la potencia de transmisión de acuerdo a las necesidades del radioenlace (principalmente por la distancia). Todo encaminado a mantener un margen lo suficientemente alto entre la señal recibida y el umbral del receptor

Antena

Frecuencia [Mhz]	400 - 420
Polarización	Vertical
Tipo	Yagi
Ganancia [dBi]	10, 12.1
Relación frente /espalda [dB]	15 – 17
Ancho del lóbulo [grados]	44
VSWR	1 – 1.5
Impedancia nominal [Ω]	50

Tabla 3.7 Requerimientos técnicos para antenas

3.6.2 RED IGEPN-1

Esta red consta de los siguientes enlaces: Tena-Calvario, Calvario-Retu, Retu-Ilinizas, Ilinizas-Monjas y Monjas-Atacazo. Estos se caracterizan por tener un terreno montañoso y rocoso, mientras que el enlace que va desde Atacazo a Quito consta de un terreno rocoso, montañoso y urbano.

Todas las estaciones serán alimentadas por paneles solares y fuentes de DC de 12 [V] con un sistema de Back Up con baterías de 75 [Ah] con gell cell.

Los sitios donde se ubicarán los radios digitales, cuentan con caminos de acceso, lo que facilita la instalación de equipos necesarios para la comunicación. Las torres de soporte con que cuenta el Instituto Geofísico en los sitios comprenden alturas de 8 a 15 m.

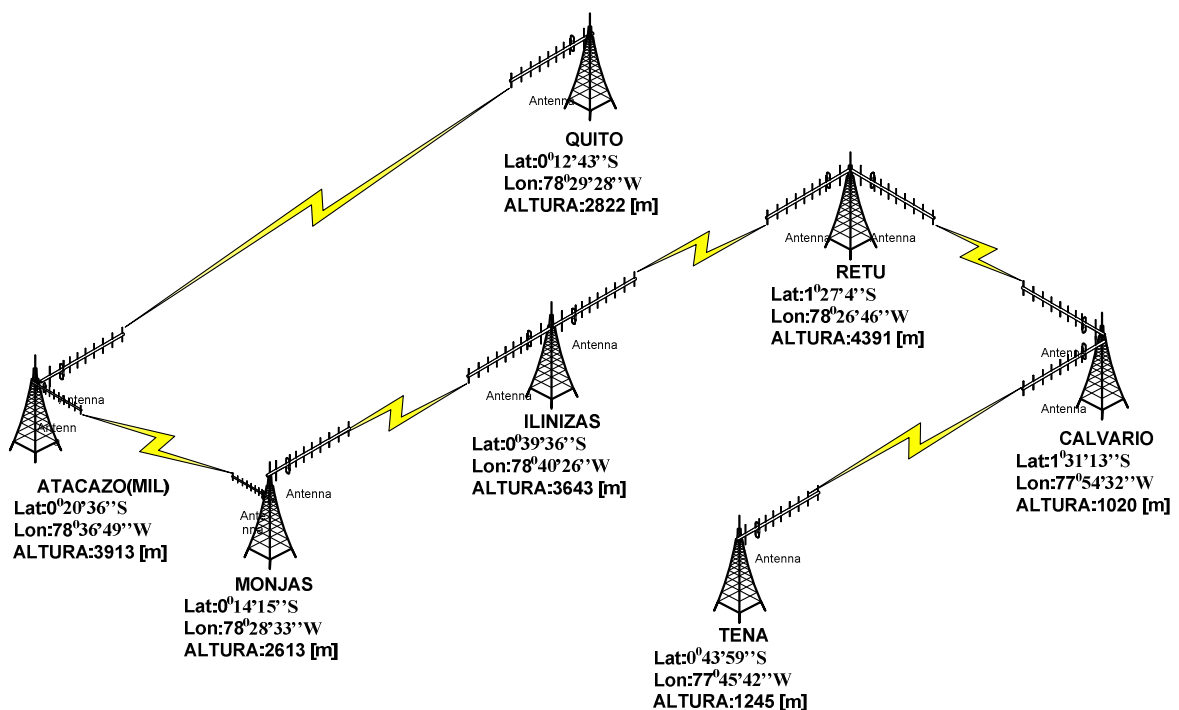


Figura 3.32 Red IGEPN-1

3.6.2.1 Enlace TENA-CALVARIO

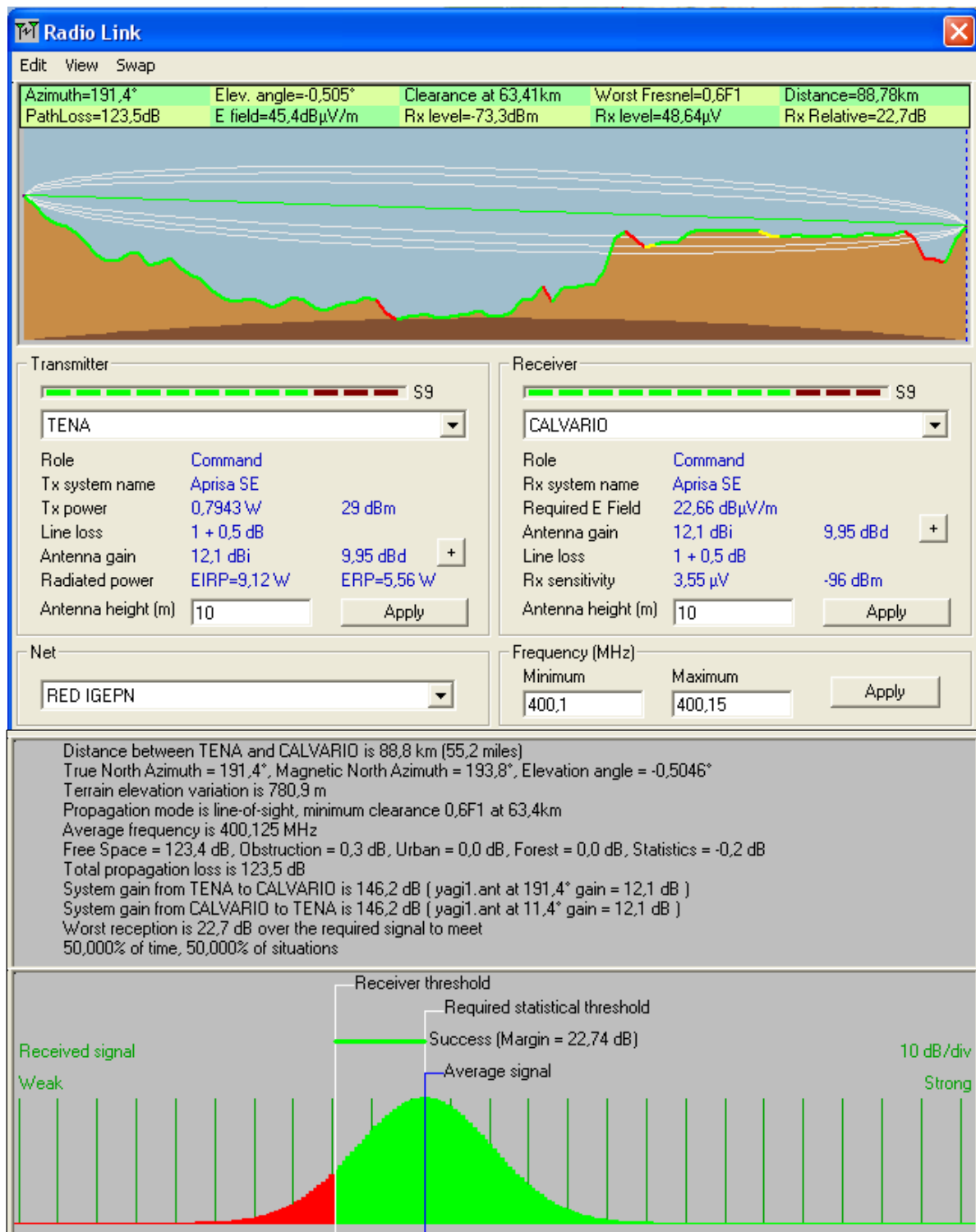


Figura 3.33 Enlace Tena- Calvario

3.6.2.2 Enlace CALVARIO-RETU

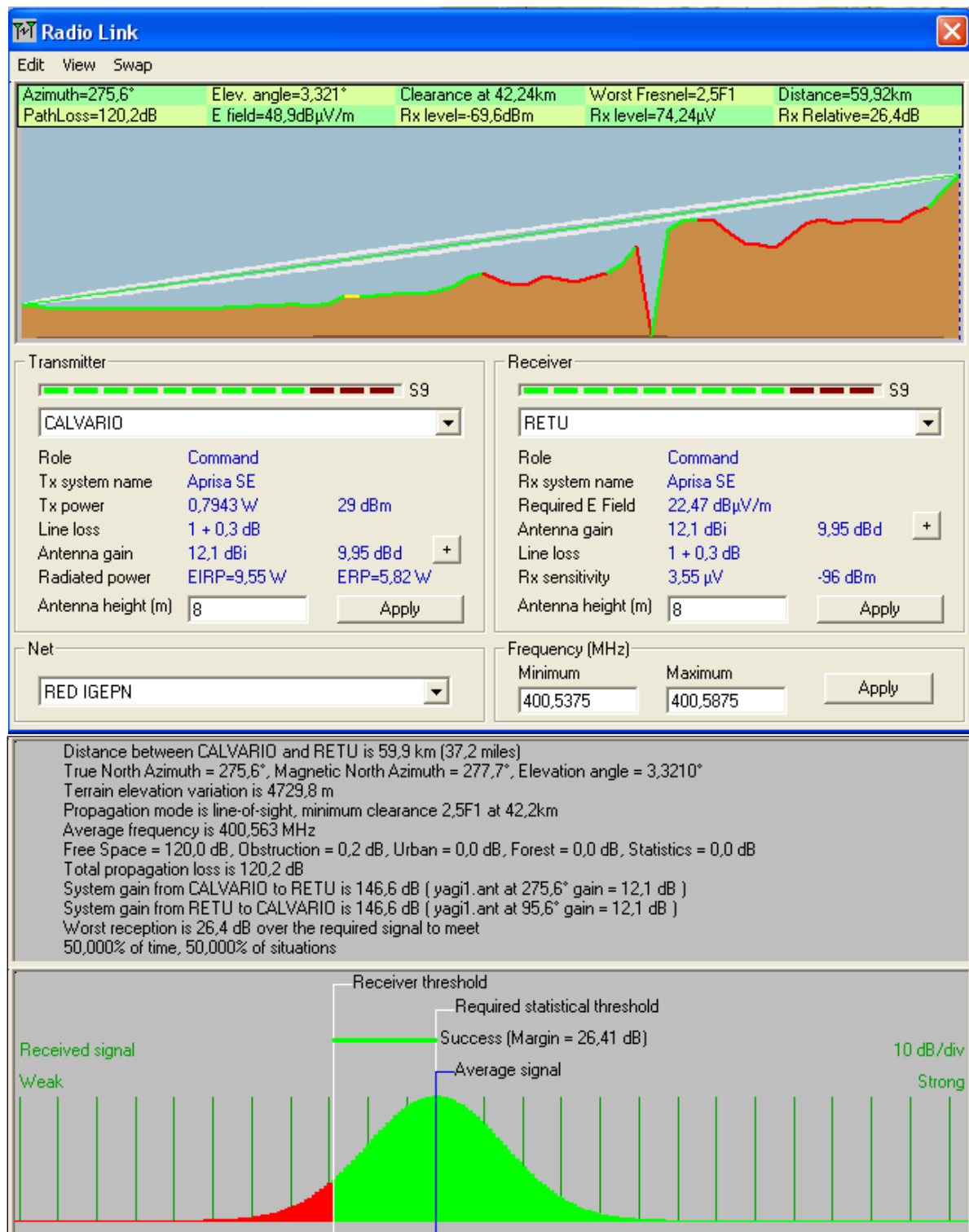


Figura 3.34 Enlace CALVARIO-RETU

3.6.2.3 Enlace RETU-ILINIZAS

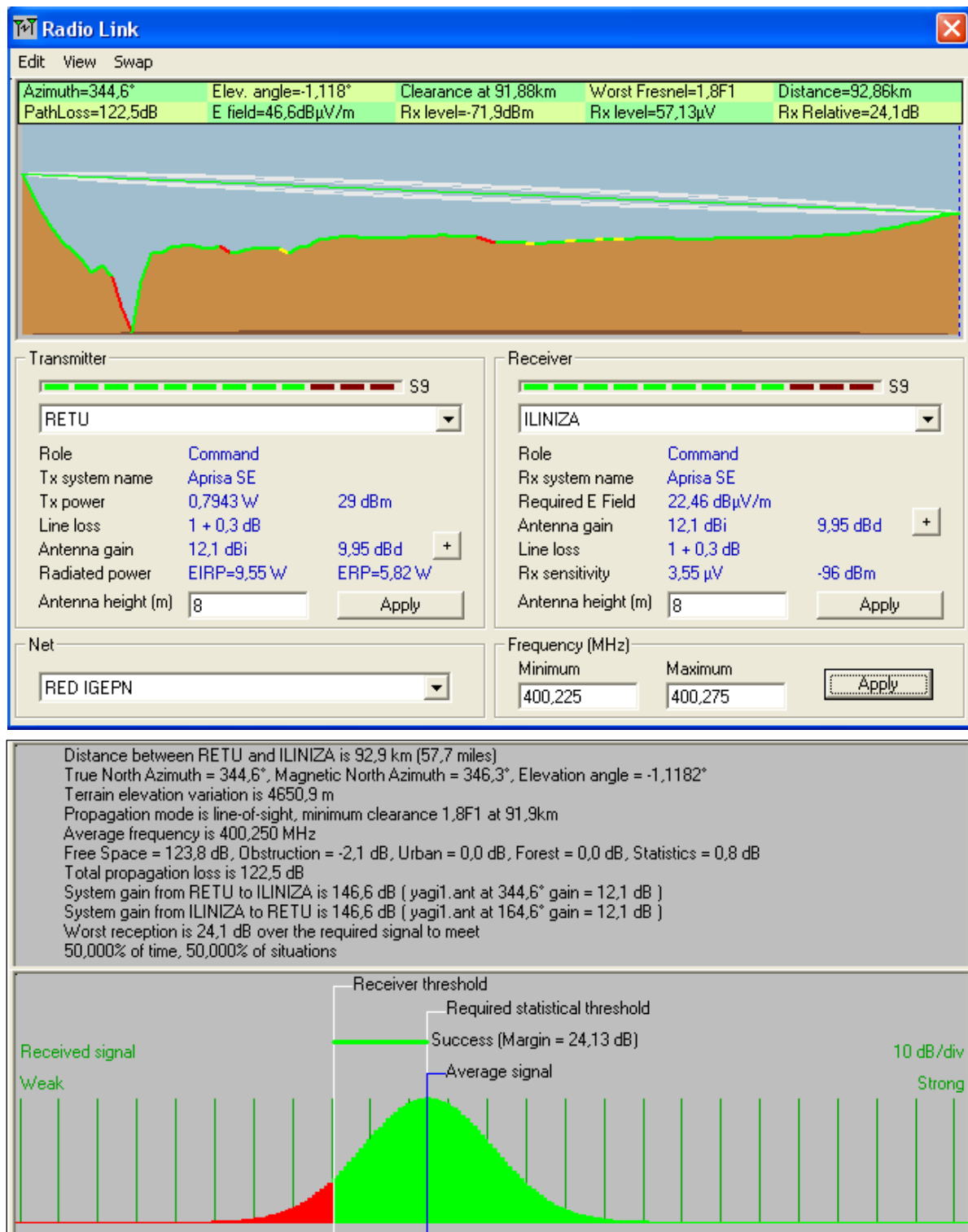


Figura 3.35 Enlace RETU-ILINIZAS

3.6.2.4 Enlace ILINIZAS-MONJAS

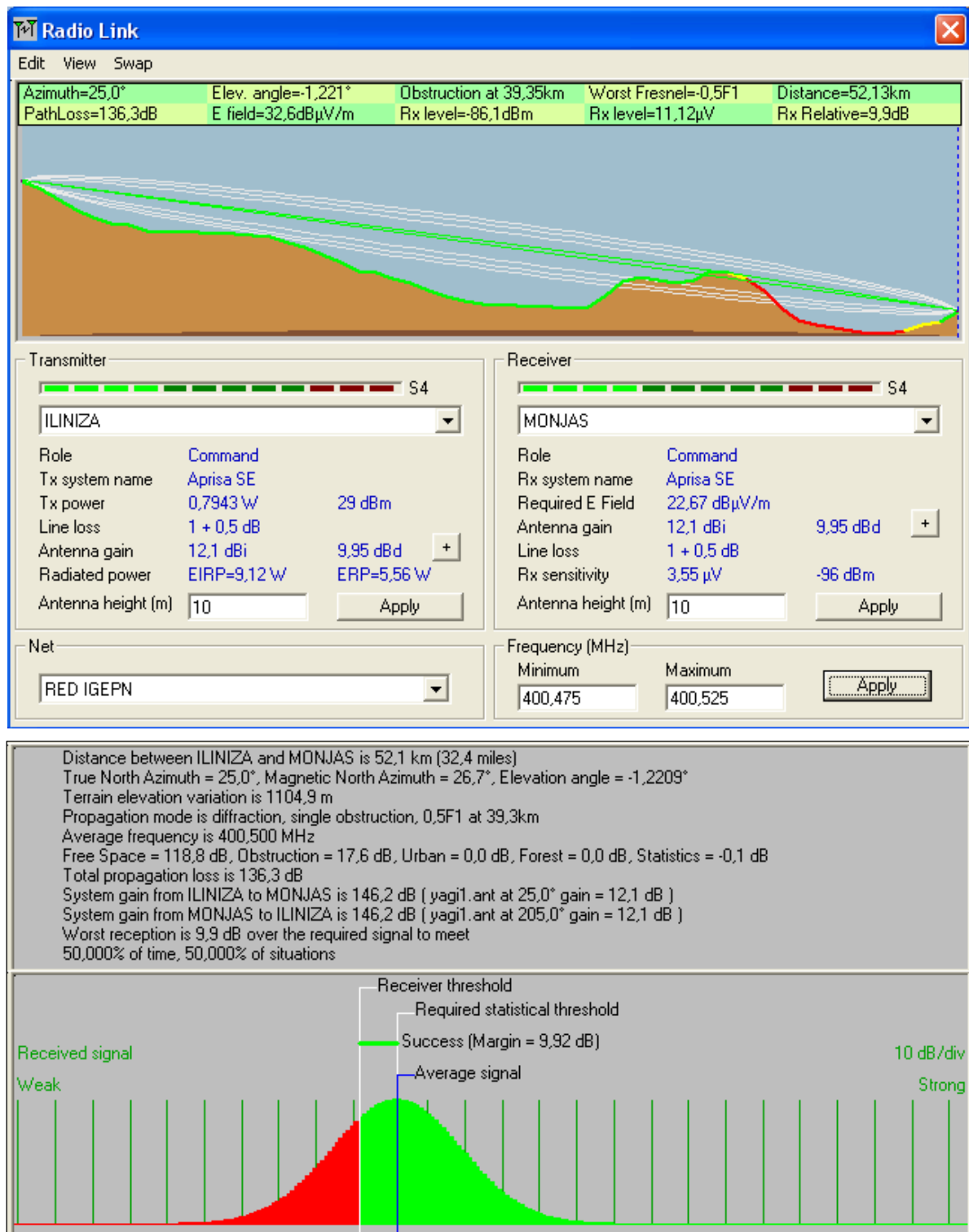


Figura 3.36 Enlace ILINIZA-MONJAS

3.6.2.5 Enlace MONJAS-ATACAZO(MIL)

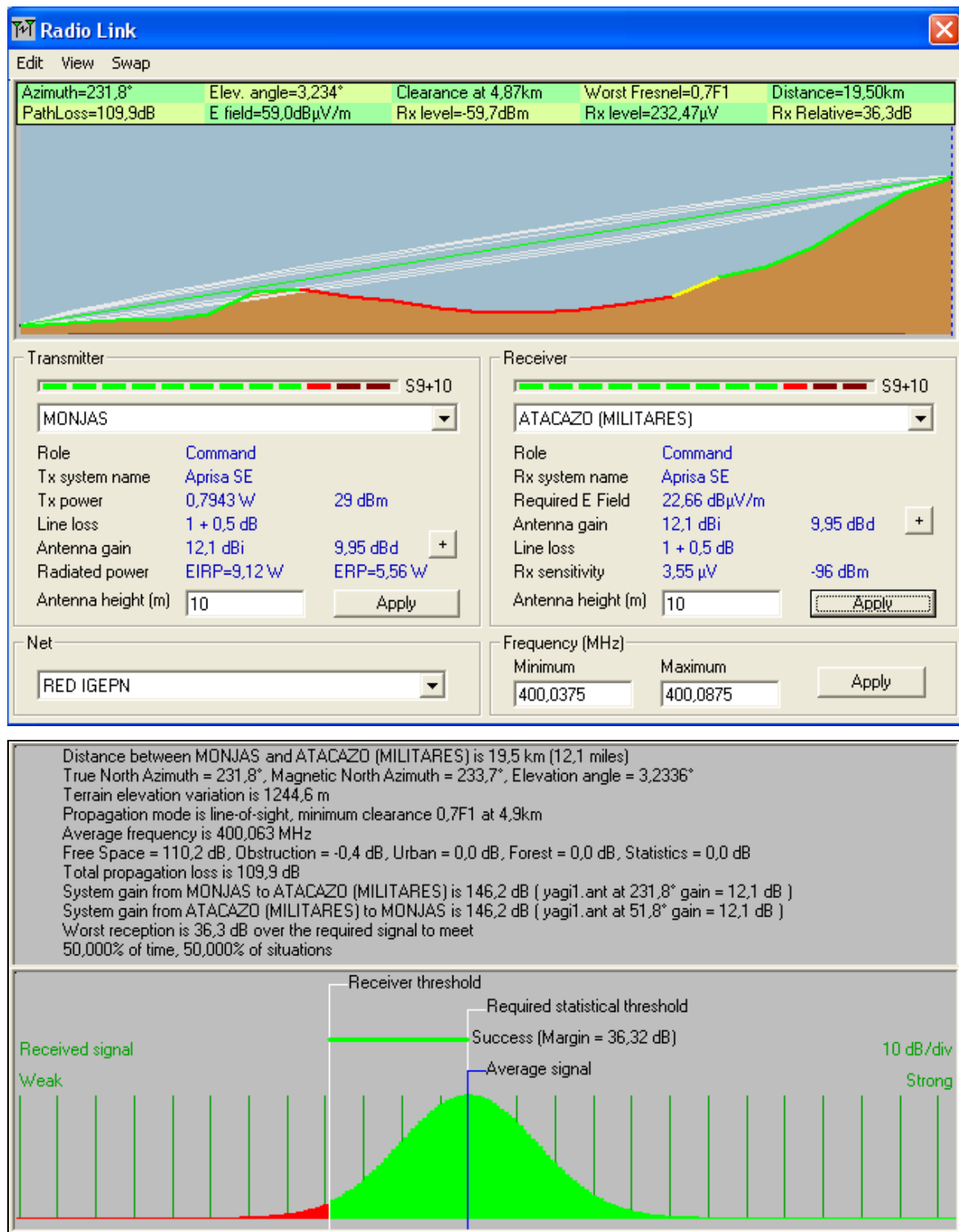


Figura 3.37 Enlace MONJAS-ATACAZO(MIL)

3.6.2.6 Enlace ATACAZO(MIL)-QUITO

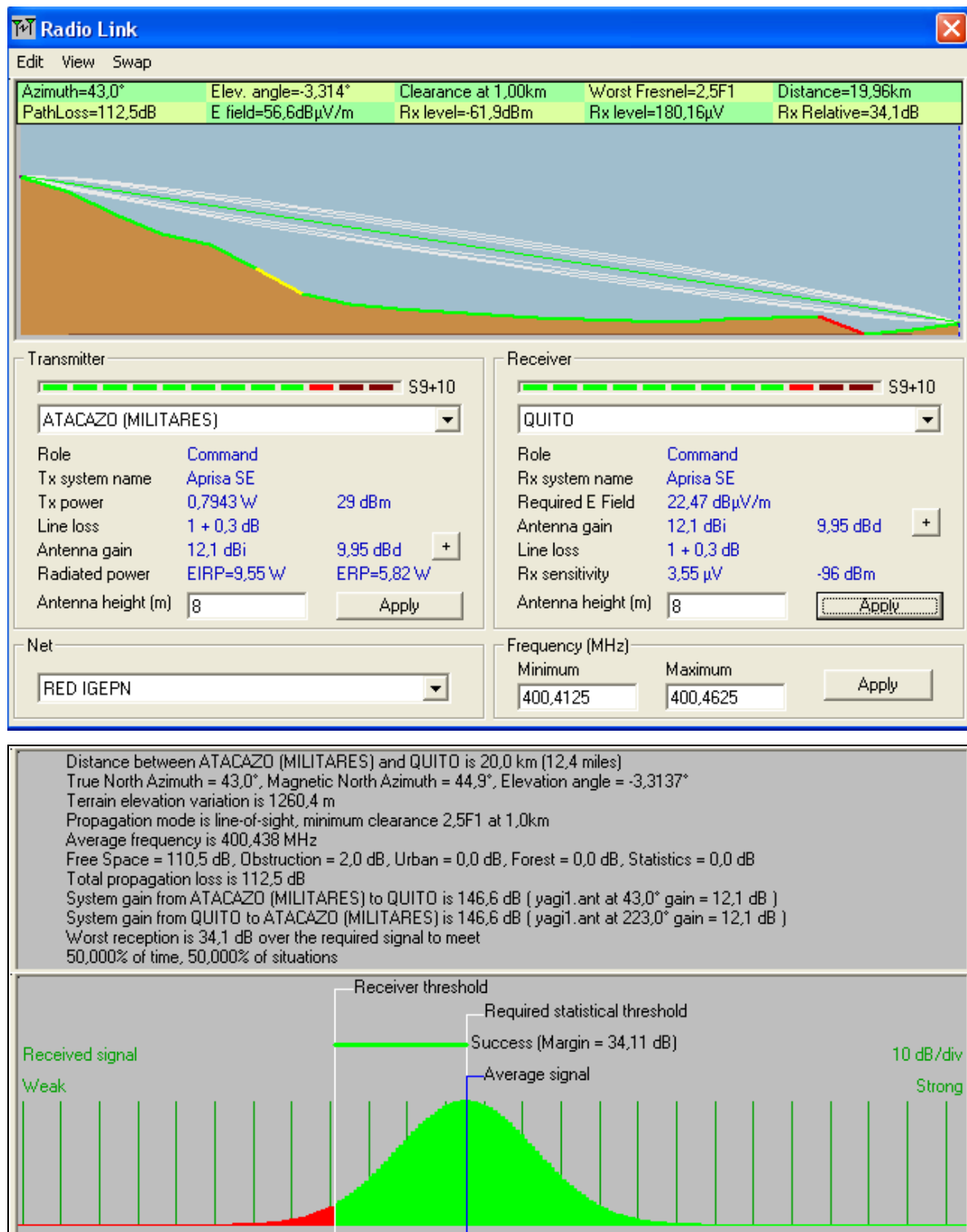


Figura 3.38 Enlace ATACAZO(MIL)-QUITO

3.6.2.7 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-1

A continuación se detallan los parámetros más importantes de los enlaces de la red IGEPN-1.

Parámetro	TENA-CALVARIO	CALVARIO-RETU	RETU-ILINIZA	ILINIZA-MONJAS	MONJAS-ATACAZO(MIL)	ATACAZO(MIL)-QUITO
Distancia "D" [Km]	88,78	59,92	92,86	52,13	19,5	19,96
Angulo de elevación [°]	-0,505	3,321	-1,118	-1,221	3,228	-3,314
Angulo Azimuth [°]	191,4	275,6	344,6	25	231,8	43
Potencia de transmisión "T _R " [dBm]	29	29	29	29	15	15
Margen de umbral "Mu" [dB]	22,7	26,4	24,1	9,9	22,5	20,1
Potencia de recepción "P _r " [dBm]	-73,3	-69,6	-71,9	-86,1	-73,5	-75,9
Campo eléctrico "E" [dB(μV/m)]	45,4	48,9	46,6	32,6	44,9	42,5
Altura de antenas [m]	10 y 10	8 y 8	8 y 8	10 y 10	10 y 8	8 y 8
Frecuencias min y máx [Mhz]	400,1 y 400,15	400,5375 y 400,275	400,225 y 400,275	400,475 y 400,525	400,0375 y 400,0875	400,1625 y 400,2125
Pérdidas en espacio libre "Lp" [dB]	123,4	120	123,8	118,8	110,2	110,4
Pérdidas por obstrucción [dB]	0,3	0,2	-2,1	17,6	-0,3	2,1
Worst Fresnel	0,6F1 a 63,41 Km	2,5F1 a 42,2 Km	1,8F1 a 91,9 Km	0,5F1 a 39,3 Km	0,7F1 a 4,9 Km	2,5F1 a 1 Km
EIRP [W]	9,12	9,55	9,55	9,12	0,36	0,38
Pérdidas en líneas [dB]	3	2,6	2,6	3	2,8	2,8

Tabla 3.8 Parámetros de la red IGEPN-1

3.6.3 RED IGEPN-2

Esta red consta de los siguientes enlaces: Run-Loma Grande, Juive-Loma Grande, Loma Grande-Retu, Retu-Ilinizas, Ilinizas-Monjas y Monjas-Atacazo poseen un terreno montañoso y rocoso, mientras que el enlace que va desde Atacazo a Quito consta de un terreno rocoso, montañoso y urbano.

Todas las estaciones serán alimentadas por paneles solares y fuentes de DC de 12 [V] con un sistema de Back Up con baterías de 75 [Ah] con gell cell.

Los sitios donde se ubicarán los radios digitales, cuentan con caminos de acceso, lo que facilita la instalación de equipos necesarios para la comunicación. Las torres de soporte con que cuenta el Instituto Geofísico en los sitios comprenden alturas de 8 a 15 m.

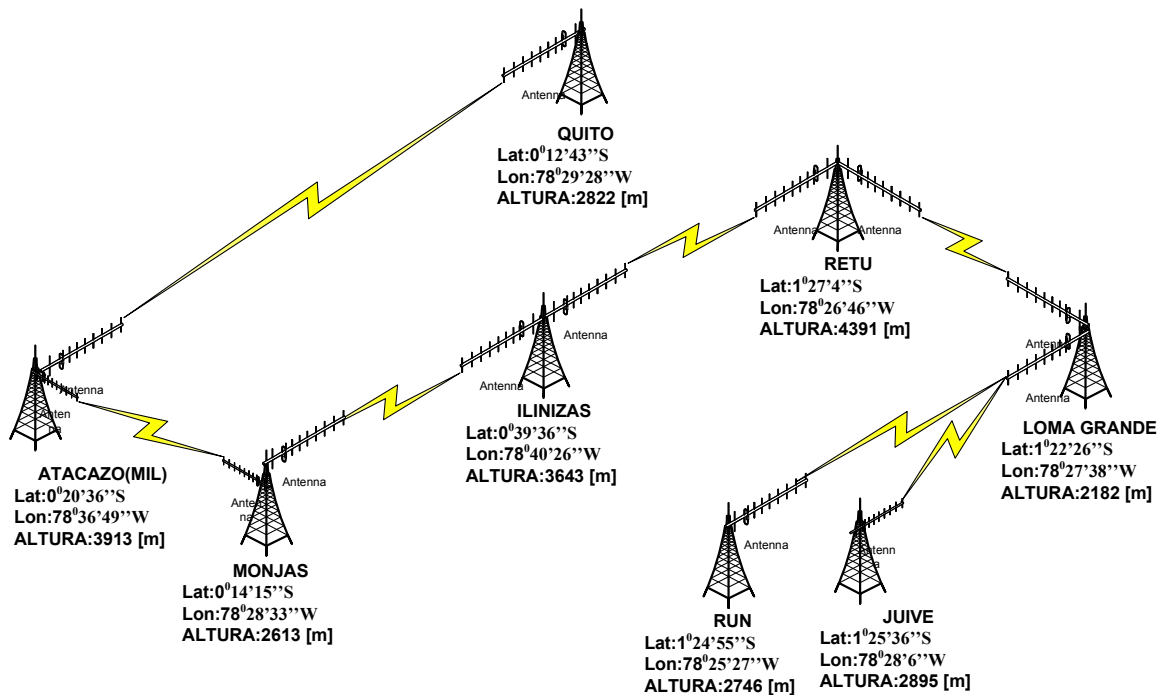


Figura 3.39 Red IGEPN-2

3.6.3.1 Enlace RUN- LOMA GRANDE

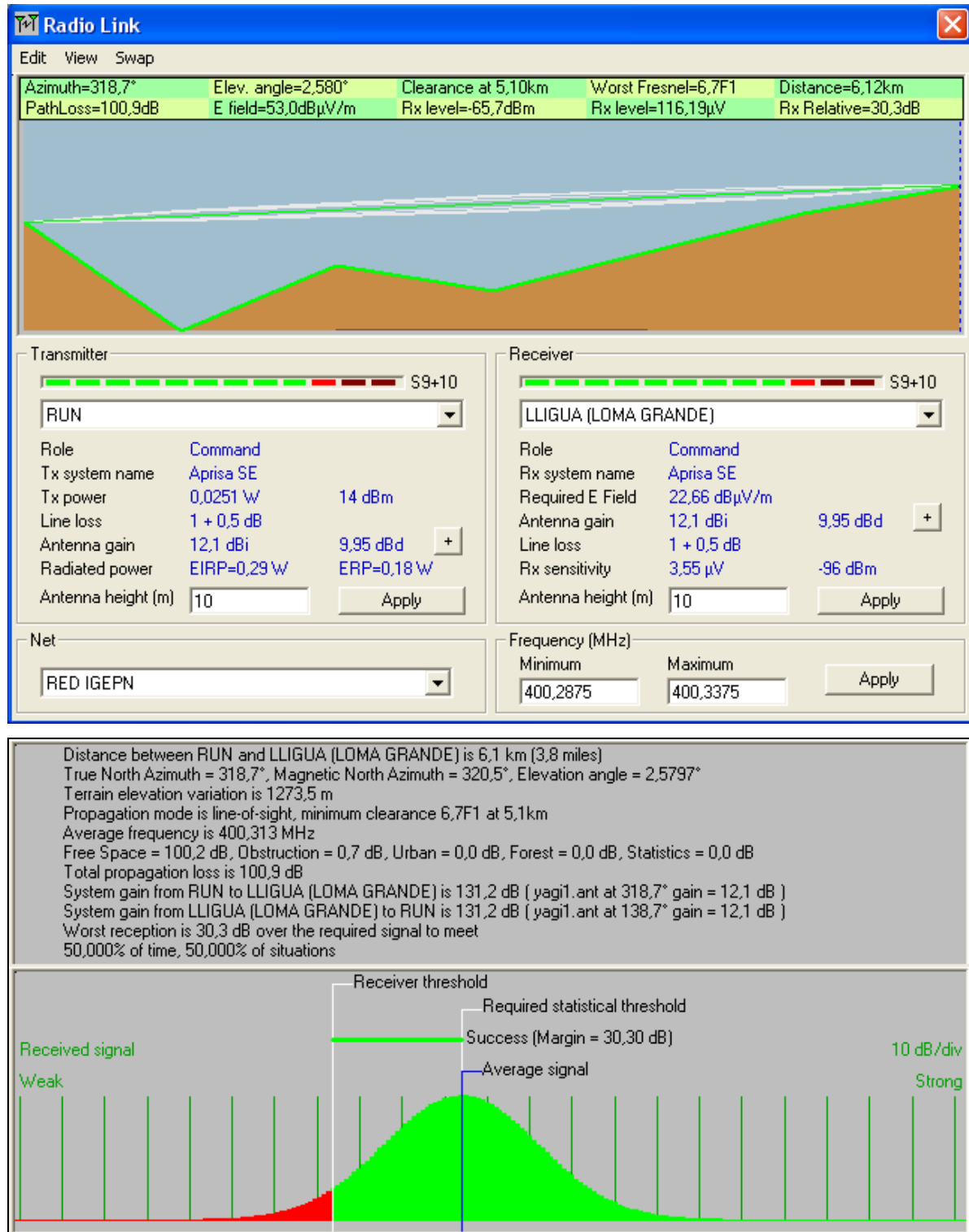


Figura 3.40 Enlace RUN-LOMA GRANDE

3.6.3.2 Enlace JUIVE- LOMA GRANDE

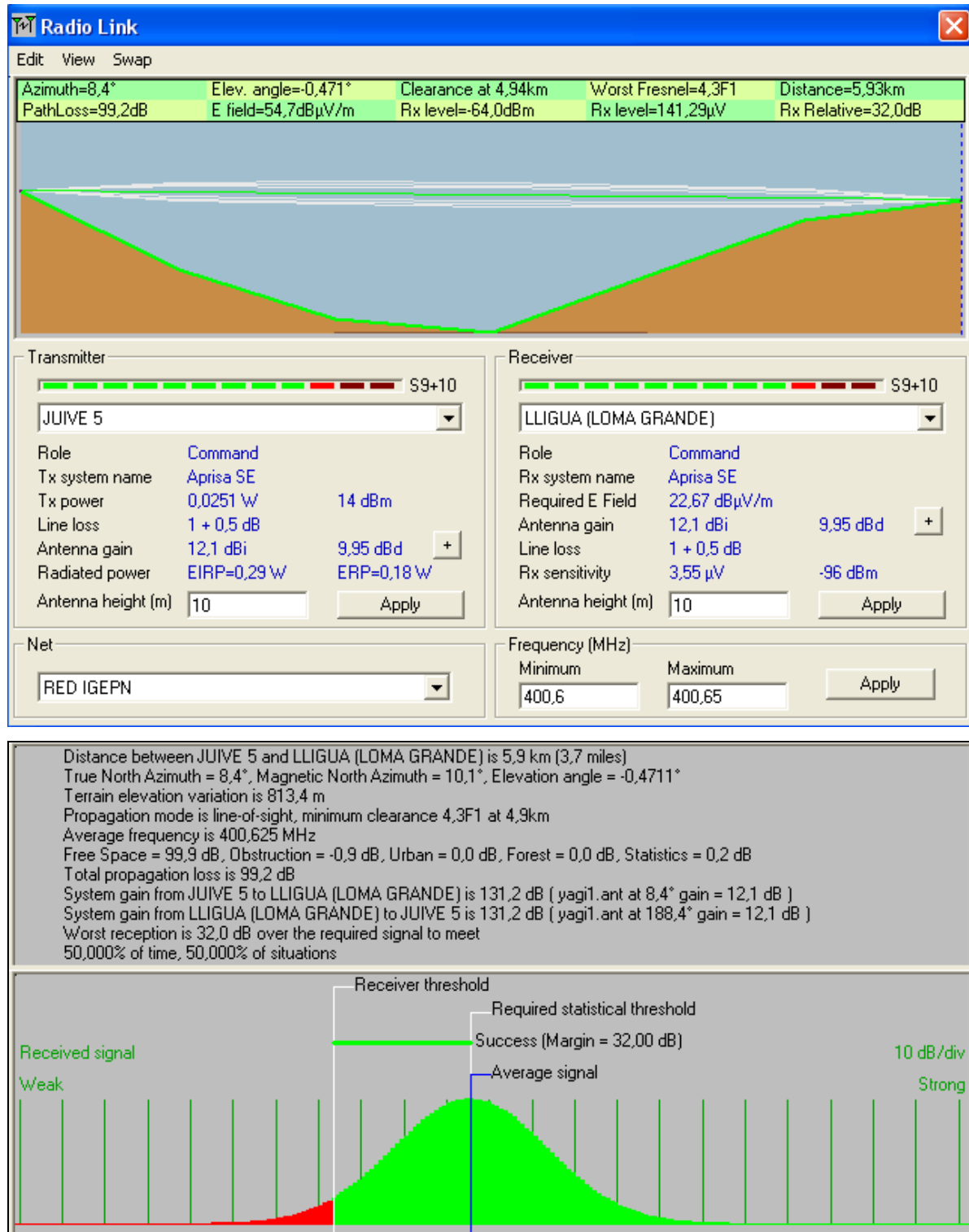


Figura 3.41 Enlace JUIVE-LOMA GRANDE

3.6.3.3 Enlace RETU- LOMA GRANDE

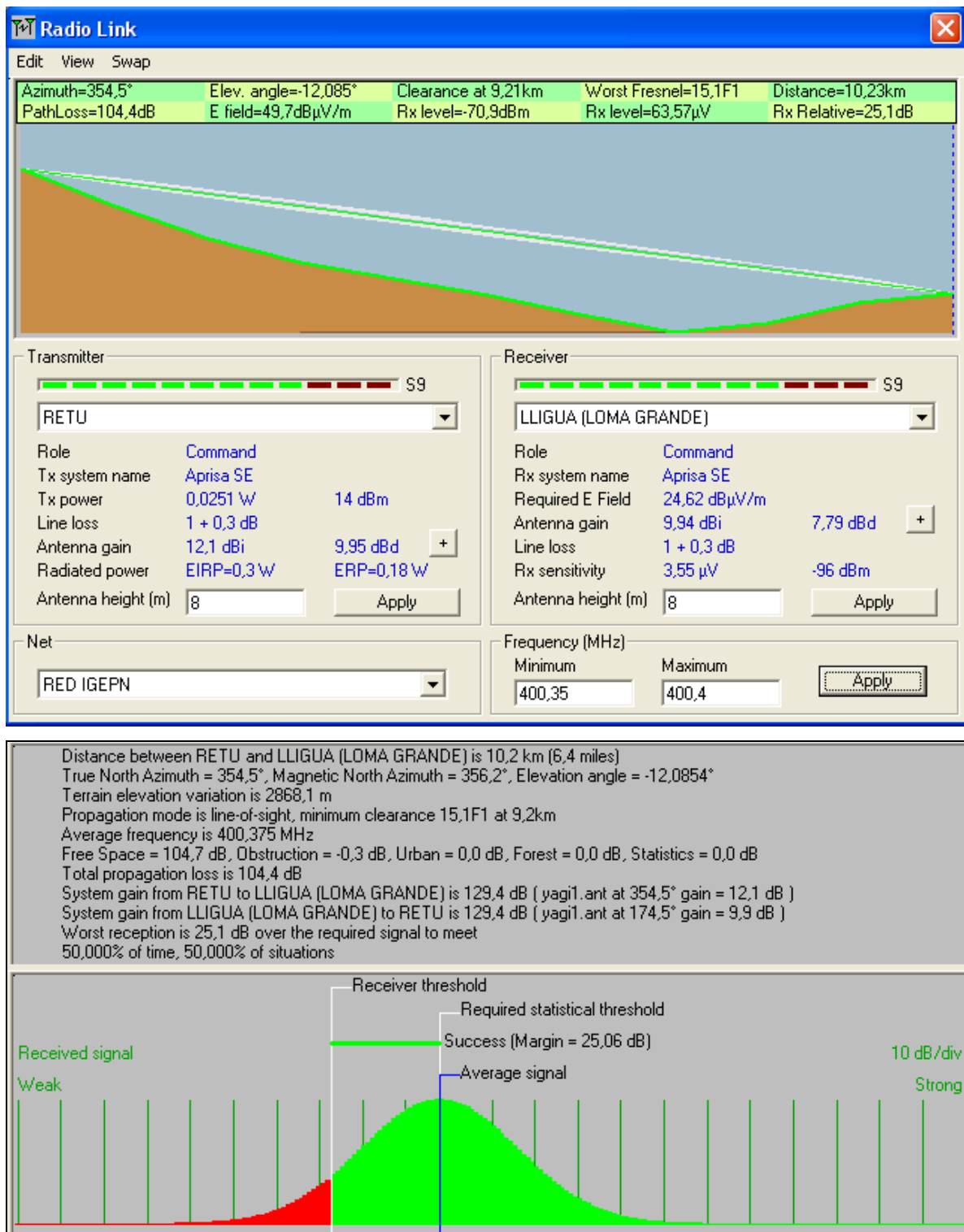


Figura 3.42 Enlace RETU-LOMA GRANDE

3.6.3.4 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-2

A continuación se detallan los parámetros más importantes de los enlaces de la red IGEPN-2

Parámetro	RUN –LOMA GRANDE	JUIVE – LOMA GRANDE	RETU –LOMA GRANDE
Distancia “D” [Km]	6,12	5,93	10,23
Angulo de elevación [°]	2,580	-0,471	-12,085
Angulo Azimuth [°]	318,7	8,4	354,5
Potencia de transmisión “T _R ” [dBm]	14	14	14
Margen de umbral “Mu” [dB]	30,3	32	25,1
Potencia de recepción “P _r ” [dBm]	-65,7	-64	-70,9
Campo eléctrico “E” [dB(μV/m)]	53	54,7	49,7
Altura de antenas [m]	10 y 10	10 y 10	8 y 8
Frecuencias min y máx [Mhz]	400,2875 y 400,3375	400,60 y 400, 65	400,35 y 400,4
Pérdidas en espacio libre “L _p ” [dB]	100,2	99,9	104,7
Pérdidas por obstrucción [dB]	0,7	-0,9	-0,3
Worst Fresnel	6,7F ₁ a 5,a Km	4,3F ₁ a 4,9 Km	15,1F ₁ a 9,21 Km
EIRP [W]	0,29	0,29	0,3
Pérdidas en líneas [dB]	3	3	2,6

Tabla 3.9 Parámetros de la red IGEPN-2

3.6.4 RED IGEPN-3.

El enlace que va desde el Palora-Atacazo, OVT-Atacazo y Ulba-Atacazo se caracteriza por tener un terreno montañoso y rocoso, mientras que el enlace que va desde Atacazo-Quito consta de un terreno rocoso, montañoso y urbano.

Todas las estaciones serán alimentadas por paneles solares y fuentes de DC de 12 [V] con un sistema de Back Up con baterías de 75 [Ah] con gell cell.

Los sitios donde se ubicarán los radios digitales, cuentan con caminos de acceso, lo que facilita la instalación de equipos necesarios para la comunicación. Las torres de soporte con que cuenta el Instituto Geofísico en los sitios comprenden alturas de 8 a 15 m.

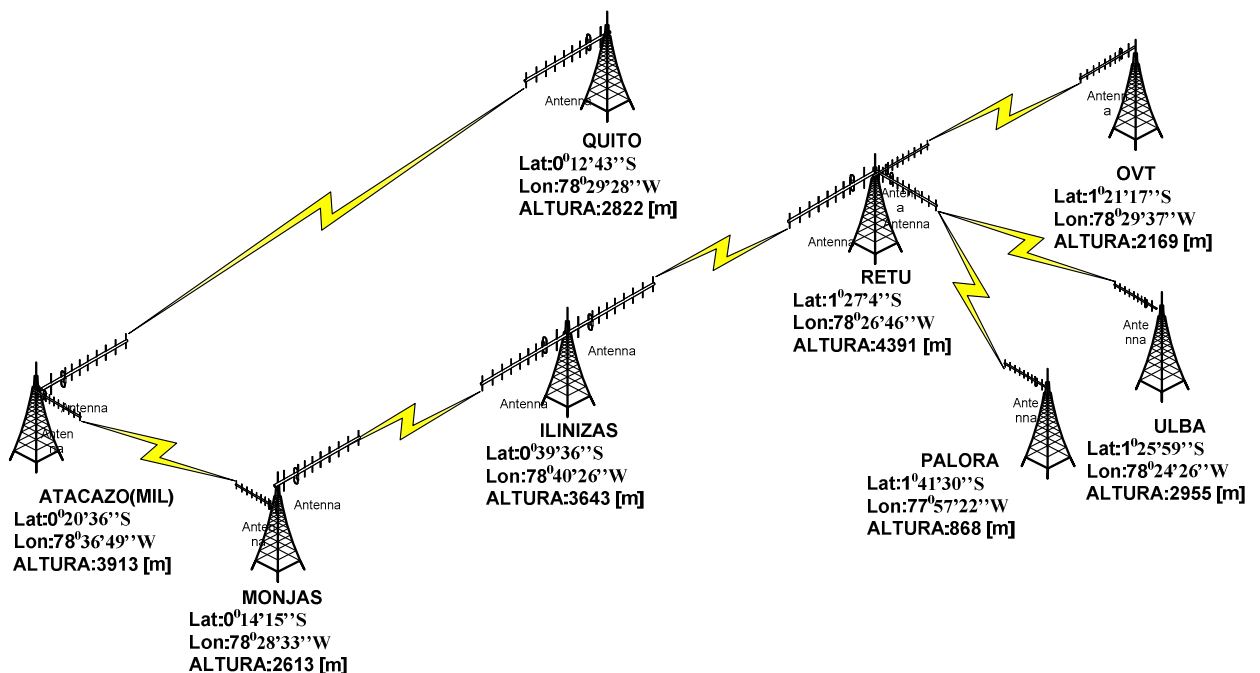


Figura 3.43 RED IGEPN-3

3.6.4.1 Enlace PALORA - RETU.

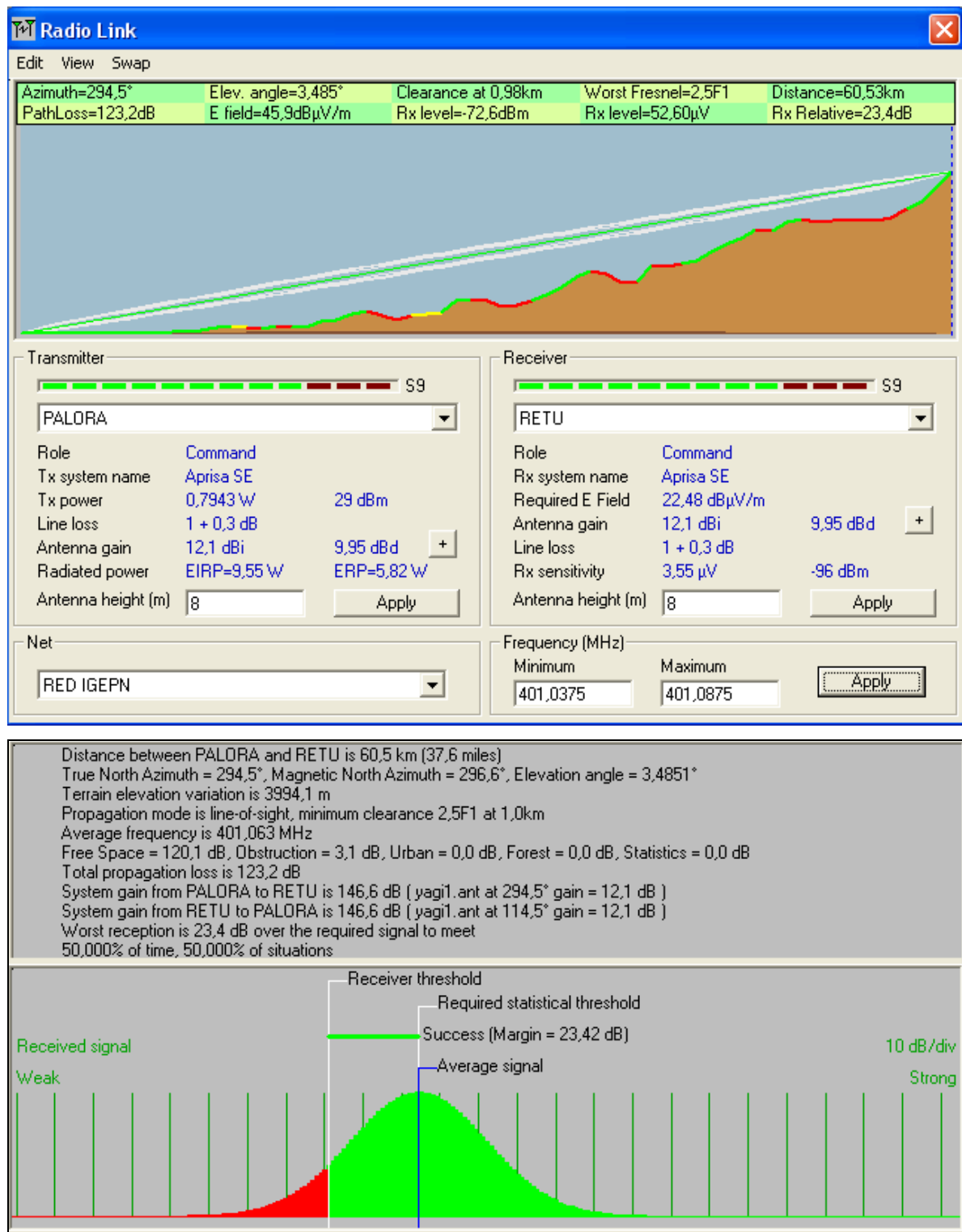


Figura 3.44 Enlace PALORA -RETU

3.6.4.2 Enlace ULBA - RETU

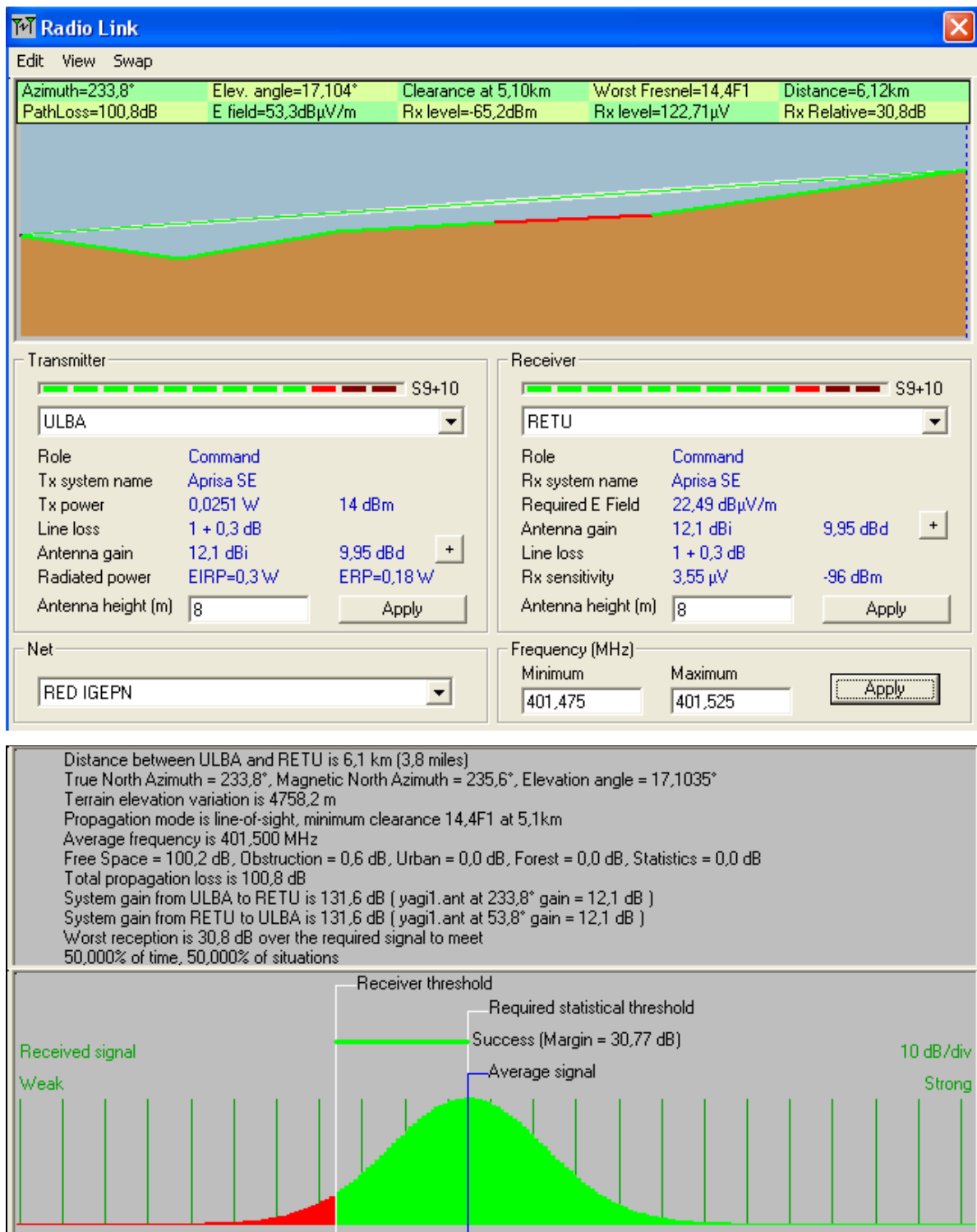


Figura 3.45 Enlace ULBA -RETU

3.6.4.3 Enlace OVT - RETU

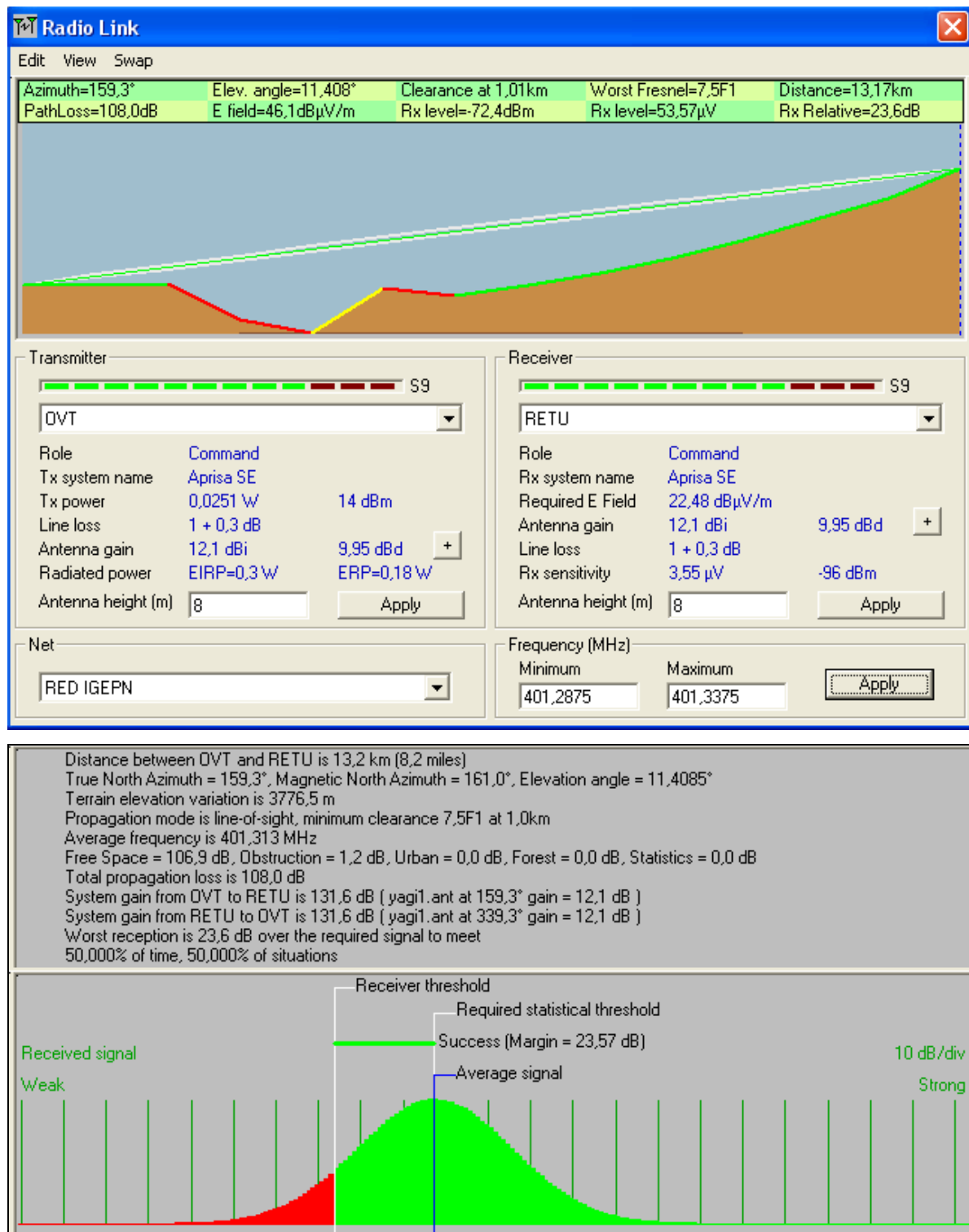


Figura 3.46 Enlace OVT -RETU

3.6.4.4 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-3

A continuación se detallan los parámetros más importantes de los enlaces de la red IGEPN-3

Parámetro	PALORA - RETU	ULBA - RETU	OVT - RETU
Distancia "D" [Km]	60,53	6,12	13,17
Angulo de elevación [°]	3,485	17,104	11,408
Angulo Azimuth [°]	294,5	233,8	199,3
Potencia de transmisión "T _R " [dBm]	29	14	14
Margen de umbral "Mu" [dB]	23,4	30,8	23,6
Potencia de recepción "P _r " [dBm]	-72,6	-65,2	-72,4
Campo eléctrico "E" [dB(μV/m)]	45,9	53,3	46,1
Altura de antenas [m]	8 Y 8	8 y 8	8 y 8
Frecuencias min y máx [Mhz]	401,0375 y 401,0875	401,475 y 401,525	401,2875 y 401,3375
Pérdidas en espacio libre "L _p " [dB]	120,1	100,2	106,9
Pérdidas por obstrucción [dB]	3,1	0,6	1,2
Worst Fresnel	2,5F ₁ a 1Km	14,4F ₁ a 5,1Km	7,5F ₁ a 1Km
EIRP [W]	9,55	0,3	0,3
Pérdidas en líneas [dB]	2,6	2,6	2,6

Tabla 3.10 Parámetros de la red IGEPN-3

3.6.5 RED IGEPN-4

La red IGEPN-4, consta de los siguientes enlaces: Cami-Ilinizas, Nasa-Ilinizas, Ilinizas-Monjas y Monjas-Atacazo, poseen un terreno montañoso y rocoso, mientras que el enlace que va desde Atacazo-Quito consta de un terreno rocoso, montañoso y urbano.

Todas las estaciones serán alimentadas por paneles solares y fuentes de DC de 12 [V] con un sistema de Back Up con baterías de 75 [Ah] con gell cell.

Los sitios donde se ubicarán los radios digitales, cuentan con caminos de acceso, lo que facilita la instalación de equipos necesarios para la comunicación. Las torres de soporte con que cuenta el Instituto Geofísico en los sitios comprenden alturas de 8 a 15 m.

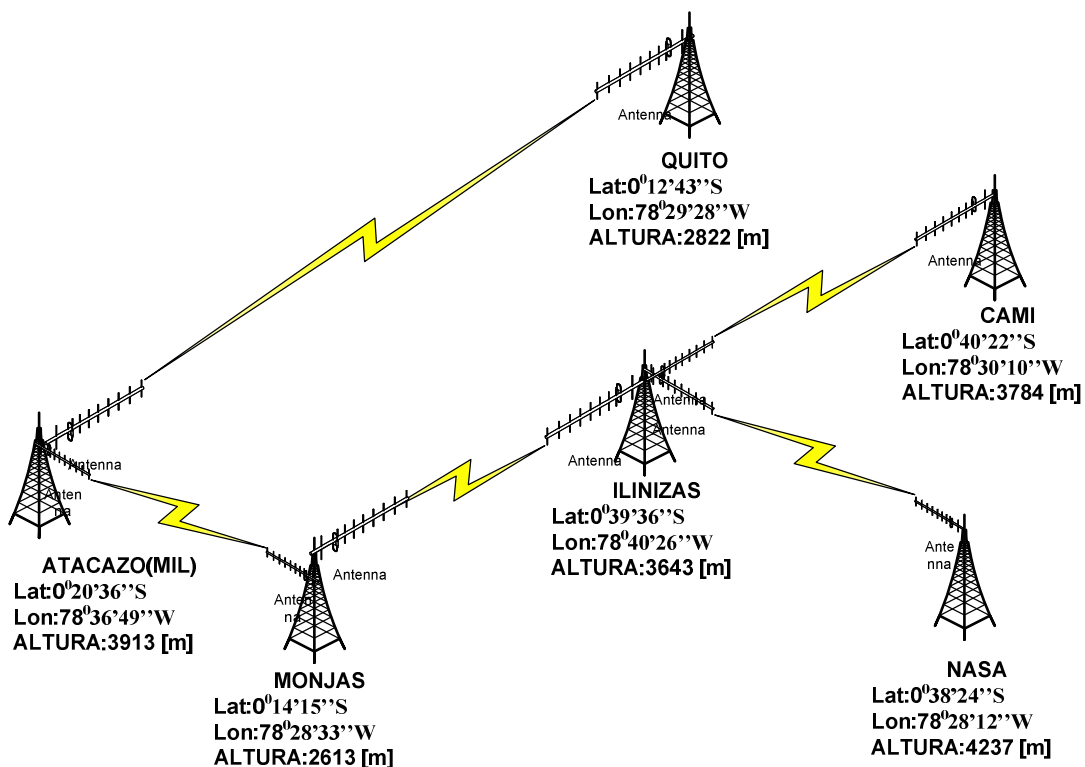


Figura 3.47 Red IGEPN-4

3.6.5.1 Enlace NASA - ILINIZA.

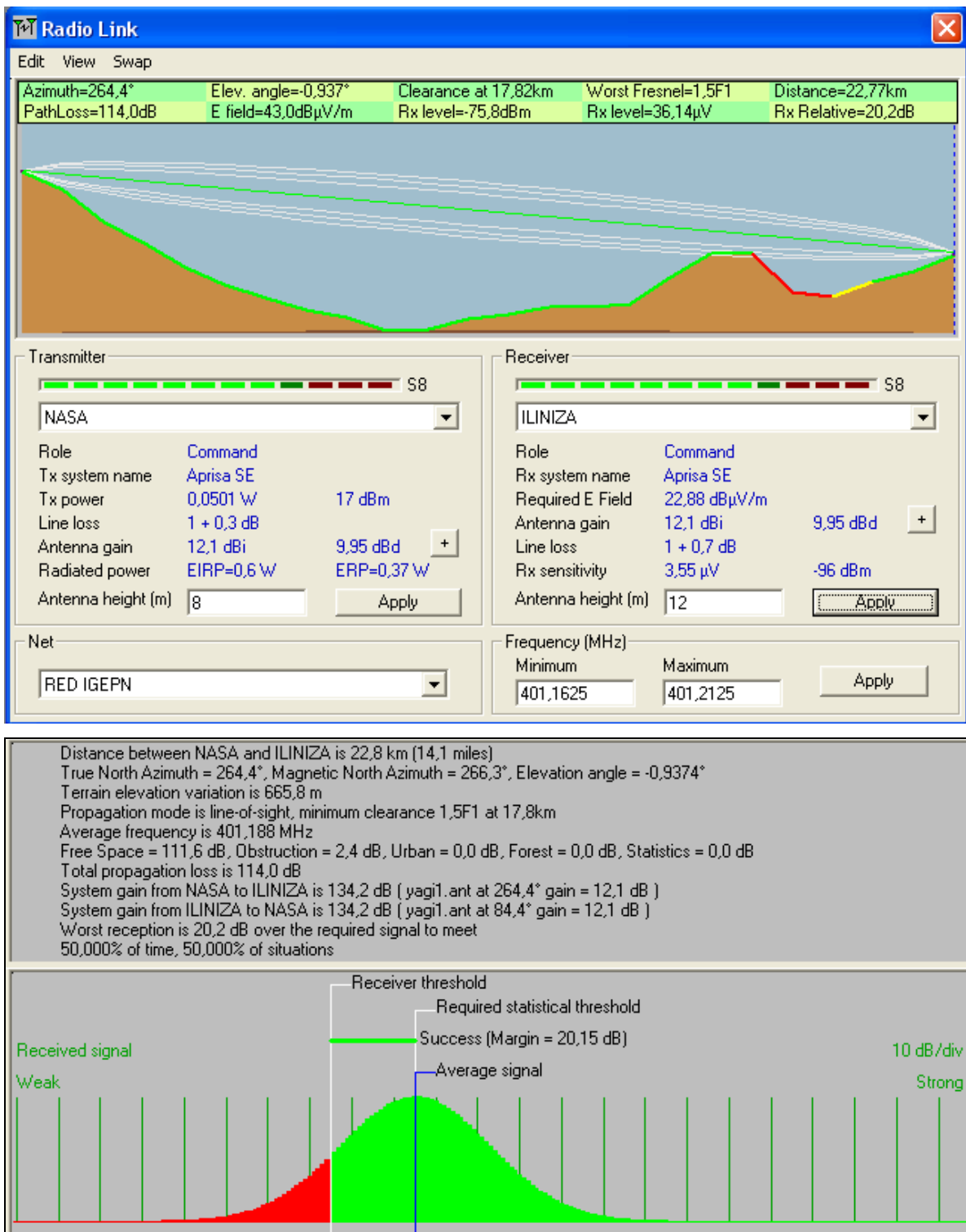


Figura 3.48 Enlace NASA - ILINIZA

3.6.5.2 Enlace CAMI - ILINIZA.

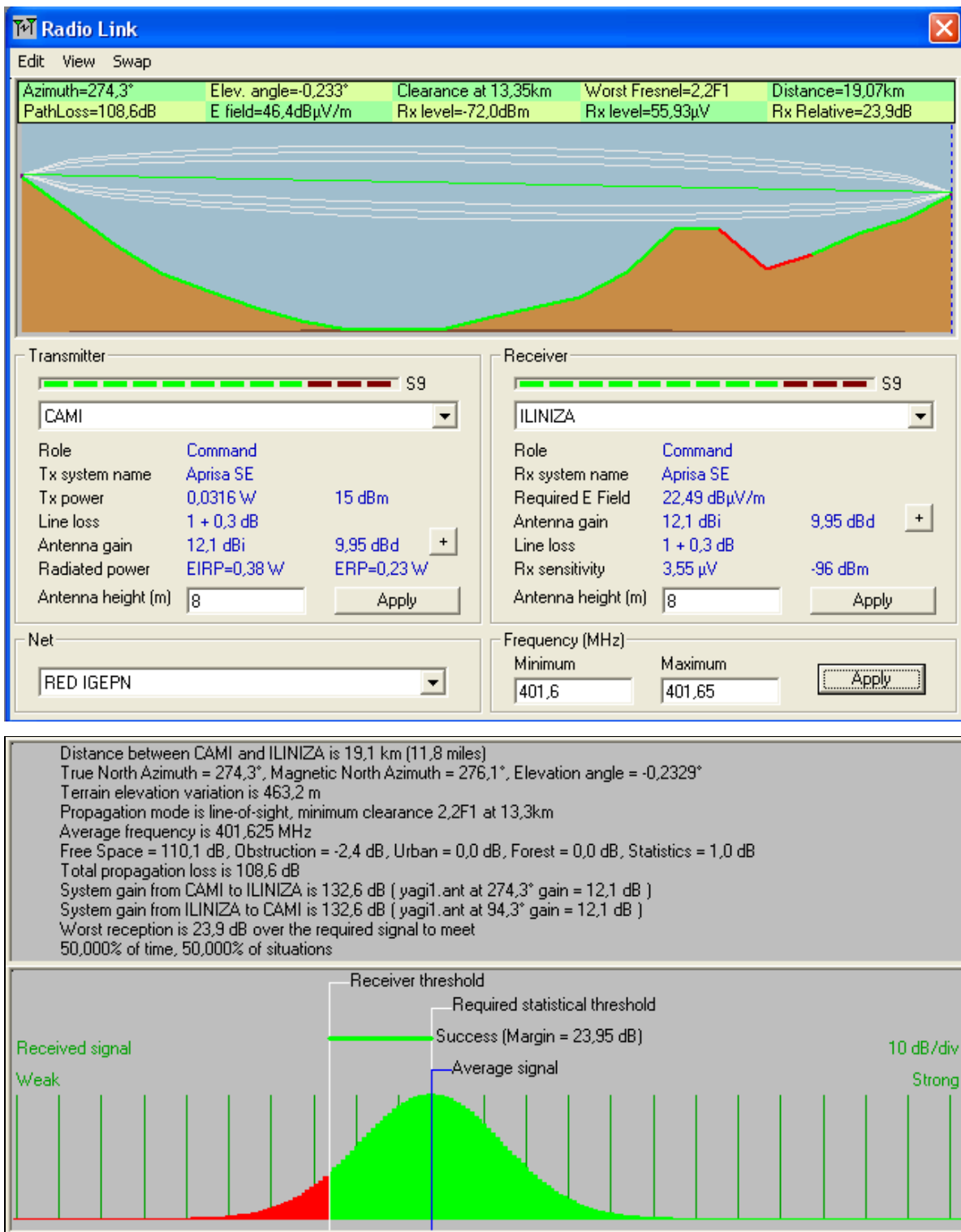


Figura 3.49 Enlace CAMI - ILINIZA

3.6.5.3 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-4

A continuación se detallan los parámetros más importantes de los enlaces de la red IGEPN-4

Parámetro	NASA – ILINIZA	CAMI - ILINIZA
Distancia “D” [Km]	22,7	19,07
Angulo de elevación [°]	-0,937	-0,233
Angulo Azimuth [°]	264,4	274,3
Potencia de transmisión “T _R ” [dBm]	17	29
Margen de umbral “Mu” [dB]	20,2	23,9
Potencia de recepción “P _r ” [dBm]	-75,8	-72
Campo eléctrico “E” [dB(μV/m)]	43	46,4
Altura de antenas [m]	8 Y 12	8 y 8
Frecuencias min y máx [Mhz]	401,1625 y 401,2125	401,6 y 401,65
Pérdidas en espacio libre “Lp” [dB]	111,6	110,1
Pérdidas por obstrucción [dB]	2,4	-2,4
Worst Fresnel	1,5F ₁ a 17,82 Km	2,2F ₁ a 13,3 Km
EIRP [W]	0,6	0,38
Pérdidas en líneas [dB]	3	2,6

Tabla 3.11 Parámetros de la red IGEPN-4

3.6.6 RED IGEPN-5.

Los enlaces pertenecientes a la RED IGEPN-5 son los siguientes: Putzulagua-Terraza, Terraza-Atacazo, Borde-Atacazo y San Francisco-Atacazo, se caracterizan por tener un terreno montañoso y rocoso, mientras que el enlace que va desde Atacazo-Quito consta de un terreno rocoso, montañoso y urbano.

Todas las estaciones serán alimentadas por paneles solares y fuentes de DC de 12 [V] con un sistema de Back Up con baterías de 75 [Ah] con gell cell.

Los sitios donde se ubicarán los radios digitales, cuentan con caminos de acceso, lo que facilita la instalación de equipos necesarios para la comunicación. Las torres de soporte con que cuenta el Instituto Geofísico en los sitios comprenden alturas de 8 a 15 m

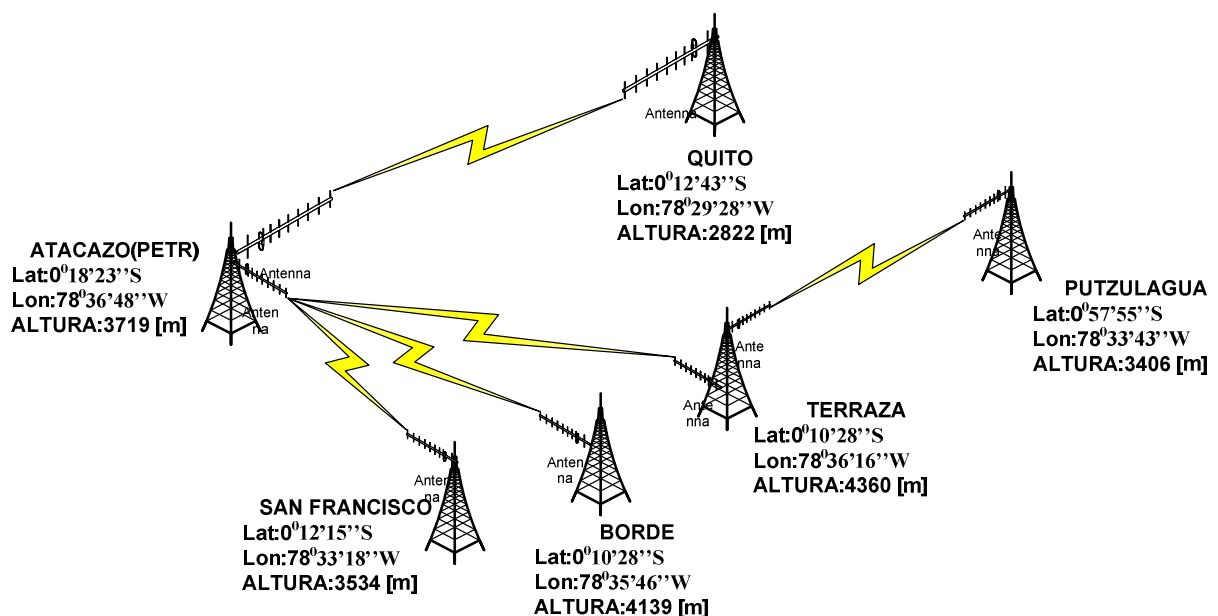


Figura 3.50 Red IGEPN-5

3.6.6.1 Enlace PUTZULAGUA - TERRAZA.

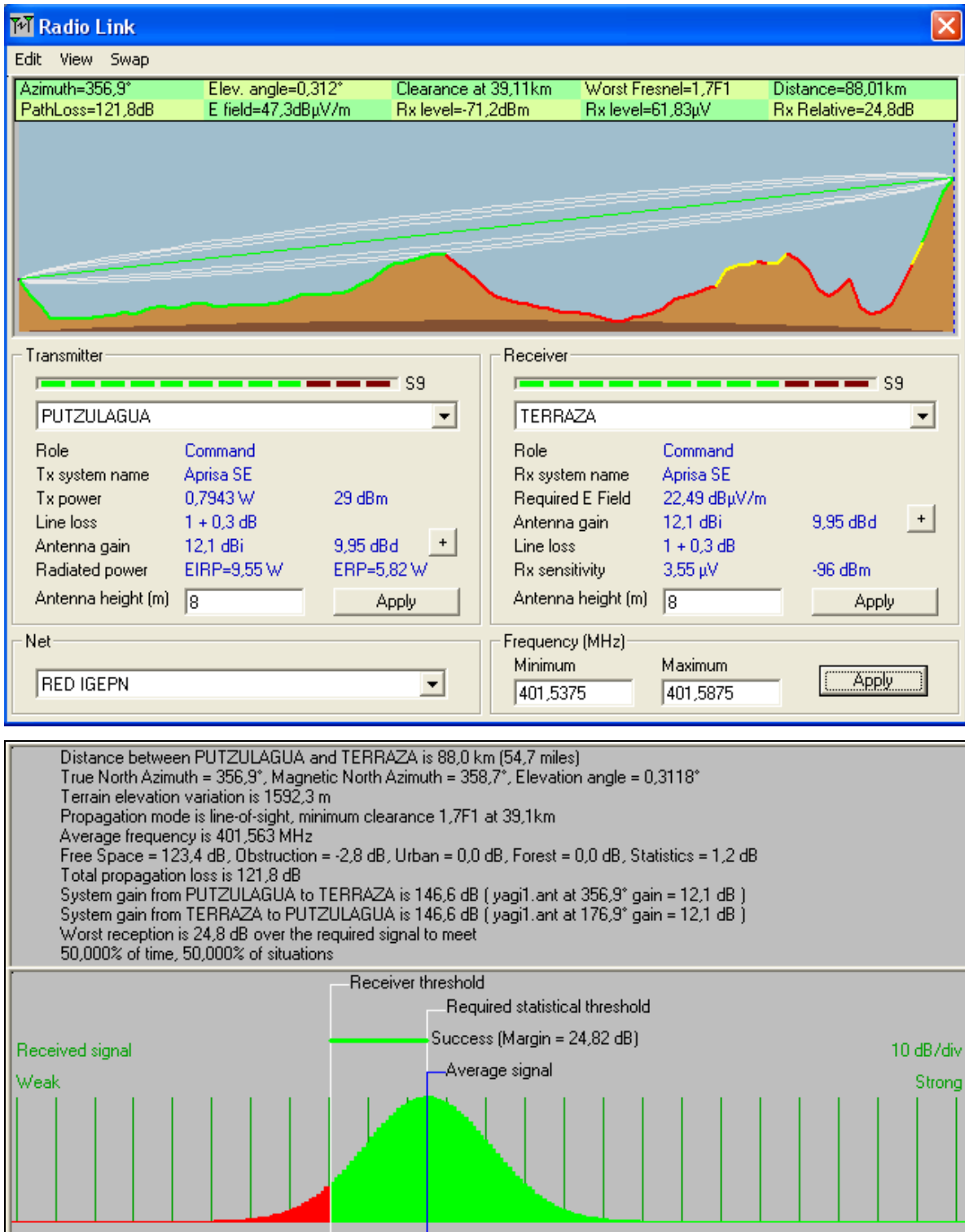


Figura 3.51 Enlace PUTZULAGUA - TERRAZA

3.6.6.2 Enlace TERRAZA- ATACAZO (PETRO)

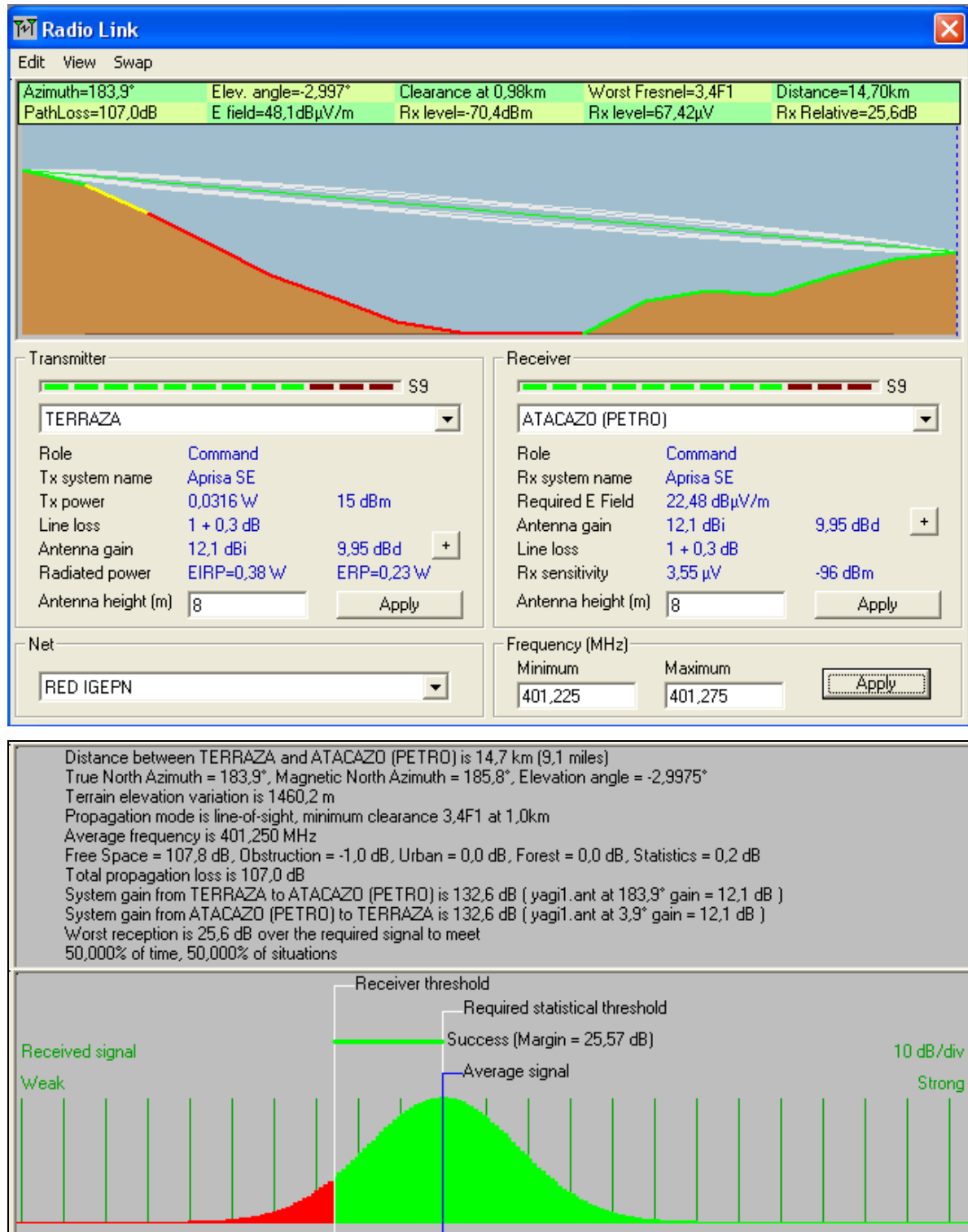


Figura 3.52 Enlace TERRAZA – ATACAZO (PETRO)

3.6.6.3 Enlace BORDE- ATACAZO (PETRO)

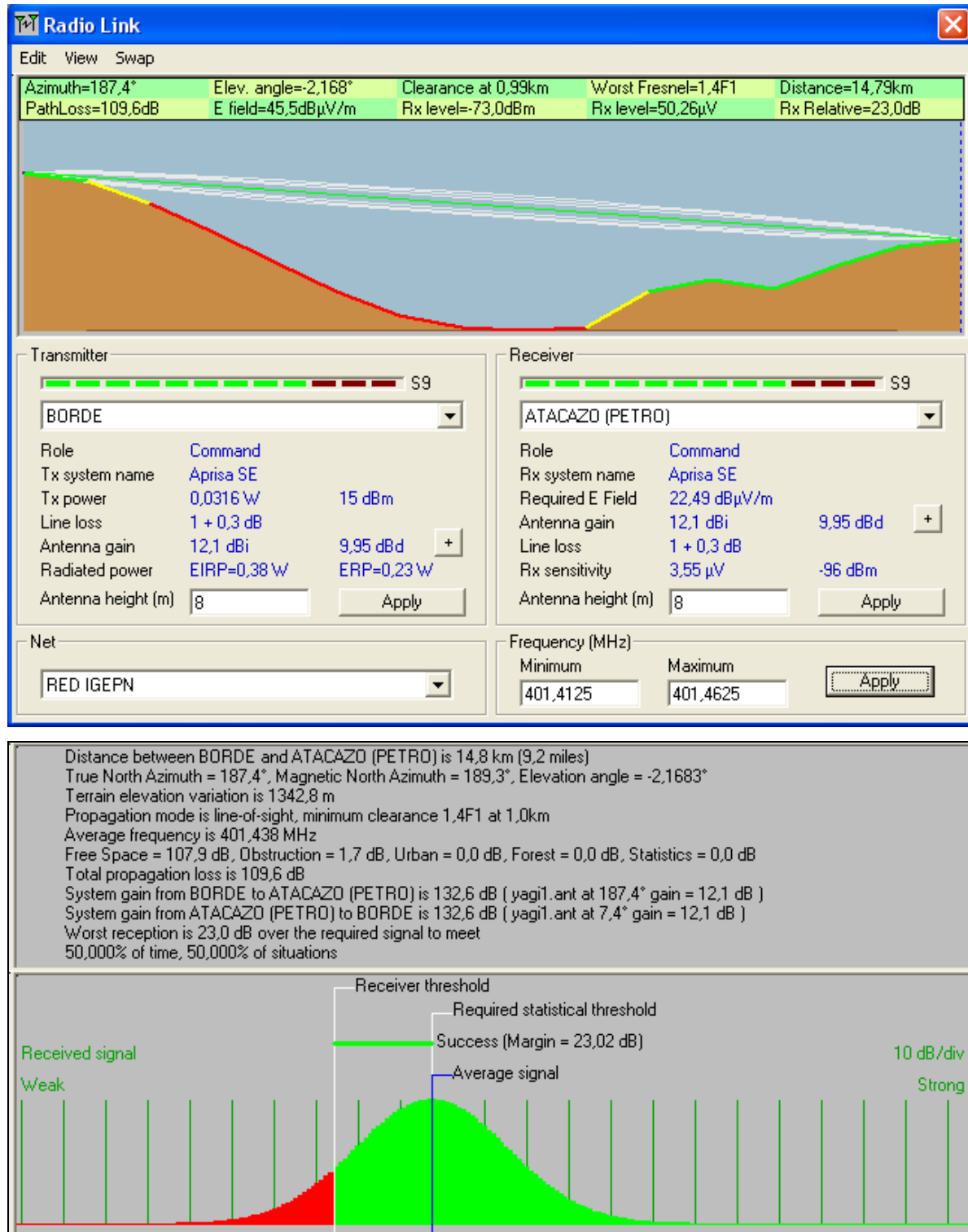


Figura 3.53 Enlace BORDE – ATACAZO (PETRO)

3.6.6.4 Enlace SAN FRANCISCO- ATACAZO (PETRO)

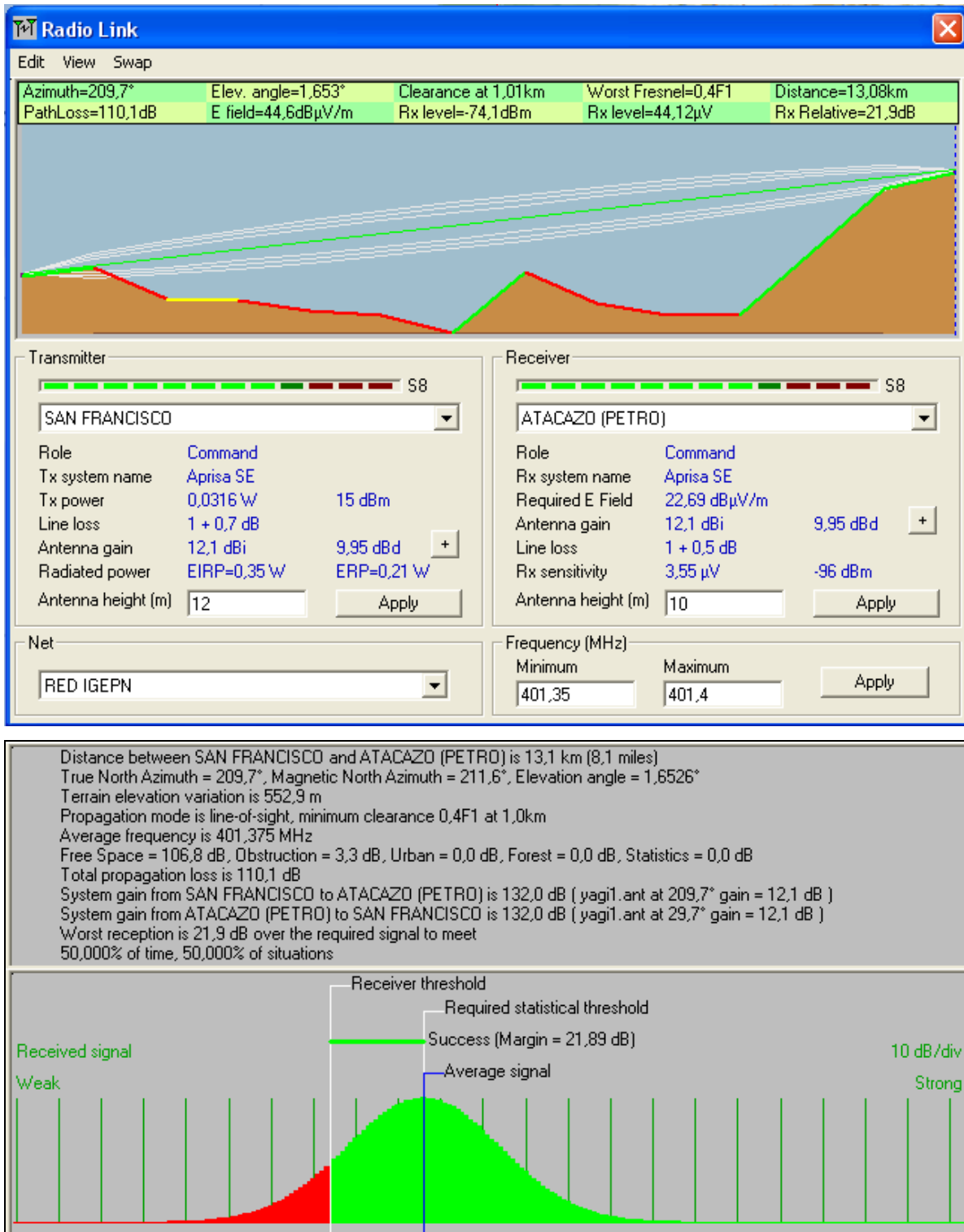


Figura 3.54 Enlace SAN FRANCISCO – ATACAZO (PETRO)

3.6.6.5 Enlace ATACAZO (PETRO)-QUITO

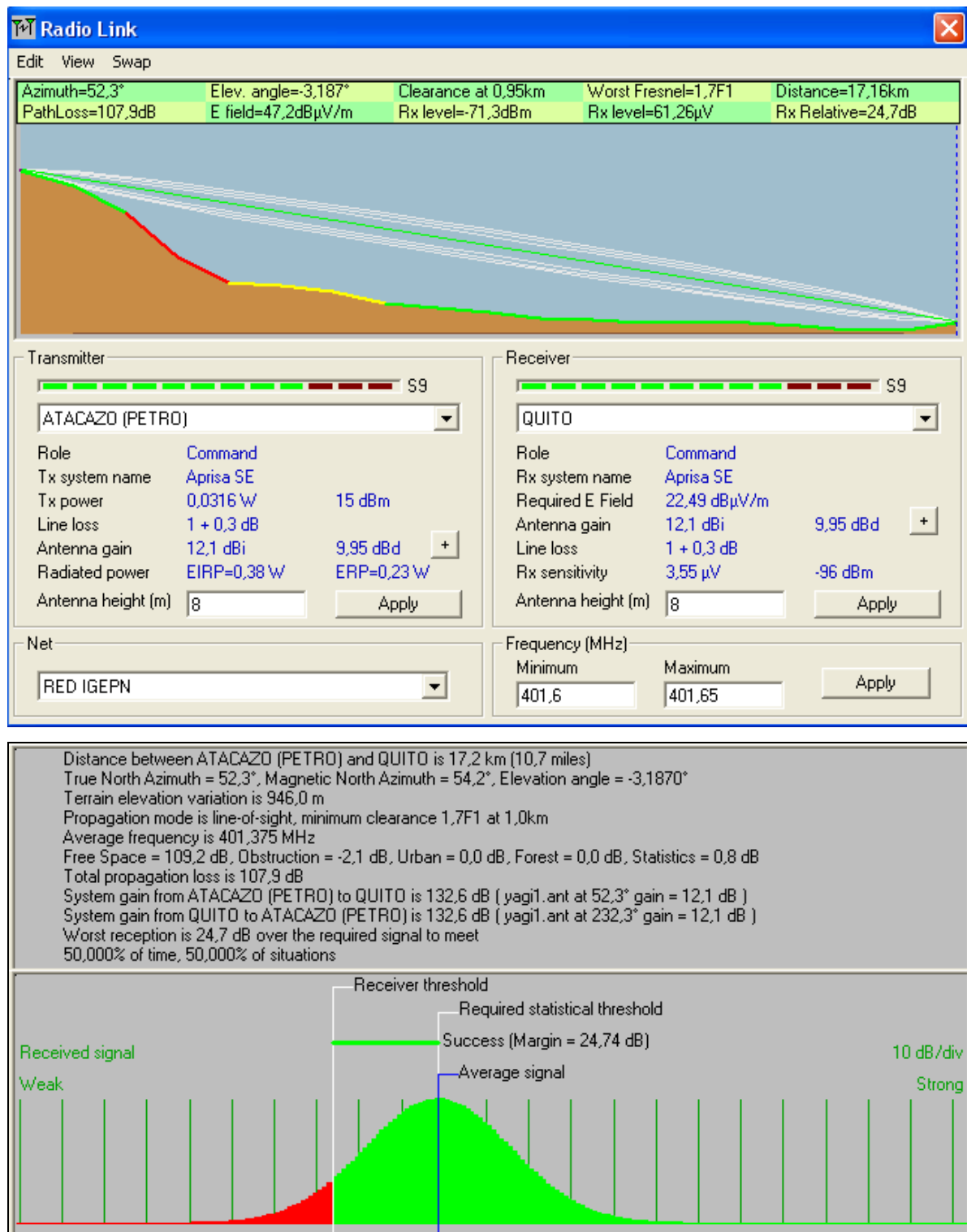


Figura 3.55 ATACAZO (PETRO)-QUITO

3.6.6.6 Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-5

A continuación se detallan los parámetros más importantes de los enlaces de la red IGEPN-5

Parámetro	PUTZULAGUA - TERRAZA	TERRAZA – ATAC(PETRO)	BORDE – ATAC(PETRO)	SAN FRANCISCO – ATAC(PETRO)	ATACAZO(PETRO) - QUITO
Distancia “D” [Km]	88,01	14,01	14,79	13,08	17,16
Angulo de elevación [°]	0,312	-2,997	-21,68	1,653	-3,187
Angulo Azimuth [°]	356,9	183,9	187,4	209,7	52,3
Potencia de transmisión “ T_R ” [dBm]	29	15 8	15	15	15
Margen de umbral “ μ ” [dB]	24,8	25,6	23	21,9	24,7
Potencia de recepción “ P_r ” [dBm]	-71,2	-70,4	-73	-74,1	-71,3
Campo eléctrico “E” [dB(μ V/m)]	47,3	48,1	45,5	44,6	47,2
Altura de antenas [m]	8 y 8	8 y 8	8 y 8	12 y 10	8 y 8
Frecuencias min y máx [Mhz]	401,5375 y 401,5875	401,225 y 401,275	401,4125 y 401,4625	401,35 y 401,4	401,6 y 401,65
Pérdidas en espacio libre “ L_p ” [dB]	123,4	107,8	107,9	106,8	109,2
Pérdidas por obstrucción [dB]	-2,8	-1	1,7	3,3	-2,1
Worst Fresnel	1,7 F_1 a 39,11 Km	3,4 F_1 a 1Km	1,4 F_1 a 1Km	0,4 F_1 a 1Km	1,7 F_1 a 0,95 Km
EIRP [W]	9,55	0,38	0,38	0,35	0,38
Pérdidas en líneas [dB]	2,6	2,6	2,6	3,2	2,6

Tabla 3.12 Parámetros de la red IGEPN-5

3.6.7 RED IGEPN-6

Los enlaces VC1-COTR y Yana-Cotacachi tiene un terreno montañoso, mientras que el enlace que va desde COTR-Quito y Cotacachi-Quito consta de un terreno rocoso, montañoso y urbano.

Todas las estaciones serán alimentadas por paneles solares y fuentes de DC de 12 [V] con un sistema de Back Up con baterías de 75 [Ah] con gell cell.

Los sitios donde se ubicarán los radios digitales, cuentan con caminos de acceso, lo que facilita la instalación de equipos necesarios para la comunicación. Las torres de soporte con que cuenta el Instituto Geofísico en los sitios comprenden alturas de 8 a 15 m

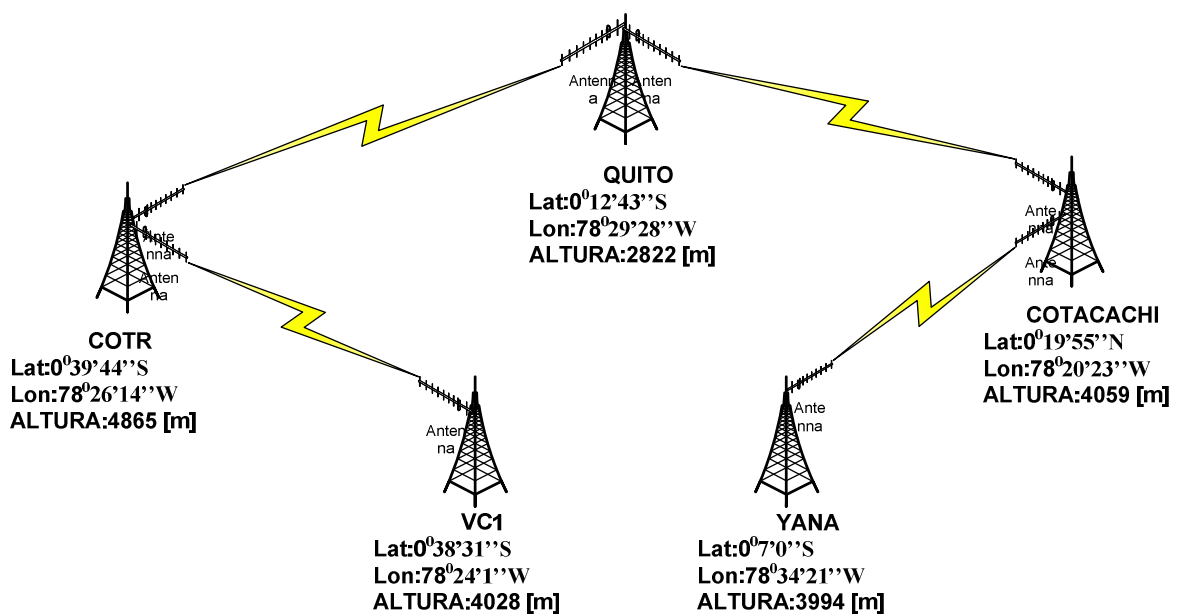


Figura 3.56 RED IGEPN-6

3.6.7.1 Enlace YANA - COTACACHI

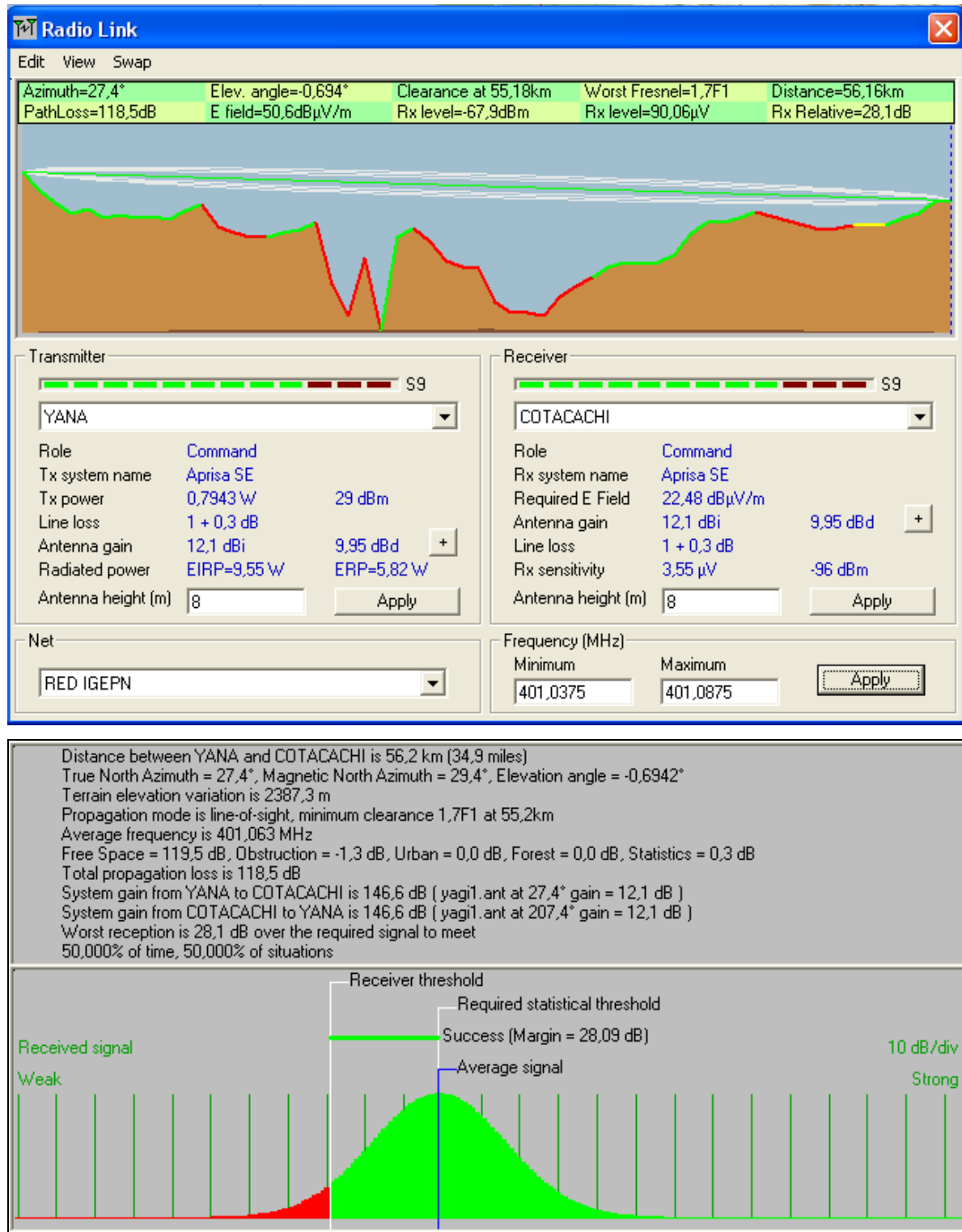


Figura 3.57 Enlace YANA – COTACACHI

3.6.7.2 Enlace COTACACHI - QUITO

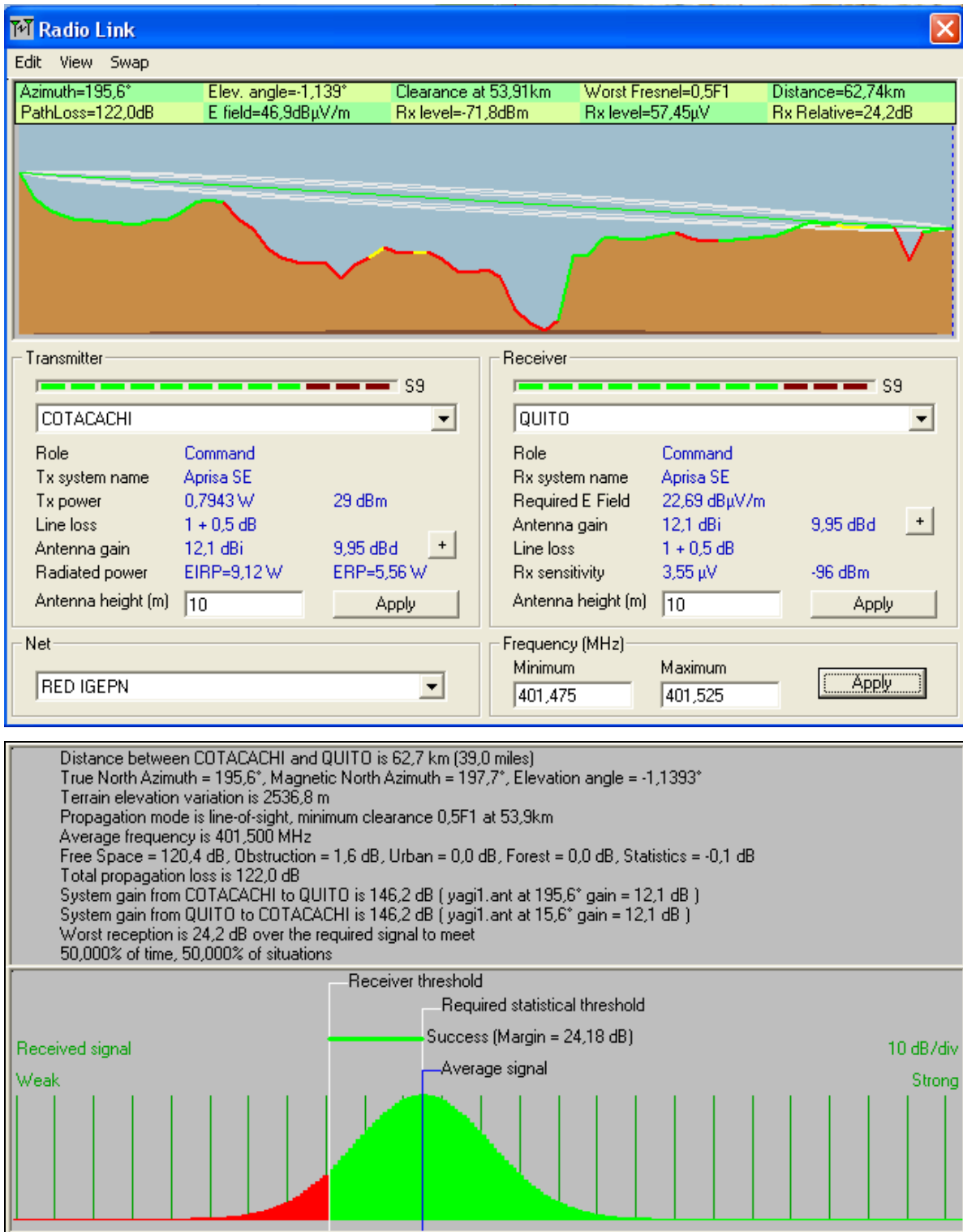


Figura 3.58 Enlace COTACACHI.-QUITO

3.6.7.3 Enlace VC1 - COTR

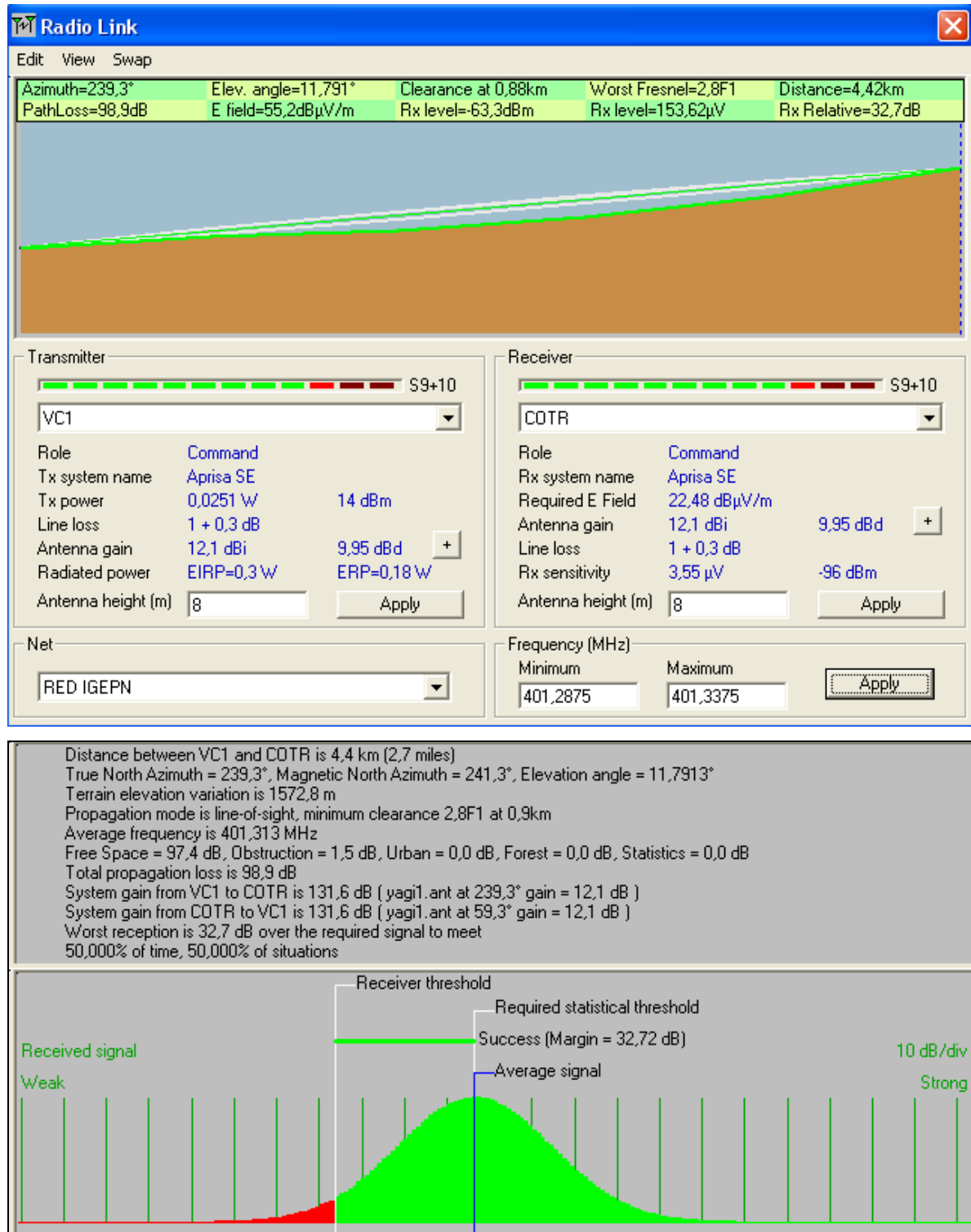


Figura 3.59 Enlace VC1 - COTR

3.6.7.4 Enlace COTR-QUITO

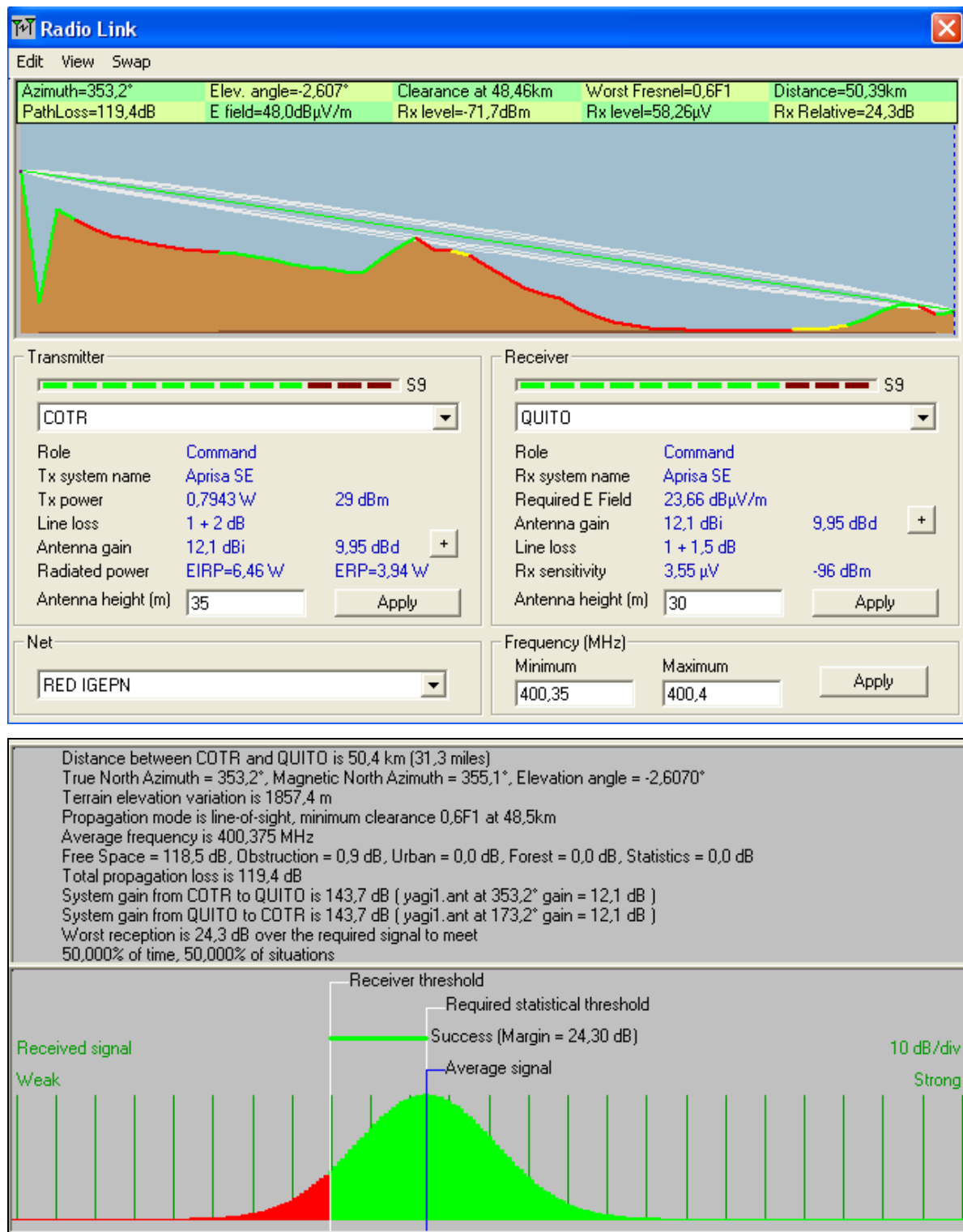


Figura 3.60 Enlace COTR- QUITO

3.6.7.5. Resumen de los parámetros de los enlaces de la red IGEPN-6

A continuación se detallan los parámetros más importantes de los enlaces de la red IGEPN-6

Parámetro	YANA - COTACACHI	COTACACHI- QUITO	VC1 – COTR	COTR – QUITO
Distancia “D” [Km]	56,16	62,74	4,42	50,39
Angulo de elevación [°]	-0,694	-1,139	11,791	-2,607
Angulo Azimuth [°]	27,4	195,6	239,3	353,2
Potencia de transmisión “T _R ” [dBm]	29	29	14	29
Margen de umbral “Mu” [dB]	28,1	24,2	32,7	24,3
Potencia de recepción “P _r ” [dBm]	-67,9	-71,8	-63,3	-71,7
Campo eléctrico “E” [dB(μV/m)]	50,6	46,9	55,2	48
Altura de antenas [m]	8 y 8	10 y 10	8 y 8	35 y 30
Frecuencias min y máx [Mhz]	401,0375 y 401,0875	401,475 y 401,525	401,2875 y 401,3375	400,35 y 400,4
Pérdidas en espacio libre “Lp” [dB]	119,5	120,4	97,4	118,5
Pérdidas por obstrucción [dB]	-1,3	1,6	1,5	0,9
Worst Fresnel	1,7F ₁ a 55,18Km	0,5F ₁ a 53,91Km	2,8F ₁ a 0,88Km	0,6F ₁ a 48,46Km
EIRP [W]	9,55	9,12	0,3	6,46
Pérdidas en líneas [dB]	2,6	3	2,6	5,5

Tabla 3.13 Parámetros de la red IGEPN-6

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO

CAPITULO 4

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO.

En este capítulo se describe y se realiza una comparación técnica sobre los equipos que intervienen en el diseño de radioenlaces digitales.

Para esta comparación se han recopilado especificaciones técnicas de cada fabricante.

4.1 REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS

Para el diseño de cada radioenlace, los equipos seleccionados deben cumplir inicialmente con lo requerido en el capítulo 3 literal 3.6.1, pero también se debe tener en cuenta otros factores como costos.

4.1.1 RADIO TRANSMISOR / RECEPTOR

Se han escogido dos diferentes marcas de equipos que trabajan en la banda de 400 Mhz.

4.1.1.1 Radio digital de microondas APRISA SE

- APRISA SE es una solución simple y económica para una amplia variedad de aplicaciones de radio digital de enlaces punto a punto de baja capacidad.
- Compacto y de simple instalación en cualquier lugar, APRISA SE también es fácil de usar, reduciendo los requerimientos de conocimiento por parte del usuario y minimizando la necesidad de equipos adicionales.

- El equipo de radio digital de microondas APRISA SE es una solución independiente de acceso inalámbrico punto a punto para establecer conectividad a través de propagación de radio en terrenos de características desafiantes y entre dos puntos fijos separados a una distancia de hasta 100 kilómetros.
- Provee hasta 1200 kbps de capacidad para una transmisión robusta con un amplio rango de servicios habilitados en banda ancha (incluyendo Internet, interconexión LAN, VPN, VoIP, video conferencia y Web hosting) y servicios integrados de voz y data (incluyendo monitoreo remoto y control de data, telefonía, PABX, radio móvil y fax).
- APRISA SE opera en las bandas licenciadas de 330-470 y 1350-1550 MHz.
- Modulación: 16, 32, 64 QAM y QPSK

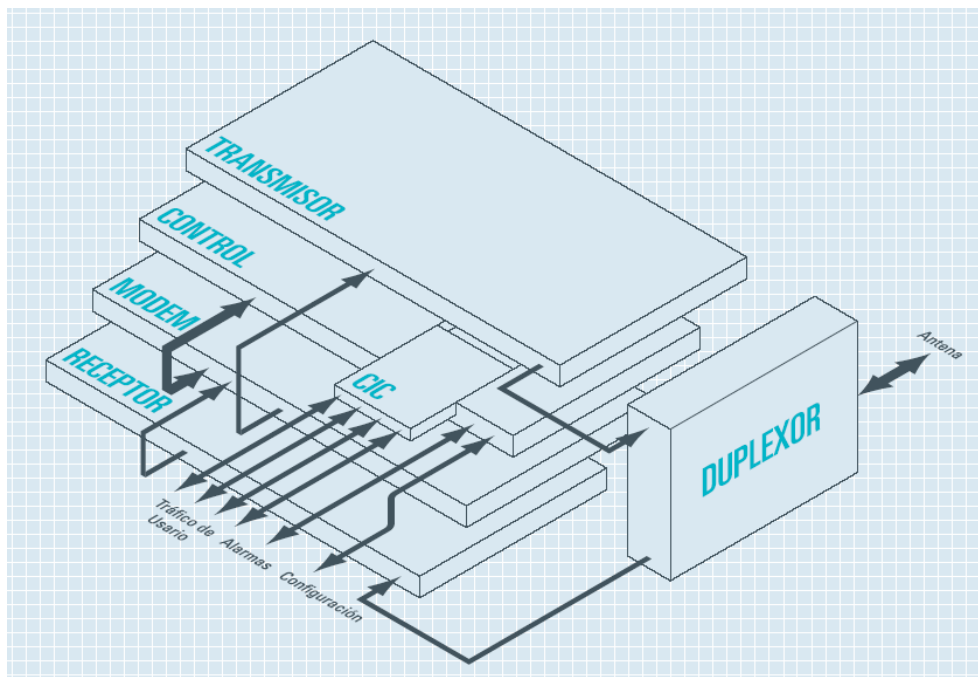


Figura 4.1 Arquitectura del radio APRISA SE

- **Transmisor / Receptor.**

El sistema de radiofrecuencia de alto rendimiento provee una radio transmisión confiable. La radiofrecuencia sintetizada permite ajustes de frecuencias a lo largo de una banda completa. Posee un excelente rendimiento C/I (*Carrier/Interferente*: Relación portadora a interferencia) para ambientes de radio muy ocupados y congestionados. Cumple con los estándares ETSI (Instituto Europeo de normas para Telecomunicaciones), ITU (Internacional Telecommunication Union).

- **Control.**

Posee un conmutador encapsulado de microconexión cruzada digital integrado, permite al usuario completo control del ancho de banda con una resolución de 8 kbps. La fuente de alimentación varía de 12/24/48 VDC, con opción AC.

- **Modem.**

Máxima utilización de espectro en canales angostos (25–250 khz). Opera con modulación QPSK, ofrece una alta ganancia de sistema para largas distancias. Maneja corrección de error hacia adelante (fec: forward error control), Interleaving y ecualización proveen un robusto rendimiento de radio de extremo a extremo.

- **Tarjeta de interface de usuario (CIC).**

Tarjeta de interface de aplicación optimizada para una solución “todo en uno”
tarjetas CIC disponibles:

- CIC 2: 2 x 4-HÍLOS E&M, V.24, 10Base-T
- CIC 3: E1 FRACCIONARIO, 10Base-T
- CIC 4: 2 x 2-HÍLOS FXO, V.24, 10Base-T

- CIC 5: 2 x 2-HÍLOS FXS, V.24, 10Base-T
- CIC 6: 6 x 4-HÍLOS VF, V.24
- CIC 7: 2 x E1 FRACCIONARIO, V.24, 10/100Base-T
- CIC 8: 4 x 4-HÍLOS E&M
- CIC 9: E1 FRACCIONARIO, 4 x 4-HÍLOS VF, V.24
- CIC 10: 2 x E1 FRACCIONARIO, HSS SERIAL, 10/100Base-T

4.1.1.2 Radio digital de microondas LEDR 400S

- Diseñado para aplicaciones punto a punto, enlaces de última milla
- Rango de Frecuencia: [330 -512] Mhz, [800-960] Mhz, [1350-1535] Mhz
- Velocidad de transmisión: [64-768] Kbps
- Modulación: 32 QAM, 16 QAM o QPSK.
- Sensibilidad: -101 dBm con 10^{-6} BER y 64 Kbps.
- Modem: FEC y ecualizador adaptivo.
- Configuración de diversidad de espacio opcional.
- Rango de Temperatura de trabajo -5 a 55 ° C.
- Potencia de salida: 30 dBm.
- Opción de redundancia: 1+1 hot or warm standby.



Figura 4.2 Radio digital LEDR 400S

En la tabla 4.1 se presenta las características principales de cada equipo, así:

Marca	APRISA	LEDR
Modelo	SE	400S
RADIOFRECUENCIA GENERAL		
Banda de Frecuencia(Mhz)	400 y 1400	400
Rango de Frecuencia(Mhz)	330-470 y 1350-1550	330-512
Esquema de modulación	16,32, 64 QAM y QPSK	32 QAM, 16 QAM Y QPSK
Estabilidad de frecuencia (ppm)	±1.5	1.5
Ancho de banda – Throughput	25 KHz 72, 96 y 120 Kbps 50 KHz 152, 200 y 240 Kbps 75 KHz 240, 296 y 360 Kbps 150 KHz 240, 480, 592 y 720 Kbps	25KHz 64 Kbps 50 KHz 64 a 128 Kbps 100 KHz 64 a 256 Kbps 200 KHz 64 a 768 Kbps
TRANSMISOR		
Potencia de salida (dBm)	35 (QPSK) 31 (16 QAM) 30 (32 QAM) 29 (64 QAM)	30
Control de potencia	15 dB(en pasos de 1dB)	0 a -10 dB
RECEPTOR		
Sensibilidad(dBm)	-96	-98
Rango dinámico (dB)	74-58dB (BER 10 ⁻⁶)	>65
INTERFACES		
Conexión de la antena	Hembra tipo N 50Ω	Hembra tipo N 50Ω
ETHERNET	10BASE-T / 10/100BASE-TX	10BASE-T
DATOS	Asíncrona V.24/RS-232 Síncrona V.11/X.21/V.35	RS-232
OPERACIÓN PROTEGIDA		
Redundancia del equipamiento	Monitoreo en hot standby (MHSB)	Monitoreo en hot standby (MHSB)
FUENTE DE ALIMENTACIÓN		
Voltaje	±12 VDC, ±24 VDC o ±48 VDC	24 VDC o 48 VDC (±20%)
Consumo de potencia (W)	50 típico	<60
COSTO (US\$)	5200	4900

Tabla 4.1 Características de radio transmisores /receptores

Para los dos equipos se muestran las siguientes características comunes, así::

- Los equipos trabajan en la banda de 400 Mhz.
- La antena que se puede acoplar a los radios debe tener 50Ω de impedancia.
- Manejan anchos de banda de 25 y 50 Khz.
- La potencia de salida que brindan los radios es de 30 dBm.
- La fuente de alimentación de los equipos trabajan con 12 y 24 VDC.

Cada equipo cumple con las especificaciones requeridas para el diseño, sin embargo el equipo LEDR 400S, no cuenta con representantes que den soporte técnico y garantías necesarias del equipo en nuestro país.

De las dos alternativas el equipo escogido es el APRISA SE, ya que cumple con todos los requerimientos de diseño. La salida de potencia es variable de acuerdo a la necesidad del radioenlace, principalmente dependiendo de la distancia. En nuestro país el radio APRISA SE es uno de los más utilizados, existen representantes de la marca que proporcionan soporte técnico y garantías necesarias del equipo.

4.1.2 ANTENAS

La antena es una parte esencial en el desempeño de un radioenlace. Muchos equipos especifican la antena que debe acoplarse al mismo, tomando como referencia el radio APRISA SE, se escogerá una antena con impedancia nominal de 50Ω .

Para la implementación del sistema de microonda digital para el Instituto Geofísico, se escogió la antena yagi de la marca ANDREW, ya que en nuestro medio tienen gran aceptación y se las comercializa sin ningún inconveniente.

En la tabla 4.2 se muestran las características de una antena yagi, así:

Marca	ANDREW
Modelo	DB436-A
Rango de Frecuencia(Mhz)	400-420
Polarización	Vertical
Ganancia (dBi)	12.1
Ancho del lóbulo (grad)	25/50
VSWR	1,5 a 1
Impedancia nominal [Ω]	50
Relación frente/espalda [dB]	16
PRECIO(US\$)	234

Tabla 4.2 Características de antena yagi DB436-A



Figura 4.3 Antena yagi DB436-A

4.1.3 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y CONECTORES

Las líneas de transmisión y los conectores deben tener la misma impedancia al igual que los radios y las antenas, todo esto a fin de eliminar las pérdidas por desacoplamiento y minimizar los efectos de la onda reflejada. De esta forma se han escogido líneas de transmisión y conectores de 50 Ω de impedancia.

Marca	ANDREW
Línea de transmisión	
Serie	LDF4-50A
Diámetro [pulgada]	½
Impedancia [Ω]	50±1
Capacitancia [pF/m]	76
Inductancia [μH/m]	0,190
Rango de operación [Mhz]	1 – 8800
Temperatura de trabajo [°C]	-55 a 85

Tabla 4.3 Características de líneas de transmisión.

Marca	ANDREW
Conectores	
Serie	F4PNMV2
Tipo	“N” macho
Impedancia [Ω]	50
Frecuencia de operación [Mhz]	0 -12000
Máximo voltaje de operación [V_{rms}]	707

Tabla 4.4 Características de conectores.

4.1.4 EQUIPOS DE CONMUTACIÓN

Para el diseño, se escogieron dos fabricantes de equipos, que tienen gran cobertura en nuestro medio, CISCO y 3COM. A continuación se presentan las características de cada uno de ellos.

4.1.4.1 Características y ventajas del switch 3COM 4200G

- El Switch 4200G, posee 12 puertos plug-and-play. Este conmutador, ofrece un rendimiento de conmutación de primer nivel, así como protección de la inversión sin complejidad ni un elevado precio.
- Con conmutación de Nivel 2 junto con ruteo estático de Nivel 3, el Switch 4200G combina funcionalidades de conmutación de alto rendimiento, calidad de servicio (QoS), y administración de tráfico para ayudar a garantizar que las aplicaciones esenciales reciben la prioridad adecuada, para un uso eficiente de los recursos de la red. Además, este conmutador dispone de funcionalidades de seguridad de clase empresarial, incluyendo login de red IEEE 802.1X, login de dispositivo encriptado SSH/SSL, y listas de control de acceso (ACLs).
- El Switch 4200G dispone de ocho puertos 10/100/1000 con auto-negociación configurados como auto-MDI/MDIX, cuatro puertos Gigabit de uso dual 10/100/1000 o SFP, y una ranura 10-Gigabit.
- Las capacidades de limitación de velocidad de ancho de banda y de filtrado de protocolos permiten aplicar controles en cada puerto, para un uso eficiente de los recursos de la red y una priorización del tráfico VoIP sensible al tiempo.
- El filtrado Multicast y el protocolo Rapid Spanning Tree permiten mejorar la QoS, la escalabilidad, y la disponibilidad de la red.
- El routing estático de Nivel 3 proporciona flexibilidad adicional en despliegues para mejorar el rendimiento de red.
- Administración segura con autenticación y encriptación del tráfico de administración mediante Secure Shell (SSH v2) y SNMP v3.

4.1.4.2 Características y ventajas del switch CISCO Catalyst C2912

- El switch Cisco Catalyst 2912 de 12 puertos, miembro de la familia XL de la serie Catalyst 2900, combina alto rendimiento, sencillez de manejo e integración del software Cisco IOS de la empresa líder en el sector. Este modelo es una solución flexible, ampliable y asequible, ideal para agregar grupos de trabajo Fast Ethernet sobre conexiones 100BaseFX en entornos de oficinas centrales de tamaño pequeño y mediano.
- Fuente de alimentación: CA 100/240 V \pm 10% (50/60 Hz)
- Parámetros de entorno:
Temperatura mínima de funcionamiento: 0 °C
Temperatura máxima de funcionamiento: 45 °C
Ámbito de humedad de funcionamiento: 10 - 85%
- Conexión de redes:
Cantidad de puertos: 12 x Ethernet 10Base-T, terminal, Ethernet 100Base-TX
Velocidad de transferencia de datos: 100 Mbps
Protocolo de interconexión de datos: Ethernet, Fast Ethernet
Protocolo de gestión remota: SNMP, RMON
Tecnología de conectividad: Cableado
Modo comunicación: Semidúplex, dúplex.
Protocolo de conmutación: Ethernet
Indicadores de estado: Estado puerto, actividad de enlace, estado de colisión, alimentación.
Características: Monitorización en red, capacidad duplex, activable
Cumplimiento de normas: IEEE 802.3, IEEE 802.3u

En la siguiente tabla se presenta una comparación del switch 3COM y CISCO.

Marca	3COM	CISCO
Modelo	4200G	CATALYST C2912
Puertos 10baseT/100baseTx	12	12
Velocidad de transmisión[Mbps]	32,7	3,2
LAN virtuales	Si (IEEE 802.1Q)	Si (IEEE 802.1Q)
Opción de capa 3	Si (ruteo estático)	si
Estándar de seguridad	IEEE 802.1x	--
Control de flujo	Si (IEEE 802.3x)	Si (IEEE 802.3x)
Protocolo de administración	SSH y SNMP	SNMP
Direcciones MAC	8196	2048
Método de envío	Store and Forward	Store and Forward
Temperatura de trabajo	0 -40°C	0 – 50°C
COSTO (US\$)	890	1200

Tabla 4.5 Características de switch

Se debe notar que tanto los conmutadores 3Com como los de CISCO, manejan 12 puertos plug and play, es decir cuando se conecta un nuevo equipo, el switch en el momento del encendido, reconoce al nuevo dispositivo conectado al puerto, manejan el estándar IEEE 802.1 Q, tienen la capacidad de crear diferentes niveles de difusión (Lan virtuales) y proporcionar mayores niveles de seguridad a la red. Para nuestro diseño escogemos el switch 3Com, ya que es el más idóneo, por su menor precio, su capacidad de ruteo estático en la capa 3, trabaja con el estándar de seguridad IEEE 802.1Q.

4.2 EQUIPAMIENTO PARA LOS RADIOENLACES

A continuación se describe el equipamiento y accesorios que deben poseer en cada una de las estaciones para los enlaces.

En la figura 4.4 se muestra un esquema general de equipamiento con el que deberían contar cada una de las estaciones.

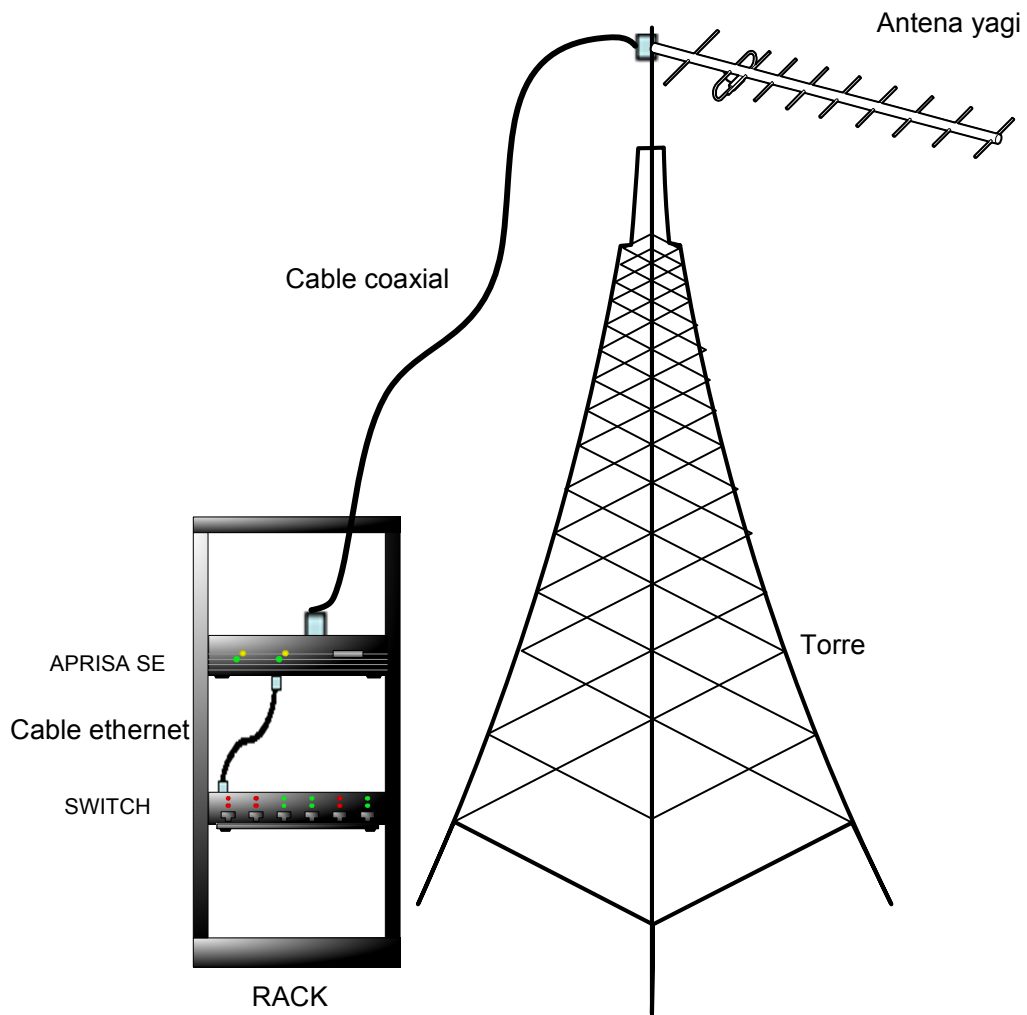


Figura 4.4. Esquema general de equipamiento de estaciones

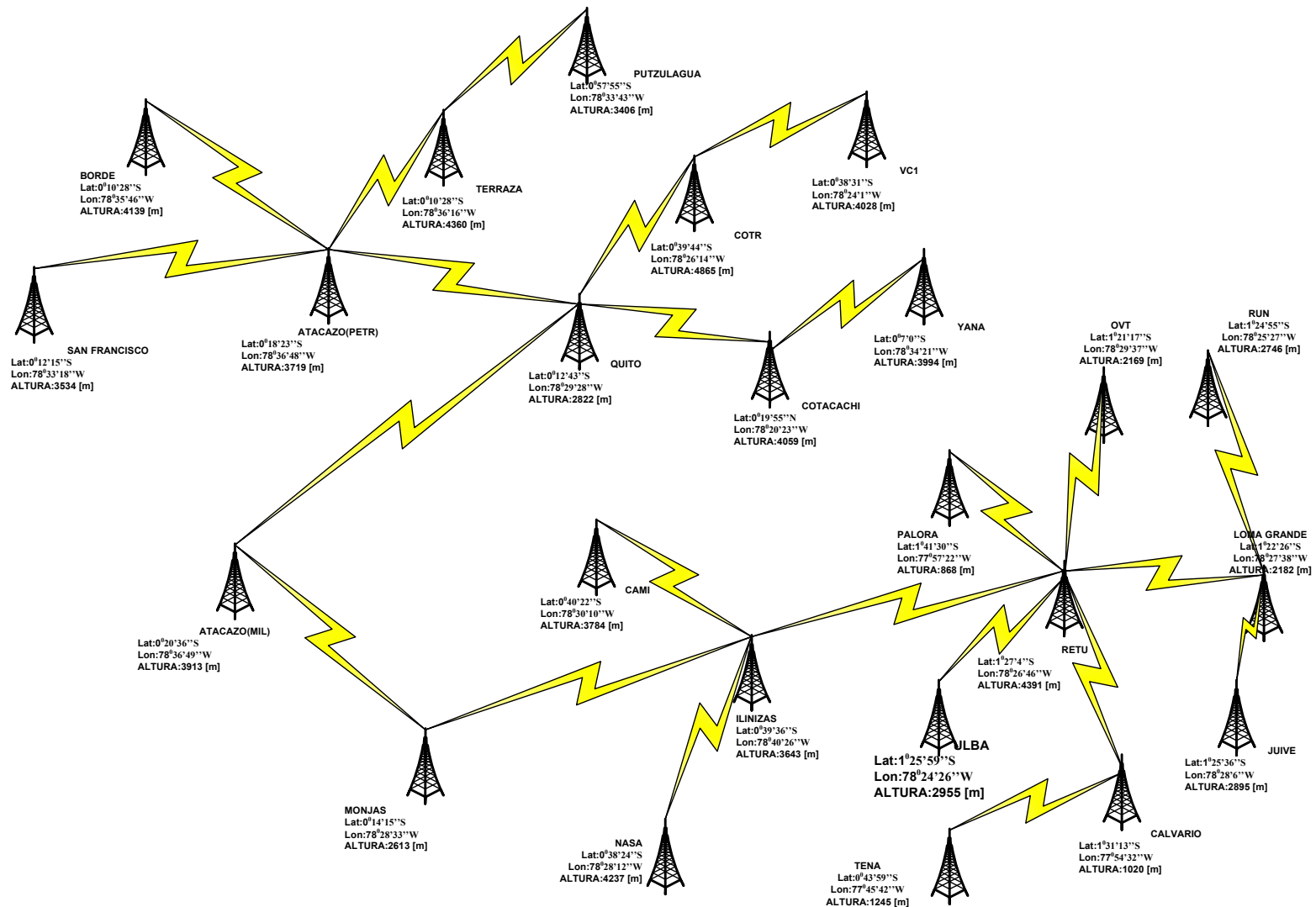


Figura 4.5 Esquema total de radioenlace

4.2.1 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIÓN RETU

Como se observa en la figura 4.5, la estación RETU, concentra cinco enlaces provenientes de las estaciones ULBA, CALVARIO, LOMA GRANDE, OVT Y PALORA, y necesita enrutar el tráfico proveniente de estos hacia la estación ILINIZA, para ello se utiliza un switch de capa 3 y el equipamiento que se detalla a continuación.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	6
ANDREW DB436-A	Antena yagi	6
3COM 4200G	switch	1
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	30m
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	12
Nexan	Cable Ethernet	30m
Panduit	Rack	1

Tabla 4.6 Equipamiento de la estación RETU

4.2.2 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIÓN ILINIZAS

Como se observa en la figura 4.5, la estación ILINIZAS, concentra tres enlaces provenientes de las estaciones RETU, CAMI Y PALORA, y necesita enrutar el tráfico proveniente de estos hacia la estación MONJAS, para ello se utiliza un switch de capa 3 y el equipamiento que se detalla a continuación.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	4
ANDREW DB436-A	Antena yagi	4
3COM 4200G	switch	1
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	20m
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	8
Nexan	Cable Ethernet	20m
Panduit	Rack	1

Tabla 4.7 Equipamiento de la estación ILINIZAS

4.2.3 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIÓN QUITO

Como se observa en la figura 4.5, la estación QUITO, es la estación donde se desea centralizar todos datos obtenidos de las diferentes estaciones, concentra cuatro enlaces provenientes de las estaciones COTACACHI, COTR, TERRAZA, ATACAZO(PETRO), para ello se utiliza un switch de capa 3 y el equipamiento que se detalla a continuación.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	4
ANDREW DB436-A	Antena yagi	4
3COM 4200G	switch	1
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	20m
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	8
Nexan	Cable Ethernet	20m
Panduit	Rack	1

Tabla 4.8 Equipamiento de la estación QUITO

4.2.4 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIÓN ATACAZO (PETRO)

Como se observa en la figura 4.5, la estación ATACAZO(PETRO), concentra tres enlaces provenientes de las estaciones TERRAZA, BORDE SAN FRANCISCO, y necesita enrutar el tráfico proveniente de estos hacia la estación QUITO, para ello se utiliza un switch de capa 3 y el equipamiento que se detalla a continuación.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	4
ANDREW DB436-A	Antena yagi	4
3COM 4200G	switch	1
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	20m
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	8
Nexan	Cable Ethernet	20m
Panduit	Rack	1

Tabla 4.9 Equipamiento de la estación ATACAZO(PETRO)

4.2.5 EQUIPAMIENTO PARA LA ESTACIÓN LOMA GRANDE

Como se observa en la figura 4.5, la estación LOMA GRANDE, concentra dos enlaces provenientes de las estaciones RUN, BORDE SAN FRANCISCO, y necesita enrutar el tráfico proveniente de estos hacia la estación RETU, para ello se utiliza un switch de capa 3 y el equipamiento que se detalla a continuación.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	3
ANDREW DB436-A	Antena yagi	3
3COM 4200G	switch	1
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	15m
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	6
Nexan	Cable Ethernet	15m
Panduit	Rack	1

Tabla 4.10 Equipamiento de la estación LOMA GRANDE

4.2.6 EQUIPAMIENTO PARA ESTACIONES QUE CUENTAN CON UN RADIOENLACE

Como se observa en la figura 4.5, las estaciones: TENA, ULBA, JUIVE, RUN, OVT, PALORA, CAMI, NASA, YANA, VC1, PUTZULAGUA, BORDE Y SAN FRANCISCO, cuentan con un solo enlace. Estas estaciones recolectan los datos del monitoreo sísmico y volcánico, para ello utilizan el equipamiento por estación, que se detalla a continuación.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	1
ANDREW DB436-A	Antena yagi	1
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	5m
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	2
Nexan	Cable Ethernet	5m
Panduit	Rack	1

Tabla 4.11 Equipamiento para estaciones que cuentan con un enlace

4.2.7 EQUIPAMIENTO PARA ESTACIONES QUE CUENTAN CON DOS RADIOENLACES

Como se observa en la figura 4.5, las estaciones: CALVARIO, MONJAS, ATACAZO (MIL), COTACACHI, COTR y TERRAZA, cuentan con dos enlaces, para ello se utiliza el puerto ethernet de los radios para conectarlos entre si, con un cable de red cruzado que cumpla la norma EIA-568A y EIA-568B (Anexo D), además requieren el equipamiento por estación, que se detalla a continuación.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	2
ANDREW DB436-A	Antena yagi	2
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	10m
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	4
Nexan	Cable Ethernet	10m
Panduit	Rack	1

Tabla 4.12 Equipamiento para estaciones que cuentan con dos enlace

4.2.8 RESUMEN DEL EQUIPAMIENTO DE ESTACIONES

A continuación, se presenta un resumen del equipamiento de todas las estaciones, pertenecientes a las redes: IGEPN-1, IGEPN-2, IGEPN-3, IGEPN-4, IGEPN-5 e IGEPN-6

ESTACIÓN	Rack Panduit	Radio APRISA SE	Antena yagi ANDREW DB436-A	Switch 3COM 4200G	Cable coaxial ANDREW LDF4-50A	Conector macho ANDREW F4PMV2	Cable Ethernet NEXAN
RETU	1	6	6	1	30m	12	30m
ILINIZAS	1	4	4	1	20m	8	20m
QUITO	1	4	4	1	20m	8	20m
ATACAZO(PETRO)	1	4	4	1	20m	8	20m
TENA	1	1	1		5m	2	5m
ULBA	1	1	1		5m	2	5m
JUIVE	1	1	1		5m	2	5m
LOMA GRANDE	1	3	3	1	15m	6	10m
RUN	1	1	1		5m	2	5m
OVT	1	1	1		5m	2	5m
PALORA	1	1	1		5m	2	5m
CAMI	1	1	1		5m	2	5m
NASA	1	1	1		5m	2	5m
YANA	1	1	1		5m	2	5m
VC1	1	1	1		5m	2	5m
PUTZULAGUA	1	1	1		5m	2	5m
BORDE	1	1	1		5m	2	5m
SAN FRANCISCO	1	1	1		5m	2	5m
CALVARIO	1	2	2		10m	4	10m
MONJAS	1	2	2		10m	4	10m
ATACAZO(MIL)	1	2	2		10m	4	10m
COTACACHI	1	2	2		10m	4	10m
COTR	1	2	2		10m	4	10m
TERRAZA	1	2	2		10m	4	10m
TOTAL	24	46	46	5	230m	92	230m

Tabla 4.13 Resumen de equipamiento para todas las estaciones

CAPÍTULO 5

ESTIMACIÓN DE COSTOS

CAPITULO 5.

ESTIMACIÓN DE COSTOS

Una parte primordial para la implementación del diseño de microonda digital, es la estimación de costos, puesto que el aspecto económico es el recurso vital con el que cuenta toda institución para poder emprender un proyecto.

En este capítulo se evalúa los costos directos e indirectos, como: valor de equipos, valor de concesión de frecuencias, valor de estudio de ingeniería, presentes en cada ruta del diseño, para obtener una estimación de costos total.

Para la estimación de costos del proyecto se tomará en cuenta la inversión, los costos de operación y mantenimiento del sistema.

5.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión se definen como la suma de esfuerzo y recursos que es necesario invertir para producir un artículo o bien y se realizan una sola vez al inicio del proyecto. Dentro de éstos se contemplan los siguientes costos:

- **Equipos:** Corresponden los equipos y accesorios necesarios en el diseño.
- **Infraestructura:** torres, casetas y energía, incluyendo los costos de instalación.
- **Instalación:** Comprende los rubros por instalación y puesta a punto de estaciones.
- **Ingeniería:** estudios, diseños, inspecciones y todo lo que sea necesario para realizar el trabajo de ingeniería.

5.1.1 COSTO DE EQUIPOS

Dentro de estos costos se considera el valor referencial de los equipos y accesorios necesarios que se deben instalar en cada una de las estaciones. Los radios a utilizarse son de marca 4RF APRISA SE con antenas yagi marca ANDREW, para estos equipos se pudo obtener mayor información con respecto a los costos de los equipos, ya que existen varios proveedores de 4RF Y ANDREW en nuestro país.

A continuación se describen los costos de equipos y accesorios por estación, así:

5.1.1.1 Costo de equipos de la estación RETU

En la tabla 5.1 se presenta el costo unitario y total de los equipos y accesorios necesarios para la implementación de los radioenlaces diseñados en la estación RETU, estos radioenlaces son: RETU –ILINIZAS, PALORA – RETU, RETU – LOMA GRANDE, ULBA – RETU, OVT – RETU Y CALVARIO- RETU.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	C. UNITARIO (US\$)	C. TOTAL (US\$)
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	6	5200	31200
ANDREW DB436-A	Antena yagi	6	250	1500
3COM 4200G	Switch	1	890	890
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	30m	12/m	360
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	12	28	336
Nexan	Cable Ethernet	30m	1/m	30
Panduit	Rack	1	200	200
TOTAL(US\$)				34516

Tabla 5.1 Costo de equipos de la estación RETU

5.1.1.2 Costo de equipos de la estación ILINIZAS

En la tabla 5.2 se presenta el costo unitario y total de los equipos y accesorios necesarios para la implementación de los radioenlaces diseñados en la estación ILINIZAS, estos radioenlaces son: RETU –ILINIZAS, ILINIZAS MONJAS, NASA - ILINIZAS, CAMI – ILINIZAS.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	C. UNITARIO (US\$)	C. TOTAL (US\$)
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	4	5200	20800
ANDREW DB436-A	Antena yagi	4	250	1000
3COM 4200G	Switch	1	890	890
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	20m	12/m	240
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	8	28	224
Nexan	Cable Ethernet	35m	1/m	35
Panduit	Rack	1	200	200
TOTAL(US\$)				23389

Tabla 5.2 Costo de equipos de la estación ILINIZAS

5.1.1.3 Costo de equipos de la estación QUITO

En la tabla 5.3 se presenta el costo unitario y total de los equipos y accesorios necesarios para la implementación de los radioenlaces diseñados en la estación QUITO, estos radioenlaces son: ATACAZO (MIL) – QUITO, ATACAZO(PETRO) - QUITO, COTACACHI – QUITO Y COTR - QUITO

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	C. UNITARIO (US\$)	C. TOTAL (US\$)
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	4	5200	20800
ANDREW DB436-A	Antena yagi	4	250	1000
3COM 4200G	Switch	1	890	890
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	20m	12/m	240
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	8	28	224
Nexan	Cable Ethernet	35m	1/m	35
Panduit	Rack	1	200	200
TOTAL(US\$)				23389

Tabla 5.3 Costo de equipos de la estación QUITO

5.1.1.4 Costo de equipos de la estación ATACAZO (PETRO)

En la tabla 5.4 se presenta el costo unitario y total de los equipos y accesorios necesarios para la implementación de los radioenlaces diseñados en la estación ATACAZO(PETRO), estos radioenlaces son: TERRAZA - ATACAZO(PETRO), SAN FRANCISCO – ATACAZO(PETRO), BORDE – ATACAZO(PETRO), ATACAZO(PETRO) – QUITO.

5.1.1.5 Costo de equipos de la estación LOMA GRANDE

En la tabla 5.5 se presenta el costo unitario y total de los equipos y accesorios necesarios para la implementación de los radioenlaces diseñados en la estación LOMA GRANDE, estos radioenlaces son: RUN – LOMA GRANDE, JUIVE – LOMA GRANDE Y RETU – LOMA GRANDE

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	C. UNITARIO (US\$)	C. TOTAL (US\$)
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	4	5200	20800
ANDREW DB436-A	Antena yagi	4	250	1000
3COM 4200G	Switch	1	890	890
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	20m	12/m	240
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	8	28	224
Nexan	Cable Ethernet	35m	1/m	35
Panduit	Rack	1	200	200
TOTAL(US\$)				23389

Tabla 5.4. Costo de equipos de la estación ATACAZO(PETRO)

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	C. UNITARIO (US\$)	C. TOTAL (US\$)
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	3	5200	15600
ANDREW DB436-A	Antena yagi	3	250	750
3COM 4200G	Switch	1	890	890
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	15m	12/m	180
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	6	28	168
Panduit	Rack	1	200	200
Nexan	Cable Ethernet	15m	1/m	15
TOTAL(US\$)				17803

Tabla 5.5 Costo de equipos de la estación LOMA GRANDE

5.1.1.6 Costo de equipos de las estaciones que cuentan con un radioenlace

En la tabla 5.6 se presenta el costo unitario y total de los equipos y accesorios necesarios para la implementación de un radioenlace. Las estaciones que cuentan con un radioenlace son: TENA, ULBA, JUIVE, RUN, OVT, PALORA, CAMI, NASA, YANA, VC1, PUTZULAGUA, BORDE Y SAN FRANCISCO.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	C. UNITARIO (US\$)	C. TOTAL (US\$)
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	1	5200	5200
ANDREW DB436-A	Antena yagi	1	250	250
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	5m	12/m	60
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	2	28	56
Nexan	Cable Ethernet	35m	1/m	35
Panduit	Rack	1	200	200
TOTAL(US\$)				5801

Tabla 5.6 Costo de equipos para estaciones que cuentan con un radionlace

5.1.1.7 Costo de equipos de las estaciones que cuentan con dos radioenlaces

En la tabla 5.7 se presenta el costo unitario y total de los equipos y accesorios necesarios para la implementación de un radioenlace. Las estaciones que cuentan con un radioenlace son: CALVARIO, MONJAS, ATACAZO(MIL), COTACAHU, COTR Y TERRAZA.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	C. UNITARIO (US\$)	C. TOTAL (US\$)
APRISA SE	Radio transmisor/receptor	2	5200	10400
ANDREW DB436-A	Antena yagi	2	250	500
ANDREW LDF4-50A	Cable coaxial	10m	12/m	120
ANDREW F4PNMV2	Conector macho	4	28	112
Nexan	Cable Ethernet	10m	1/m	10
Panduit	Rack	1	200	200
TOTAL(US\$)				11342

Tabla 5.7 Costo de equipos para estaciones que cuentan con dos radionlaces

5.1.1.8 Costo total de equipos

A continuación, se presenta en la tabla 5.8, un resumen del costo total de todas las estaciones, pertenecientes a las redes IGEPN-1, IGEPN-2, IGEPN-3, IGEPN-4, IGEPN-5 e IGEPN-6.

ESTACIÓN	Rack Panduit	Radio APRISA SE	Antena yagi ANDREW DB436-A	Switch 3COM 4200G	pigtail ANDREW LDF4-50A	Conector macho ANDREW F4PNMV2	Cable Ethernet NEXAN	C.TOTAL (US\$)
RETU	200	36400	1750	890	420	392	35	40087
ILINIZAS	200	20800	1000	890	240	224	20	23374
QUITO	200	20800	1000	890	240	224	20	23374
ATACAZO(P ETRO)	200	20800	1000	890	240	224	20	23374
TENA	200	5200	250		60	56	5	5771
ULBA	200	5200	250		60	56	5	5771
JUIVE	200	5200	250		60	56	5	5771
LOMA GRANDE	200	15600	750	890	180	168	15	17803
RUN	200	5200	250		60	56	5	5771
OVT	200	5200	250		60	56	5	5771
PALORA	200	5200	250		60	56	5	5771
CAMI	200	5200	250		60	56	5	5771
NASA	200	5200	250		60	56	5	5771
YANA	200	5200	250		60	56	5	5771
VC1	200	5200	250		60	56	5	5771
PUTZULAGU A	200	5200	250		60	56	5	5771
BORDE	200	5200	250		60	56	5	5771
SAN FRANCISCO	200	5200	250		60	56	5	5771
CALVARIO	200	10400	500		120	112	10	11342
MONJAS	200	10400	500		120	112	10	11342
ATACAZO(M IL)	200	10400	500		120	112	10	11342
COTACACHI	200	10400	500		120	112	10	11342
COTR	200	10400	500		120	112	10	11342
TERRAZA	200	10400	500		120	112	10	11342
TOTAL	4800	244400	11750	4450	2820	2632	235	271087

Tabla 5.8 Costo total de estaciones

5.1.2 COSTOS DE INFRAESTRUCTURA

En todas las estaciones existe una infraestructura previamente instalada como para albergar los equipos transmisores, además se cuenta con torres de 8,10 y 12 metros que pueden servir para instalar la nueva antena y los equipos necesarios. Todos los sitios cuentan con paneles solares y fuentes DC de 12 [V] con sistema de respaldo provisto de baterías de 75 [Ah], todo esto es capaz de alimentar a los nuevos equipos sugeridos para el diseño, además los sitios cuentan con caminos de acceso. Sin embargo para el radionlace COTR – QUITO, se necesitan instalar torres de 35 y 30m respectivamente, para sustituir las torres de 12m existentes por las ya mencionadas.

Tomando como referencia los costos de torres autoportadas proporcionados por la empresa SEDEMI, se tiene:

ESTACIÓN	TORRE	CANTIDAD	C. UNITARIO (US\$)	C. TOTAL (US\$)
COTR	Autoportada de 35m	1	4635	4635
QUITO	Autoportada de 30m	1	4125	4125
TOTAL(US\$)				8760

Tabla 5.9 Costos de infraestructura

Los costos indicados en la tabla 5.8, incluyen instalación y movilización de componentes para torres autoportadas.

5.1.3 COSTOS DE INSTALACIÓN

Los costos que cubren la instalación y puesta en servicio de cada estación, corresponde a un valor fijado en el 10% del costo de equipos a instalarse.

Costo total de equipos (US\$)		Costo de instalación(US\$)
266287	266287 * 10%	26628,7

Tabla 5.10 Costos de instalación.

5.1.4 COSTOS DE INGENIERÍA

Los costos de ingeniería corresponden a los honorarios del grupo de personas encargadas del diseño del sistema y estudio de campo de la zona del mismo.

El estudio de campo y verificación, comprende la factibilidad de acceso a la ubicación, la validación de la actual infraestructura y la influencia de factores climáticos.

El costo del diseño incluye: estudio de la situación actual, estimación de mapas y perfiles topográficos, esquemas de red, selección de equipos y demás aspectos a considerar en el diseño.

Para la valoración de los costos de ingeniería, se ha realizado un cálculo general para todas las estaciones, basado en el número de horas empleadas para el diseño, así:

$$\text{Costo de ingeniería} = \text{Total de horas de trabajo} \times \text{costo de hora de trabajo}$$

Total de horas de trabajo	Costo de hora de trabajo(US\$)	Costo de Ingeniería(US\$)
520	20	10400

Tabla 5.11 Costos de ingeniería

5.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costos de operación y mantenimiento son los que se pagarán durante todo el tiempo de vida del sistema. Estos costos se generan mensualmente y se consideran los siguientes:

- Costo por derecho de concesión y por el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico
- Costos de soporte y operación de la red

5.2.1 COSTO POR DERECHO DE CONCESIÓN Y POR EL USO DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El presente proyecto operará en la banda de 400 Mhz, para la cuál se calculará las tarifas por el uso de frecuencias de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico

5.2.1.1 Derechos de Concesión

El derecho de concesión se calcula en base a los siguientes parámetros dados por la SNT, así se tiene:

- De acuerdo al Reglamento De Derechos Por Concesión y Tarifas Por Uso De Frecuencias Del Espectro Radioeléctrico.
- Se paga una sola vez por el tiempo de vigencia del título habilitante (5 años).

$$D_c = T(\text{US \$}) * T_c * F_{cf} \quad (\text{Ec. 5.1})$$

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico en dólares de los Estados Unidos de América correspondiente al Servicio y al Sistema en consideración.

T_c = Tiempo de concesión. Valor en meses de la concesión a otorgarse al respectivo servicio y sistema. Para nuestro caso sera de 60 meses.

F_{cf} = Factor de concesión de frecuencias, para las frecuencias entre 0 y 1 Ghz el valor F_{cf} es de 0,054194.

D_c = Valor Derecho de concesión.

5.2.1.2 Tarifa mensual

La tarifa mensual por cada radioenlace se calcula con la siguiente fórmula impuesta por la SNT (Secretaria Nacional de Telecomunicaciones).

$$T(US \$) = K_a * \alpha_3 * \beta_3 * A * D \quad (\text{Ec. 5.2})$$

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América, por frecuencia asignada.

K_a = Factor de ajuste por inflación.

α_3 = Coeficiente de valoración del espectro para el Servicio Móvil en bandas sobre 30 MHz, no multiacceso, , para las frecuencias entre 0 y 1 Ghz el valor α_3 es de 0,0815313

β_3 = Coeficiente de corrección para el Servicio Móvil en bandas sobre 30 MHz, no multiacceso. Para nuestro caso β_3 es igual a 1

A = Anchura de banda de la frecuencia asignada, en kHz.

D = Distancia en kilómetros entre las estaciones fijas

Utilizando las ecuaciones 5.1 Y 5.2 y reemplazando los parámetros descritos anteriormente, el valor por derecho de concesión y tarifa mensual para cada radioenlace se detallan en las siguientes tablas, así:

5.2.1.3 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-1

CALCULOS DE DERECHOS POR CONCESION Y TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS							
Resolución N°769-31-CONATEL-2003 del 16-DIC-2003							
Registro Oficial 242 del 30-DIC-2003							
Concesionario: INSTITUTO GEOFÍSICO							
Servicio: ENLACE PUNTO – PUNTO							
Trámite: RENOVACION o CONCESION							
ENLACE:		TENA - CALVARIO	CALVARIO - RETU	RETU - ILINIZA	ILINIZA - MONJAS	MONJAS - ATACAZO(MIL)	ATACAZO(MIL) - QUITO
Frecuencia(s) MHz:	min	401,1000	400,5375	400,225	400,475	400,0375	400,1625
	máx	401,1500	400,5875	400,275	400,525	400,0875	400,2125
Modo de Operación:		Duplex	Duplex	Duplex	Duplex	Duplex	Duplex
1.) DERECHOS POR CONCESION							
Fórmula aplicada: $Dc = T \times Tc \times Fcf$							
Tarifa mensual (US\$)	T	64,28	29,28	70,32	22,16	7,34	7,34
Tiempo de Concesión (meses)	Tc	60	60	60	60	60	60
Factor de Concesión de Frec.	Fcf	0,054194	0,054194	0,054194	0,054194	0,054194	0,054194
DERECHOS DE CONCESION: US\$		209,02	95,21	228,66	72,06	23,87	23,87
2.) TARIFA POR USO DE FRECUENCIAS							
Fórmula Aplicada por frecuencia: $T(US\$) = Ka \times \alpha_3 \times \beta_3 \times A \times D^2$							
Distancia del Enlace (Km):		88,78	59,92	92,86	52,13	19,5	19,96
TARIFA MENSUAL							
Factor de Ajuste por Inflación	Ka	1	1	1	1	1	1
Coeficiente de Val. del Espectro	α_3	0,0815313	0,0815313	0,081531	0,0815313	0,0815313	0,0815313
Coeficiente de Corrección	β_3	1	1	1	1	1	1
Anchura de Banda (MHz)	A	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Distancia para el Cálculo (Km)	D	88,78	59,92	92,86	52,13	30	30
VALOR POR FRECUENCIA: US\$	VPF	32,14	14,64	35,16	11,08	3,67	3,67
VALOR TOTAL							
Tarifa Mensual por Frec. de Tx	VPF	32,14	14,64	35,16	11,08	3,67	3,67
Tarifa Mensual por Frec. de Rx	VPF	32,14	14,64	35,16	11,08	3,67	3,67
TARIFA MENSUAL TOTAL: US\$		64,28	29,28	70,32	22,16	7,34	7,34

Tabla 5.12 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual de la red IGEPN-1

5.2.1.4 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-2

CALCULOS DE DERECHOS POR CONCESION Y TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS				
Resolución N°769-31-CONATEL-2003 del 16-DIC-2003				
Registro Oficial 242 del 30-DIC-2003				
Concesionario: INSTITUTO GEOFÍSICO				
Servicio: ENLACE PUNTO - PUNTO				
Trámite: RENOVACION o CONCESION				
ENLACE:		<i>RUN – LOMA GRANDE</i>	<i>JUIVE – LOMA GRANDE</i>	<i>RETU – LOMA GRANDE</i>
Frecuencia(s) MHz:	min	400,2875	400,600	400,350
	máx	400,3375	400,650	400,400
Modo de Operación:		Duplex	Duplex	Duplex
1.) DERECHOS POR CONCESION				
Fórmula aplicada: $Dc = T \cdot Tc \cdot Fcf$				
Tarifa mensual (US\$)	T	0,32	0,3	0,86
Tiempo de Concesión (meses)	60	60	60	60
Factor de Concesión de Frec.	Fcf	0,054194	0,054194	0,054194
DERECHOS DE CONCESION: US\$		1,04	0,98	2,8
2.) TARIFA POR USO DE FRECUENCIAS				
Fórmula Aplicada por frecuencia: $T(US\$) = Ka \cdot \alpha_3 \cdot \beta_3 \cdot A \cdot D^2$				
Distancia del Enlace (Km):		6,12	5,93	10,23
	Rango de Frec.		Dist. máxima	Dist. mínima
	0GHz<f<=1GHz		70 Km	5 Km
TARIFA MENSUAL				
Factor de Ajuste por Inflación	Ka	1	1	1
Coefficiente de Val. del Espectro	α_3	0,0815313	0,0815313	0,081531
Coefficiente de Corrección	β_3	1	1	1
Anchura de Banda (MHz)	A	0,05	0,05	0,05
Distancia para el Cálculo (Km)	D	6,12	5,93	10,23
VALOR POR FRECUENCIA: US\$	VPF	0,16	0,15	0,43
VALOR TOTAL				
Tarifa Mensual por Frec. de Tx	VPF	0,16	0,15	0,43
Tarifa Mensual por Frec. de Rx	VPF	0,16	0,15	0,43
TARIFA MENSUAL TOTAL: US\$		0,32	0,30	0,86

Tabla 5.13 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual de la red IGEPN-2

5.2.1.5 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-3

CALCULOS DE DERECHOS POR CONCESION Y TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS				
Resolución N°769-31-CONATEL-2003 del 16-DIC-2003				
Registro Oficial 242 del 30-DIC-2003				
Concesionario: INSTITUTO GEOFÍSICO				
Servicio: ENLACE PUNTO - PUNTO				
Trámite: RENOVACION o CONCESION				
ENLACE:		<i>PALORA -RETU</i>	<i>ULBA - RETU</i>	<i>OVT-RETU</i>
Frecuencia(s) MHz:	min	401,0375	401,475	401,2875
	máx	401,0875	401,525	401,3375
Modo de Operación:		Duplex	Duplex	Duplex
1.) DERECHOS POR CONCESION				
Fórmula aplicada: $Dc = T \cdot Tc \cdot Fcf$				
Tarifa mensual (US\$)	T	29,88	0,32	1,42
Tiempo de Concesión (meses)	60	60	60	60
Factor de Concesión de Frec.	Fcf	0,054194	0,054194	0,054194
DERECHOS DE CONCESION: US\$		97,16	1,04	4,62
2.) TARIFA POR USO DE FRECUENCIAS				
Fórmula Aplicada por frecuencia: $T(US\$) = Ka \cdot \alpha_3 \cdot \beta_3 \cdot A \cdot D^2$				
Distancia del Enlace (Km):		60,53	6,12	13,17
		Rango de Frec.	Dist. máxima	Dist. mínima
		0GHz<f<=1GHz	70 Km	5 Km
TARIFA MENSUAL				
Factor de Ajuste por Inflación	Ka	1	1	1
Coefficiente de Val. del Espectro	α_3	0,0815313	0,0815313	0,081531
Coefficiente de Corrección	β_3	1	1	1
Anchura de Banda (MHz)	A	0,05	0,05	0,05
Distancia para el Cálculo (Km)	D	60,53	6,12	13,71
VALOR POR FRECUENCIA: US\$	VPF	14,94	0,16	0,71
VALOR TOTAL				
Tarifa Mensual por Frec. de Tx	VPF	14,94	0,16	0,71
Tarifa Mensual por Frec. de Rx	VPF	14,94	0,16	0,71
TARIFA MENSUAL TOTAL: US\$		29,88	0,32	1,42

Tabla 5.14 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual de la red IGEPN-3

5.2.1.6 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-4

CALCULOS DE DERECHOS POR CONCESION Y TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS			
Resolución N° 769-31-CONATEL-2003 del 16-DIC-2003			
Registro Oficial 242 del 30-DIC-2003			
Concesionario: INSTITUTO GEOFÍSICO			
Servicio: ENLACE PUNTO - PUNTO			
Trámite: RENOVACION o CONCESION			
ENLACE:		<i>NASA - ILINIZAS</i>	<i>CAMI - ILINIZAS</i>
Frecuencia(s) MHz:	min	401,1625	401,600
	máx	401,2125	401,650
Modo de Operación:		Duplex	Duplex
1.) DERECHOS POR CONCESION			
Fórmula aplicada: $Dc = T \cdot Tc \cdot Fcf$			
Tarifa mensual (US\$)	T	4,24	2,98
Tiempo de Concesión (meses)	60	60	60
Factor de Concesión de Frec.	Fcf	0,054194	0,054194
DERECHOS DE CONCESION: US\$		13,79	9,69
2.) TARIFA POR USO DE FRECUENCIAS			
Fórmula Aplicada por frecuencia: $T(US\$) = Ka \cdot \alpha_3 \cdot \beta_3 \cdot A \cdot D^2$			
Distancia del Enlace (Km):		22,77	19,07
		Rango de Frec.	Dist. máxima
		0GHz < f <= 1GHz	70 Km
TARIFA MENSUAL			
Factor de Ajuste por Inflación	Ka	1	1
Coeficiente de Val. del Espectro	α_3	0,0815313	0,0815313
Coeficiente de Corrección	β_3	1	1
Anchura de Banda (MHz)	A	0,05	0,05
Distancia para el Cálculo (Km)	D	13,79	19,07
VALOR POR FRECUENCIA: US\$	VPF	2,12	1,49
VALOR TOTAL			
Tarifa Mensual por Frec. de Tx	VPF	2,12	1,49
Tarifa Mensual por Frec. de Rx	VPF	2,12	1,49
TARIFA MENSUAL TOTAL: US\$		4,24	2,98

Tabla 5.15 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual de la red IGEPN-4

5.2.1.7 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-5

CALCULOS DE DERECHOS POR CONCESION Y TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS						
Resolución N° 769-31-CONATEL-2003 del 16-DIC-2003						
Registro Oficial 242 del 30-DIC-2003						
Concesionario: INSTITUTO GEOFÍSICO						
Servicio: ENLACE PUNTO - PUNTO						
Trámite: RENOVACION o CONCESION						
ENLACE:		PUTZULAGUA - TERRAZA	TERRAZO – ATACAZO (PETRO)	BORDE – ATACAZO (PETRO)	SAN FRANCISCO – ATACAZO (PETRO)	ATACAZO (PETRO) - QUITO)
Frecuencia(s) MHz:	min	401,5375	401,225	401,4125	401,35	401,60
	máx	401,5875	401,275	401,4625	401,40	401,65
Modo de Operación:		Duplex	Duplex	Duplex	Duplex	Duplex
1.) DERECHOS POR CONCESION						
Fórmula aplicada: $Dc = T \cdot Tc \cdot Fcf$						
Tarifa mensual (US\$)	T	63,16	1,62	1,80	1,4	2,42
Tiempo de Concesión (meses)	Tc	60	60	60	60	60
Factor de Concesión de Frec.	Fcf	0,054194	0,054194	0,054194	0,054194	0,054194
DERECHOS DE CONCESION: US\$		205,37	5,27	5,85	4,55	7,87
2.) TARIFA POR USO DE FRECUENCIAS						
Fórmula Aplicada por frecuencia: $T(US\$) = Ka \cdot \alpha_3 \cdot \beta_3 \cdot A \cdot D^2$						
Distancia del Enlace (Km):		88,01	14,01	14,79	13,08	17,16
TARIFA MENSUAL						
Factor de Ajuste por Inflación	Ka	1	1	1	1	1
Coefficiente de Val. del Espectro	α_3	0,0815313	0,0815313	0,081531	0,0815313	0,0815313
Coefficiente de Corrección	β_3	1	1	1	1	1
Anchura de Banda (MHz)	A	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Distancia para el Cálculo (Km)	D	88,01	14,01	14,79	13,08	17,16
VALOR POR FRECUENCIA: US\$	VPF	31,58	0,81	0,90	0,70	1,21
VALOR TOTAL						
Tarifa Mensual por Frec. de Tx	VPF	31,58	0,81	0,90	0,70	1,21
Tarifa Mensual por Frec. de Rx	VPF	31,58	0,81	0,90	0,70	1,21
TARIFA MENSUAL TOTAL: US\$		63,1	1,62	1,80	1,40	2,42

Tabla 5.16 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual de la red IGEPN-5

5.2.1.8 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual para los radioenlaces pertenecientes a la red IGEPN-6

CÁLCULOS DE DERECHOS POR CONCESIÓN Y TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS					
Resolución N° 769-31-CONATEL-2003 del 16-DIC-2003					
Registro Oficial 242 del 30-DIC-2003					
Concesionario: INSTITUTO GEOFÍSICO					
Servicio: ENLACE PUNTO - PUNTO					
Trámite: RENOVACIÓN o CONCESIÓN					
ENLACE:		YANA - COTACACHI	COTACACHI - QUITO	VC1 - COTR	COTR- QUITO
Frecuencia(s) MHz:	min	401,0375	401,475	401,2875	400,35
	máx	401,0875	401,525	401,3375	400,40
Modo de Operación:		Duplex	Duplex	Duplex	Duplex
1.) DERECHOS POR CONCESION					
Fórmula aplicada: $Dc = T \cdot Tc \cdot Fcf$					
Tarifa mensual (US\$)	T	25,72	32,10	0,16	20,72
Tiempo de Concesión (meses)	Tc	60	60	60	60
Factor de Concesión de Frec.	Fcf	0,054194	0,054194	0,054194	0,054194
DERECHOS DE CONCESIÓN: US\$		83,63	104,38	0,52	67,37
2.) TARIFA POR USO DE FRECUENCIAS					
Fórmula Aplicada por frecuencia: $T(US\$) = Ka \cdot \alpha_3 \cdot \beta_3 \cdot A \cdot D^2$					
Distancia del Enlace (Km):		56,16	62,74	4,42	50,39
TARIFA MENSUAL					
Factor de Ajuste por Inflación	Ka	1	1	1	1
Coeficiente de Val. del Espectro	α_3	0,0815313	0,0815313	0,081531	0,0815313
Coeficiente de Corrección	β_3	1	1	1	1
Anchura de Banda (MHz)	A	0,05	0,05	0,05	0,05
Distancia para el Cálculo (Km)	D	56,16	62,74	4,42	50,39
VALOR POR FRECUENCIA: US\$	VPF	12,86	16,05	0,08	10,36
VALOR TOTAL					
Tarifa Mensual por Frec. de Tx	VPF	12,86	16,05	0,08	10,36
Tarifa Mensual por Frec. de Rx	VPF	12,86	16,05	0,08	10,36
TARIFA MENSUAL TOTAL: US\$		25,72	32,10	0,16	20,72

Tabla 5.17 Costos por derecho de concesión y tarifa mensual de la red IGEPN-6

5.2.1.9 Resumen de costos por derechos de concesión y tarifas mensuales

A continuación se detalla los costos de derecho de concesión y tarifas mensuales de todos los radioenlaces, así:

Enlace	Derecho de concesión (US\$)	Tarifa mensual (US\$)	Total (US\$)
RED IGEPN-1			
TENA – CALVARIO	209,02	64,28	273,3
CALVARIO –RETU	95,21	29,28	124,49
RETU –ILINIZA	228,66	70,32	298,98
ILINIZA – MONJAS	72,06	22,16	94,22
MONJAS - ATACAZO(MIL)	23,87	7,34	31,21
ATACAZO(MIL) – QUITO	23,87	7,34	31,21
RED IGEPN-2			
RUN – LOMA GRANDE	1,04	0,32	1,36
JUIVE – LOMA GRANDE	0,98	0,30	1,28
RETU – LOMA GRANDE	2,8	0,86	3,66
RED IGEPN-3			
PALORA –RETU	97,16	29,88	127,04
ULBA – RETU	1,04	0,32	1,36
OVT-RETU	4,62	1,42	6,04
RED IGEPN-4			
NASA – ILINIZAS	13,79	4,24	18,03
CAMI – ILINIZAS	9,69	2,98	12,67
RED IGEPN-5			
PUTZULAGUA – TERRAZA	205,37	63,1	268,47
TERRAZO – ATACAZO (PETRO)	5,27	1,62	6,89
BORDE – ATACAZO (PETRO)	5,85	1,80	7,65
SAN FRANCISCO – ATACAZO (PETRO)	4,55	1,40	5,95
ATACAZO (PETRO) – QUITO	7,87	2,42	10,29
RED IGEPN-6			
YANA – COTACACHI	83,63	25,72	109,35
COTACACHI – QUITO	104,38	32,10	136,48
VC1 – COTR	0,52	0,16	0,68
COTR- QUITO	67,37	20,72	88,09
TOTAL	1268,62	390,08	1658,7

Tabla 5.18 Costos totales por derecho de concesión y tarifas mensuales

5.2.2 COSTOS DE SOPORTE Y OPERACIÓN DE LA RED

Los costos de operación incluyen el mantenimiento, soporte y monitoreo periódicos de la red; para lo cual el Instituto Geofísico dispone de personal asignado para dichas áreas.

En lo que respecta a costos de repuestos de los equipos de radio, se ha presupuestado un cierto monto de dinero para ello. Si consideramos que la vida útil de los equipos es de 5 años, entonces se destinará el 3% del valor total, el cual será invertido anualmente en repuestos y mantenimiento como se muestra en la tabla 5.19

Descripción	Costo total (US\$)		Costo de soporte y operación (US\$)
Equipos de microonda	244400	244400 * 3%	7332

Tabla 5.19 Costos de soporte y operación de la red

5.3 ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL

La estimación del costo total comprende el costo de inversión y costos de operación y mantenimiento como se muestra en la tabla 5.20.

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
COSTOS DE INVERSIÓN	
Costos de equipos	271087
Costos de infraestructura	8760
Costos de instalación	26628,7
Costos de ingeniería	10400
COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	
Costos de derechos de concesión y tarifas mensuales	1658,7
Costos de soporte y operación de la red	7332
TOTAL	325866,40

Tabla 5.20 Costo total del proyecto

5.4 DEPRECIACIÓN O AMORTIZACIÓN^[11]

Se entiende como la disminución en el valor de las propiedades físicas con el paso del tiempo y el uso. En ella interviene directamente la vida útil esperada (estimada) de la propiedad o equipo.

El método clásico para el cálculo de la depreciación es de la Línea Recta (LR). Supone que se deprecia un monto constante en la vida depreciable (útil) del activo. Se calcula utilizando la ecuación 5.3:^[12]

$$d_K = \frac{B - VR_N}{N} \quad \text{ec (5.3)}$$

Donde:

d_K =depreciación anual [US\$]

B =costo de la inversión [US\$]

N =vida depreciable del activo en años

VR_N =valor de recuperación estimado al final del año N

La depreciación anual para el proyecto es:

$$d_{K(US\$)} = \frac{321066,4}{5} = 64213,28$$

La depreciación anual es de 64213,20, dado que la vida útil del equipo (N) será de 5 años y por esta razón el valor de recuperación (VR_N) al final del quinto año será de US\$ 0.0. Al final del último período a los equipos se los considera como obsoletos, siendo una razón para la renovación de los mismos.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 CONCLUSIONES

ASPECTO SOCIAL

El Instituto Geofísico es una entidad de alta prioridad, ya que controla toda la actividad sísmica del Ecuador, requiere un sistema confiable con una rápida respuesta frente al acontecimiento de cualquier evento impredecible, la implantación de nuestro proyecto se lo debe realizar en un corto plazo.

El presente proyecto esta orientado a centralizar la recolección de datos de los diferentes puntos de monitoreo ubicados en el país, cubriendo sitios de interés, donde se encuentran volcanes que pueden ocasionar peligros frecuentes a ciertas poblaciones aledañas a estos, como es el caso del volcán Tungurahua.

Los objetivos planteados en cuanto al desarrollo de alternativas que permitan aportar soluciones al problema existente en el sistema de comunicaciones del Instituto Geofísico de La Escuela Politécnica Nacional fue cubierta en ciento por ciento con la colaboración de la Ingeniera a cargo del sistema de comunicaciones de dicho Instituto.

ASPECTOS TÉCNICOS

De una manera u otra el proyecto sirvió también para crear un esquema no existente hasta el momento en dicho instituto, en la que se puede visualizar con mucha claridad todos y cada uno de los radioenlaces con sus respectivos perfiles que fueron desarrollados por el programa Radio Mobile, para dicho instituto se da como cumplidos los objetivos planteados y solo quedando restante su futura implementación.

El verdadero problema de la red de comunicación del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, radica en la infraestructura y equipos analógicos que posee actualmente.

En la trayectoria de cada radioenlace no hay obstrucciones considerables a la línea de vista, de manera que la altura mínima de las antenas requerida para librar el 60% de la primera zona de Fresnel no representa un problema si se desea implementar el enlace, a excepción del enlace COTR-QUITO en el que se presenta un obstáculo que nos obliga a ubicar las antenas a 35 y 30 m de altura.

Partiendo de los cálculos de pérdidas de propagación, nivel de intensidad de la señal de recepción, margen de desvanecimiento y el criterio de la primera zona de Fresnel se establece que los radioenlaces punto a punto de frecuencia de operación de 400 Mhz tienen el nivel de señal adecuado para garantizar la demodulación en el equipo de recepción.

La aplicación de modelos de predicción de propagación, como el modelo de Longley Rice, requiere información topográfica. El hecho de poder contar con topografía digital, nos permite tener un gran detalle de los puntos que se pretende monitorear con el sistema de comunicaciones.

ASPECTO ECONÓMICO

Al finalizar esta tesis hemos podido obtener importantes conclusiones, una de ellas y tal vez la más importante es que para la realización del estudio teórico de los radioenlaces no se necesita de grandes inversiones económicas en la adquisición de software propietarios, pues contando con un software libre disponible en la red se ha logrado desarrollar nuestro proyecto.

Se plantean alternativas factibles en cuanto a las estaciones repetidoras para mejorar el sistema de comunicaciones existente, tomando como criterio fundamental la modificación de los equipos analógicos existentes a equipos digitales, todo el

planteamiento se ha desarrollado, solo queda esperar por la aprobación de fondos económicos para su ejecución.

De acuerdo a la estimación de costos, la inversión que se debe realizar para cubrir los costos de: equipos, infraestructura e ingeniería asciende a un monto de US\$ 316875,7 y los costos de operación y mantenimiento, que incluye el pago mensual por el uso del espectro radioeléctrico equivalen a un monto de US\$ 8990,7 anuales

6.1 RECOMENDACIONES

En cuanto al plan de frecuencias, no existe actualmente en la SENATEL, una recomendación definida para la banda de frecuencia por debajo de un gigaherzio, lo cual nos obliga a investigar y recomendar un plan de canalización basada en datos empíricos usados en anteriores proyectos por ingenieros experimentados en el campo de la microondas.

Se recomienda que los equipos escogidos para la red cumplan como mínimo con cada una de las características básicas especificadas en el presente proyecto, dejando la libertad de optar por equipos con características adicionales en el mercado.

Se recomienda adoptar las frecuencias de transmisión y recepción calculadas para los diferentes enlaces. El establecimiento de las frecuencias contenidas en la tabla 3.1 contempla la no interferencia entre enlaces y ayuda a la optimización del espectro radioeléctrico.

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo en forma remota y de tiempo real que permita observar el comportamiento de parámetros como la potencia de recepción, el margen de desvanecimiento, la calidad y la disponibilidad de los enlaces, de este modo se asegura una intervención temprana en cuanto al proceso de reparación de fallas y al ajuste de equipo de transmisión.

GLOSARIO

Absorción: es la pérdida de la calidad de transmisión de una onda electromagnética ocasionada por impurezas o imperfecciones en la atmósfera.

Ancho de banda: Bandwidth. Cantidad de datos que puede ser enviada en un período de tiempo determinado a través de un circuito de comunicación dado. Técnicamente es la diferencia en hertzios (Hz) entre la frecuencia más alta y la más baja de un canal de transmisión.

APRISA SE: equipo de transmisión y recepción

Atenuación: pérdida o reducción de amplitud de una señal, por lo general, se expresa en decibeles [dB].

Azimuth: ángulo de orientación de las antenas con respecto al norte geográfico en sentido horario

Banda Base: Gama de frecuencias de la señal de información destinada a modular una portadora.

BGR: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

BER: (Bit Error Rate). Tasa de bits errados en sistemas digitales

Canal: Banda de frecuencias asignada para contener y transportar información de un tipo o servicio específico.

CONATEL: Consejo Nacional de Telecomunicaciones

Conductividad eléctrica: es la capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí

Configuración (1+0): configuración sin protección en la cual se utiliza una única unidad de radio.

Configuración (1+1): configuración con protección o hot standby, previene errores en la transmisión a la hora de que se producen fallas.

COSPEC: Correlation Spectrometer

dB: Decibel. Una medida utilizada para expresar la proporción que relacionan dos valores, usualmente la potencia de señales eléctricas, ópticas o acústicas, igual a 10 veces el logaritmo del cociente de las dos niveles de potencia expresados en vatios [w]

Despeje: condición que permite la línea de vista entre un transmisor y receptor.

Desvanecimiento: término usado en la propagación de señales de radiofrecuencia que describe la pérdida temporal de una señal debido a cambios en las condiciones atmosféricas.

Difracción: La difracción es el mecanismo responsable de la atenuación por obstáculos.

DOAS: Differential Optical Absorption Spectroscopy

Duplexor: Dispositivo que permite utilizar una sola antena o línea de transmisión para transmisión y recepción simultánea o alternadamente.

EDM: Electronic Distance Meter

EIRP: potencia isotrópica efectiva radiada, se define como la potencia equivalente de transmisión

GPS: Global Positioning System

Estabilidad de frecuencia: es la habilidad de un oscilador para permanecer a una frecuencia fija y es de máxima importancia en los sistemas de comunicación

Ethernet: Protocolo por el cual se comunican las computadoras en un entorno Local de red.

ETSI: (European Telecommunications Standards Institute) o Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones (fabricantes de equipos y operadores de redes) de Europa, con proyección mundial

Full Duplex (FDX): Forma de operación en donde la transmisión es posible en ambas direcciones al mismo tiempo.

Half Duplex (HDX): Semi dúplex. Modo operativo de una línea de comunicaciones en donde la transmisión ocurre en ambas direcciones pero sólo una a la vez. Las direcciones de transmisiones pueden ser conmutadas alternativamente para establecer un flujo de datos bidireccional

HRX: Hypothetical Reference Connection, conexión ficticia de referencia

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers. Instituto de Ingenieros Electrónicos y Electricistas. Organización internacional dedicada al mejoramiento profesional de la especialidad. Entre otras publicaciones, también emite estándares

IEEE 802.1p: Estándar de IEEE para definición de prioridades en el tráfico de red local entre conmutadores de ethernet según el puerto de conmutación, la dirección MAC o la dirección IP asociadas con el dispositivo Terminal de comunicaciones

Impedancia: es una magnitud que establece la relación entre la tensión y la intensidad de corriente. Tiene especial importancia si la corriente varía en el tiempo, en cuyo caso, esta, la tensión y la propia impedancia se notan con números complejos o funciones del análisis armónico..

IRD: Institut de Recherche pour le Développement – Francia

IRIS: Incorporated Research Institutions for Seismology.

ISO: Internacional Organization for Standardization (Organización Internacional para la Normalización) Organización de carácter voluntario fundada en 1946 que es responsable de la creación de estándares internacionales en muchas áreas, incluyendo la informática y las comunicaciones.

ITM: Irregular Terrain Model

LAT: Latitud

LON: longitud.

MAC: Media Access Control. Control de Acceso al Medio. Protocolo para control de acceso a un medio según las especificaciones de la IEEE. La subcapa inferior de la capa de enlace de la IEEE, que complementa al protocolo para Control de Enlace Lógico (LLC)

MHSB: Monitoreo en hot standby. Redundancia del equipamiento.

Microondas: Parte del espectro electromagnético entre el infrarrojo y las ondas de radio

MTBF: Mean Time Between Failures

MTTR: (Mean –Time To Restore) Tiempo medio para restaurar el servicio.

Omnidireccional: Dícese de la antena que transmite en todas direcciones del plano horizontal con la misma ganancia

OSI: Open Systems Interconnection (Interconexión de Sistemas Abiertos) Modelo de referencia diseño por comités ISO con el objetivo de convertirlos en estándares internacionales de arquitecturas de redes de ordenadores.

OTAV: estación de banda ancha en el sector de otavalo

OVCTX: Observatorio Volcánico Cotopaxi

OVT: Observatorio Volcán Tungurahua

OVREV: Observatorio volcánico reventador

Permitividad: es una constante física que describe cómo un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio. La permitividad del vacío ϵ_0 es $8,8541878176 \times 10^{-12}$ F/m.

Patloss: pérdidas en espacio libre

Polarización: Dirección del vector campo eléctrico de la onda electromagnética.

Portadora: Onda de radio, generalmente de una frecuencia fija, que es modulada por la señal de información a fin de transportar a ésta.

QAM: (Quadrature Amplitude Modulation). Modulación de amplitud en cuadratura, basada en la variación de la amplitud de la señal portadora entre una serie de niveles múltiples pero limitados

QPSK: (Quadrature Phase Shift Keying). Modulación de fase cuaternaria.

Refracción: Es la desviación aparente de un rayo cuando pasa de un medio a otro con diferente índice de refracción.

RENSIG: Red Nacional de Sismógrafos a cargo del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

RJ11: Conector modular de cuatro cables usado para telefonía, 10baseT, Ethernet LAN

RJ45: (Jack). Conector modular de 8 pines en el estándar 10base-T para conexiones UTP de estaciones de trabajo o pequeños concentradores.

ROVIG: Red Nacional de Observatorios volcánicos que mantiene el Instituto Geofísico

SNT. (SENATEL). Secretaria Nacional de Telecomunicaciones.

SOTE: Oleoducto Transecuatoriano

SRTM: (Shuttle Radar Topography Misión). Misión topográfica Radar Shuttle, es una misión para obtener un modelo digital de elevación de la zona del globo terráqueo entre 56 °S a 60 °N, de modo de generar una completa base de cartas topográficas digitales de alta resolución de la Tierra.

Switch: (Conmutador). Dispositivo Ethernet multipuerto diseñado para aumentar las prestaciones de la red permitiendo sólo el tráfico esencial en cada segmento de la red a los que está conectado. Se filtran o se remiten paquetes basándose en sus direcciones fuente y destino

Throughput: Rendimiento de la velocidad efectiva de procesamiento

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UIT-R: Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sector Estandarización en Radiocomunicaciones.

UIT-T: Unión internacional de Telecomunicaciones, Sector Estandarización en Telecomunicaciones.

UNAVCO: University NANTAR Consortium Boulder Colorado

Zona de Fresnel: se definen como elipsoides que rodean la trayectoria entre un transmisor y un receptor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] TOMASI, Wayne; Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Cuarta Edición, Editorial Prentice –Hall Hispanoamericana S.A; 2003.
- [2] RÁBANOS, Hernando; Transmisión por radio, Tercera Edición, Editorial Centro de Estudios Ramón Areces S.A; 1998.
- [3] JIMÉNEZ, María Soledad; Apuntes de Comunicación Digital.
- [4] RAPPAPORT, Theodore; Gíreles Communications, principles and practice, IEEE Press, Editorial Prentice Hall; 1996.
- [5] PANTER, Phillip; Communication system design, Line-of-sight and tropo-scatter systems, Editorial McGraw-Hill; 1972
- [6] SIEMENS TELECOMUNICATIONS; Propagation in Free space; EE-UU, 1992.
- [7] UIT, Recomendación UIT-R P.530-11.
- [8] CEVALLOS, Mario; Curso de Sistemas Radiantes, Escuela Politécnica Nacional.
- [9] INSTITUTO GEOFÍSICO DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- [10] De GARMO, E.Paúl; Ingeniería Económica; Décima Edición; Editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A; Mexico 1998
- [11] RODRÍGUEZ, Mario; Diseño de un sistema de telecomunicaciones para el banco de Loja entre la casa matriz en Loja y su agencia en Cariamanga.

Referencias bibliográficas electrónicas:

- <http://www.Andrew.com>; Antenas yagi.
- <http://www.4rf.com>; Equipos de microonda.
- http://www.tsc.urjc.es/docencia/RadiocomunicMoviles/archivos_0708/Tema2b_0708.pdf
- Definiendo frecuencia de operación
http://www.kimaldi.com/area_de_conocimiento/rfid/frecuencias_de_funcionamiento

- Sistemas de autenticación biométrica
http://www.wikilearning.com/sistemas_de_autenticacion_biometrica-wkccp-9777-38.htm.
- Control de Acceso Electrónico Mediante Tarjetas Magnéticas
www.geocities.com/gcataneo/tarjetas/control.htm.
- Tarjetas inteligentes
http://www.wikilearning.com/sistemas_basados_en_algo_poseido_tarjetas_inteligentes-wkccp-9777-37.htm.
- La red EPC Global
http://www.epcglobalsp.org/epc/epcglobalnetwork/es?set_language=es&cl=es
- Feig Electronics
http://www.feig.de/index.php?option=com_content&task=category§ionid=12&id=50&Itemid=124.
- Kimaldi Electronics
http://www.kimaldi.com/productos/control_de_acceso/control_de_acceso_online
- RFID inc
<http://www.rfidinc.com/r32serialspecs.html>
- Equipos CISCO
<http://www.cisco.com/en/US/products/hw/wireless/ps4570/index.html>
- www.wilac.net/tricalcar