

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**ESTUDIO DE LA MIGRACIÓN DEL
SISTEMA VHF ANALÓGICO A DIGITAL
DE PETROCOMERCIAL DISTRITO NORTE
TOMO I**

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

**MEDIAVILLA MOREJÓN DIEGO ARMANDO
dam_1696@yahoo.es**

**TALAVERA VILLAMARÍN DIANA CAROLINA
diany_ctv@yahoo.es**

**DIRECTOR: ING. ANTONIO CALDERÓN
a_calderon_e@hotmail.com**

Quito, Marzo 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Diego Armando Mediavilla Morejón y Diana Carolina Talavera Villamarín, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado 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.

Diego Mediavilla

Diana Talavera

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diego Armando Mediavilla Morejón y Diana Carolina Talavera Villamarín, bajo mi supervisión.

Ing. Antonio Calderón
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mi familia quienes siempre estuvieron en el momento y lugar adecuado brindándome todo su cariño, comprensión y apoyo en los diferentes retos que enfrenté a lo largo de mi vida.

A mi amiga y compañera de tesis, Diana Talavera, por la predisposición, paciencia y buena energía que siempre tuvo, sin la cual no hubiese sido posible la realización de este proyecto de titulación.

Al ingeniero Antonio Calderón por haber compartido toda su experiencia como educador y guiarnos a través de todo el proceso de ejecución del presente trabajo.

A mis compañeros de clase y demás amigos, con los cuales compartí los buenos y malos momentos propios de la vida estudiantil.

A mis compañeros del Área de Comunicaciones de EPPETROECUADOR ya que sin su apoyo y conocimiento la consecución de éste proyecto hubiese sido mucho más difícil.

Diego Mediavilla

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la bendición de la vida y mis seres queridos y permitirme terminar con éxito mi etapa profesional junto a ellos.

A mis padres y a mi hermano, quienes con su amor y apoyo incondicional me ayudaron a enfrentar los duros retos del camino y han compartido conmigo mis logros y fracasos; y en general a toda mi familia, especialmente a mis abuelitos, por ser el ejemplo más grande de lucha y perseverancia.

Al Ing. Antonio Calderón, tutor de este proyecto de titulación, por brindarnos sus conocimientos, tiempo, paciencia; ya que gracias a su colaboración se desarrolló exitosamente esta tesis.

A mi amigo y compañero de tesis, Diego Mediavilla, por el esfuerzo y entusiasmo que demostró en la realización de este proyecto. Le agradezco por compartir conmigo la alegría de la culminación de nuestra carrera.

Al personal del Área de Infraestructura de Comunicaciones de EPPETROECUADOR, por brindarnos sus conocimientos y por la predisposición para responder nuestras inquietudes, sin lo cual no hubiese sido posible la realización de esta tesis.

A mis compañeros de carrera y lucha, por demostrarme su gran cariño y amistad con quienes compartí mis mejores años de universidad.

Diana Talavera

DEDICATORIA

En primer lugar a mis padres Luis Mediavilla y Beatriz Morejón, quienes con su amor, apoyo, consejos y sobre todo con el ejemplo son el pilar fundamental sobre el cual se asienta mi vida y a quienes les debo todos los logros que he conseguido.

En segundo lugar a mi abuelita María Carrera y a mi hermano Henry Mediavilla que me acompañaron a lo largo de éste proyecto y de mi vida y que por designios de Dios hoy continúan conmigo pero desde el cielo.

Diego Mediavilla

DEDICATORIA

A mis padres, Carlos Talavera B. y Narciza Villamarín V.; y a mi hermano Carlos Talavera V., porque son la razón de mi vida y la inspiración de este proyecto de titulación.

A mis seres queridos en el cielo, mis abuelitos Elenita y Segundito; mis tíos Bolívar y Lucy, porque su presencia y bendiciones siguen iluminando mi camino.

Diana Talavera

ÍNDICE

Contenido

TOMO I

ÍNDICE.....	VIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XXIX
RESUMEN	XXXII
PRESENTACIÓN	XXXIII
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO	34
1.1 CONCEPTOS BÁSICOS.....	34
1.1.1 RADIO ENLACE	34
1.1.2 CANAL DE RADIO.....	34
1.1.3 GANANCIA	34
1.1.4 LINEA DE VISTA.....	34
1.1.5 RUIDO	35
1.1.6 INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA.....	35
1.1.7 DISTORSIÓN	35
1.1.8 TRÁFICO.....	35
1.1.9 COBERTURA.....	36
1.1.10 ONDAS.....	36
1.1.11 ACCESO AL MEDIO	36
1.1.11.1 Técnicas de Acceso al Medio.....	36
1.1.11.1.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).....	36
1.1.11.1.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	37
1.1.11.1.3 Acceso múltiple por división de código (CDMA).....	37
1.1.12 PROPAGACIÓN RADIOELÉCTRICA	37
1.1.13 UNIDADES USADAS EN RADIOENLACES	37
1.1.13.1 Vatio	37
1.1.13.2 Unidades Adimensionales.....	38
1.1.13.2.1 Decibel (dB)	38
1.1.13.2.2 Decibelio milivatio (dBm).....	38
1.1.13.2.3 Decibelio isotrópico (dBi)	39

1.1.13.2.4	<i>Decibelio dipolo (dBd)</i>	39
1.2	ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	39
1.2.1	BANDAS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	40
1.2.2	ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA	41
1.2.3	RADIOTRANSMISIÓN	42
1.2.4	POLÍTICAS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	44
1.3	PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	45
1.3.1	ONDA ELECTROMAGNÉTICA	45
1.3.2	RADIO PROPAGACIÓN	45
1.3.2.1	Propiedades de la propagación de las ondas	46
1.3.2.2	Polarización de una onda electromagnética	46
1.3.2.2.1	<i>Polarización Lineal</i>	<i>46</i>
1.3.2.2.2	<i>Polarización Circular</i>	<i>47</i>
1.3.2.2.3	<i>Polarización Elíptica</i>	<i>47</i>
1.3.3	RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	47
1.3.3.1	Densidad de Potencia	47
1.3.3.2	Intensidad de Campo	48
1.3.3.3	Atenuación de una Onda	48
1.3.3.4	Absorción de una Onda	48
1.3.3.5	Propiedades ópticas de las Ondas de Radio	49
1.3.3.5.1	<i>Refracción</i>	<i>49</i>
1.3.3.5.2	<i>Reflexión</i>	<i>50</i>
1.3.3.5.3	<i>Difracción</i>	<i>50</i>
1.3.3.5.4	<i>Dispersión</i>	<i>51</i>
1.3.3.5.5	<i>Interferencia</i>	<i>51</i>
1.3.4	FORMAS DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS RADIOELÉCTRICAS	52
1.3.4.1	Propagación Directa	52
1.3.4.2	Propagación por Reflexión	52
1.3.4.3	Propagación por Difracción	53
1.3.4.4	Propagación por Refracción	54
1.3.5	PROPAGACIÓN TERRESTRE DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS	54

1.3.5.1	Propagación de las ondas terrestres.....	55
1.3.5.2	Propagación de las ondas espaciales	56
1.3.5.3	Propagación de las ondas celestes	57
1.4	MEDIOS DE TRANSMISIÓN	58
1.4.1	CARACTERÍSTICAS.....	59
1.4.1.1	Velocidad de Transmisión	59
1.4.1.2	Ancho de Banda.....	59
1.4.2	CLASIFICACIÓN.....	60
1.4.2.1	Medios Guiados	60
1.4.2.1.1	<i>Par Trenzado</i>	<i>60</i>
	➤ UTP (Unshielded Twisted Pair)	61
	➤ STP (Shielded Twisted Pair)	62
1.4.2.1.2	<i>Cable Coaxial.....</i>	<i>62</i>
	➤ Cable coaxial de banda base.....	62
	➤ Cable coaxial de banda ancha.....	62
1.4.2.1.3	<i>Fibra Óptica.....</i>	<i>63</i>
	➤ Fibra Multimodo	63
	➤ Fibra Monomodo.....	63
1.4.2.2	Medios No Guiados.....	64
1.4.2.2.1	<i>Radio.....</i>	<i>64</i>
1.4.2.2.2	<i>Microondas.....</i>	<i>64</i>
1.4.2.2.3	<i>Infrarrojos</i>	<i>65</i>
1.5	RADIO SOBRE PROTOCOLO IP (RoIP)	65
1.5.1	Voz sobre IP (VoIP).....	65
1.5.1.1	Protocolos de VoIP	66
1.5.1.2	Parámetros de VoIP	67
1.5.1.2.1	<i>Códecs.....</i>	<i>67</i>
1.5.1.2.2	<i>Retardo o latencia</i>	<i>68</i>
1.5.1.2.3	<i>Calidad de Servicio</i>	<i>68</i>
1.5.1.2.4	<i>Transmisión de voz</i>	<i>69</i>
1.5.2	Radio sobre IP (RoIP)	69
1.5.2.1	Características de Radio Sobre IP	70
1.5.2.1.1	<i>PTT (Push to Talk)</i>	<i>71</i>

1.5.2.1.2	<i>COR (Carrier Operated Relay)</i>	71
1.6	RADIOENLACES	72
1.6.1	TIPOS DE RADIOENLACES	73
1.6.1.1	Enlaces punto a punto	73
1.6.1.2	Enlaces punto – multipunto	73
1.6.1.3	Enlaces Analógicos	74
1.6.1.4	Enlaces Digitales.....	74
1.6.2	TERMINOLOGÍA PARA RADIOENLACES	74
1.6.2.1	Sistemas de Comunicación Móvil	74
1.6.2.1.1	<i>Composición de un sistema de comunicación móvil</i>	75
➤	Estaciones Fijas	75
➤	Estaciones Móviles	77
➤	Equipos De Control	78
1.6.2.2	Margen y relación Señal a Ruido (S/N)	78
1.6.2.3	Perfil topográfico	78
1.6.2.4	Zona de Fresnel	79
1.6.2.5	Confiabilidad o Calidad de un Radioenlace	80
1.6.2.6	Fidelidad de un radioenlace	81
1.6.3	DISEÑO DE UN RADIOENLACE	81
1.6.3.1	Planificación del Enlace de Radio	81
1.6.3.2	Presupuesto de Potencia de Enlace	82
1.6.3.2.1	<i>Elementos de un presupuesto de potencia de enlace</i>	82
➤	El Lado de Transmisión	84
➤	Pérdidas en la propagación de la información:.....	86
➤	El lado de recepción.....	91
➤	Otros parámetros importantes.....	91
1.6.3.3	Procedimiento de Diseño de un Radioenlace	92
1.6.3.3.1	<i>Análisis de la geometría del perfil</i>	93
➤	Datos iniciales	93
➤	Cálculo del efecto de refracción y punto de reflexión	93
➤	Efecto de la difracción	95
➤	Cálculo del margen de despeje M_D	95
➤	Criterios para la determinación de la altura de las antenas.....	96

➤ Repetidores pasivos.....	97
1.6.3.3.2 <i>Cálculo del margen de desvanecimiento</i>	97
➤ Datos iniciales.....	97
➤ Cálculo de la potencia nominal de recepción	97
➤ Determinación de la potencia umbral	98
➤ Determinación del margen de desvanecimiento y de la confiabilidad del enlace	98
➤ Efecto del espacio libre.....	99
1.6.3.3.3 <i>Validación de datos y resultados</i>	99
1.7 ANTENAS	99
1.7.1 PARÁMETROS DE UNA ANTENA	99
1.7.1.1 Sistema de coordenadas de la antena	99
1.7.1.2 Diagrama de radiación	100
1.7.1.3 Campos cercano y lejano	101
1.7.1.4 Resistencia de radiación	101
1.7.1.5 Eficiencia de la antena	102
1.7.1.6 Ganancia	102
1.7.1.7 Ganancia directiva o de antena	102
1.7.1.8 Ganancia de Potencia	102
1.7.1.9 Potencia isotrópica efectiva radiada de una antena	103
1.7.1.10 Área capturada y potencia capturada	103
1.7.1.11 Polarización de antena	104
1.7.1.12 Impedancia de entrada de la antena	104
1.7.1.13 Rango de Frecuencia	105
1.7.2 TIPOS BÁSICOS DE ANTENAS	105
1.7.2.1 Antenas de Hilo	105
1.7.2.2 Antenas de apertura	105
1.7.2.3 Antenas Planas	106
1.7.2.4 Arreglo de antenas	106
1.7.3 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS ANTENAS	106
1.7.3.1 Según su forma de radiación	106
1.7.3.2 Según su geometría y/o construcción	107

1.7.4	DESCRIPCIÓN DE LAS ANTENAS MÁS IMPORTANTES USADAS EN VHF	108
1.7.4.1	Dipolo corto.....	108
1.7.4.2	Dipolo de media onda.....	109
1.7.4.3	Dipolo doblado.....	110
1.7.4.4	Antena YAGI – UDA.....	111
1.7.4.5	Antena Log – Periódica.....	112
1.7.4.6	Antena Helicoidal.....	113
1.7.4.7	Antena monopolo o antena conectada a tierra.....	113
1.8	SISTEMAS DE RADIO ANALÓGICO	114
1.8.1	GENERALIDADES	114
1.8.2	COMPONENTES DE UN ENLACE ANALÓGICO	115
1.8.2.1	Modulador	115
1.8.2.1.1	<i>Modulación</i>	116
1.8.2.1.2	<i>Sistemas de Modulación</i>	116
	➤ Modulación de amplitud (AM).....	116
	➤ Modulación en frecuencia (FM).....	117
	➤ Modulación de fase (PM).....	118
1.8.2.2	Transmisor – Receptor	119
1.8.2.3	Antenas	119
1.8.2.4	Demodulador	119
1.8.2.5	Sección de Frecuencia Intermedia (FI)	120
1.9	SISTEMAS DE RADIO DIGITAL	120
1.9.1	GENERALIDADES	120
1.9.2	COMPONENTES DE UN ENLACE DIGITAL	121
1.9.2.1	Codificación	121
1.9.2.1.1	<i>Precodificador</i>	121
	➤ Codificación de Fuente.....	122
	➤ Codificación de Canal.....	122
1.9.2.1.2	<i>Decodificador</i>	122
1.9.2.2	FCP (Filtro conformador de pulso) y Ecuador	122
1.9.2.3	Modulador – Demodulador	123
1.9.2.3.1	<i>Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK)</i>	123

1.9.2.3.2	<i>Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)</i>	124
1.9.2.3.3	<i>Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)</i>	125
1.9.2.4	Sección de Radiofrecuencia	125
1.9.2.4.1	<i>Transmisor (FI/RF)</i>	125
1.9.2.4.2	<i>Receptor (RF/FI)</i>	125
1.9.2.5	Antena	126
1.9.2.6	Canal de Comunicación	126
1.10	SIMULADORES DE ENLACES	126
1.10.1	RADIO MOBILE	126
1.10.1.1	Algoritmo de cálculos de propagación	128
➤	ITM (Irregular Terrain Model).....	128
1.10.1.2	Aplicaciones	128
1.10.2	MOTOROLA PTP (POINT TO POINT) LINKPLANNER	129
1.10.2.1	Conceptos de LINKPlanner	129
➤	NLoS y LoS.....	129
➤	Arquitectura	130
➤	Datos de entrada y de salida	130
CAPÍTULO 2. DISEÑO	132
2.1	INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO	132
2.2	ANTECEDENTES	133
2.2.1	IMPORTANCIA DE LA COMUNICACIÓN VHF PARA LA	
EMPRESA	133
2.2.2	ENLACE ACTUAL DE PETROCOMERCIAL	133
2.2.2.1	Breve descripción de la empresa Petrocomercial	133
2.2.2.2	Sistema VHF del Poliducto Shushufindi – Quito	137
2.2.2.2.1	<i>Estaciones de Bombeo y Reductoras</i>	137
➤	Estación Cabecera de Shushufindi.....	137
➤	Estación Quijos	138
➤	Estación Osayacu	138
➤	Estación Chalpi.....	139
➤	Terminal de GLP Oyambaro	139
➤	Estación Reductora Beaterio	140
2.2.2.2.2	<i>Sitios de Repetición</i>	140

➤ Lumbaqui.....	140
➤ Tres Cruces	141
➤ Guamaní	141
2.2.2.3 Sistema VHF del Poliducto Esmeraldas – Quito	142
2.2.2.3.1 <i>Estaciones de Bombeo y Reductororas</i>	143
➤ Estación Esmeraldas Cabecera.....	143
➤ Estación Santo Domingo	143
➤ Estación Faisanes	144
➤ Estación Corazón	144
➤ Estación Reductora Beaterio	144
2.2.2.3.2 <i>Sitios de Repetición</i>	145
➤ Atacazo	145
2.2.2.4 Sistema VHF del Poliducto Quito – Ambato – Riobamba....	145
2.2.2.4.1 <i>Estaciones de Bombeo y Reductororas</i>	146
➤ Estación de Bombeo Beaterio.....	146
➤ Estación Reductora Ambato	147
➤ Estación Riobamba	147
➤ Campamento Latacunga	148
2.2.2.4.2 <i>Sitios de Repetición</i>	148
➤ Pilisurco	148
➤ Igualata.....	149
2.2.2.5 Sistema VHF en sitios de Administración y otros	149
2.2.2.5.1 <i>Edificio El Rocío</i>	149
2.2.2.5.2 <i>Terminal El Beaterio – Comunicaciones</i>	150
2.2.2.5.3 <i>Terminal Ambato – Comunicaciones</i>	150
2.2.2.5.4 <i>Repetidora Bijagual</i>	151
2.2.2.5.5 <i>Repetidora de Balao</i>	151
2.2.2.5.6 <i>Estación Marítima</i>	152
2.2.2.5.7 <i>Planta de Gas</i>	152
2.2.2.6 Descripción de los equipos de comunicación VHF	152
2.2.2.6.1 <i>Repetidoras</i>	153
➤ MTR 2000	153
➤ QUANTAR	154

2.2.2.6.2	<i>Radio Bases y Móviles</i>	155
➤	MARATRAC	155
➤	ASTRO SPECTRA	156
➤	MOTOROLA MC3000	157
➤	PRO 5100	158
➤	ASTRO XTL 5000.....	158
2.2.2.6.3	<i>Radios Portátiles</i>	159
➤	HT 1000	160
➤	PRO 5150	161
➤	PRO 7150	161
➤	XTS 1500.....	162
2.2.2.6.4	<i>Duplexores</i>	163
➤	Sinclair Q2220.....	163
2.2.3	RESUMEN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA VHF	
	ACTUAL	164
2.3	DIAGNÓSTICO DE LA RED ACTUAL	164
2.3.1	FORTALEZAS	165
2.3.2	DEBILIDADES	165
2.4	REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA	166
2.5	DISEÑO DEL SISTEMA VHF DIGITAL	168
2.5.1	TIPO DE TRÁFICO A CURSARSE POR LA RED Y	
	DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE BANDA REQUERIDO	169
2.5.1.1	Tráfico	169
2.5.1.2	Ancho de banda	169
2.5.2	DISEÑO DE LOS ENLACES	170
2.5.2.1	Enlace Sitio – Repetidora	171
2.5.2.1.1	<i>Planificación del enlace</i>	171
➤	Zona 1: Lumbaqui	172
➤	Zona 2: Tres Cruces.....	172
➤	Zona 3: Guamaní.....	172
➤	Zona 4: Atacazo	172
➤	Zona 5: Iguata	173
➤	Zona 6: Balao	173

➤ Zona 7: Bijagual	173
2.5.2.1.2 Características de los enlaces	174
➤ Banda de frecuencia	174
➤ Características climáticas	174
➤ Especificaciones técnicas de los equipos de radio	174
➤ Tipo y ganancia de las antenas	174
➤ Ubicación geográfica de las estaciones y repetidoras.....	176
2.5.2.1.3 Presupuesto del enlace	180
➤ Potencia de Transmisión.....	180
➤ Umbral o sensibilidad del receptor	181
➤ Pérdidas en la propagación.....	181
➤ Antenas.....	182
➤ Cálculo del PIRE	183
2.5.2.1.4 Parámetros del enlace	187
➤ Zona 1: Enlace Lumbaqui – Quijos	187
➤ Enlaces de la sección 2.4.1.....	208
2.5.2.2 Enlace Repetidora - Repetidora	208
2.5.2.2.1 Planificación del enlace	208
➤ Banda de frecuencia	209
➤ Características climáticas.....	209
➤ Especificaciones técnicas del equipo CANOPY	209
➤ Tipo y ganancia de las antenas	209
➤ Ubicación geográfica de las repetidoras	210
2.5.2.2.2 Presupuesto del enlace	210
➤ Potencia de Transmisión.....	211
➤ Umbral o sensibilidad del receptor	211
➤ Pérdidas en la propagación.....	211
➤ Cálculo del PIRE	212
2.5.2.2.3 Parámetros del enlace	213
➤ Enlace Guamaní – Condijua	214
➤ Enlaces de la sección 2.4.2.....	231
2.5.2.3 Cobertura de las Repetidoras	231
2.5.2.3.1 Repetidora de Lumbaqui	232
2.5.2.3.2 Repetidora de Tres Cruces	233

2.5.2.3.3	<i>Repetidora de Guamaní</i>	234
2.5.2.3.4	<i>Repetidora del Atacazo</i>	234
2.5.2.3.5	<i>Repetidora del Igualata</i>	235
2.5.2.3.6	<i>Repetidora de Balao</i>	236
2.5.2.3.7	<i>Repetidora de Bijagual</i>	237
2.5.2.3.8	<i>Cobertura de todas las repetidoras</i>	237
2.5.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS	238
2.5.4	ESQUEMA DEL DIAGRAMA VHF DIGITAL DISEÑADO	238
2.5.5	EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO Y CONECTORIZACIÓN DE UNO DE LOS ENLACES DEL SISTEMA VHF	238
2.6	CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DEL SISTEMA VHF DIGITAL DISEÑADO	241
2.6.1	SEGURIDAD	241
2.6.1.1	Seguridad en MOTOTRBO	241
	➤ Scramble de inversión de voz	241
	➤ Encriptación.....	241
	➤ Autenticación.....	242
	➤ Encriptación.....	242
	➤ Autenticación.....	242
2.6.2	MODULACIÓN	242
2.6.2.1	Modulación en MOTOTRBO	242
2.6.2.2	Modulación en CANOPY	243
	➤ MIMO OFDM	243
	➤ 16QAM	243
2.6.3	GRUPOS DE TRABAJO Y LLAMADA SELECTIVA	244
2.6.4	SISTEMAS DE RESPALDO DE ENERGÍA	244
2.6.4.1	Funcionamiento del sistema de respaldo de energía	245
2.6.5	PROTOCOLOS UTILIZADOS EN LA TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN	247
2.6.5.1	Procesamiento de la información	249
	➤ Procedimiento de Vocodificación	249
2.7	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO	251
2.7.1	COSTO TOTAL DEL PROYECTO	251

2.7.2	ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN....	254
2.8	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA VHF DIGITAL	256
2.8.1	VENTAJAS.....	256
2.8.2	DESVENTAJAS	257
2.9	COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS PLANTEADOS POR LA EMPRESA.....	257
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	261
	CONCLUSIONES.....	261
	RECOMENDACIONES	265
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26167

TOMO II

ANEXOS.....	271
ANEXO A. SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF ANALÓGICO.....	273
ANEXO B. LINEA MOTOTRBO DE MOTOROLA	275
ANEXO C. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS MOTOTRBO	290
ANEXO D. PLATAFORMA INALÁMBRICA DE BANDA ANCHA, CANOPY DE MOTOROLA	298
ANEXO E. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS BACKHAUL	311
ANEXO F. ENLACES DEL SISTEMA VHF DIGITAL, SITIO - REPETIDORA.....	318
ANEXO G. ENLACES DEL SISTEMA VHF DIGITAL, REPETIDORA - REPETIDORA.....	392
ANEXO H. SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF DIGITAL	414
ANEXO I. MOTOTRBO IP SITE CONNECT	416
ANEXO J. PROFORMAS.....	421

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Bandas del Espectro Electromagnético	40
Fig. 1.2 Bandas del Espectro Radioeléctrico	41
Fig. 1.3 Ondas de radio en las bandas VLF, LF y MF	43
Fig. 1.4 En la banda HF las ondas rebotan en la ionosfera	44
Fig. 1.5 Banda de frecuencia ISM, Resolución 417- 15-CONATEL-2005	45
Fig. 1.6 Tipos de Polarización de una onda	47
Fig. 1.7 Absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas	49
Fig. 1.8 Refracción de una onda	50
Fig. 1.9 Reflexión de una onda	50
Fig. 1.10 Difracción de una onda.....	51
Fig. 1.11 Interferencia de una onda.....	52
Fig. 1.12 Propagación directa	52
Fig. 1.13 Propagación por Reflexión	53
Fig. 1.14 Propagación por Difracción	53
Fig. 1.15 Propagación por refracción	54
Fig. 1.16 Modos normales de propagación de las ondas	55
Fig. 1.17 Propagación de las ondas terrestres	55
Fig. 1.18 Propagación de una onda espacial afectada por la curvatura de la tierra	57
Fig. 1.19 Propagación de las ondas celestes	58
Fig. 1.20 Ancho de banda de una señal.....	59
Fig. 1.21 Esquema general de VoIP.....	65
Fig. 1.22 Diagrama de bloques de VoIP.....	66
Fig. 1.23 Pila de protocolos de VoIP	66
Fig. 1.24 Esquema de RoIP	69
Fig. 1.25 Diagrama de bloques de RoIP.....	71
Fig. 1.26 Enlace punto a punto	73
Fig. 1.27 Enlace Punto – Multipunto.....	73
Fig. 1.28 Estación repetidora activa	76
Fig. 1.29 Repetidor pasivo plano.....	77

Fig. 1.30 Repetidor pasivo usando antenas espalda con espalda	77
Fig. 1.31 Primera Zona de Fresnel	79
Fig. 1.32 Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y el receptor ..	82
Fig. 1.33 Potencia en dBm en función de la distancia para un radioenlace	84
Fig. 1.34 Atenuación de distintas líneas de transmisión	85
Fig. 1.35 Refracción en la atmósfera terrestre	88
Fig. 1.36 Atenuación por gases atmosféricos, Recomendación ITU-R p.676	88
Fig. 1.37 Atenuación por lluvia	89
Fig. 1.38 Zona de difracción	90
Fig. 1.39 Determinación del punto de reflexión	94
Fig. 1.40 Determinación de la altura de despeje	95
Fig. 1.41 Componentes de un diagrama de radiación de una antena	101
Fig. 1.42 Tipos de Antenas	108
Fig. 1.43 Variación de la corriente en un dipolo corto	108
Fig. 1.44 Diagrama de radiación de un dipolo corto	109
Fig. 1.45 Variación de la corriente en una antena dipolo corto	109
Fig. 1.46 Radiación de un dipolo de media onda en el espacio libre	110
Fig. 1.47 Antena tipo dipolo doblado	111
Fig. 1.48 Antena YAGI - UDA	111
Fig. 1.49 Diagrama de radiación de una antena YAGI de 5 elementos	112
Fig. 1.50 Antena Log – periódica	112
Fig. 1.51 Antena helicoidal de radiación longitudinal	113
Fig. 1.52 Antena monopolo de cuarto de longitud de onda	113
Fig. 1.53 Distribución de radiación de una antena monopolo	114
Fig. 1.54 Elementos de un sistema de radiocomunicaciones analógico	115
Fig. 1.55 Ejemplo de una señal modulada en amplitud	116
Fig. 1.56 Ejemplo de una señal modulada en frecuencia	117
Fig. 1.57 Ejemplo de una señal modulada en fase	118
Fig. 1.58 Diagrama de bloques simplificado de un sistema de radio digital	121
Fig. 1.59 Modulación FSK	123
Fig. 1.60 Modulación B-PSK	124
Fig. 1.61 Ejemplo de radioenlace realizado con Radio Mobile	126
Fig. 1.62 Ejemplo de la interfaz de usuario del programa	131

Fig. 2.1 Poliducto Shushufindi – Quito	137
Fig. 2.2 Poliducto Esmeraldas – Quito	142
Fig. 2.3 Poliducto Quito – Ambato – Riobamba.....	146
Fig. 2.4 Esquema enlaces Sitio - Repetidora	170
Fig. 2.5 Esquema enlaces Repetidora – Repetidora	171
Fig. 2.6 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 1	177
Fig. 2.7 Ubicación de la repetidora y cobertura de la Zona 2.....	177
Fig. 2.8 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 3	178
Fig. 2.9 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 4	178
Fig. 2.10 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 5	179
Fig. 2.11 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 6	179
Fig. 2.12 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 7	180
Fig. 2.13 Perfil Topográfico Lumbaqui – Quijos.....	188
Fig. 2.14 Pantalla de inicio de Radio Mobile.....	194
Fig. 2.15 Pantalla para seleccionar una nueva red.....	194
Fig. 2.16 Ventana de opciones de la nueva red	195
Fig. 2.17 Pantalla para ingresar las propiedades del mapa	195
Fig. 2.18 Selección de la opción Enter LAT LON or QRA.....	196
Fig. 2.19 Ingreso de las coordenadas del punto medio del enlace Lumbaqui – Quijos	196
Fig. 2.20 Pantalla resultante luego del ingreso del punto medio.....	197
Fig. 2.21 Pantalla para ingresar las coordenadas de los sitios	197
Fig. 2.22 Ingreso de las coordenadas de Lumbaqui.....	198
Fig. 2.23 Ingreso de las coordenadas de Quijos	198
Fig. 2.24 Pantalla resultante luego de ingresar las coordenadas de los sitios	199
Fig. 2.25 Pantalla para ingresar los datos técnicos del enlace	199
Fig. 2.26 Ingreso de datos en la opción Parámetros en el submenú Propiedades de las redes.....	200
Fig. 2.27 Ingreso de datos en la opción Topología en el submenú Propiedades de las redes.....	200
Fig. 2.28 Ingreso de datos en la opción Sistemas en el submenú Propiedades para Lumbaqui	201

Fig. 2.29 Ingreso de datos en la opción Sistemas en el submenú Propiedades para Quijos	201
Fig. 2.30 Ingreso de datos en la opción Miembros en el submenú Propiedades para Lumbaqui	202
Fig. 2.31 Ingreso de datos en la opción Miembros en el submenú Propiedades para Quijos	202
Fig. 2.32 Ingreso de datos en la opción Estilo en el submenú Propiedades de las redes	203
Fig. 2.33 Pantalla resultante luego de ingresar las propiedades del enlace Lumbaqui - Quijos	203
Fig. 2.34 Pantalla para observar el enlace de radio	204
Fig. 2.35 Estado del enlace Lumbaqui – Quijos	204
Fig. 2.36 Línea de Vista y Zonas de Fresnel del enlace	205
Fig. 2.37 Datos del enlace Lumbaqui – Quijos	206
Fig. 2.38 Resultados en la elevación más alta del enlace Lumbaqui - Quijos.....	207
Fig. 2.39 Ubicación de las repetidoras	210
Fig. 2.40 Perfil Topográfico Guamaní – Condijua	215
Fig. 2.41 Pantalla de inicio de PTP LINKPlanner	220
Fig. 2.42 Pantalla “New Project”	220
Fig. 2.43 Ingreso de coordenadas y altura de la torre de Guamaní	221
Fig. 2.44 Ingreso de coordenadas y altura de la torre de Condijua.....	221
Fig. 2.45 Selección de sitios a enlazarse	222
Fig. 2.46 Pantalla resultante luego de seleccionar los sitios del enlace.....	222
Fig. 2.47 Pantalla para seleccionar el perfil del enlace requerido	223
Fig. 2.48 Pantalla de confirmación de envío de perfil al correo electrónico	223
Fig. 2.49 Ingreso de características de los equipos.....	224
Fig. 2.50 Perfil del enlace Guamaní - Condijua	225
Fig. 2.51 Resultados del enlace Guamaní - Condijua	225
Fig. 2.52 Selección del reporte del estado del enlace	226
Fig. 2.53 Selección del reporte de instalación	226
Fig. 2.54 Mapa de la red del enlace Guamaní - Condijua.....	227
Fig. 2.55 Resumen de resultados del enlace Guamaní – Condijua	227
Fig. 2.56 Resumen de resultados de Guamaní	228

Fig. 2.57 Resumen de resultados de Condijua.....	228
Fig. 2.58 Parámetros para la instalación de la antena en Guamaní	229
Fig. 2.59 Parámetros para la instalación de la antena en Condijua.....	229
Fig. 2.60 Niveles de recepción	231
Fig. 2.61 Cobertura de la repetidora de Lumbaqui	232
Fig. 2.62 Cobertura de la repetidora de Tres Cruces	233
Fig. 2.63 Cobertura de la repetidora de Guamaní	234
Fig. 2.64 Cobertura de la repetidora del Atacazo	235
Fig. 2.65 Cobertura de la repetidora del Iqualata	235
Fig. 2.66 Cobertura de la repetidora de Balao.....	236
Fig. 2.67 Cobertura de la repetidora de Bijagual	237
Fig. 2.68 Cobertura de todas las repetidoras	237
Fig. 2.69 Ejemplo de funcionamiento Sitio-Repetidora-Repetidora-Sitio	239
Fig. 2.70 Ejemplo de conexión MOTOTRBO – CANOPY	240
Fig. 2.71 Ejemplo de conectorización MOTOTRBO – CANOPY	240
Fig. 2.72 Sistema de respaldo de energía con cargador / inversor y fuente DC ..	246
Fig. 2.73 Sistema de respaldo de energía con fuente DC	247
Fig. 2.74 Proceso de vocodificación.....	250
Fig. 2.75 Vocoder AMBE++.....	250
Fig. 2.76 Cobertura del Sistema VHF Analógico	259

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ancho de banda de diferentes aplicaciones	60
Tabla 1.2 Determinación de la confiabilidad del enlace	98
Tabla 2.1 Equipos VHF de Shushufindi.....	138
Tabla 2.2 Equipos VHF de Quijos	138
Tabla 2.3 Equipos VHF de Osayacu	139
Tabla 2.4 Equipos VHF de Chalpi	139
Tabla 2.5 Equipos VHF de Oyambaro.....	140
Tabla 2.6 Equipos VHF de Reductora Beaterio.....	140
Tabla 2.7 Equipos VHF de la Repetidora de Lumbaqui.....	141
Tabla 2.8 Equipos VHF de la Repetidora de Tres Cruces	141
Tabla 2.9 Equipos VHF de la Repetidora de Guamaní.....	142
Tabla 2.10 Equipos VHF de Esmeraldas Cabecera	143
Tabla 2.11 Equipos VHF de Santo Domingo.....	143
Tabla 2.12 Equipos VHF de Faisanes.....	144
Tabla 2.13 Equipos VHF de Corazón.....	144
Tabla 2.14 Equipos VHF de Reductora Beaterio.....	145
Tabla 2.15 Equipos VHF de la Repetidora del Atacazo	145
Tabla 2.16 Equipos VHF de la Estación de Bombeo Beaterio.....	146
Tabla 2.17 Equipos VHF de Ambato	147
Tabla 2.18 Equipos VHF de Riobamba	147
Tabla 2.19 Equipos VHF de Campamento Latacunga.....	148
Tabla 2.20 Equipos VHF de la Repetidora del Pilisurco	148
Tabla 2.21 Equipos VHF de la Repetidora del Igualata	149
Tabla 2.22 Equipos VHF del Edificio El Rocío.....	150
Tabla 2.23 Equipos VHF del Terminal Beaterio - Comunicaciones	150
Tabla 2.24 Equipos VHF del Terminal Ambato - Comunicaciones	151
Tabla 2.25 Equipos VHF de la Repetidora de Bijagual.....	151
Tabla 2.26 Equipos VHF de la Repetidora de Balao	151
Tabla 2.27 Equipos VHF de la Estación Marítima	152
Tabla 2.28 Equipos VHF de la Planta de Gas	152
Tabla 2.29 Especificaciones técnicas de la Repetidora MTR 2000	154

Tabla 2.30 Especificaciones técnicas de la Repetidora QUANTAR.....	155
Tabla 2.31 Especificaciones técnicas de la Radio MARATRAC	156
Tabla 2.32 Especificaciones técnicas de la Radio ASTRO SPECTRA.....	157
Tabla 2.33 Especificaciones técnicas de la Radio MC 3000	157
Tabla 2.34 Especificaciones técnicas de la Radio PRO 5100	158
Tabla 2.35 Especificaciones técnicas de la Radio XTL 5000.....	159
Tabla 2.36 Especificaciones técnicas de la Radio HT 1000	160
Tabla 2.37 Especificaciones técnicas de la Radio PRO 5150	161
Tabla 2.38 Especificaciones técnicas de la Radio PRO 7150	162
Tabla 2.39 Especificaciones técnicas de la Radio XTS 1500	163
Tabla 2.40 Especificaciones técnicas del Duplexor Q2220	163
Tabla 2.41 Equipos utilizados en la comunicación VHF actual.....	164
Tabla 2.42 Lugares que conforman la Zona 1	172
Tabla 2.43 Lugares que conforman la Zona 2	172
Tabla 2.44 Lugares que conforman la Zona 3	172
Tabla 2.45 Lugares que conforman la Zona 4	173
Tabla 2.46 Lugares que conforman la Zona 5	173
Tabla 2.47 Lugares que conforman la Zona 6	173
Tabla 2.48 Lugares que conforman la Zona 7	173
Tabla 2.49 Tipos de clima por zona	174
Tabla 2.50 Características de la antena Látigo	175
Tabla 2.51 Características de la antena Dipolo doblado	176
Tabla 2.52 Características de la antena Yagi UDA	176
Tabla 2.53 Pérdidas por espacio libre en los diferentes enlaces	182
Tabla 2.54 Tipos de antenas utilizadas en los diferentes enlaces	183
Tabla 2.55 Pérdidas en cables y conectores	185
Tabla 2.56 PIRE por sitio	186
Tabla 2.57 Comparación de resultados teóricos con los de Radio Mobile.....	208
Tabla 2.58 Tipos de clima de cada enlace entre repetidoras.....	209
Tabla 2.59 Características de la antena	210
Tabla 2.60 Pérdidas por espacio libre en los enlaces entre repetidoras	212
Tabla 2.61 Pérdidas por gases atmosféricos en los enlaces entre repetidoras ..	212
Tabla 2.62 PIRE por sitio	213

Tabla 2.63 Comparación de resultados teóricos con los del software PTP LINKPlanner	230
Tabla 2.64 Niveles de cobertura de la repetidora de Lumbaqui.....	233
Tabla 2.65 Niveles de cobertura de la repetidora de Tres Cruces	233
Tabla 2.66 Niveles de cobertura de la repetidora de Guamaní.....	234
Tabla 2.67 Niveles de cobertura de la repetidora del Atacazo.....	234
Tabla 2.68 Niveles de cobertura de la repetidora del Igualata	236
Tabla 2.69 Niveles de cobertura de la repetidora de Balao	236
Tabla 2.70 Niveles de cobertura de la repetidora de Bijagual.....	237
Tabla 2.71 Listado de equipos VHF MOTOTRBO	252
Tabla 2.72 Listado de equipos CANOPY	252
Tabla 2.73 Costo de equipos MOTOTRBO	253
Tabla 2.74 Costo de equipos CANOPY.....	253

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Decibel	38
Ecuación 1.2 Decibel Milivatio.....	38
Ecuación 1.3 Relación longitud de onda, frecuencia y velocidad de la luz	40
Ecuación 1.4 Ancho de banda de frecuencia	43
Ecuación 1.5 Densidad de potencia de una onda	48
Ecuación 1.6 Ancho de banda de una señal	59
Ecuación 1.7 Relación señal a ruido	78
Ecuación 1.8 Radio de la zona de Fresnel	79
Ecuación 1.9 Margen del sistema de un radioenlace	83
Ecuación 1.10 Potencia de recepción de un radioenlace	83
Ecuación 1.11 Pérdida por espacio libre	87
Ecuación 1.12 Pérdida por espacio libre estandarizado	87
Ecuación 1.13 PIRE del sistema	92
Ecuación 1.14 Altura del punto de reflexión	94
Ecuación 1.15 Altura de despeje.....	96
Ecuación 1.16 Margen de despeje.....	96
Ecuación 1.17 Altura de las antenas para despeje de la zona de Fresnel.....	97
Ecuación 1.18 Margen de desvanecimiento.....	98
Ecuación 1.19 EIRP de una antena	103
Ecuación 2.1 Umbral de recepción en dBm	192
Ecuación 2.2 Error porcentual.....	206

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AA AFC	Arreglo de Antenas Activas de Fase Controlada
AAFC	Arreglo de Antenas de Fase Controlada
AF	Audiofrecuencia
AM	Modulación de Amplitud
AMBE	Excitación Multi - Banda Avanzada
AP	Punto de Acceso
APRS	Sistema de Reporte de Posicionamiento Automático
BER	Tasa de Error de Bit
BPD	Barriles por día
BU	Unidad Backhaul
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código
CIS	Complejo Industrial Shushufindi
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones
COR	Arreglo de Portadoras Operativas
CPS	Software de Programación para Clientes
DARPA	Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados de Defensa
DHCP	Protocolo de Configuración Dinámica de Host
DVSI's	Sistema de Voz Digital Inc.
EMI	Interferencia Electromagnética
FBR	Relación Delante - Atrás
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
FEC	Corrección de Errores Hacia Adelante
FI	Frecuencia Intermedia
FM	Modulación de Frecuencia
FSK	Modulación por Desplazamiento de Frecuencia
GLP	Gas Licuado de Petróleo
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
HF	Alta Frecuencia
IAX	Protocolo de Intercambio Inter – Asterisk
IETF	Grupo Especial Sobre Ingeniería de Internet

IP	Protocolo de Internet
IRF	Interferencia de Radiofrecuencia
ISM	Industriales, Médicas y Científicas
ITS	Modelo de Terreno Irregular
ITU-R	Unión Internacional de Telecomunicaciones Sector Radiocomunicaciones
LAN	Redes de Área Local
LF	Baja Frecuencia
LOS	Línea de Vista
LRRPP	Protocolo de Reconocimiento de Larga Distancia
MF	Media Frecuencia
MIMO	Múltiples Entradas – Múltiples Salidas
MS-DOS	Disco de Sistema Operativo de Microsoft
NAT	Traslación de Direcciones de Red
NDIS	Interface de Manejo de Red
NIC	Tarjeta de Interfaz de Red
OFDM	Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales
PBX	Central Secundaria Privada
PDU	Unidad de Datos de Protocolo
PIRE	Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva
PL	Línea Privada
PM	Modulación de Fase
PSK	Modulación por Desplazamiento de Fase
PSTN	Red Telefónica Pública Conmutada
PTP	Punto a Punto
PTT	Presione para hablar
QAM	Modulación de Amplitud en Cuadratura
RA	Acceso por Radio
RF	Radiofrecuencia
RNDIS	Interface de Manejo de Red Remoto
RoIP	Radio sobre IP
RT	Transmisión por Radio
RTCP	Protocolo de Control de RTP

RTMP	Protocolo de Tiempo Real
RTP	Protocolo de Tiempo Real
SINAD	Relación Señal a Ruido y Distorsión
SIP	Protocolo de Inicio de Sesión
SLL	Relación de Lóbulo Principal a Secundario
SM	Modulo Suscriptor
SNMP	Protocolo Simple de Administración de Red
SRTM	Misión Topográfica de Radar Aéreo
SSI	Interface de Sincronismo Serial
STP	Par Trenzado Apantallado
SUPERTEL	Superintendencia de Telecomunicaciones
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
TMP	Protocolo de Tiempo
UDP	Protocolo de Datagrama de Usuario
UHF	Ultra Alta Frecuencia
USB	Bus Universal Serial
UTP	Para Trenzado No Apantallado
VHF	Muy Alta Frecuencia
VLF	Muy Baja Frecuencia
VoIP	Voz sobre IP
VPN	Red Privada Virtual
WARC	Conferencia Mundial Administrativa de Radio
Wi – Fi	Fidelidad Inalámbrica
WISP	Proveedor de Servicios de Internet Inalámbrico
WLAN	Red de Área Local Inalámbrica
WPAN	Red de Área Personal Inalámbrica
XCMP	Protocolo de Administración y Control Extendido

RESUMEN

El presente proyecto de titulación trata sobre el estudio del cambio de tecnología utilizada para las transmisiones VHF de PETROCOMERCIAL Distrito Norte, de analógica a digital; para lo cual se ha estructurado el contenido del mismo de la siguiente manera:

En el primer capítulo se encuentran las bases teóricas necesarias para la comprensión y entendimiento del proyecto.

El segundo capítulo empieza con una descripción del Sistema de Comunicaciones VHF actual de la empresa, detallando la ubicación geográfica de los sitios de enlace, equipos y parámetros importantes para la transmisión. Se realiza el diagnóstico de la red actual, enumerando sus fortalezas y debilidades, que justifican los requerimientos de la empresa para la implementación de la nueva tecnología digital VHF. Con los datos anteriores y evaluando la situación actual de las comunicaciones analógicas se propone un nuevo Sistema VHF, completamente digital, utilizando equipos MOTOROLA de la serie MOTOTRBO y CANOPY y que tenga como base el sistema analógico. Se verifican los enlaces propuestos utilizando programas de simulación como son Radio Mobile y PTP LINKPlanner.

A continuación se muestra un análisis del costo del proyecto, teniendo en cuenta la cantidad de equipos a utilizarse en cada uno de los sitios; así como accesorios adicionales necesarios para la implementación de los enlaces. De esta manera se determina la relación costo – beneficio del diseño, al igual que las ventajas y desventajas del mismo.

Por último se presentan las conclusiones que permiten evaluar el correcto funcionamiento del proyecto y su factibilidad; y las recomendaciones que indican sugerencias complementarias al diseño.

PRESENTACIÓN

PETROCOMERCIAL tiene implementado un Sistema de Comunicación VHF Analógico a lo largo del Distrito Norte, utilizando equipos MOTOROLA de diferentes modelos y características.

EL Distrito Norte de la empresa cuenta con repetidoras, estaciones base y equipos portátiles, distribuidos en los diferentes terminales, estaciones y montañas, que permiten conectar a los usuarios a lo largo de los poliductos de PETROCOMERCIAL.

El actual sistema es híbrido, ya que cuenta con equipos analógicos y analógico – digitales, lo que no permite aprovechar todas las funciones de los mismos, sobre todo de los digitales, porque se deben adaptar al modo de operación de los analógicos, para que sean compatibles.

La existencia de varios modelos de equipos es un problema para la administración y mantenimiento de la red VHF, y la adquisición de nuevos implica altos costos, debido a que todos pertenecen a la línea élite de MOTOROLA.

Por ello el objetivo del presente proyecto de titulación es proponer para PETROCOMERCIAL un Sistema de Comunicaciones VHF Digital, utilizando un solo modelo de equipos también MOTOROLA, pero de la serie estándar, compatible con el actual, que permita una migración paulatina sin alterar parámetros como: confiabilidad, disponibilidad, rapidez, entre otros; y que además ofrezca la posibilidad de escalabilidad en la red, administración vía IP, conectividad a mayores distancias y amplia cobertura; estando a la vanguardia de los avances tecnológicos actuales, con un bajo costo.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 CONCEPTOS BÁSICOS

1.1.1 RADIO ENLACE

Interconexión entre los terminales de telecomunicaciones efectuados por ondas electromagnéticas, es decir, es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío vía radio de una señal de uno a otro nodo o centro de una red.

Fuente: “Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles” de Alberto Sendín Escalona

1.1.2 CANAL DE RADIO

Se refiere al par de frecuencias de trabajo a emplear en una comunicación, pudiendo ser éstas para su uso en recepción, transmisión o para ambas.

Fuente: <http://www.practicaderadio.com/Modules/Apuntes/tema03.aspx>

1.1.3 GANANCIA

Magnitud que expresa la relación entre la amplitud de una señal de salida respecto a la señal de entrada. La ganancia es una magnitud adimensional que se mide en unidades como belio (símbolo: B) o submúltiplos de éste como el decibelio (símbolo: dB).

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Ganancia_\(electr%C3%B3nica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Ganancia_(electr%C3%B3nica))

1.1.4 LINEA DE VISTA

Término utilizado en radiofrecuencia para un enlace de radio con visibilidad directa entre la antena transmisora y la receptora.

Fuente: “Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles” de Alberto Sendín Escalona

1.1.5 RUIDO

Perturbación eléctrica que sufre la señal deseada en su forma de onda en el tiempo, así como cualquier otra señal no deseada que acompañe a la de interés, y que por estar en su misma banda de frecuencia y con niveles perceptibles perturba su correcta recepción. Su acción no es controlable.

Fuente: "Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles" de Alberto Sendín Escalona

1.1.6 INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA

EMI (Electromagnetic Interference) o IRF (Interferencia de Radiofrecuencia), es el conjunto de señales de radiofrecuencia no deseadas captadas por los receptores de un sistema, y que degradan su sensibilidad.

Fuente: "Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles" de Alberto Sendín Escalona

1.1.7 DISTORSIÓN

Diferencia entre señal que entra a un equipo o sistema y la de salida del mismo, debido a una respuesta imperfecta, la cual altera la señal debido a las características propias del sistema.

La distorsión desaparece cuando no hay señal, ésta puede afectar en amplitud, fase o frecuencia. Esto se soluciona mediante ecualización.

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Distorssi%C3%B3n>

1.1.8 TRÁFICO

Dimensionamiento del número mínimo de recursos (escasos) para dar un servicio de calidad previamente acordada.

En el tema de las comunicaciones móviles ocupa principalmente el diseño de la interfaz de radio. En concreto, se trata de determinar el número de canales físicos a invertir en dar un servicio de una calidad concertada a un grupo de

usuarios del sistema de comunicaciones. De esta manera se reconoce al tráfico como el grado de utilización de un recurso.

Fuente: "Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles" de Alberto Sendín Escalona

1.1.9 COBERTURA

Área geográfica que cubre una estación específica de telecomunicaciones.

Para una estación base, es el entorno en el que la señal disponible para un sistema móvil es superior a un cierto umbral mínimo de funcionamiento.

Fuente: "Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles" de Alberto Sendín Escalona

1.1.10 ONDAS

Perturbación o variación que transfiere energía progresivamente de un punto a otro a través de un medio.

Fuente: Tesis "GENERALIDADES DE LA REDES INALAMBRICAS, ELEMENTOS UTILIZADOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES INALAMBRICAS de la Universidad Politécnica Salesiana

1.1.11 ACCESO AL MEDIO

Mecanismos mediante los cuales los sistemas de radiocomunicaciones coordinan para utilizar un recurso compartido, que es el espectro electromagnético; tanto cuando los terminales usuarios del sistema están en funcionamiento coordinado como cuando están en proceso de adquisición inicial.

1.1.11.1 Técnicas de Acceso al Medio

1.1.11.1.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

En FDMA, el acceso al medio se realiza dividiendo el espectro disponible en canales, que corresponden a distintos rangos de frecuencia, asignando estos canales a los distintos usuarios y comunicaciones a realizar, sin interferirse entre sí.

1.1.11.1.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

En TDMA, el acceso al medio se realiza asignando a cada canal el ancho de banda total del medio de transmisión, durante un intervalo de tiempo

1.1.11.1.3 Acceso múltiple por división de código (CDMA)

En CDMA, el acceso al medio se realiza de manera similar que en FDMA pero en lugar de frecuencias separadas se asignan códigos digitales únicos, que son conocidos tanto por el transmisor como por el receptor, por lo tanto, todos los usuarios comparten el mismo rango del espectro electromagnético.

Fuente: "Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles" de Alberto Sendín Escalona

1.1.12 PROPAGACIÓN RADIOELÉCTRICA

Conjunto de fenómenos físicos que conducen a las ondas del transmisor al receptor.

Las señales de naturaleza electromagnética que se emiten entre los diferentes elementos del sistema se ven afectadas en su propagación por el medio que atraviesan, experimentando cuando menos una atenuación propia de la distancia atravesada, y en el caso más general atenuaciones adicionales por obstáculos, desvanecimientos momentáneos de la señal, fenómenos de propagación por múltiples trayectorias (reflexiones, difracciones, etc).

Fuente: "Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles" de Alberto Sendín Escalona

1.1.13 UNIDADES USADAS EN RADIOENLACES

1.1.13.1 Vatio

El vatio o watt (símbolo W), es la unidad de potencia activa del Sistema Internacional de Unidades. Es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 voltio y una corriente eléctrica de 1 amperio (1 VA).

1.1.13.2 Unidades Adimensionales

1.1.13.2.1 Decibel (dB)

Equivale a la décima parte de un bel. Es una unidad de referencia para medir la potencia de una señal o la intensidad de un sonido.

El decibel es una unidad relativa de una señal, tal como la potencia, voltaje, etc. Los logaritmos son muy usados debido a que la señal en decibeles (dB) puede ser fácilmente sumada o restada y también por la razón de que el oído humano responde naturalmente a niveles de señal en una forma aproximadamente logarítmica.

$$\text{dB} = 10 \log \frac{P_{\text{FINAL}}}{P_{\text{REFERENCIA}}}$$

Ecuación 1.1

Existen algunas reglas generales para aproximarse a la relación entre los dB y la potencia:

- Un incremento de 3 dB duplica la potencia.
- Una reducción de 3 dB reduce la potencia a la mitad.
- Un incremento de 10 dB es igual a 10 veces la potencia.
- Una reducción de 10 dB es igual a una décima parte de la potencia.

1.1.13.2.2 Decibelio milivatio (dBm)

El dBm es una unidad logarítmica a la potencia de 1 mili vatio. Por lo tanto, mide potencia absoluta. Será positivo cuando se refiera a valores superiores a 1mW y negativo para valores inferiores a 1 mW.

$$\text{dBm} = 10 \log \left(\frac{P}{0.001\text{W}} \right) = 10 \log \left(\frac{P}{1\text{mW}} \right)$$

Ecuación 1.2

1.1.13.2.3 Decibelio isotrópico (dBi)

Usado para expresar la ganancia de una antena dada en comparación con una antena teórica isotrópica u origen puntual. Una antena isotrópica radia energía por igual en todas las direcciones, en forma de esfera perfecta. Una antena isotrópica no existe en el mundo real, pero es útil para calcular coberturas teóricas y áreas débiles.

1.1.13.2.4 Decibelio dipolo (dBd)

Usado para expresar la ganancia de una antena en comparación con una antena dipolo a la misma frecuencia. Una antena dipolo es la antena práctica más pequeña que se puede fabricar.

Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

1.2 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas.

El espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Cuando los electrones se mueven crean ondas electromagnéticas que se pueden propagar por el espacio libre (aun en el vacío).

Al conectarse una antena del tamaño apropiado a un circuito eléctrico, las ondas electromagnéticas pueden ser difundidas de manera eficiente y ser captadas por un receptor a cierta distancia. Toda comunicación inalámbrica se basa en este principio.

En el vacío, todas las ondas electromagnéticas viajan a la misma velocidad, no importa cuál sea su frecuencia, f . Esta velocidad, por lo general llamada velocidad de la luz, c , es de aproximadamente 3×10^8 m/s, es el límite máximo de velocidad. Ningún objeto o señal puede moverse más rápido que la luz. La relación fundamental entre frecuencia, f , longitud de onda, λ , y la velocidad de la luz, c , (en el vacío) es:

$$\lambda f = c$$

Ecuación 1.3

1.2.1 BANDAS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma (extremo de la onda corta), que cubren longitudes de onda de entre miles de kilómetros y la fracción del tamaño de un átomo.

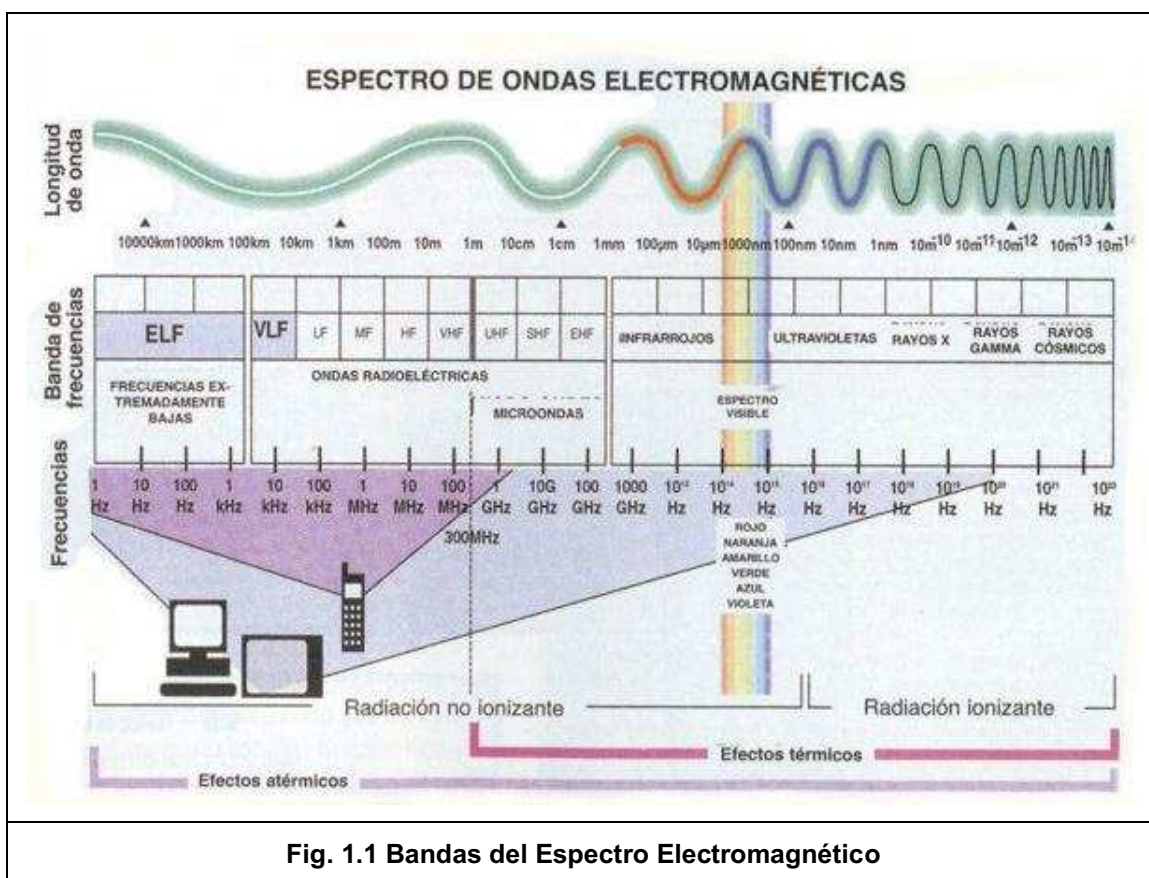


Fig. 1.1 Bandas del Espectro Electromagnético

Fuente: http://www.proteccioncivil.org/es/DGPCE/Informacion_y_documentacion/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum/vdm020ar/vdm020i06.jpg

1.2.2 ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz.

Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena.

DISTRIBUCIÓN CONVENCIONAL DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO					
SIGLA	DENOMINACIÓN	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENC.	CARACTERÍSTICAS	USO TÍPICO
VLF	VERY LOW FRECUENCIES Frecuencias muy bajas	30.000 m a 10.000 m	10 KHz a 30 KHz	Propagación por onda de tierra, atenuación débil. Características estables.	ENLACES DE RADIO A GRAN DISTANCIA
LF	LOW FRECUENCIES Frecuencias bajas	10.000 m. a 1.000 m.	30 KHz a 300 KHz	Similar a la anterior, pero de características menos estables.	Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima.
MF	MEDIUM FRECUENCIES Frecuencias medias	1.000 m. a 100 m.	300 KHz a 3 MHz	Similar a la precedente pero con una absorción elevada durante el día. Propagación prevalentemente ionosférica durante la noche.	RADIODIFUSIÓN
HF	HIGH FRECUENCIES Frecuencias altas	100 m. a 10 m.	3 MHz a 30 MHz	Propagación prevalentemente ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche.	COMUNICACIONES DE TODO TIPO A MEDIA Y LARGA DISTANCIA
VHF	VERY HIGH FRECUENCIES Frecuencias muy altas	10 m. a 1 m.	30 MHz a 300 MHz	Prevalentemente propagación directa, esporádicamente propagación ionosférica o Troposférica.	Enlaces de radio a corta distancia, TELEVISIÓN, FRECUENCIA MODULADA
UHF	ULTRA HIGH FRECUENCIES Frecuencias ultra altas	1 m. a 10 cm.	de 300 MHz a 3 GHz	Exclusivamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, Radar, Ayuda a la navegación aérea, TELEVISIÓN
SHF	SUPER HIGH FRECUENCIES Frecuencias superaltas	10 cm. a 1 cm.	de 3 GHz a 30 GHz	COMO LA PRECEDENTE	Radar, Enlaces de radio
EHF	EXTRA HIGH FRECUENCIES Frecuencias extra-altas	1 cm. a 1 mm.	30 GHz a 300 GHz	COMO LA PRECEDENTE	COMO LA PRECEDENTE
EHF	EXTRA HIGH FRECUENCIES Frecuencias extra-altas	1 mm. a 0,1 mm.	300 GHz a 3.000 GHz	COMO LA PRECEDENTE	COMO LA PRECEDENTE

Fig. 1.2 Bandas del Espectro Radioeléctrico

Fuente: http://2.bp.blogspot.com/_ry650Qsj8_k/TL-tu-vlprl/AAAAAAAAAHc/fukjpmBKgE/s320/bandas+de+frecuencias.jpg

A partir de 1 GHz las bandas están dentro del espectro de las microondas. Por encima de 300 GHz la absorción de la radiación electromagnética por la

atmósfera terrestre es tan alta que la atmósfera se vuelve opaca a ella, hasta que, en los denominados rangos de frecuencia infrarrojos y ópticos, vuelve de nuevo a ser transparente.

Las bandas ELF, SLF, ULF y VLF comparten el espectro de la AF (audiofrecuencia), que se encuentra entre 20 y 20 000 Hz aproximadamente. Sin embargo, éstas se tratan de ondas de presión, como el sonido, por lo que se desplazan a la velocidad del sonido sobre un medio material. Mientras que las ondas de radiofrecuencia, al ser ondas electromagnéticas, se desplazan a la velocidad de la luz y sin necesidad de un medio material.

1.2.3 RADIOTRANSMISIÓN

Las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar distancias largas y penetrar edificios sin problemas, y por ello su uso está muy generalizado en la comunicación, tanto en interiores como en exteriores. Las ondas de radio también son omnidireccionales a partir de la fuente, por lo que no es necesario que el transmisor y el receptor se encuentren alineados físicamente.

Las propiedades de las ondas de radio dependen de la frecuencia. A bajas frecuencias, esas ondas cruzan bien casi cualquier obstáculo, pero la potencia se reduce de manera drástica a medida que se aleja de la fuente, aproximadamente en proporción a $1/r^2$ (r = distancia desde la fuente hasta el sitio de interés) en el aire. A frecuencias altas, las ondas de radio tienden a viajar en línea recta y a rebotar en los obstáculos. También son absorbidas por la lluvia. En todas las frecuencias, las ondas de radio están sujetas a interferencias por los motores y otros equipos eléctricos.

Por la capacidad de las ondas de radio de viajar largas distancias, la interferencia entre usuarios es un problema. Por esta razón, todos los gobiernos reglamentan estrictamente el uso de radiotransmisores.

En las bandas VLF, LF y MF las ondas de radio siguen la curvatura de la tierra, como se muestra en la figura 1.3. Estas ondas se pueden detectar quizá a 1000 Km en las frecuencias más bajas, y a menos en frecuencias más altas. La difusión de radio AM usa la banda MF.

Las ondas de radio en estas bandas cruzan los edificios, y es por ello que los radios portátiles funcionan en interiores. El problema principal al usar éstas bandas para comunicación de datos es su ancho de banda. Ver la ecuación 1.4.

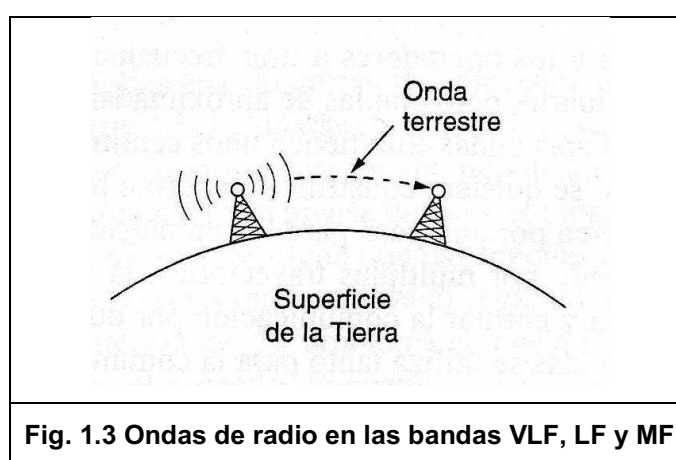


Fig. 1.3 Ondas de radio en las bandas VLF, LF y MF

Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

$$\Delta f = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda^2}$$

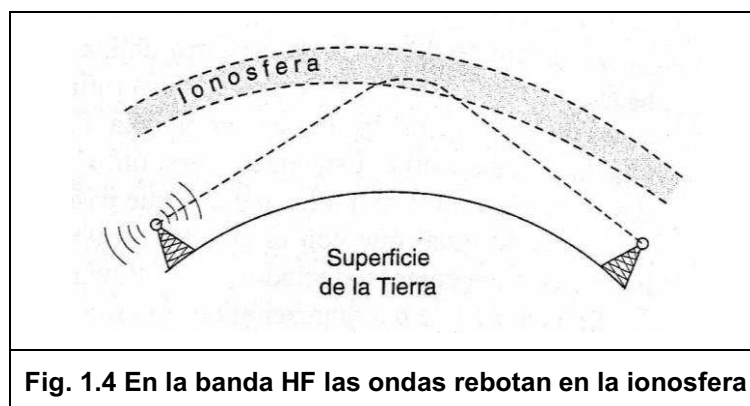
Ecuación 1.4

Siendo:

- Δf = ancho de banda de frecuencia
- $\Delta\lambda$ = ancho de banda de longitud de onda
- c = velocidad de la luz en el vacío
- λ = longitud de onda en metros

En las bandas HF y VHF, las ondas a nivel del suelo tienden a ser absorbidas por la tierra. Sin embargo, las ondas que alcanzan la ionosfera, una capa de partículas cargadas que rodea a la Tierra a una altura de 100 a 500 Km, se refractan y se envían de regreso a nuestro planeta, como se muestra en la figura 1.4.

En ciertas condiciones atmosféricas, las señales pueden rebotar varias veces. Los operadores de radio aficionados usan estas bandas para conversar a larga distancia. El ejército se comunica también en las bandas HF y VHF.



Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

1.2.4 POLÍTICAS DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Para evitar el caos total, hay acuerdos nacionales e internacionales acerca de quién utiliza cuáles frecuencias. Los gobiernos nacionales asignan espectros para la radio AM y FM, la televisión y los teléfonos móviles, así como para las compañías telefónicas, la policía, la marina, la navegación, la milicia y el gobierno y muchos otros usuarios en competencia, y el Ecuador no es la excepción. A nivel mundial, una agencia de la ITU-R (WARC) trata de coordinar esta asignación de manera que se puedan fabricar los dispositivos que operan en diversos países. Sin embargo, los países no están atados a las recomendaciones de la ITU-R.

Un enfoque totalmente diferente para asignar frecuencias es no asignarlas por completo. Tan sólo se deja que todos transmitan a voluntad, pero se regula la potencia utilizada de manera que las estaciones tengan un rango tan corto que no interfieran entre ellas. Por consiguiente, la mayoría de los gobiernos han apartado algunas bandas de frecuencia, llamadas bandas ISM (industriales, médicas y científicas), que son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica. En la actualidad estas bandas han sido popularizadas por su uso en comunicaciones WLAN ejemplo Wi-Fi o WPAN (Bluetooth). Para minimizar la interferencia entre

los dispositivos que funcionan en esta banda, se recomienda que se utilice técnicas de espectro disperso.

BANDA (MHz)
902 - 928
2400 - 2483,5
5150 - 5250
5250 - 5350
5470 - 5725
5725 - 5850

Fig. 1.5 Banda de frecuencia ISM, Resolución 417- 15-CONATEL-2005

Fuente: Tesis ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE TECNOLOGÍA WIFI, WIMAX Y MESH EN ENLACES DE LARGA DISTANCIA EN MEDIOS RURALES para la Universidad Técnica Particular de Loja

1.3 PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

1.3.1 ONDA ELECTROMAGNÉTICA

Una onda electromagnética es la forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio; son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse a diferencia de las ondas mecánicas. Incluyen, entre otras, la luz visible y las ondas de radio, televisión y telefonía. Todas se propagan en el vacío a una velocidad constante, muy alta (300 000 km/s) pero no infinita.

1.3.2 RADIO PROPAGACIÓN

Las ondas de radio son ondas electromagnéticas y, como la luz, se propagan a través del espacio libre en línea recta y con velocidad de 300'000 000 metros por segundo. Para propagar las ondas de radio por la atmósfera terrestre se necesita que la energía se irradie de la fuente. A continuación, la energía se debe capturar

en el lado de recepción. La irradiación y la captura de energía son funciones de las antenas.

1.3.2.1 Propiedades de la propagación de las ondas

Hay algunas propiedades generales de la propagación que son independientes de la frecuencia de la onda RF de la cual se esté hablando:

- La velocidad de una onda electromagnética es constante mientras no cambie de medio de propagación.
- La velocidad de una onda electromagnética en el vacío es siempre $c = 299'792\ 458$ m/s.
- Las ondas electromagnéticas tienden a reflejarse en objetos de tamaño similar a su longitud de onda (λ).
- Las ondas electromagnéticas se propagan en línea recta mientras no sufran influencias externas ni cambien de medio de propagación.

1.3.2.2 Polarización de una onda electromagnética

La polarización de una onda electromagnética plana se refiere a la orientación del vector de campo eléctrico con respecto a la superficie de la Tierra, es decir, respecto al horizonte.

1.3.2.2.1 Polarización Lineal

Si la polarización permanece constante. Puede ser horizontal o vertical.

- Polarización horizontal: si el campo eléctrico se propaga en dirección paralela a la superficie terrestre.

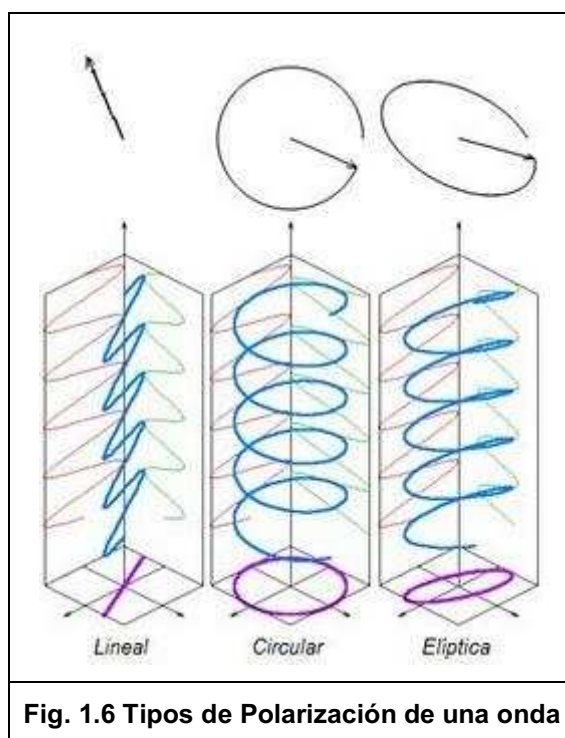
- Polarización vertical: si el campo eléctrico se propaga en dirección perpendicular a la superficie terrestre.

1.3.2.2.2 Polarización Circular

Si el vector de polarización gira 360° a medida que la onda recorre una longitud de onda por el espacio, y la intensidad de campo es igual en todos los ángulos de polarización.

1.3.2.2.3 Polarización Elíptica

Si la intensidad de campo varía con cambios en la polarización.



Fuente: http://4.bp.blogspot.com/_LIaYO1xONnc/SDIfIxmDAhI/AAAAAAAAAFU/LldRVp8qT18/s320/polarizacion_grafico.jpg

1.3.3 RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

1.3.3.1 Densidad de Potencia

Las ondas electromagnéticas representan el flujo de energía en la dirección de propagación. La rapidez con que la energía pasa a través de una superficie dada

en el espacio libre se llama densidad de potencia. Por consiguiente, la densidad de potencia es la energía por unidad de tiempo y por unidad de área, y se suele expresar en vatios por metro cuadrado.

1.3.3.2 Intensidad de Campo

Es la intensidad de los campos eléctrico y magnético de una onda electromagnética que se propaga por el espacio libre. La intensidad del campo eléctrico se suele expresar en voltios por metro, y la del campo magnético en amperios por metro.

$$P = EH \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Ecuación 1.5

Donde:

P = densidad de potencia [W/m²]

E = intensidad rms del campo eléctrico [V/m]

H = intensidad rms del campo magnético [A/m]

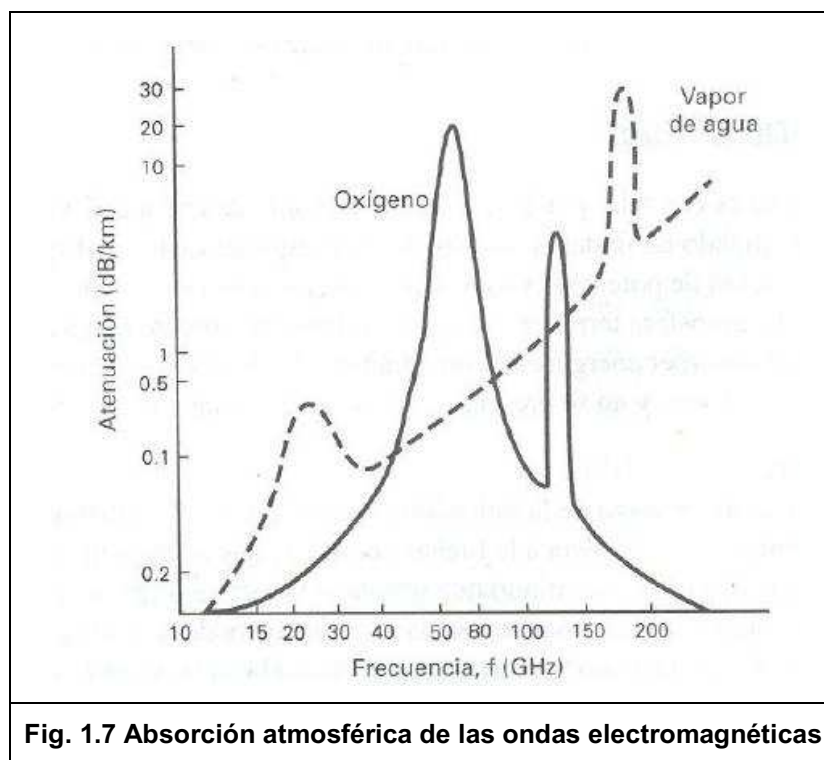
1.3.3.3 Atenuación de una Onda

Es la reducción de densidad de potencia con la distancia, que equivale a una pérdida de potencia. Se expresa en general en función del logaritmo común de la relación de densidades de potencia (pérdida en dB).

1.3.3.4 Absorción de una Onda

Se da cuando una onda electromagnética que se propaga a través de la atmósfera terrestre, transfiere su energía a los átomos y moléculas atmosféricas.

Una vez absorbida, la energía se pierde para siempre, y causa una atenuación en las intensidades de voltaje y campo magnético, y una reducción correspondiente de densidad de potencia.



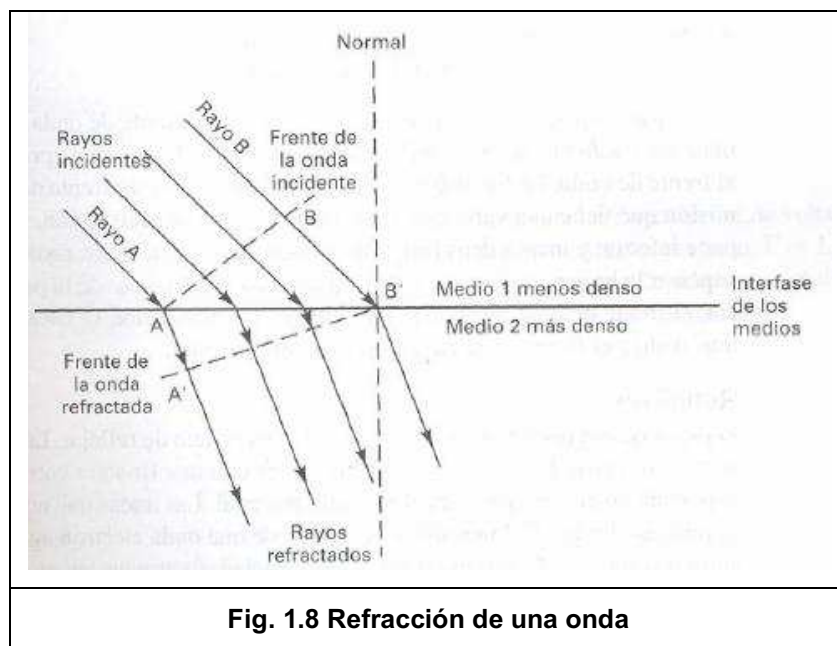
Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

1.3.3.5 Propiedades ópticas de las Ondas de Radio

En la atmósfera terrestre, la propagación de frentes de ondas y rayos puede diferir del comportamiento en el espacio libre, debido a efectos ópticos, como: refracción, reflexión, difracción e interferencia.

1.3.3.5.1 Refracción

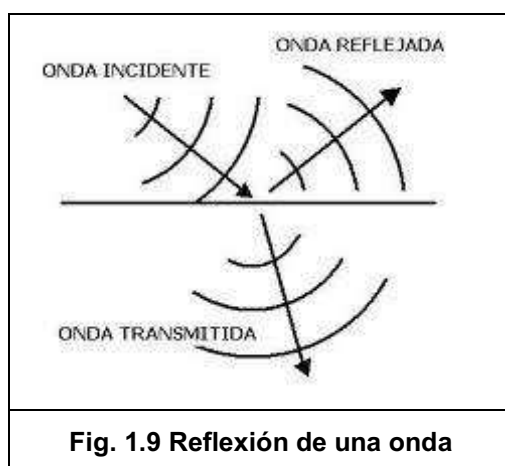
La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que la onda electromagnética se propaga es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por consiguiente, hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro de distinta densidad.



Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

1.3.3.5.2 Reflexión

La reflexión electromagnética se presenta cuando una onda incidente choca con una frontera entre dos medios, y algo o toda la potencia incidente no entra al segundo material. Las ondas que no penetran al segundo medio se reflejan.

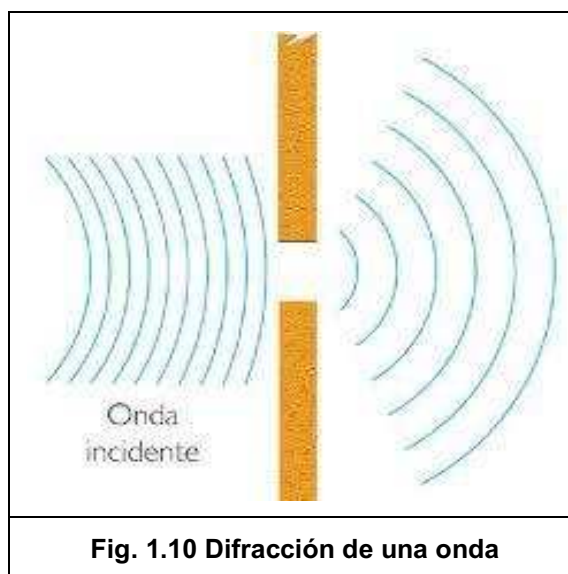


Fuente: <http://www.djconcept.com.mx/wp-content/uploads/2009/06/reflexion-y-refracci-n.jpg>

1.3.3.5.3 Difracción

Se define a la difracción como la modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco. Se la

considera como la dispersión de una onda alrededor de un obstáculo. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas luminosas o de radio se propaguen en torno a esquinas.



Fuente: http://1.bp.blogspot.com/_wN3f1wTZN_o/TP-9Lma_o0I/AAAAAAAAADw/6c9454gig8o/s200/difraccion.png

1.3.3.5.4 *Dispersión*

Es el fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material y consiste en la redirección de la onda de energía entrante en direcciones diferentes a la deseada, cuando la onda incide sobre partículas de determinado tamaño y composición.

1.3.3.5.5 *Interferencia*

La interferencia de ondas de radio se produce siempre que se combinan dos o más ondas electromagnéticas de tal manera que se degrada el funcionamiento del sistema.

La interferencia está sujeta al principio de la superposición lineal de las ondas electromagnéticas, y se presenta siempre que dos o más ondas ocupan el mismo punto del espacio en forma simultánea.



Fig. 1.11 Interferencia de una onda

Fuente: <http://us.123rf.com/400wm/400/400/hospitalera/hospitalera0808/hospitalera080800001/3385185-elegante-azul-de-fondo-con-ondas-de-interferencia.jpg>

1.3.4 FORMAS DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS RADIOELÉCTRICAS

Existen cuatro formas distintas de propagación de las ondas radioeléctricas:

1.3.4.1 Propagación Directa

La onda emitida por la antena emisora alcanza la antena receptora en línea recta y sin desviación alguna.



Fig. 1.12 Propagación directa

Fuente: <http://www.teleequipo.cl/userfiles/image/Untitled%20-%201.jpg>

1.3.4.2 Propagación por Reflexión

Se usa la reflexión por el cambio en la dirección de propagación de las ondas radioeléctricas, cuando inciden sobre una superficie reflectante.

Este tipo de propagación no es muy deseable, ya que a la antena receptora pueden llegarle, además de la señal directa, varias señales reflejadas procedentes de uno o varios puntos, con lo cual llegan al receptor dos o más señales iguales y desfasadas en el tiempo, puesto que las trayectorias de las reflejadas son más largas, produciendo las conocidas y molestas "imágenes fantasma" o dobles imágenes.

Para evitar esto, deben utilizarse antenas receptoras de gran directividad, correctamente situadas con relación al emisor.



Fuente: <http://www.teleequipo.cl/userfiles/image/dos.jpg>

1.3.4.3 Propagación por Difracción

Es el fenómeno característico de las propiedades ondulatorias de la materia, por lo cual un obstáculo que se opone a la propagación libre de las ondas se presenta como una fuente secundaria que emite ondas derivadas en todas las direcciones.

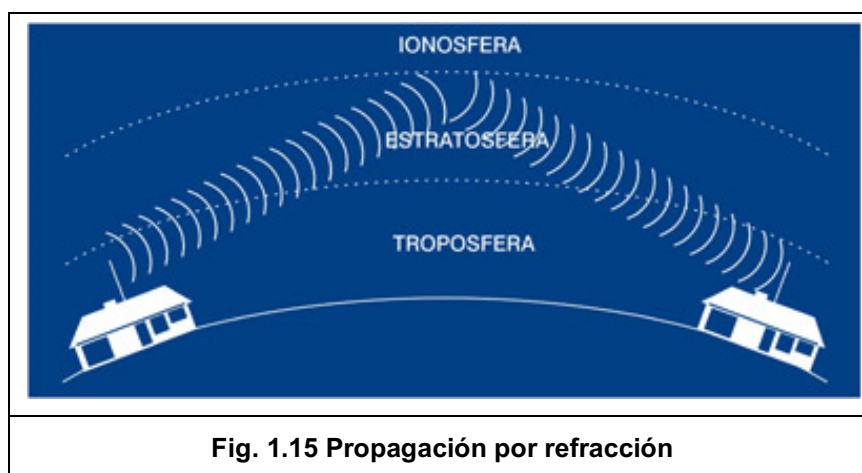
Gracias a este fenómeno las ondas rodean al obstáculo y consiguen salvarlo.



Fuente: <http://www.teleequipo.cl/userfiles/image/tres.jpg>

1.3.4.4 Propagación por Refracción

Se usa esta propagación por el cambio en la dirección de la propagación de las señales radioeléctricas, debido al paso de la onda desde un medio a otro de distinto índice de refracción. Cabe citar aquí que con este tipo de propagación, cuando se dan las condiciones idóneas, es posible captar emisiones muy lejanas, imposibles de recibir por una propagación directa.

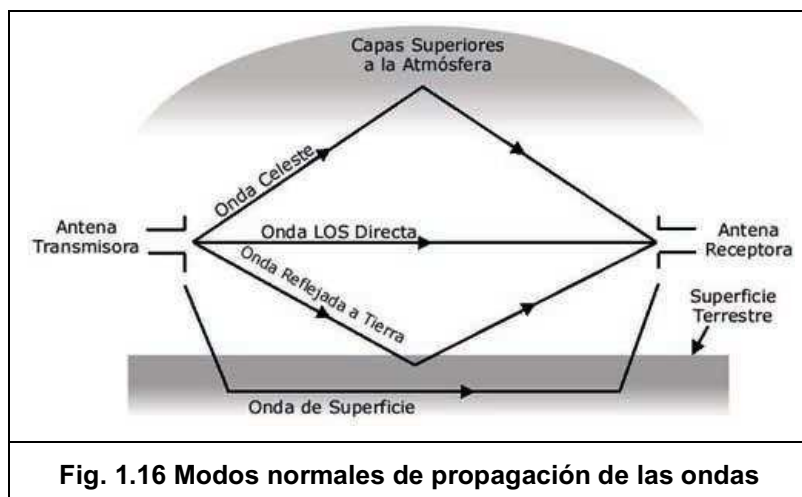


Fuente: <http://www.teleequipo.cl/userfiles/image/4.jpg>

1.3.5 PROPAGACIÓN TERRESTRE DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

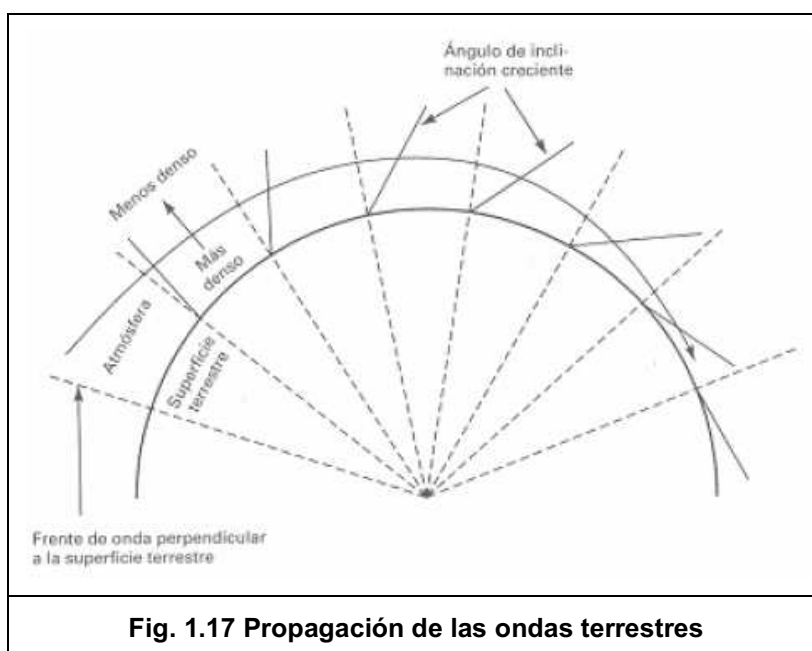
Las ondas electromagnéticas de radio que viajan dentro de la atmósfera terrestre se llaman ondas terrestres, y las comunicaciones entre dos o más puntos de la Tierra se llaman radiocomunicaciones terrestres. Las ondas terrestres se ven influidas por la atmósfera y por la Tierra misma.

En las radiocomunicaciones terrestres, las ondas se pueden propagar de varias formas, que dependen de la clase del sistema y del ambiente. Las ondas electromagnéticas viajan en línea recta, excepto cuando la Tierra y su atmósfera alteran sus trayectorias.



Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

1.3.5.1 Propagación de las ondas terrestres



Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

Una onda terrestre es una onda electromagnética que viaja por la superficie de la Tierra. Por eso a las ondas terrestres también se las llama ondas superficiales. Las ondas terrestres deben estar polarizadas verticalmente, para evitar estar en corto con la conductividad del suelo que se produciría con una polarización horizontal donde el campo eléctrico sería paralelo a la superficie de la tierra. La superficie terrestre también tiene pérdidas por resistencia y por dieléctrico.

Por consiguiente, las ondas terrestres se atenúan a medida que se propagan. Se propagan mejor sobre una superficie buena conductora, como por ejemplo, agua salada, y se propagan mal sobre superficies desérticas. Las pérdidas de las ondas terrestres aumentan rápidamente al aumentar la frecuencia. Por consiguiente, su propagación se limita en general a frecuencias menores que 2 MHz.

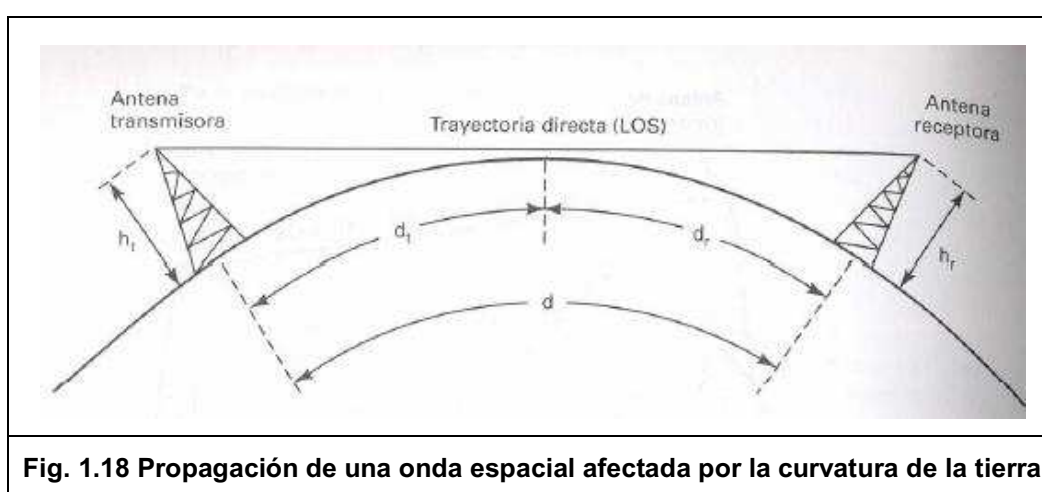
La propagación por ondas terrestres se usa normalmente en comunicaciones entre barcos y de barco a tierra, para la radionavegación y para comunicaciones marítimas móviles. Se limitan a frecuencias muy bajas, bajas e intermedias (VLF, LF y MF) y requieren grandes antenas, con una potencia de transmisión relativamente alta.

1.3.5.2 Propagación de las ondas espaciales

La propagación de la energía electromagnética en forma de ondas espaciales incluye la energía irradiada que viaja en los kilómetros inferiores a la atmósfera terrestre. Las ondas espaciales incluyen ondas directas y reflejadas en el suelo, como se muestra en la figura 1.16. Las ondas directas viajan esencialmente en línea recta entre las antenas de transmisión y recepción. La propagación de las ondas directas espaciales se llama transmisión por línea de vista (LOS). Por consiguiente, la propagación directa de ondas espaciales está limitada por la curvatura de la Tierra. Las ondas reflejadas en el suelo son las que refleja la superficie terrestre cuando se propagan entre las antenas transmisora y receptora.

En la figura 1.16 se ve la propagación de una onda espacial entre dos antenas. Se aprecia que la intensidad de campo de la antena receptora depende de la distancia entre las dos antenas (atenuación y absorción) y de si las ondas directas y las reflejadas están en fase (interferencia).

La curvatura de la Tierra presenta un horizonte en la propagación de las ondas espaciales, que se suele llamar el *horizonte de radio*. A causa de la refracción atmosférica, el horizonte de radio está más allá del *horizonte óptico* para la *atmósfera estándar común*¹. El horizonte de radio está, más o menos, a cuatro tercios del horizonte óptico. La refracción se debe a la tropósfera, a cambios en su densidad, temperatura, contenido de vapor de agua y conductividad relativa. El horizonte de radio se puede alargar sólo con elevar las antenas de transmisión y recepción, o ambas, respecto a la superficie terrestre.



Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

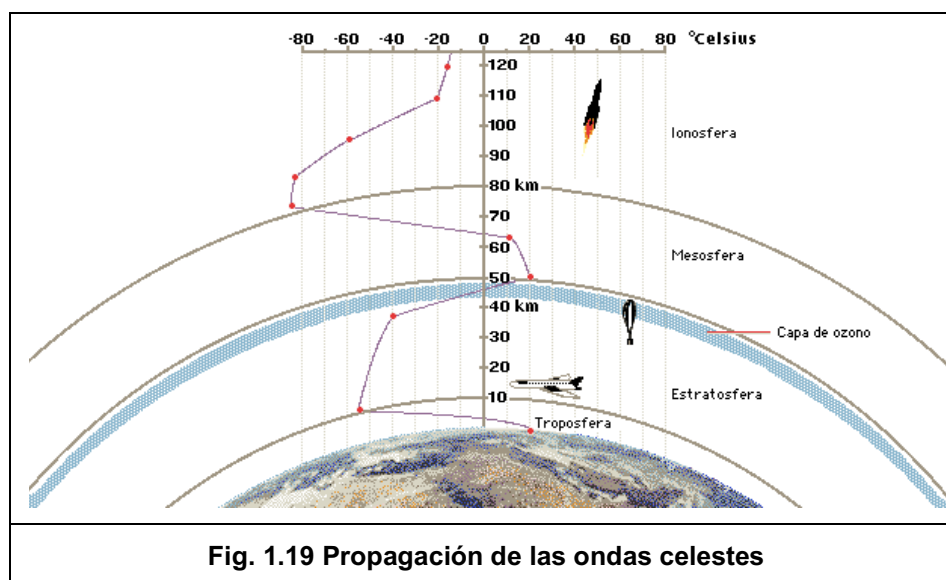
1.3.5.3 Propagación de las ondas celestes

Las ondas electromagnéticas que se dirigen sobre el nivel del horizonte se llaman ondas celestes. En el caso normal, las ondas celestes se irradian en una dirección que forman un ángulo relativamente grande con la Tierra. Se irradian hacia el cielo, donde son reflejadas o refractadas hacia la superficie terrestre por la ionósfera.

¹ Se conoce como atmósfera estándar común a una atmósfera hipotética basada en medidas climatológicas medias, cuyas constantes más importantes son (medidos al nivel del mar):

- Temperatura: 15°C (59°F).
- Presión: 760 mm o 29,92" de columna de mercurio, equivalentes a 1013,25 mb por cm².
- Densidad: 1,325 kg. por m³.
- Aceleración debido a la gravedad: 9,8 mts/segundo².
- Velocidad del sonido: 340,29 mts/segundo.
- Un gradiente térmico de 1,98°C por cada 1000 pies o 6,5°C por cada 1000 mts.
- Un descenso de presión de 1" por cada 1000 pies, o 1 mb por cada 9 metros, o 110 mb por cada 1000 mts.

Debido a lo anterior, a la propagación de las ondas celestes se la llama a veces, propagación ionosférica.



Fuente: <http://www.solred.com.ar/lu6etj/tecnicos/handbook/propagacion/propag2.gif>

1.4 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

El medio de transmisión constituye el soporte físico a través del cual emisor y receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión de datos. Distinguimos dos tipos de medios: guiados y no guiados. En ambos casos la transmisión se realiza por medio de ondas electromagnéticas. Los medios guiados conducen (guían) las ondas a través de un camino físico, ejemplos de estos medios son el cable coaxial, la fibra óptica y el par trenzado. Los medios no guiados proporcionan un soporte para que las ondas se transmitan, pero no las dirigen; como ejemplo de ellos tenemos el aire y el vacío. La naturaleza del medio junto con la de la señal que se transmite a través de él constituyen los factores determinantes de las características y la calidad de la transmisión. En el caso de medios guiados es el propio medio el que determina principalmente las limitaciones de la transmisión: velocidad de transmisión de los datos, ancho de banda que puede soportar y espaciado entre repetidores. Sin embargo, en el caso de los medios no guiados, las características están más determinadas por las frecuencias y ancho de banda de las señales a transmitir por la antena que por el propio medio.

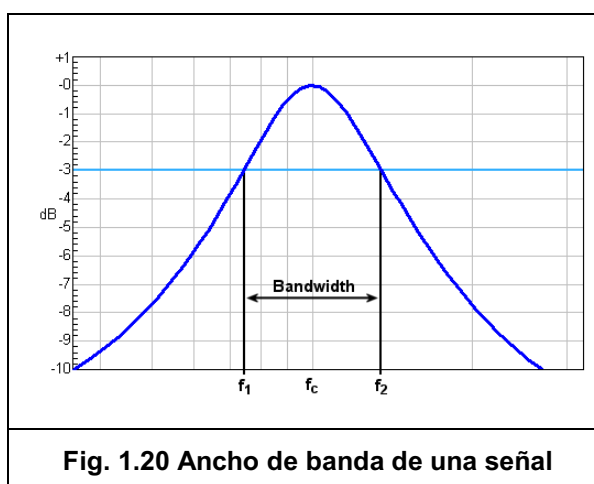
1.4.1 CARACTERÍSTICAS

Entre las características más importantes dentro de los medios de transmisión se encuentra la velocidad de transmisión, la distorsión que introduce en el mensaje, y el ancho de banda.

1.4.1.1 Velocidad de Transmisión

La velocidad de transmisión es la relación entre la información transmitida a través de una red de comunicaciones y el tiempo empleado para ello. Cuando la información se transmite digitalizada, esto implica que está codificada en bits (unidades de base binaria), la velocidad de transmisión también se denomina a menudo tasa binaria o tasa de bits (bit rate, en inglés).

1.4.1.2 Ancho de Banda



Fuente: http://2.bp.blogspot.com/_t7heG8GISSo/TKhc3Wt-hBI/AAAAAAAADxc/QA37CcV50Cw/s320/ancho+de+banda.png

Δf = ancho de banda

$$\Delta f = f_2 - f_1$$

Ecuación 1.6

El concepto de ancho de banda es uno de los más importantes y actuales en el campo de las telecomunicaciones. Se denomina ancho de banda de una señal a lo siguiente:

Intervalo de frecuencias para las cuales la distorsión lineal y la atenuación permanecen bajo límites determinados y constantes. Los valores que se toman como referencia pueden ser arbitrarios.

Fuente: <http://trajano.us.es/~isabel/publicaciones/Tema4I.pdf>

Si bien los límites pueden ser arbitrarios, en la generalidad de los casos, se definen para una atenuación de 3 dB con respecto al valor que tiene la señal a la frecuencia f_c de referencia, según se observa en la figura 1.20. Los valores f_1 y f_2 se denominan límites inferior y superior del ancho de banda de una señal.

En la tabla 1.1 se indican algunos de los anchos de banda aproximados que necesitan las aplicaciones más comunes.

Nº	Formas de Información	Ancho de banda	
1	Canal telefónico de voz (par de abonado)	3.1	kHz
2	Canal de voz analógico por onda de portadora	4	kHz
3	Música de alta fidelidad (Hi Fi)	16	kHz
4	Disco Compacto (CD)	22	kHz
5	Canal de radio de FM	200	kHz
6	Canal de televisión (CATV)	6	MHz
7	Teleconferencia (a través de redes digitales ISDN)	128	Kbps

Tabla 1.1 Ancho de banda de diferentes aplicaciones

Fuente: Varios autores

1.4.2 CLASIFICACIÓN

1.4.2.1 Medios Guiados

1.4.2.1.1 Par Trenzado

Este consiste en dos alambres de cobre aislados, en general de 1mm de espesor, los alambres se entrelazan en forma helicoidal. La forma trenzada del cable se utiliza para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor.

Existen dos tipos de par trenzado:

- UTP (Unshielded Twisted Pair)

Par trenzado no apantallado, es el tipo más frecuente de medio de transmisión que se usa en la actualidad. Por su rango de frecuencias es adecuado para transmitir tanto datos como señales analógicas (voz). Cada hilo conductor va forrado por un aislamiento plástico de color, que se asigna para identificación.

Dependiendo de la velocidad de transmisión ha sido dividida en diferentes categorías:

- **Categoría 1:** Hilo telefónico, tiene un ancho de banda de 1 MHz.
- **Categoría 2:** Tiene un ancho de banda de 4 MHz.
- **Categoría 3:** Velocidad de transmisión de hasta 10 Mbps y ancho de banda de 16 MHz.
- **Categoría 4:** Velocidad de transmisión de hasta 20 Mbps y ancho de banda de 20 MHz.
- **Categoría 5:** Velocidad de transmisión de hasta 100 Mbps y ancho de banda de 100 MHz.
- **Categoría 6:** Velocidad de transmisión de hasta 1Gbps y ancho de banda de 250 MHz.
- **Categoría 7:** Velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps y ancho de banda de 600 MHz.

➤ STP (Shielded Twisted Pair)

Par trenzado apantallado, dispone de una funda de metal o recubrimiento de malla entrelazada, que rodea a cada par de conductores aislados.

Las características físicas del STP son similares a las del UTP exceptuando la conexión a tierra que requiere el primero. También ofrece un mayor ancho de banda que los cables UTP (200 MHz y 600 MHz) para una impedancia de 150 Ω .

1.4.2.1.2 Cable Coaxial

El cable coaxial consta de un alambre de cobre duro en su parte central que constituye el núcleo, el cual se encuentra rodeado por un material aislante. Este material aislante está rodeado por un conductor cilíndrico que frecuentemente se presenta como una malla de tejido trenzado. El conductor externo está cubierto por una capa de plástico protector.

La construcción del cable coaxial produce una buena combinación, un gran ancho de banda y una excelente inmunidad al ruido. El ancho de banda que se puede obtener depende de la longitud del cable; para cables de 1km, por ejemplo, es factible obtener velocidades de datos de hasta 10Mbps, y en cables de longitudes menores, es posible obtener velocidades superiores.

Existen dos variantes principales del cable coaxial:

➤ Cable coaxial de banda base

Posee una impedancia de 50 Ω , usado en transmisión digital.

➤ Cable coaxial de banda ancha

Posee una impedancia de 75 Ω , usado en transmisión analógica, muy conocido por utilizarse para la televisión por cable.

1.4.2.1.3 Fibra Óptica

Un cable de fibra óptica consta de tres secciones concéntricas. La más interna, el núcleo, consiste en una o más hebras o fibras hechas de cristal o plástico. Cada una de ellas lleva un revestimiento de cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La capa más exterior, que recubre una o más fibras, debe ser de un material opaco y resistente.

Un sistema de transmisión por fibra óptica está formado por una fuente luminosa muy monocromática (generalmente un láser), la fibra encargada de transmitir la señal luminosa y un fotodiodo que reconstruye la señal eléctrica.

Existen dos tipos de fibra:

➤ Fibra Multimodo

Una fibra multimodo es aquella en la que los haces de luz pueden circular por más de un modo o camino. Esto supone que no llegan todos a la vez. Una fibra multimodo puede tener más de mil modos de propagación de luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en aplicaciones de corta distancia, menores a 1 km; son simples de diseñar y económicas.

➤ Fibra Monomodo

Una fibra óptica monomodo es en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micrones) que sólo permite un modo de propagación. Su transmisión es paralela al eje de la fibra. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias (hasta 400 km máximo, mediante un láser de alta intensidad) y transmitir elevadas tasas de información (decenas de Gbps).

1.4.2.2 Medios No Guiados

1.4.2.2.1 Radio

Las ondas de radio son fáciles de generar, pueden viajar a distancias largas y penetrar en edificios sin problemas, de modo que se utilizan mucho en comunicaciones.

Estas ondas son omnidireccionales, lo que significa que viajan en todas las direcciones desde la fuente, por lo que el receptor y el transmisor no tienen que alinearse con cuidado.

Las propiedades de las ondas de radio dependen de la frecuencia. A bajas frecuencias, las ondas de radio cruzan bien los obstáculos, pero se reduce la potencia. A frecuencias altas, las ondas de radio tienden a viajar en línea recta y a rebotar en los obstáculos.

En cualquier frecuencia, las ondas de radio están sujetas a interferencias por los motores y otros equipos eléctricos.

1.4.2.2.2 Microondas

Se denomina microonda a las ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado generalmente entre 300 MHz y 300 GHz.

Además de su aplicación en hornos, las microondas nos permiten transmisiones tanto terrestres como con satélites. Dada sus frecuencias, del orden de 1 a 10 Ghz, las microondas son muy direccionales y sólo se pueden emplear en situaciones en que existe una línea visual que une emisor y receptor. Los enlaces de microondas permiten grandes velocidades de transmisión, del orden de 10 Mbps.

1.4.2.2.3 Infrarrojos

Este medio es muy atractivo para redes de corta distancia. Esto se debe a que es incapaz de atravesar un sólido, es necesaria la alineación entre emisor y receptor como ocurre con las microondas.

El infrarrojo ofrece un amplio ancho de banda que transmite señales a velocidades muy altas (supera los 10 Mbps).

1.5 RADIO SOBRE PROTOCOLO IP (RoIP)

Para un mejor entendimiento del concepto de RoIP, es necesario tener un conocimiento general acerca de Voz sobre IP (VoIP).

1.5.1 Voz sobre IP (VoIP)

Voz sobre Protocolo de Internet, también llamado Voz IP, VoZIP, VoIP (por sus siglas en inglés), es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP (Protocolo de Internet). Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital, en paquetes, en lugar de enviarla en forma analógica, a través de circuitos utilizables sólo para telefonía como una compañía telefónica convencional o PSTN (Public Switched Telephone Network, Red Telefónica Pública Conmutada).

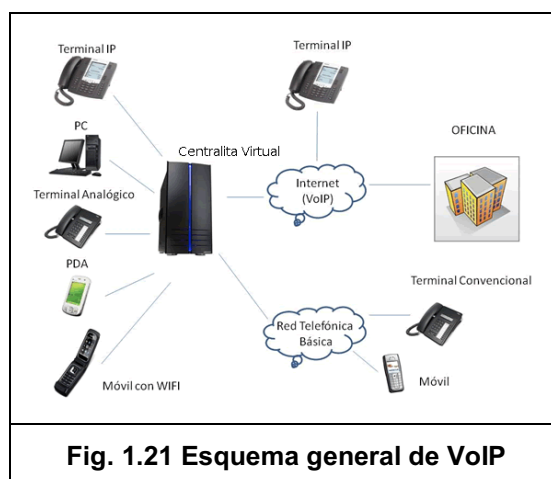


Fig. 1.21 Esquema general de VoIP

Fuente: <http://www.evoz.net/attachments/Image/voip.gif>

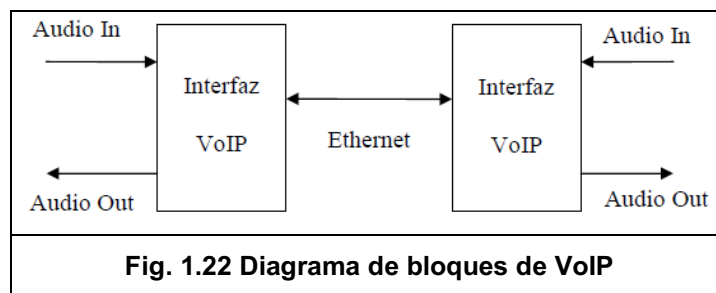


Fig. 1.22 Diagrama de bloques de VoIP

Fuente: "DISEÑO INTEGRAL DE UNA RED DE RADIO SOBRE IP PARA LA COMPAÑIA WEGA MINING ECUADOR S.A." para la Escuela Politécnica Nacional

1.5.1.1 Protocolos de VoIP

Los Protocolos que se usan para enviar las señales de voz sobre la red IP se conocen como protocolos de Voz sobre IP o protocolos IP, entre ellos se tiene: H323 (establecido por la UIT), SIP (definido por la IETF), IAX (para comunicaciones entre PBXs Asterisk), MiNet (propiedad de Mitel), Skype, entre otros, como se muestra en la figura 1.23.

VoIP fundamenta su funcionamiento en una serie de protocolos, la familia de protocolos H.323 que provee los estándares de comunicaciones multimedia sobre redes de datos y que fue desarrollado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el conjunto de protocolos mayormente aceptado; puesto que gran parte de los fabricantes de equipos han desarrollado y utilizado las soluciones que brinda este conjunto de protocolos.

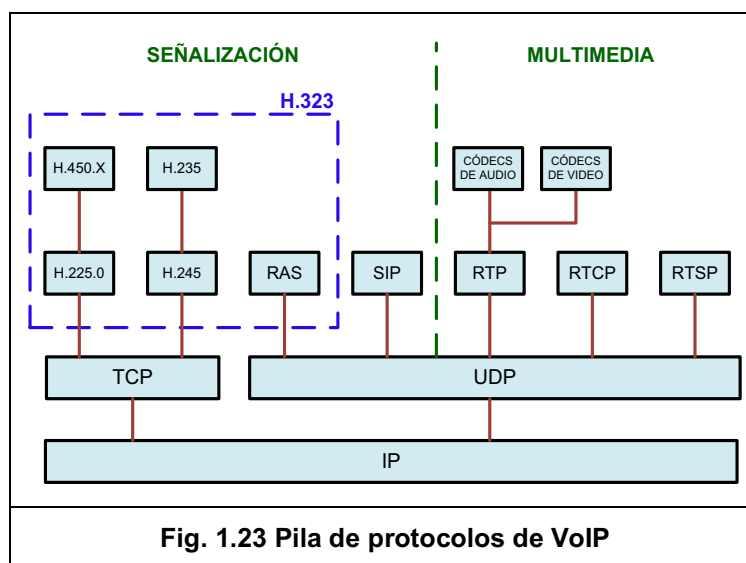


Fig. 1.23 Pila de protocolos de VoIP

Fuente: http://byfiles.storage.msn.com/y1p3EXUGup0AYWwGgMcPL60FGRw9srH0rL_IPd7HQ79oyOH7z524sCAkQ4vCwYUOQyvbQprLu58NYo?PARTNER=WRITER

H323 puede ser utilizado en cualquier red conmutada de paquetes sin tomar en cuenta la capa física utilizada. En las capas superiores el Protocolo IP puede ser utilizado junto con un mecanismo de transporte confiable, es decir, que emplee acuses de recibo y retransmisión para garantizar la entrega de PDUs² al manejarse con la técnica del mejor esfuerzo pero que en contraparte evita introducir sobrecarga y retardo como el protocolo UDP (User Datagram Protocol). El tráfico de Voz sobre IP puede circular por cualquier red IP, incluyendo aquellas conectadas a Internet, como por ejemplo las redes de área local (LAN).

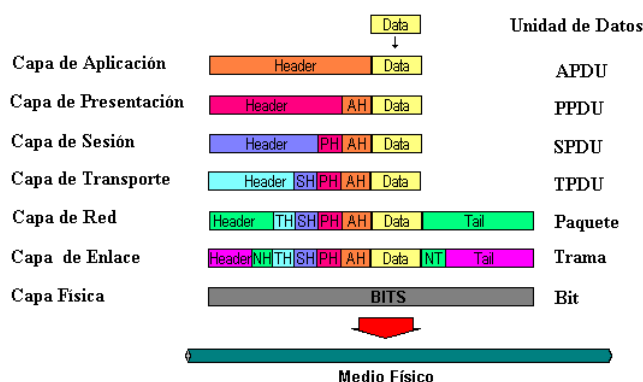
El principal problema que presenta hoy en día la penetración tanto de VoIP como todas las aplicaciones de IP es garantizar la calidad de servicio sobre Internet, que solo soporta "mejor esfuerzo" (best effort) y puede tener limitaciones de ancho de banda en la ruta.

1.5.1.2 Parámetros de VoIP

1.5.1.2.1 Códecs

La voz ha de codificarse para poder ser transmitida por la red IP. Para ello se hace uso de códecs que garanticen la codificación y compresión del audio o del

² PDU o unidad de datos de protocolo, se utiliza para el intercambio entre unidades pares (equipos semejantes), dentro de una capa del modelo OSI.



Existen dos clases de PDUs:

- PDU de datos, que contiene los datos del usuario final (en el caso de la capa de aplicación) o la PDU del nivel inmediatamente superior.
- PDU de control, que sirven para gobernar el comportamiento completo del protocolo en sus funciones de establecimiento y ruptura de la conexión, control de flujo, control de errores, etc.

video para su posterior decodificación y descompresión antes de poder generar un sonido o imagen utilizable. Según el códec utilizado en la transmisión, se utilizará más o menos ancho de banda. La cantidad de ancho de banda suele ser directamente proporcional a la calidad de los datos transmitidos.

1.5.1.2.2 Retardo o latencia

Una vez establecidos los retardos de tránsito y el retardo de procesado, la conversación se considera aceptable por debajo de los 150 ms. Durante su recorrido por la red IP las tramas se pueden perder como resultado de una congestión de red o corrupción de datos lo que se conoce como pérdida de tramas (Frames Lost). Además, para tráfico de tiempo real como la voz, la retransmisión de tramas perdidas en la capa de transporte no es práctico por ocasionar retardos adicionales.

1.5.1.2.3 Calidad de Servicio

La calidad de este servicio se la logra bajo los siguientes criterios:

- La supresión de silencios, otorga más eficiencia a la hora de realizar una transmisión de voz, ya que se aprovecha mejor el ancho de banda al transmitir menos información.
- Compresión de cabeceras aplicando los estándares RTP/RTCP³.
- Priorización de los paquetes que requieran menor latencia.
- La implantación de IPv6 que proporciona mayor espacio de direccionamiento y la posibilidad de tunneling (Redes Privadas Virtuales VPN).

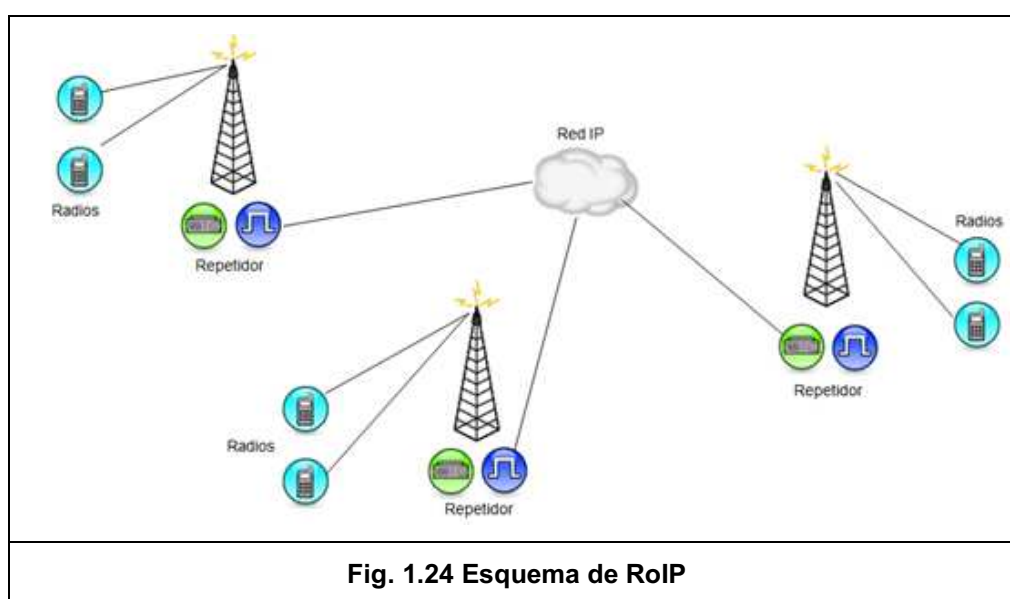
³ RTP es la abreviación de Real-time Transport Protocol, por su denominación en inglés. Es un estándar creado por la IETF para la transmisión confiable de voz y video a través de Internet. En aplicaciones de Voz sobre IP, RTP es el protocolo responsable de la transmisión de los datos. Además existe un protocolo adicional para el envío de datos de control y datos de mediciones realizadas durante la transmisión, conocido como RTCP (RTP Control Protocol), los paquetes RTCP se envían periódicamente dentro de la secuencia de paquetes RTP.

1.5.1.2.4 Transmisión de voz

- UDP (User Datagram Protocol): La transmisión se realiza sobre paquetes UDP, pues aunque UDP no ofrece integridad en los datos, el aprovechamiento del ancho de banda es mayor que con TCP.
- RTP (Real Time Protocol): Maneja los aspectos relativos a la temporización, marcando los paquetes UDP con la información necesaria para la correcta entrega de los mismos en recepción.

1.5.2 Radio sobre IP (RoIP)

La radio sobre IP o Radio over Internet Protocol (RoIP) es similar a la Voz Sobre IP (VoIP), pero utiliza comunicaciones de radios de dos vías en lugar de llamadas telefónicas.



Fuente: Manual de Usuario MOTOTRBO

En RoIP las transmisiones de radio Push to Talk (PTT) son convertidas en paquetes IP y enviados desde redes IP punto a punto. En esta tecnología al menos un nodo de la red es un radio (o un radio con una interfaz IP) conectado vía IP a otros nodos en la red. Los otros nodos pueden ser radios de dos vías, pero también pueden ser consolas ya sea tradicionales (hardware) o modernas

(software en una PC), softphones, u otro dispositivo de comunicación accesible sobre IP. RoIP puede desarrollarse sobre redes privadas, así como en públicas. Es útil en sistemas de radio móvil terrestre utilizado por los departamentos de seguridad pública y en flotas repartidas en un área geográfica amplia. RoIP permite a socorristas y otros usuarios de radio extender el alcance de sus sistemas y otros dispositivos fuera de sus límites geográficos habituales para incluir a cualquier persona autorizada.

Al usar IP como un mecanismo de transporte común para todos los tipos de tráfico de voz, el tipo de sistema que envía o recibe este tráfico se vuelve irrelevante. En pocas palabras, RoIP permite comunicaciones completamente transparentes entre los usuarios de radios múltiples, entre los nuevos y legales sistemas de radio, a través de muchas frecuencias, y con cualquier otro dispositivo de comunicaciones conectado.

La conversión a RoIP también impulsa la adopción de un enfoque de red en lugar de una arquitectura hub and spoke que es típica de los enlaces punto a punto inherente en el microondas y el legado de las tecnologías de la línea arrendada. Las arquitecturas hub and spoke son intrínsecamente frágiles mientras que el enfoque de red desarrollado por la fundación de la Internet, DARPA (Agencia de Investigación de Proyectos Avanzados de Defensa), es generalmente más confiable, adaptable y rápido para reparar y restaurar en una amplia zona de desastre.

1.5.2.1 Características de Radio Sobre IP

Radio sobre IP es una tecnología que basa su funcionamiento en Voz sobre IP (VoIP), a pesar de estar un escalón más arriba que ésta. Como es ampliamente conocido VoIP provee el vehículo para transmitir voz de un punto a otro a través de la Internet.

La tecnología VoIP trabaja correctamente cuando se tienen comunicaciones de audio básicas sin embargo, presenta falencias cuando intenta transferir

comunicaciones de radio de un punto a otro, esto se debe principalmente a que las transmisiones de audio por radio tienen algunos requerimientos especiales que están por encima de lo que cubre VoIP y que deben ser tomados en consideración, éstas señales que son específicas de los sistemas de Radiocomunicaciones Móviles son las líneas PTT y COR, las cuales se explicarán a continuación.

1.5.2.1.1 PTT (Push to Talk)

PTT o pulse para hablar es una función requerida por un radio cuando el usuario desea que el audio generado por su voz salga de la radio y viaje hacia el receptor. Todos los radios tienen la función PTT que habilita el micrófono del equipo para la comunicación.

1.5.2.1.2 COR (Carrier Operated Relay)

Esta función permite a un dispositivo conectado al radio tener el conocimiento previo de que la señal recibida proviene del radio, la mayoría de radios no posee una salida COR; cuando esto sucede, el dispositivo vinculado al radio debe tener la capacidad de crear esta señal.

La creación de COR para un radio que no cuenta con esta salida puede realizarse con una detección VOX (voice operated xmit⁴). El dispositivo que recibe la señal de radio debe usar VOX y un retardo de audio para identificarla y enviarla exitosamente.

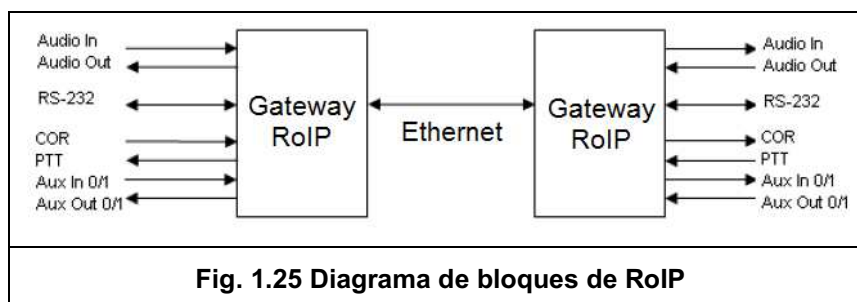


Fig. 1.25 Diagrama de bloques de RoIP

Fuente: "DISEÑO INTEGRAL DE UNA RED DE RADIO SOBRE IP PARA LA COMPAÑÍA WEGA MINING ECUADOR S.A." para la Escuela Politécnica Nacional

⁴ El término xmit se refiere a transmisión o recepción

La funcionalidad que otorga VoIP se da mediante el uso de hardware y software que soportan el lenguaje universal del Protocolo Internet (IP) y por tanto permiten encaminar las comunicaciones de voz a través del medio. Una de las ventajas que presenta VoIP es la interoperabilidad que brinda entre sistemas de radiocomunicaciones existentes, nuevos y antiguos; entre diversas frecuencias y con algunos otros dispositivos de comunicación conectados. Debido a que la tecnología VoIP está basada en ciertos estándares es independiente del dispositivo utilizado, por lo tanto, no existen restricciones de trabajar con un único sistema o dentro de un sistema propietario de radiocomunicaciones. Además, el usuario final no debe escoger un dispositivo específico puesto que puede hablar usando cualquier dispositivo que utilice el protocolo IP o en su defecto utilizar un Gateway que convierta cualquier lenguaje al utilizado por el protocolo IP.

1.6 RADIOENLACES

Hoy en día los sistemas inalámbricos nos rodean por todas partes, en sus diferentes formas: sistemas de telefonía móvil, redes de datos inalámbricas, la televisión digital terrestre o los radioenlaces punto a punto. Para el correcto funcionamiento de estos sistemas resulta crucial un diseño adecuado del interfaz radioeléctrico. El diseño de radioenlaces es una disciplina que involucra toda una serie de puntos tales como: la elección de la banda de frecuencias, el tipo de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o el conocimiento de las distintas modalidades y fenómenos de propagación radioeléctrica, entre otras.

Además de la elección de los equipos de radio y de sus parámetros de funcionamiento, los factores más importantes que determinan las prestaciones de un sistema fijo de acceso inalámbrico son la buena situación de las antenas, la correcta planificación del enlace radioeléctrico y la elección de un canal libre de interferencias. Sólo con una buena planificación del enlace entre antenas puede conseguirse evitar las interferencias y los desvanecimientos de la señal, alcanzando una alta disponibilidad en el sistema.

1.6.1 TIPOS DE RADIOENLACES

1.6.1.1 Enlaces punto a punto

Los enlaces punto a punto son aquellos que responden a un tipo de arquitectura en la que cada canal de comunicación se usa para conectar únicamente dos puntos; es decir enlaza directamente el transmisor y el receptor.

En un enlace punto a punto, los dispositivos en red actúan como socios iguales, o pares entre sí (relación recíproca). Como pares, cada dispositivo puede tomar el rol de esclavo (subordinado) o la función de maestro (control). Las redes punto a punto son relativamente fáciles de instalar y operar.

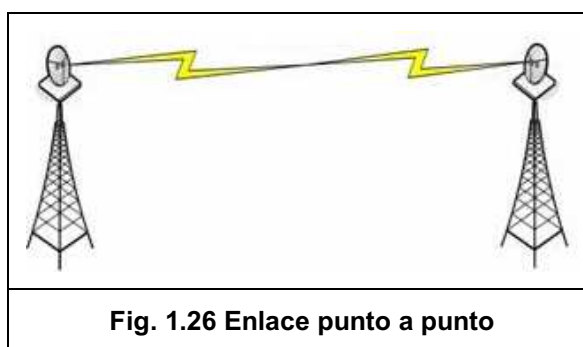


Fig. 1.26 Enlace punto a punto

Fuente: http://www.voicetel.cl/internet/punto_a_punto_clip_image002.jpg

1.6.1.2 Enlaces punto – multipunto

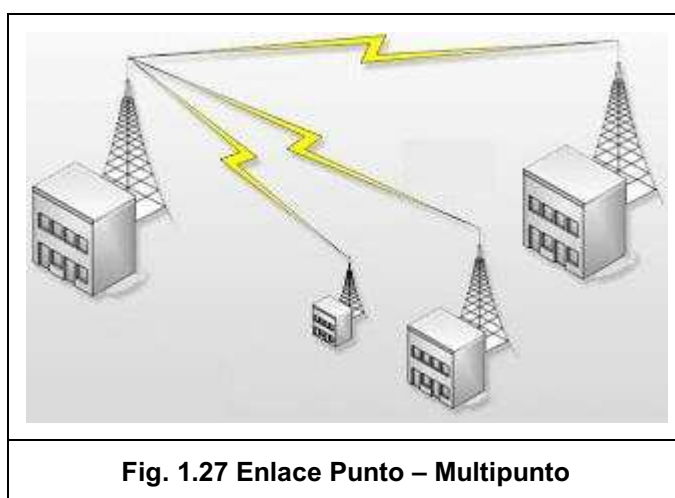


Fig. 1.27 Enlace Punto – Multipunto

Fuente: <http://americatsi.com/lib/img/wire3.jpg>

Un enlace punto – multipunto es aquella arquitectura en la que cada canal de comunicaciones se puede usar para comunicarse con diversos puntos, ofreciendo varias rutas desde una única ubicación a varios lugares.

Hay diferentes tipos de conexiones punto a multipunto:

- Estrella: Un terminal conectado a varias terminales remotas.
- Bus: Un medio de comunicación común conectado a muchas estaciones remotas.
- Anillo: Todas las terminales conectadas a un mismo cable. Si una falla hay problemas con todas.
- Malla: Es el tipo de conexión utilizado en las centrales telefónicas. Todas las terminales interconectadas entre sí.

1.6.1.3 Enlaces Analógicos

Un enlace analógico es aquel que utiliza equipos y técnicas de transmisión de información (modulación, demodulación, multiplexación, etc.) analógicos.

1.6.1.4 Enlaces Digitales

Un enlace digital es aquel que utiliza equipos y técnicas de transmisión de información (modulación, demodulación, codificación, etc.) digitales.

1.6.2 TERMINOLOGÍA PARA RADIOENLACES

1.6.2.1 Sistemas de Comunicación Móvil

Las comunicaciones móviles se dan cuando tanto emisor como receptor están en movimiento. La movilidad de estos dos factores que se encuentran en los

extremos de la comunicación hace que se excluya casi en su integridad la utilización de hilos (cables) para realizar la comunicación en dichos extremos.

Por lo tanto utiliza básicamente la comunicación vía radio, lo cual es una gran ventaja, por la movilidad de los extremos de la conexión.

1.6.2.1.1 Composición de un sistema de comunicación móvil

➤ Estaciones Fijas

Son aquellas cuyo uso no está previsto que sea en movimiento. Éstas pueden ser:

- Estaciones Base

Estaciones fuente o destino de tráfico, supervisadas desde un equipo de control en cierto lugar.

- Estaciones Repetidoras

Estaciones retransmisoras de señales electromagnéticas para lograr un objetivo de cobertura determinado. Los repetidores pueden ser:

Activos: Son instalaciones de comunicaciones constituidas generalmente por un espacio para albergar equipos de radio, baterías, rectificadores y demás, así como una torre donde se sustentarán las antenas y se extenderán las guías de onda.

Son, en definitiva, emplazamientos donde se cuenta con alimentación eléctrica.



Fig. 1.28 Estación repetidora activa

Fuente: <http://70.84.187.5/documents/admin/uploads/classifieds/img-45-184859-original.jpg>

Pasivos: Se dan muchas situaciones en que es absolutamente imposible (técnica o económicamente) llevar alimentación eléctrica hasta un repetidor. En estos casos, se deberá situar un repetidor intermedio, en un punto accesible por los dos extremos, de manera que el enlace se establezca a través de un paso intermedio.

Los repetidores pasivos no son más que reflectores de la señal, que actúan como espejos de las ondas que inciden sobre ellos y los direccionan hacia la estación activa receptora.

Se distinguen dos tipos de repetidores pasivos:

- Reflectores planos: constituidos por una superficie reflectora plana (chapa metálica de grandes dimensiones) sobre la que incide la onda enviada por la estación transmisora y que sigue su camino hacia la estación receptora tras la reflexión.



Fig. 1.29 Repetidor pasivo plano

Fuente: http://www.calzavara.it/images/products/icon_radiolect.jpg

- Antenas espalda con espalda (back to back): formadas por dos antenas que presentan sus entradas conectadas, de modo que todo aquello que reciben sale hacia la siguiente estación.

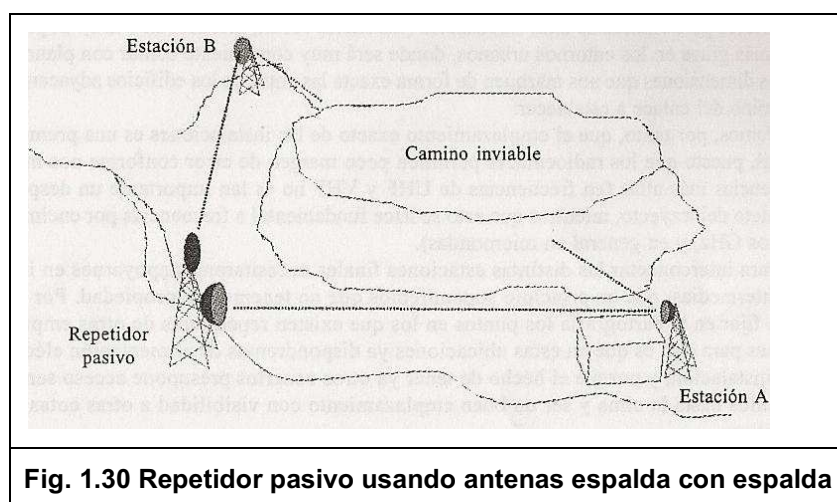


Fig. 1.30 Repetidor pasivo usando antenas espalda con espalda

Fuente: "Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles" de Alberto Sendín Escalona

- Estaciones de control

Estaciones que gobiernan el funcionamiento de una estación base o repetidora de un cierto lugar.

- Estaciones Móviles

Estaciones radioeléctricas o terminales previstas para su uso en movimiento. Pueden ser:

Estaciones Móviles: Son aquellas que se las puede movilizar pero por sus dimensiones generalmente están instaladas en otros equipos, generalmente autos.

Estaciones Portátiles: Al igual que las estaciones móviles se las puede trasladar, con la diferencia de que su tamaño es compacto, con lo que se las puede movilizar sin necesidad de equipos adicionales.

➤ Equipos De Control

Aquellos que añaden inteligencia de red, y que por tanto dan carácter de sistema al conjunto de las estaciones. Se ocupan de:

- Generar y recibir llamadas
- Localizar e identificar usuarios y equipos
- Transferir llamadas

1.6.2.2 Margen y relación Señal a Ruido (S/N)

La relación señal/ruido (en inglés Signal to Noise ratio SNR o S/N) se define como el margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe. Este margen es medido en decibelios. La relación S/N está determinada por:

$$\text{Relación S/N} = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Potencia de la señal [W]}}{\text{Potencia del ruido [W]}} \right)$$

Ecuación 1.7

1.6.2.3 Perfil topográfico

Representación lineal y gráfica del relieve de un terreno a partir de dos ejes, uno con la altitud y otro con la longitud, que permite establecer las diferencias altitudinales que se presentan a lo largo de un recorrido

1.6.2.4 Zona de Fresnel

Área en donde se difunde una onda luego de ser emitida por una antena, como se indica en la figura 1.31. Mientras menos obstáculos haya en esta área, mejor será transmitida la onda. La primera Zona de Fresnel se define como: volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética, acústica, etc. y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.

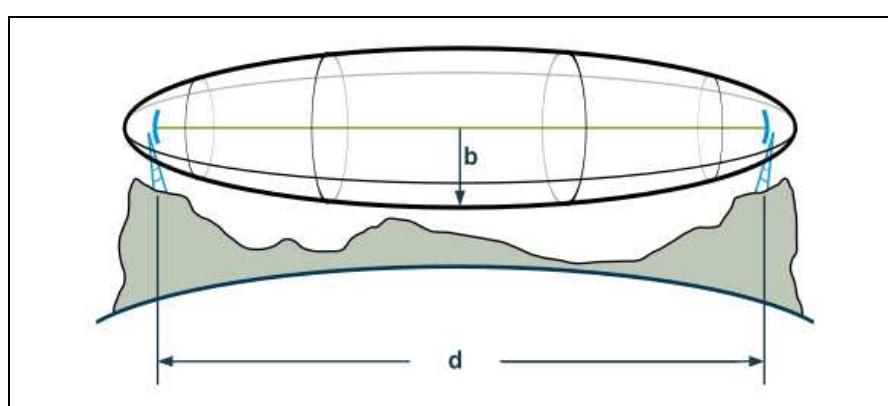


Fig. 1.31 Primera Zona de Fresnel

(d = distancia entre el emisor y receptor, b = radio de la Zona de Fresnel)

Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d6/FresnelSVG.svg/500px-FresnelSVG.svg.png>

Así, la fase mínima se produce para el rayo que une en línea recta emisor y receptor. Tomando su valor de fase como cero, la primera zona de Fresnel abarca hasta que la fase llegue a 180°, adoptando la forma de un elipsoide de revolución. La segunda zona abarca hasta un desfase de 360°, y es un segundo elipsoide que contiene al primero. Del mismo modo se obtienen las zonas superiores.

La ecuación genérica para el cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$F_n = \sqrt{\frac{n \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} = 17,32 \times \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{d \times f}} = r_n$$

Ecuación 1.8

Donde:

r_n = radio de la n-ésima zona de Fresnel ($n = 1,2,3\dots$)

d_1 = distancia desde el transmisor al obstáculo más prominente en km.

d_2 = distancia desde el obstáculo más prominente al receptor en km.

d = distancia total del enlace en km. $d = d_1 + d_2$

f = frecuencia en GHz.

1.6.2.5 Confiabilidad o Calidad de un Radioenlace

Representa el grado en que el sistema de transmisión está en condiciones de proporcionar el servicio para el que se ha diseñado. Es decir, el período de tiempo en el que no existen interrupciones⁵.

La confiabilidad se expresa en forma porcentual, está referida al período de un año.

Se puede hacer referencia a dos aspectos de calidad:

- Calidad de disponibilidad

Probabilidad de que el sistema se encuentre en condiciones de funcionamiento en un momento dado.

- Calidad de fidelidad

En condiciones de disponibilidad pueden producirse microinterrupciones y degradaciones ligeras y breves que producen errores en los bits transmitidos y afectan a la nitidez o claridad de la señal recibida.

⁵

La Interrupción o indisponibilidad se refiere al intervalo durante el cual se produce una pérdida completa o parcial de la señal, aparece un ruido o un BER de valor excesivo o surge una fuerte discontinuidad o grave distorsión de la señal. Pueden ser de corta duración (fracciones de segundo o unos pocos segundos, pero frecuentes, varios por hora) o de larga duración (10 segundos o una hora, una vez a la semana o al año).

1.6.2.6 Fidelidad de un radioenlace

Los criterios de calidad en cuanto a fidelidad especifican las degradaciones: normal y máxima admisible que puede sufrir la información, junto con el tiempo máximo en que no se debe rebasar esa degradación. Los criterios dependen del tipo de radioenlace:

- Analógico: a partir de la relación señal a ruido (S/N) en el canal.
- Digital: a partir del BER

1.6.3 DISEÑO DE UN RADIOENLACE

1.6.3.1 Planificación del Enlace de Radio

En el comienzo de una red de radio es fundamental el conocimiento de los puntos de servicio, así como la capacidad necesaria en cada uno de ellos. Con ello, y en función de la prioridad y características de disponibilidad del servicio a proporcionar, se tendrá la topología que mejor se adapta a los requerimientos.

El paso inicial y fundamental en el diseño de un radioenlace genérico es la correcta ubicación de las instalaciones finales sobre la cartografía de la escala adecuada, a fin de tener la perspectiva global de cómo es la red. Esto es fundamental ya que los radioenlaces permiten poco margen de error conforme se mueve a frecuencias más altas (en frecuencias VHF y UHF no es importante un despeje completo del trayecto, mientras que esto se hace fundamental a frecuencias por encima de unos cuantos GHz y en general en microondas).

La planificación del enlace radioeléctrico de un sistema de radiocomunicaciones comienza con el cálculo del alcance. Para ello se deben conocer la banda de frecuencias, las características climáticas de la zona y las especificaciones técnicas de los equipos de radio: potencia del transmisor, ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor, tasa de error, disponibilidad, etc. Este cálculo

del alcance del sistema constituye una primera estimación teórica que deberá verificarse tras la instalación de los equipos. La utilización de aplicaciones informáticas de simulación con cartografías digitales del terreno y de los edificios constituye una potente herramienta de ayuda en la planificación. Valiéndose de las mismas es posible determinar las mejores localizaciones para instalar las antenas y estimar su alcance o cobertura, así como los posibles niveles de interferencia que provienen de otros emplazamientos vecinos, especialmente en el caso de sistemas celulares o de sistemas de radio punto a multipunto y su accesibilidad.

Una vez decidida la ubicación de las estaciones, se debe hacer un estudio teórico de despeje del haz radioeléctrico respecto del perfil topográfico del terreno; el cual puede realizarse usando un software de procesamiento adecuado.

1.6.3.2 Presupuesto de Potencia de Enlace

Un presupuesto de potencia para un enlace punto a punto es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor (fuente de la señal de radio), a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor. La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace es necesaria para hacer el mejor diseño y elegir el equipamiento adecuado.

1.6.3.2.1 Elementos de un presupuesto de potencia de enlace

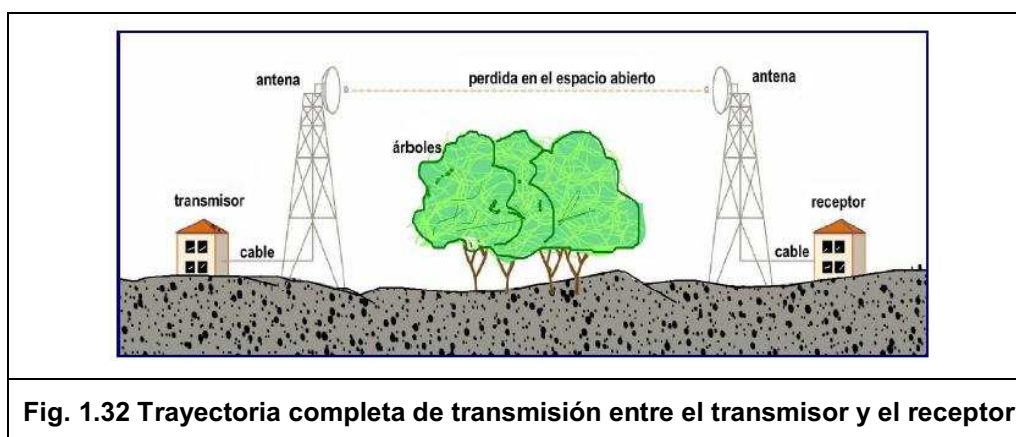


Fig. 1.32 Trayectoria completa de transmisión entre el transmisor y el receptor

Fuente: "Cálculo y Dimensionamiento de Radioenlaces" de Sebastián Buettrich

Los elementos pueden ser divididos en tres partes principales:

- El lado de transmisión con potencia efectiva de transmisión
- Pérdidas en la propagación de la información
- El lado de recepción con efectiva sensibilidad receptiva

Un presupuesto de radio enlace completo es simplemente la suma de todos los aportes (en decibeles) en el camino de las tres partes principales. Así:

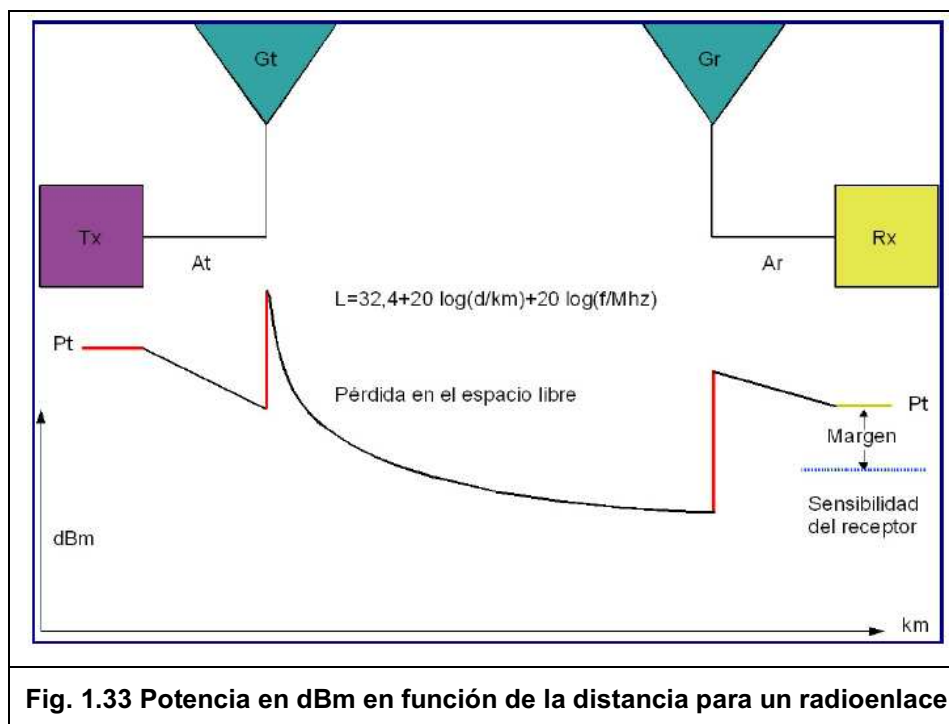
$$\text{Margen del sistema} = \text{Potencia del transmisor [dBm]} - \text{Pérdida en el cable TX [dB]} + \text{ganancia de antena TX [dBi]} - \text{Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto [dB]} + \text{ganancia de antena RX [dBi]} - \text{Pérdidas en el cable del RX [dB]} - \text{Pérdidas y atenuaciones adicionales [dB]} - \text{Sensibilidad del receptor [dBm]}$$

Ecuación 1.9

Donde:

$$P_{\text{inRX}} = \text{Potencia del transmisor [dBm]} - \text{Pérdida en el cable TX [dB]} + \text{ganancia de antena TX [dBi]} - \text{Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto [dB]} + \text{ganancia de antena RX [dBi]} - \text{Pérdidas en el cable del RX [dB]} - \text{Pérdidas y atenuaciones adicionales [dB]} = \text{Potencia nominal del receptor}$$

Ecuación 1.10



Fuente: "Cálculo y Dimensionamiento de Radioenlaces" de Sebastián Buettrich

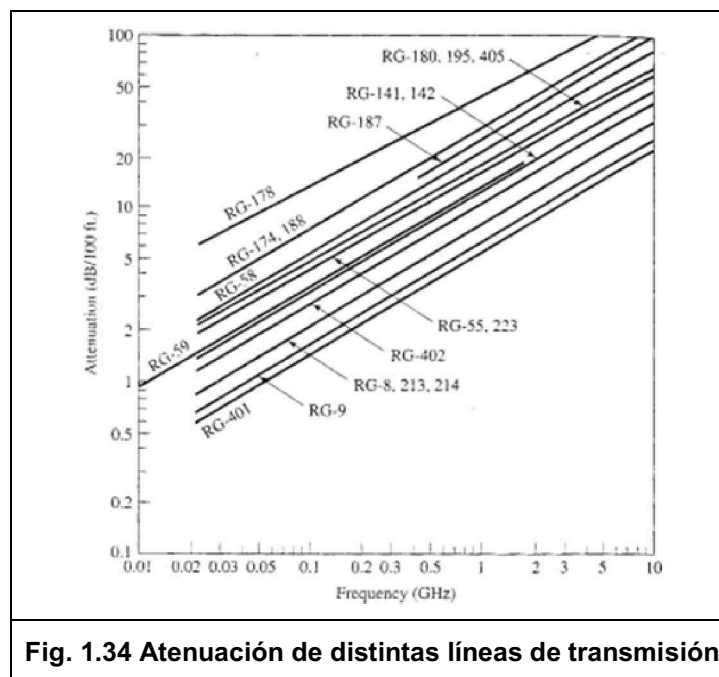
➤ El Lado de Transmisión

En el transmisor existen parámetros importantes que se deben tener en cuenta el momento de establecer un enlace de radio, éstos se detallan a continuación:

Potencia de transmisión: Es la potencia de salida del radio.

Pérdidas en el cable: Las pérdidas en la señal de radio se pueden producir en los cables que conectan el transmisor y el receptor a las antenas. Las pérdidas dependen del tipo de cable y la frecuencia de operación y normalmente se miden en dB/m o dB/pies. Independientemente de lo bueno que sea el cable, siempre tendrá pérdidas. Por eso, es importante que el cable de la antena sea lo más corto posible.

La pérdida típica en los cables está entre 0,1 dB/m y 1 dB/m. Estas pérdidas dependen de la frecuencia, y están especificadas por el fabricante.



Fuente: http://www.ipellejero.es/radiomobile/Fig_10_2_atenuacion_coaxiales.gif

Pérdidas en los conectores: Se estima por lo menos 0,25 dB de pérdida para cada conector en el cableado. Se debe considerar un promedio de pérdidas de 0,3 a 0,5 dB por conector como regla general. Además, los protectores contra descargas eléctricas que se usan entre las antenas y el radio deben ser presupuestados hasta con 1 dB de pérdida, dependiendo del tipo.

Amplificadores: Opcionalmente, se pueden usar amplificadores para compensar la pérdida en los cables o cuando no haya otra manera de cumplir con el presupuesto de potencia. Una escogencia inteligente de las antenas y una alta sensibilidad del receptor son mejores que la amplificación.

Un amplificador aumenta tanto el nivel de la señal como el del ruido. Además, la señal amplificada presenta mayores fluctuaciones de amplitud que la original, esto significa que la relación Señal/Ruido, se ha deteriorado a consecuencia de la amplificación.

Ganancia de antena: La ganancia de una antena típica varía entre 2 dBi (antena integrada simple) y 8 dBi (omnidireccional estándar) hasta 21 – 30 dBi (parabólica). Hay muchos factores que disminuyen la ganancia real de una

antena. Las pérdidas pueden ocurrir por muchas razones, principalmente relacionadas con una incorrecta instalación (pérdidas en la inclinación, en la polarización, objetos metálicos adyacentes).

➤ Pérdidas en la propagación de la información:

En resumen, la información al propagarse usando un radioenlace puede sufrir pérdidas por:

- Propagación por el espacio libre.
- Difracción (por zonas de Fresnel, atenuación por obstáculo).
- Reflexión (atenuación por reflexiones en el terreno).
- Refracción (en la atmósfera, levantamiento del horizonte).
- Absorción por vegetación cercana a la antena.
- Desajustes de ángulos.
- Lluvias e hidrometeoros.
- Gases y vapores atmosféricos.

A continuación se explican algunas de ellas:

Pérdidas de propagación por el espacio libre: Las pérdidas de propagación están relacionadas con la atenuación que ocurre en la señal cuando ésta sale de la antena de transmisión hasta que llega a la antena receptora.

La Pérdida en el Espacio Libre (FSL) mide la potencia que se pierde en el mismo sin ninguna clase de obstáculo. La señal de radio se debilita en el aire debido a la expansión dentro de una superficie esférica.

La Pérdida en el Espacio Libre es proporcional al cuadrado de la distancia y al cuadrado de la frecuencia, como se muestra en la ecuación 1.11:

$$FSL = \left(\frac{4 \pi d}{\lambda} \right)^2$$

Ecuación 1.11

De la ecuación 1.3 (página 40), se obtiene que:

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

Reemplazando el valor de λ en la ecuación 1.11 se tiene:

$$FSL = \left(\frac{4 \pi d f}{c} \right)^2$$

La ecuación anterior expresada en dB, resulta:

$$FSL_{(dB)} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147.558$$

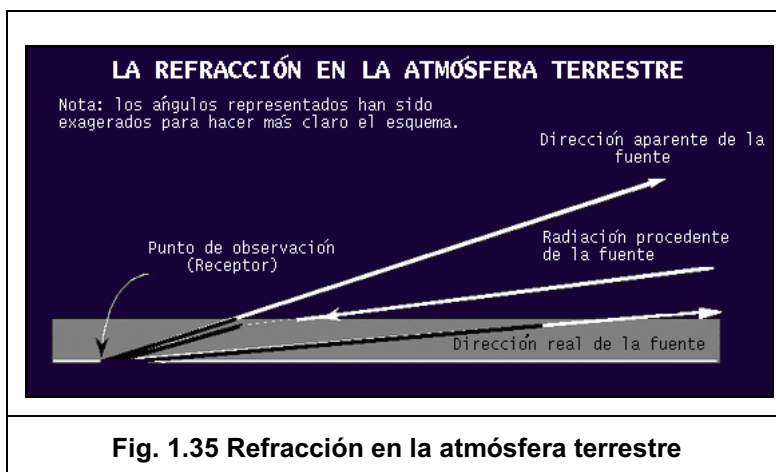
Ecuación 1.12

Donde:

d = distancia en metros

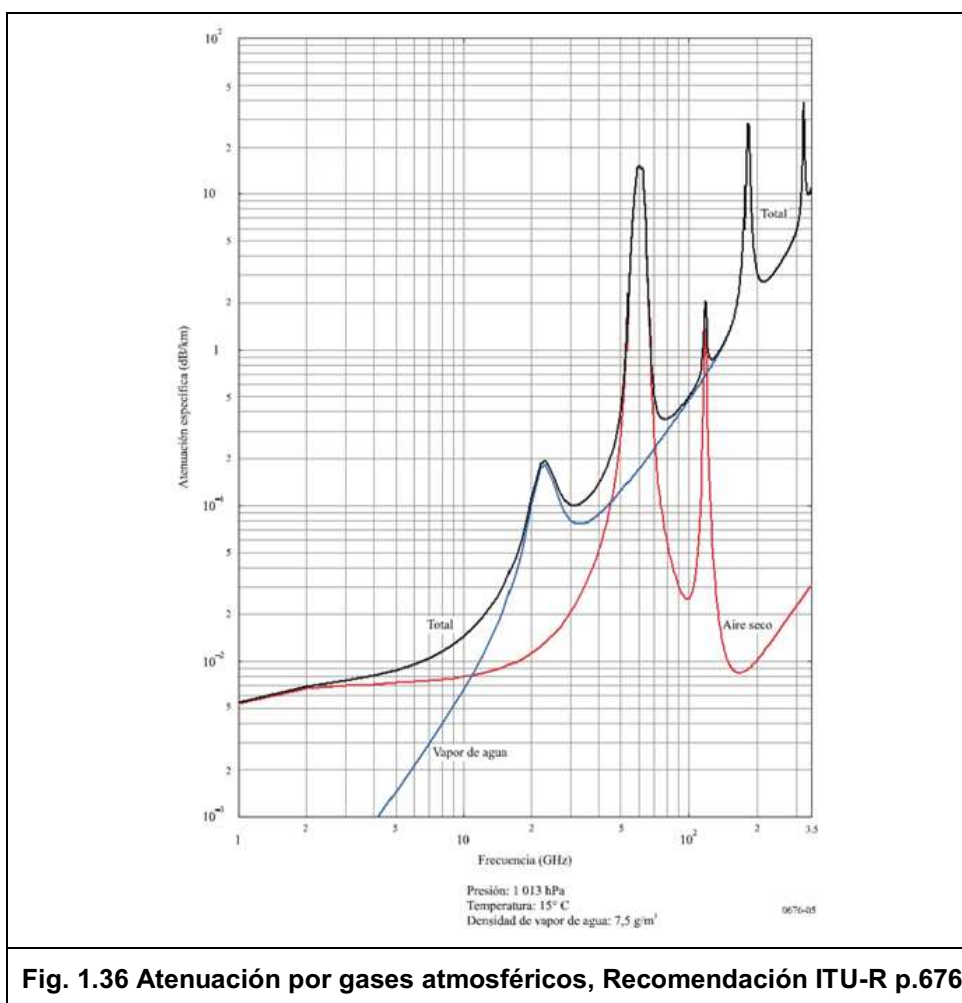
f = frecuencia en Hertz

Refracción: La refracción es el aumento de la altura aparente de un objeto que hace que éste sea visible cuando en realidad se encuentra por debajo del horizonte.



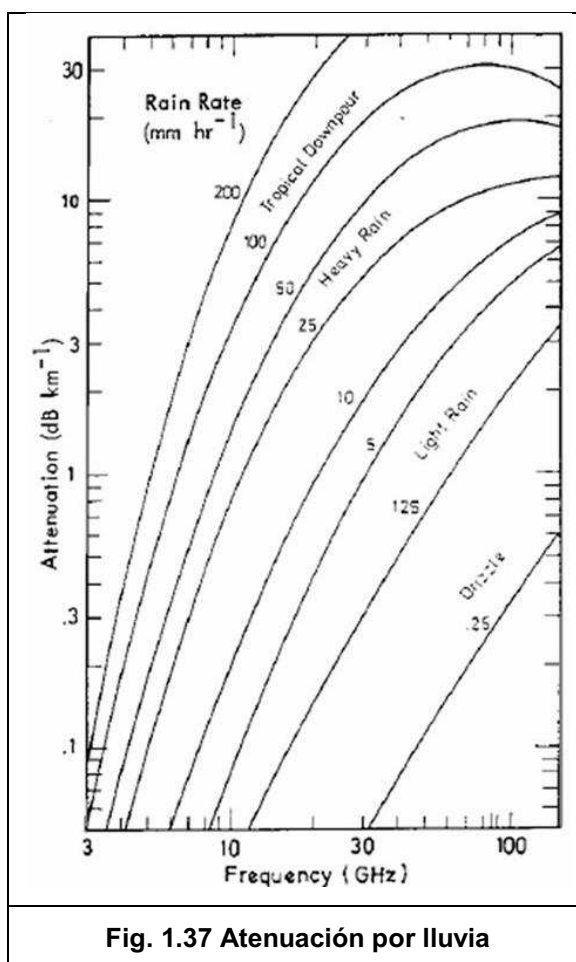
Fuente: <http://partner.cab.inta-csic.es/imagenes/refatmosfera.gif>

Atenuación por gases y vapores atmosféricos: Para trayectos troposféricos, las moléculas de O_2 y H_2O absorben energía electromagnética, produciendo una atenuación que puede ser muy elevada en ciertas frecuencias. Esta atenuación adicional sólo tiene importancia en frecuencias superiores a 10 GHz.



Fuente: Recomendación ITU-R p.676

Atenuación por lluvia (hidrometeoros): En los radioenlaces troposféricos y por satélite, existe también una componente de atenuación debida a la absorción y dispersión por hidrometeoros (lluvia, nieve, granizo), en general, para los cálculos de disponibilidad de radioenlaces, sólo es necesario evaluar la atenuación por lluvia excedida durante porcentajes de tiempo pequeños, y para frecuencias superiores a unos 6 GHz.



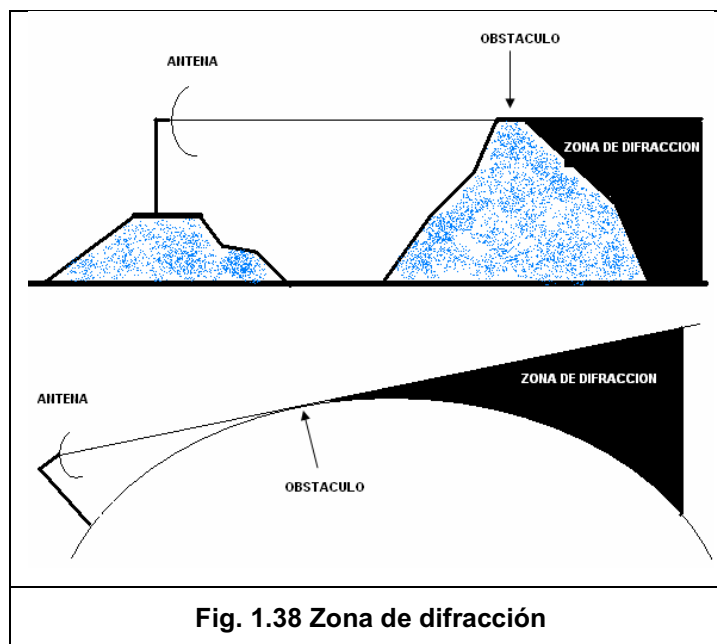
Fuente: <http://www.evaluamos.com/2006/images/Image/10521-SatColruso7.jpg>

Atenuación por vegetación y obstáculos: Cuando el receptor de un sistema de radiocomunicación se encuentra en el interior de un terreno boscoso, hay una pérdida adicional por penetración de las ondas a través de él, lo que produce atenuación de la señal emitida por el trasmisor. Esto constituye un factor importante especialmente a altas frecuencias. En ciertas ocasiones, el radioenlace puede verse accidentalmente obstruido por árboles o incluso azoteas de edificios en entornos urbanos. En estos casos, el campo electromagnético

presente en la antena receptora puede modelarse como la suma de la onda directa proveniente del transmisor y multitud de pequeñas ondas dispersadas por los edificios adyacentes y por las hojas de los árboles cercanos.

En general, los valores de atenuación causadas por la vegetación oscilan en torno a los 10 – 20 dB.

Difracción por Zonas de Fresnel (Atenuación por Obstáculo): La difracción es el fenómeno que ocurre cuando una onda electromagnética incide sobre un obstáculo, la tierra y sus irregularidades pueden impedir la visibilidad entre las antenas transmisora y receptora en ciertas ocasiones. La zona oculta a la antena transmisora se denomina zona de difracción como se observa en la figura 1.38, en esta zona los campos no son nulos debido a la difracción causada por el obstáculo, y por tanto es posible la recepción, si bien con atenuaciones superiores a las del espacio libre.



Fuente: Tesis “Análisis de alternativa de Optimización del Sistema de Comunicaciones PETROPRODUCCIÓN Enlace Distrito Quito – Distrito Amazónico” para la Escuela Politécnica Nacional”

La Difracción de Fresnel o también conocida como difracción del campo cercano, es un patrón de difracción de una onda electromagnética obtenida muy cerca del objeto causante de la difracción (a menudo una fuente o apertura).

Para altas frecuencias, es importante que la primera zona de Fresnel se encuentre despejada, es decir, libre de obstrucciones. La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%. Para establecer las zonas de Fresnel, primero se debe determinar la línea de vista de RF, que de forma simple, es la línea recta que une los focos de las antenas transmisora y receptora.

➤ El lado de recepción

Al tratarse de una estación similar a la transmisora, las características de pérdidas en cables: conectores y amplificadores; y ganancia de antena, son análogas en la estación receptora. Además se deben considerar, parámetros como: sensibilidad del receptor, margen señal a ruido; que se explicarán a continuación:

Sensibilidad del receptor: Identifica el valor mínimo de potencia que necesita un receptor para poder decodificar/extraer “bits lógicos” y alcanzar una cierta tasa de bits (velocidad). Cuanto más baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del radio.

No es suficiente que la señal que llega al receptor sea mayor que la sensibilidad del mismo, sino que además se requiere que haya cierto margen (margen señal a ruido) para garantizar el funcionamiento adecuado. En situaciones donde hay muy poco ruido el enlace está limitado primeramente por la sensibilidad del receptor.

➤ Otros parámetros importantes

Margen del Sistema o Margen de Desvanecimiento: Corresponde a la diferencia entre el valor de la señal recibida y la sensibilidad del receptor.

EIRP (Effective Isotropic Radiated Power): PIRE (Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva), está regulada por la autoridad nacional.

La PIRE es una medida de la potencia que se está enfocando en una determinada región de espacio, establecida por las características de la antena transmisora. La PIRE es el resultado de restar pérdidas de potencia en el cable y conectores; y sumar la ganancia relativa de antena a la potencia del transmisor.

$$\text{PIRE (dBm)} = \text{Potencia del transmisor (dBm)} - \text{Pérdidas en el cable y conectores (dB)} + \text{Ganancia de antena (dBi)}$$

Ecuación 1.13

1.6.3.3 Procedimiento de Diseño de un Radioenlace

El primer paso consiste en determinar la posición geográfica de las estaciones y desarrollar sobre un plano de alturas del terreno el perfil geográfico entre las estaciones. Se considera una propagación en el “espacio libre”, ignorando la atmósfera y los obstáculos. Se obtiene entonces el nivel de potencia nominal de recepción y el margen de desvanecimiento del enlace.

La inclusión de la atmósfera implica una curvatura del rayo de unión entre antenas, mientras que la inclusión de un obstáculo implica el despeje de la zona de Fresnel.

Se concluye el cálculo cuando, mediante criterios de despeje, se admite un nivel de recepción igual al del espacio libre. Se tomará en cuenta la presencia de obstáculos, la atenuación introducida por los mismos o la necesidad de repetidores pasivos para eludirlos.

Se tendrá en cuenta además posibles reflexiones en el terreno.

1.6.3.3.1 *Análisis de la geometría del perfil*

➤ Datos iniciales

Para el cálculo se requieren, entre otros datos la posición de las estaciones, el perfil del terreno, la altura de las estaciones y los obstáculos.

➤ Cálculo del efecto de refracción y punto de reflexión

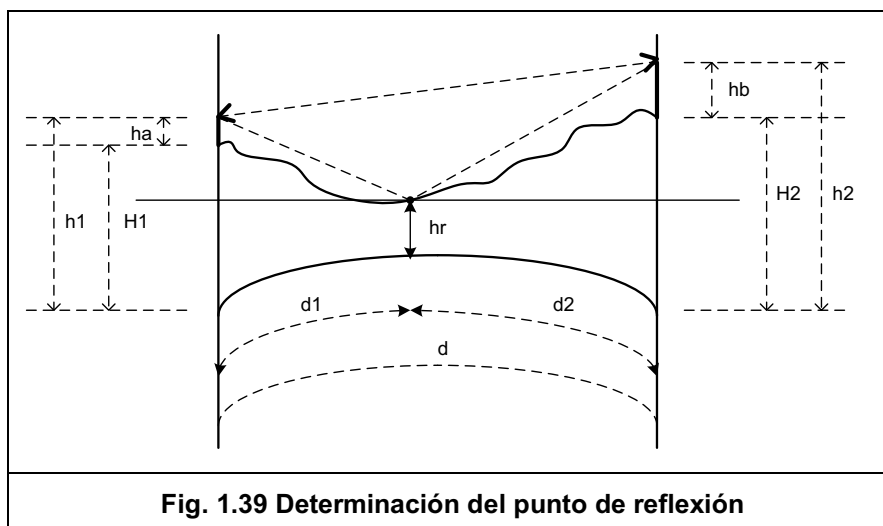
Debido al fenómeno de la refracción, el rayo que sale del emisor hacia el receptor no viaja siguiendo una línea recta, y la curvatura del rayo (de radio r) depende del gradiente puntual de refractividad del rayo en cada punto del trayecto.

Si a este rayo curvado se le añade que la Tierra también presenta una curvatura, se ve que el despeje entre las dos líneas (la de la Tierra y la de la trayectoria del rayo) depende de la distancia relativa en cada punto.

Generalmente, y en beneficio de una mayor simplicidad representativa, lo que se tiende a hacer es aplanar el rayo, suponiendo el radio de la tierra ($a = 6370$ Km) superior al real en un determinado factor k , conocido como coeficiente de curvatura de la tierra.

Se debe determinar el valor estándar de k de acuerdo con la zona geográfica y altura del enlace. Generalmente se utiliza, por costumbre, el valor medio $k = 4/3$. El valor de k multiplicado por el radio de la Tierra a , es lo que se conoce como radio equivalente de la Tierra.

Cuando existe reflexión de las ondas en el suelo terrestre, es necesario calcular el punto donde éstas se reflejarán y rebotarán hacia el receptor, ya que no todas las ondas se propagan por línea de vista desde el transmisor al receptor, dependiendo de la frecuencia de trabajo.



Fuente: Apuntes de "Sistemas de Comunicación Radiantes" del Ing. Mario Cevallos

Elaborado por los autores

Las distancias y alturas que se hacen referencia en la figura 1.39, se definen como:

h_1 y h_2 = altura desde el nivel del mar hasta las antenas

H_1 = altura h_1 menos la altura de la antena

H_2 = altura h_2 menos la altura de la antena

h_a y h_b = altura de las antenas

h_r = altura desde al nivel del mar hasta el punto de reflexión

d = distancia desde la antena 1 hasta la antena 2

d_1 = distancia desde la antena 1 hasta el punto de reflexión

d_2 = distancia desde la antena 2 hasta el punto de reflexión

Usando el perfil topográfico se determina el punto de reflexión de las ondas, con la siguiente ecuación:

$$h_r = \frac{\frac{10^3}{2ka}(d_2 - d_1) - \frac{h_2}{d_2} + \frac{h_1}{d_1}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}} \quad d_1 < d_2$$

Ecuación 1.14

➤ Efecto de la difracción

Se calcula el radio de la primera zona del elipsoide de Fresnel (F_1) en el obstáculo más evidente. F_1 depende de la distancia y en forma inversa de la frecuencia.

➤ Cálculo del margen de despeje M_D

Se trata de la separación entre el rayo de unión entre antenas y el obstáculo. Es una fracción del radio F_1 . Se determina a partir del cálculo de la altura de despeje, como se muestra a continuación:

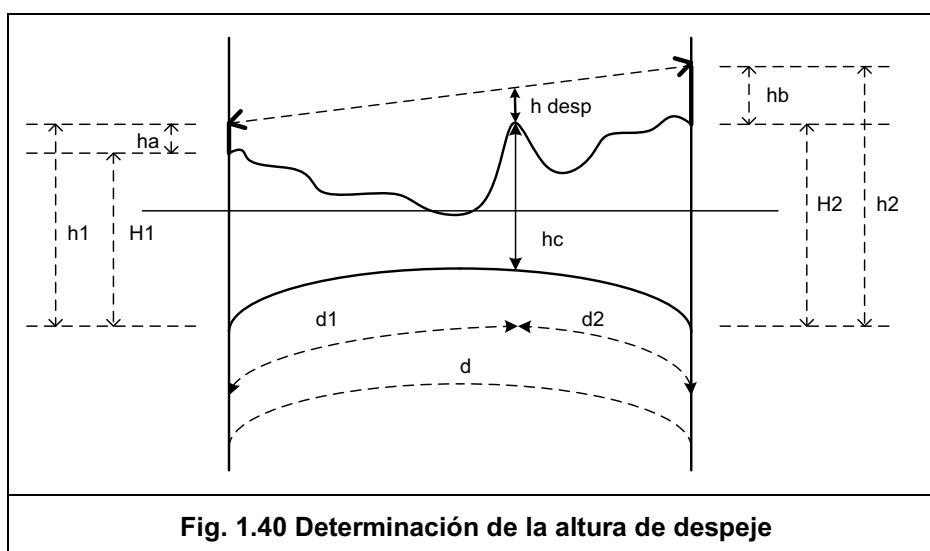


Fig. 1.40 Determinación de la altura de despeje

Fuente: Apuntes de "Sistemas de Comunicación Radiantes" del Ing. Mario Cevallos

Elaborado por los autores

Las distancias y alturas que se hacen referencia en la figura 1.40, se definen como:

h_1 y h_2 = altura desde el nivel del mar hasta las antenas

H_1 = altura h_1 menos la altura de la antena

H_2 = altura h_2 menos la altura de la antena

h_{desp} = altura de despeje

h_c = altura desde el nivel del mar hasta el obstáculo

h_a y h_b = altura de las antenas

d = distancia desde la antena 1 hasta la antena 2

d_1 = distancia desde la antena 1 hasta el obstáculo

d_2 = distancia desde la antena 2 hasta el obstáculo

$$h_{\text{desp}} = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - \left(h_c + \frac{d_1 d_2}{2ka} \right)$$

Ecuación 1.15

Donde:

k = coeficiente de curvatura de la tierra

a = radio de la tierra

Ahora:

$$M_{D\%} = \left(1 + \frac{h_{\text{desp}} - r_{F1}}{r_{F1}} \right) \times 100$$

Ecuación 1.16

Donde:

$M_{D\%}$ = margen de despeje

r_{F1} = radio de la primera zona de Fresnel

Si $h_{\text{desp}} < 0$, existe obstrucción por cumbre

➤ Criterios para la determinación de la altura de las antenas

En el caso de que la primera zona de Fresnel no esté despejada, se deberá calcular las alturas de las antenas; para lo cual, es necesario asumir el valor de una de las antenas y la altura de la otra se la calcula con la siguiente ecuación:

$$h_b \geq (H_1 + h_a) \left(1 - \frac{d}{d_2}\right) - H_2 + \frac{d}{d_2} \left[h_c + r_{F1} + \frac{d_1 d_2}{2ka} \right]$$

Ecuación 1.17

Si la primera zona de Fresnel se encuentra despejada, se mantienen los valores de las alturas asumidas para los cálculos de los parámetros anteriores.

➤ Repetidores pasivos

En muchos casos donde no se puede superar un obstáculo es necesario usar repetidores pasivos planos o espalda-espalda. Estos permiten cambiar la dirección del enlace. En algunos casos se adoptan repetidores activos, amplificadores de radiofrecuencia con bajo consumo de energía para áreas de difícil acceso.

1.6.3.3.2 Cálculo del margen de desvanecimiento

➤ Datos iniciales

Para el cálculo del margen de desvanecimiento se requiere la frecuencia y longitud del enlace, la altura de antenas sobre la estación, y algunos datos del equipo a ser usado.

➤ Cálculo de la potencia nominal de recepción

Se determina la Potencia nominal como diferencia entre la potencia del transmisor y las atenuaciones (guía de ondas o cable coaxial, espacio libre y atenuaciones adicionales); y las ganancias de las antenas (en la dirección de máxima directividad). Ver ecuación 1.10 (página 83).

- Determinación de la potencia umbral

Se trata del valor de potencia recibida por el receptor que asegura una tasa de error BER de 10^{-3} a 10^{-6} . No se considera degradación por interferencias, al menos inicialmente.

- Determinación del margen de desvanecimiento y de la confiabilidad del enlace

De acuerdo con la siguiente ecuación:

$$MD_{(dB)} = P_{in}(dBm) - U_{Rx}(dBm)$$

Ecuación 1.18

Donde:

MD = Margen de desvanecimiento

P_{in} = Potencia de entrada al receptor

U_{Rx} = Umbral de recepción, es dato del equipo y corresponde a la sensibilidad del receptor

Se determina la confiabilidad del enlace de acuerdo a la siguiente tabla:

MD (dB)	CONFIABILIDAD (%)	TIEMPO DE INDISPONIBILIDAD
10	90.0	36.5 días
20	99.0	3.65 días
30	99.90	8.75 horas
40	99.990	52.3 minutos
50	99.999	5.23 minutos

Tabla 1.2 Determinación de la confiabilidad del enlace

Fuente: Apuntes de Sistemas de Comunicaciones Radiantes del Ing. Mario Cevallos

Elaborado por los autores

Estos valores son medidos en un periodo de un año

➤ Efecto del espacio libre

Se calcula la atenuación en función de la distancia y frecuencia.

1.6.3.3 Validación de datos y resultados

Una vez obtenidos los valores de potencia, disponibilidad, confiabilidad, altura de antenas, etc., se verifica que estos cumplan con los requerimientos del diseño del enlace, caso contrario es necesario un replanteamiento de los parámetros del mismo de acuerdo a las necesidades del servicio que se va a prestar.

1.7 ANTENAS

Una antena es un sistema conductor metálico capaz de radiar⁶ y capturar ondas electromagnéticas. Las antenas son para conectar las líneas de transmisión con el espacio libre, el espacio libre a líneas de transmisión, o ambas cosas.

Una antena es un dispositivo diseñado para proveer señales RF, generalmente en forma de ondas estacionarias. Esto es cierto para la antena transmisora que termina en una línea de transmisión y la antena receptora que alimenta a un receptor. Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

1.7.1 PARÁMETROS DE UNA ANTENA

1.7.1.1 Sistema de coordenadas de la antena

Las características direccionales de una onda electromagnética, irradiada o recibida por una antena, se describen en general en coordenadas esféricas, en plano ecuatorial y plano meridiano.

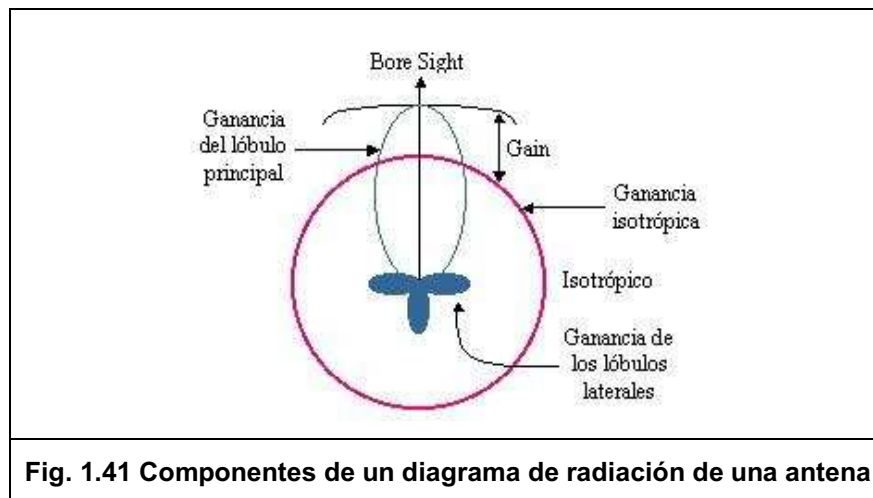
⁶ La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

1.7.1.2 Diagrama de radiación

El diagrama de radiación es una gráfica polar que representa intensidades de campo o densidades de potencia en diversas posiciones angulares en relación con una antena.

Los parámetros más importantes del diagrama de radiación son:

- Dirección de apuntamiento: Es la de máxima radiación, ganancia, es decir, directividad.
- Lóbulo principal: Es el margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.
- Lóbulos secundarios: Son el resto de máximos relativos, de valor inferior al principal.
- Ancho de haz: Es el margen angular de direcciones en las que el diagrama de radiación de un haz toma un valor de 3dB por debajo del máximo. Es decir, la dirección en la que la potencia radiada se reduce a la mitad.
- Relación de lóbulo principal a secundario (SLL): Es el cociente en dB entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo del lóbulo secundario.
- Relación delante-atrás (FBR): Es el cociente en dB entre el valor de máxima radiación y el de la misma dirección en sentido opuesto. Cuando se usa una antena receptora, es una medida de la reducción de la señal recibida cuando la señal alcanza la antena desde la dirección inversa.



Fuente: http://www.davidbayon.net/userfiles/image/antenas/diagrama_radiacion.jpg

1.7.1.3 Campos cercano y lejano

El término campo cercano se refiere a la gráfica de radiación cerca de una antena, y el término campo lejano indica una gráfica de radiación a gran distancia.

Durante medio ciclo, se irradia potencia desde una antena, donde algo de la potencia se almacena en forma temporal en el campo cercano. Durante el siguiente medio ciclo, la potencia en el campo cercano regresa a la antena; igual que lo hace un inductor. En consecuencia, el campo cercano se llama también campo de inducción. La potencia que llega al campo lejano continua irradiándose y alejándose, y nunca regresa a la antena. En consecuencia, el campo lejano se llama también campo de radiación. La potencia lejana suele ser la más importante de las dos y, en consecuencia, las gráficas de radiación son para el campo lejano.

1.7.1.4 Resistencia de radiación

Es una resistencia de antena a la corriente alterna, y es igual a la relación de la potencia irradiada por la antena entre el cuadrado de la corriente en su punto de alimentación.

La resistencia de radiación es aquella que si reemplazara a la antena disiparía exactamente la misma potencia que la que ésta irradia. En altas frecuencias, la resistencia de radiación es prácticamente la resistencia total de la antena.

1.7.1.5 Eficiencia de la antena

La eficiencia de la antena es la relación de la potencia irradiada por ella entre la suma de la potencia irradiada y la potencia disipada, o la relación de la potencia irradiada por la antena entre la potencia total de entrada.

Una antena bien definida puede tener una eficiencia de 90%. La frecuencia entra en la consideración de eficiencia.

1.7.1.6 Ganancia

Se dice que una antena tiene ganancia en el sentido que se irradia más señal (densidad de potencia) en una dirección específica que con una antena fuente-punto (llamada antena isotrópica) que irradia igualmente en todas las direcciones.

1.7.1.7 Ganancia directiva o de antena

La ganancia directiva es la relación de la densidad de potencia irradiada en una dirección particular entre la densidad de potencia irradiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas estén irradiando la misma cantidad de potencia. La ganancia directiva máxima se llama *directividad*.

1.7.1.8 Ganancia de Potencia

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 ($\eta=100\%$).

1.7.1.9 Potencia isotrópica efectiva radiada de una antena

La potencia isotrópica efectiva radiada (EIRP) de una antena se define como la potencia equivalente de transmisión, y se expresa como sigue:

$$\text{EIRP} = P_{\text{rad}} D_t \text{ (vatios)}$$

Ecuación 1.19

Donde:

P_{rad} = potencia total irradiada (vatios)

D_t = ganancia directiva de la antena de transmisión (adimensional)

También se la puede expresar en dBm y dBw.

La EIRP es la potencia equivalente que tendría que radiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección elegida y en determinado punto, que otra antena.

1.7.1.10 Área capturada y potencia capturada

El área de captura de una antena es un área efectiva, y se puede describir como sigue: una antena de transmisión irradia una onda electromagnética que tiene cierta densidad de potencia en W/m^2 , en el lugar de la antena de recepción. No es la potencia real recibida, sino más bien, la cantidad de potencia que incide en, o pasa a través de, cada área unitaria de una superficie imaginaria que es perpendicular a la dirección de propagación de las ondas electromagnéticas.

En principio, la potencia (en vatios) disponible en las terminales de salida de la antena, es la potencia capturada. La potencia capturada se puede entregar a una carga, que puede ser una línea de transmisión o los circuitos de entrada a un receptor. Para que aparezca la potencia capturada en los terminales de una

antena, ésta debe haber capturado potencia de un espacio inmediato que la rodee.

La potencia capturada es directamente proporcional a la densidad de potencia recibida y el área de captura de la antena receptora. Como cabe esperar, el área física transversal de una antena y su área efectiva de captura, no necesariamente son iguales.

1.7.1.11 Polarización de antena

La polarización de una antena no es más que la orientación del campo eléctrico que se irradia de ella. Una antena puede estar polarizada linealmente (en general, horizontal o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena están en un plano horizontal o en uno vertical), elípticamente o circularmente.

1.7.1.12 Impedancia de entrada de la antena

Es la impedancia de la antena en sus terminales. El punto de la antena donde se conecta la línea de transmisión se llama terminal de entrada de la antena, o simplemente punto de alimentación. El punto de alimentación presenta una carga de corriente alterna a la línea de transmisión, llamada impedancia de entrada de la antena o impedancia de entrada a la antena.

La impedancia es un número complejo. La parte real se denomina Resistencia de Antena y la parte imaginaria es la Reactancia de Antena. La resistencia de antena es la suma de la resistencia de radiación y la resistencia de pérdidas. Las antenas se denominan resonantes cuando se anula su reactancia de entrada.

1.7.1.13 Rango de Frecuencia

Constituyen las frecuencias de operación de las antenas. La frecuencia central o el rango de frecuencias es una consideración importante al momento de elegir una antena.

1.7.2 TIPOS BÁSICOS DE ANTENAS

Existen tres tipos básicos de antenas: antenas de hilo, antenas de apertura y antenas planas. Asimismo, las agrupaciones de estas antenas “arrays” se suelen considerar en la literatura como otro tipo básico de antena.

1.7.2.1 Antenas de Hilo

Las antenas de hilo son antenas cuyos elementos radiantes son conductores de hilo que tienen una sección despreciable respecto a la longitud de onda de trabajo. Las dimensiones suelen ser como máximo de una longitud de onda. Se utilizan extensamente en las bandas de MF, HF, VHF y UHF. Se pueden encontrar agrupaciones de antenas de hilo. Ejemplos de antenas de hilo son: el monopolo vertical, el dipolo y su evolución, la antena Yagi, la antena espira y la antena helicoidal.

1.7.2.2 Antenas de apertura

Las antenas de apertura son aquellas que utilizan superficies o aperturas para direccionar el haz electromagnético de forma que concentran la emisión y recepción de su sistema radiante en una dirección. La más conocida y utilizada es la antena parabólica, tanto en enlaces de radio terrestres como de satélite. La

ganancia de dichas antenas está relacionada con la superficie de la parábola, a mayor tamaño mayor orientación del haz, por lo tanto mayor directividad.

1.7.2.3 Antenas Planas

Las antenas planas (o planar arrays) son un tipo específico de antenas formadas por la unión de una serie de elementos individuales.

Este tipo de antenas suele usarse principalmente en satélites de telecomunicaciones, desde los que se cubre toda la superficie terrestre bajo la influencia del satélite.

1.7.2.4 Arreglo de antenas

Los arreglos de antenas están formados por un conjunto de dos o más antenas idénticas distribuidas y ordenadas de tal forma que en su conjunto se comportan como una única antena con un diagrama de radiación propio.

La característica principal de los arrays de antenas es que su diagrama de radiación es modificable, pudiendo adaptarlo a diferentes aplicaciones o necesidades. Esto se consigue controlando de manera individual la amplitud y fase de la señal que alimenta a cada uno de los elementos del array.

1.7.3 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS ANTENAS

1.7.3.1 Según su forma de radiación

- Omnidireccionales: Dipolos eléctricos magnéticos y eléctricos (loops), antenas de parche.

- Direccionales: Yagui-Uda, reflectores parabólicos, helicoidales, arreglos dipolares, endfire o broadfire (es decir radian en dirección del eje de la antena o en dirección perpendicular a ella).
- Independientes de la frecuencia de gran ancho de banda: logarítmicas, espirales, espirales cónicas.
- Electrónicamente direccionables y adaptivas: Arreglos de antenas de fase controlada (AAFC) y arreglos de antenas activas de fase controlada (AAAFC). Sus elementos pueden ser dipolos, antenas de parche, hélices, etc.

1.7.3.2 Según su geometría y/o construcción

- Antenas delgadas (wire antennas): Dipolos eléctricos y magnéticos, logarítmica, Yagui-Uda, helicoidal, arreglo de dipolos.
- Antenas de abertura: Guía de onda, corneta, reflectores parabólicos e hiperbólicos.
- Antenas autodefinidas: Logarítmicas, espirales, espirales cónicas.
- Antenas planares: Antenas de parche (Diversas geometrías), espirales.
- Antenas cuasi-ópticas: Aberturas (slots), antenas de Fresnel

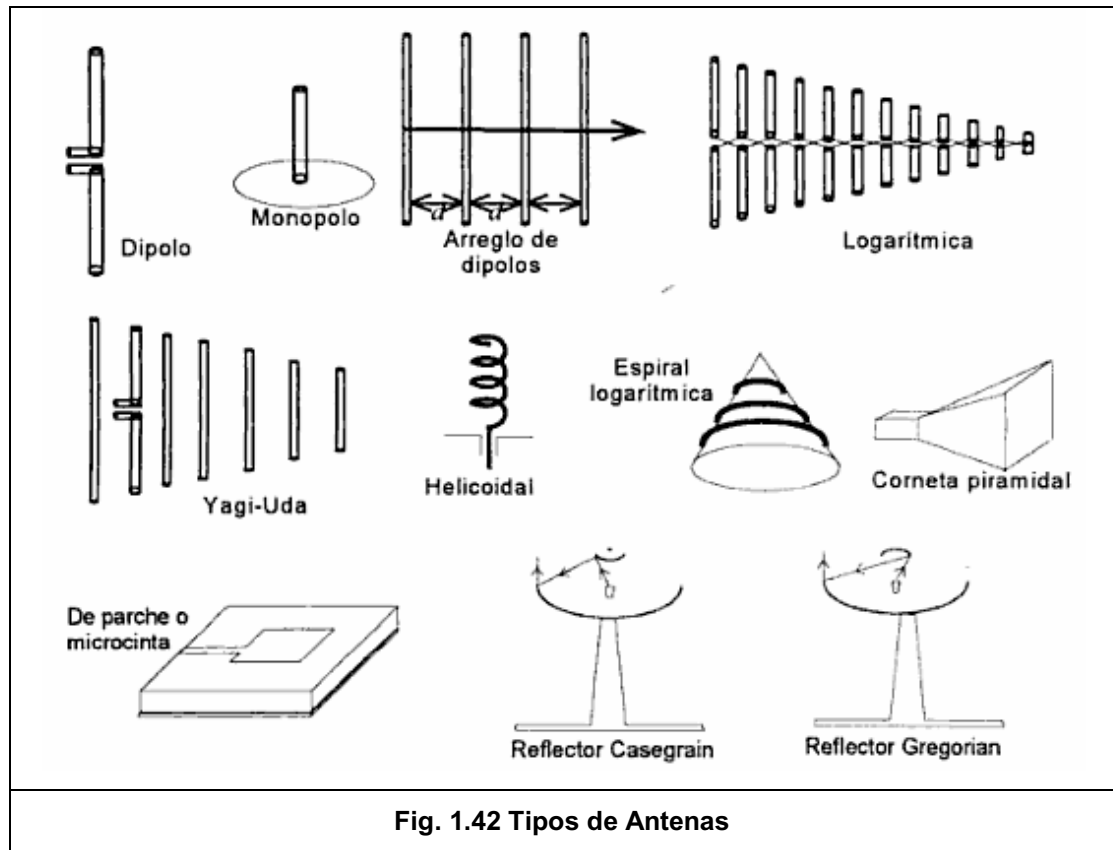


Fig. 1.42 Tipos de Antenas

Fuente: "Antenas Principios Básicos, Análisis y Diseño" de José Abel Hernández Rueda

1.7.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ANTENAS MÁS IMPORTANTES USADAS EN VHF

1.7.4.1 Dipolo corto

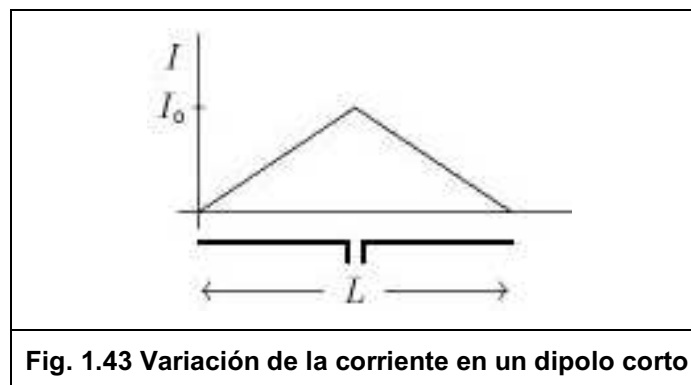


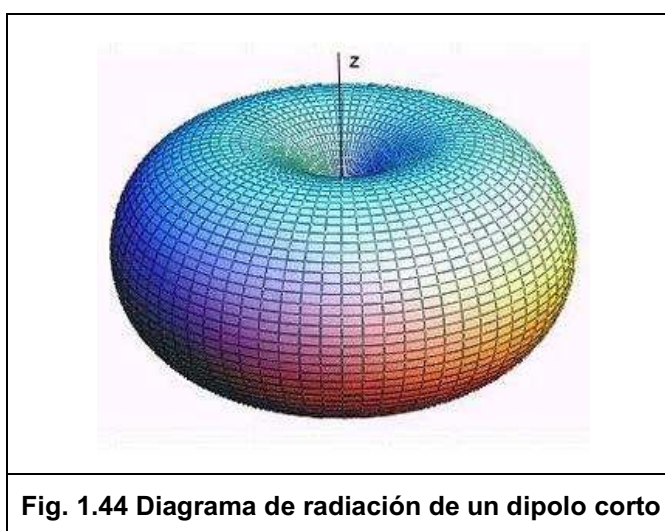
Fig. 1.43 Variación de la corriente en un dipolo corto

Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

Es un dipolo eléctricamente corto y conocido como doblete elemental, dipolo elemental o dipolo Hertziano. Un dipolo corto es un dipolo realizable

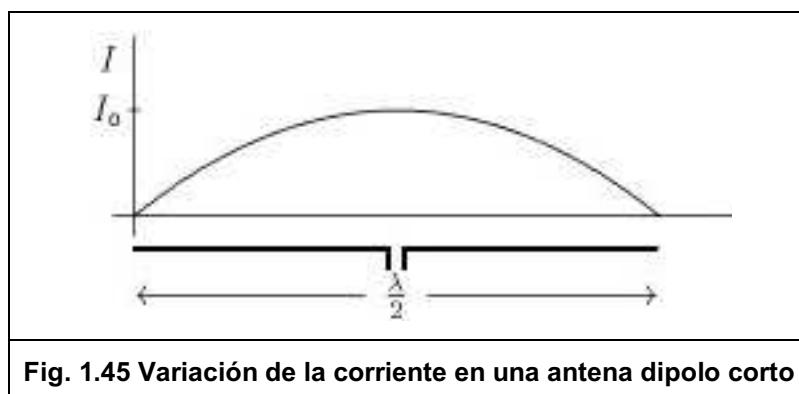
prácticamente formado por dos conductores de longitud total L muy pequeña comparada a la longitud de onda. Los dos conductores están alimentados en el centro del dipolo (ver figura 1.43).

La emisión es máxima en el plano perpendicular al dipolo y cero en la dirección de los conductores, o sea la dirección de la corriente. El diagrama de emisión tiene la forma de un toro de sección circular y de radio interno nulo. En la figura 1.44 el dipolo es vertical y está en el centro del toro.



Fuente: http://4.bp.blogspot.com/_LlaYO1xONnc/SDxXFBmdBBI/AAAAAAAAAJY/yJUq7yKuUhA/s320/diagrama3Ddipolocorto.jpg

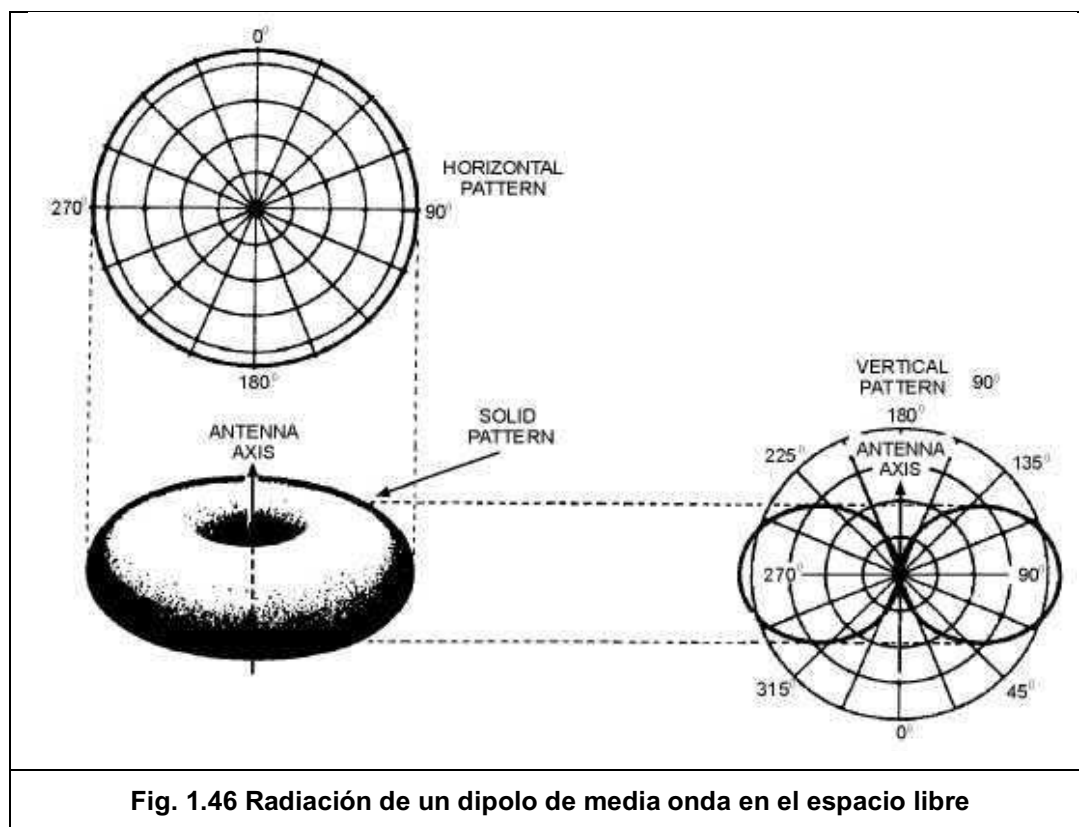
1.7.4.2 Dipolo de media onda



Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

Un dipolo de media onda o $\lambda/2$ es una antena formada por dos conductores de longitud total igual a la mitad de una longitud de onda. El dipolo lineal de media onda es una clase de antena de las más usadas para frecuencias mayores de 2 MHz.

Cada polo de la antena se ve como si fuera un tramo de línea de transmisión de cuarto de onda. Por lo mismo, hay un máximo de voltaje y un mínimo de corriente en los extremos, y un mínimo de voltaje y un máximo de corriente en la parte media.



Fuente: <http://www.qsl.net/ea6dd/images/diagramadipolo.gif>

1.7.4.3 Dipolo doblado

El dipolo doblado es, en esencia, una antena única formada por dos elementos. Un elemento se alimenta en forma directa, mientras que el otro tiene acoplamiento inductivo en los extremos.

Cada elemento tiene media longitud de onda de largo. Sin embargo, como puede pasar corrientes por las esquinas, hay una longitud de onda completa de corriente en la antena.

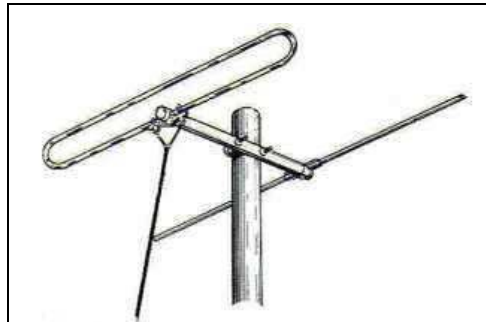


Fig. 1.47 Antena tipo dipolo doblado

Fuente: http://img1.mlstatic.com/jm/img?s=MLU&f=19565356_163.jpg&v=1

1.7.4.4 Antena YAGI – UDA

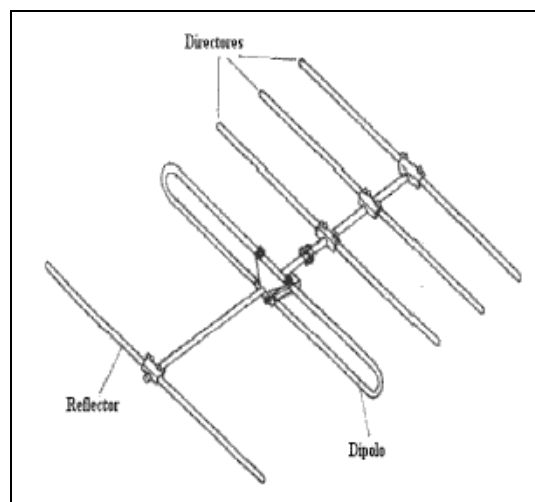
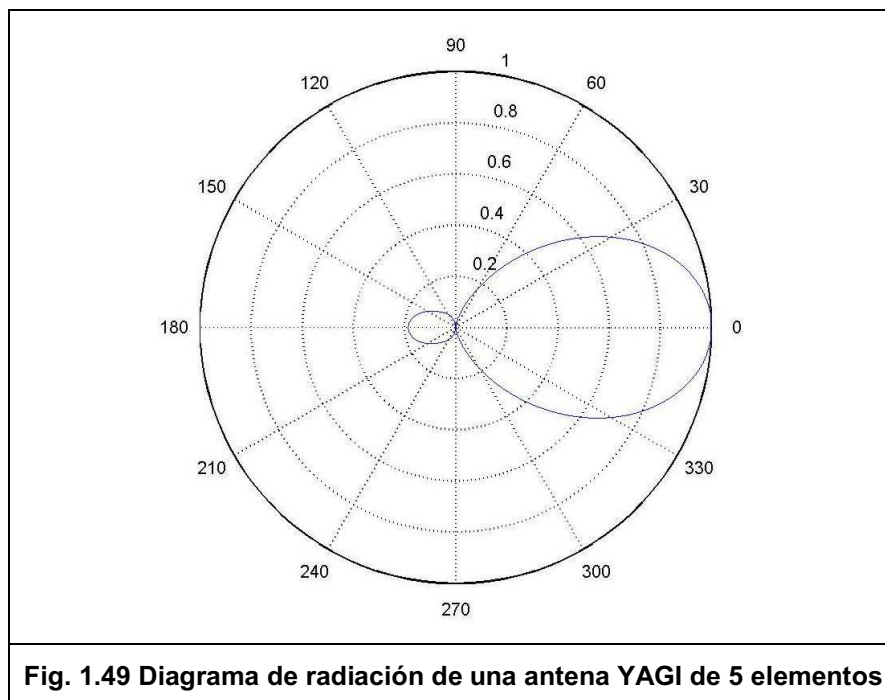


Fig. 1.48 Antena YAGI - UDA

Fuente: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040050/lecciones/capitulos/seis/images/capseis26.GIF>

Es un conjunto lineal formado por un dipolo y dos o más elementos parásitos: un reflector y uno o más directores. El elemento excitado es un dipolo doblado de media onda. A este elemento se le llama elemento excitado, porque está conectado con la línea de transmisión; sin embargo, se suele usar sólo para recibir. El reflector es una barra recta de aluminio, 5% más larga que el dipolo, y el director se corta un 5% más corto que el elemento excitado. La distancia entre

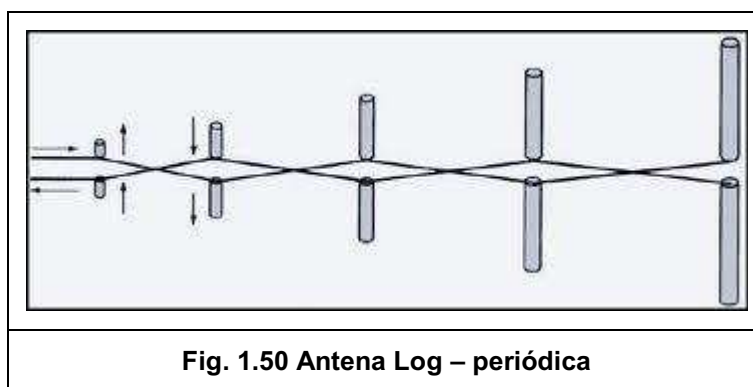
los dos elementos suele ser de 0.1 a 0.2 longitudes de onda. Su directividad típica es de 7 a 10 dB.



Fuente: <http://html.wikipedia.com/000587245.jpg>

1.7.4.5 Antena Log – Periódica

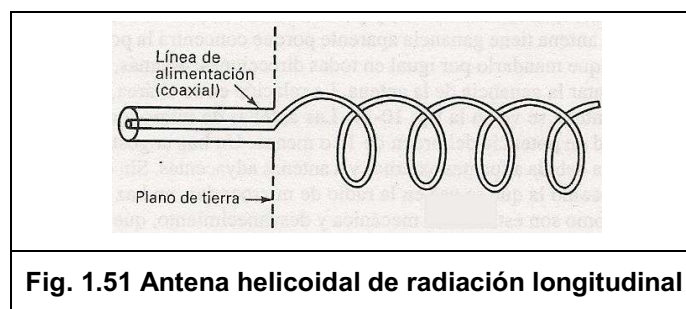
Es una antena independiente de la frecuencia. La ventaja principal de esta antena es la independencia de la resistencia de radiación y de la distribución de radiación, respecto a la frecuencia. Las antenas log-periódicas tienen relaciones de ancho de banda de 10:1 o mayores.



Fuente: http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSV3o8_0elxGKnlS2rQLX_PPru_i42oMOe_68MZBH62YW0_p3ugqw&t=1

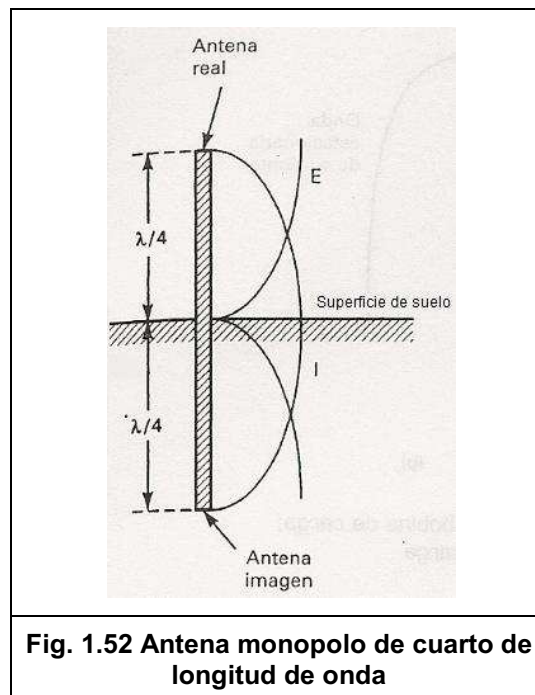
1.7.4.6 Antena Helicoidal

Una antena helicoidal es una de VHF o UHF, ideal para aplicaciones donde se requiere irradiar ondas electromagnéticas de polarización circular, más que de polarización horizontal o vertical. Una antena helicoidal básica de radiación longitudinal se muestra en la figura 1.51. El elemento excitado de la misma es una hélice rígida, con espiras espaciadas y con la longitud aproximada del eje igual al producto de la cantidad de vueltas por la distancia (paso) entre las vueltas.



Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

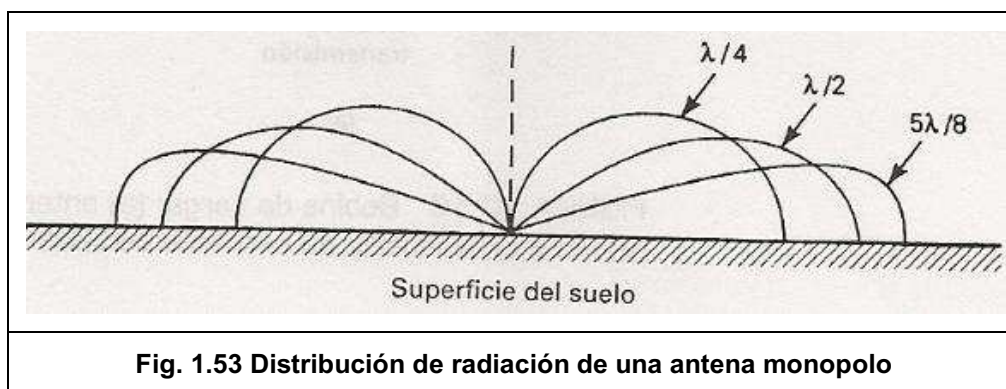
1.7.4.7 Antena monopolo o antena conectada a tierra



Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomasi

Una antena monopolo de cuarto de longitud de onda, montada en dirección vertical con el extremo inferior conectado directamente al suelo, o aterrizada a través de la red de acoplamiento de la antena, se llama antena de Marconi. La figura 1.52 muestra las ondas estacionarias de corriente y voltaje para una antena de cuarto de longitud de onda aterrizada.

La figura 1.53 muestra la distribución de radiación para una antena de cuarto de longitud de onda aterrizada de Marconi. La mitad inferior de cada lóbulo se anula por las ondas reflejadas en el suelo.



Fuente: "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas" de Wayne Tomas

1.8 SISTEMAS DE RADIO ANALÓGICO

1.8.1 GENERALIDADES

Un enlace de radio, establece un vínculo o puente entre dos puntos distantes, esto permite enlazarlos a fin de poder trasladar a través de este medio la información deseada.

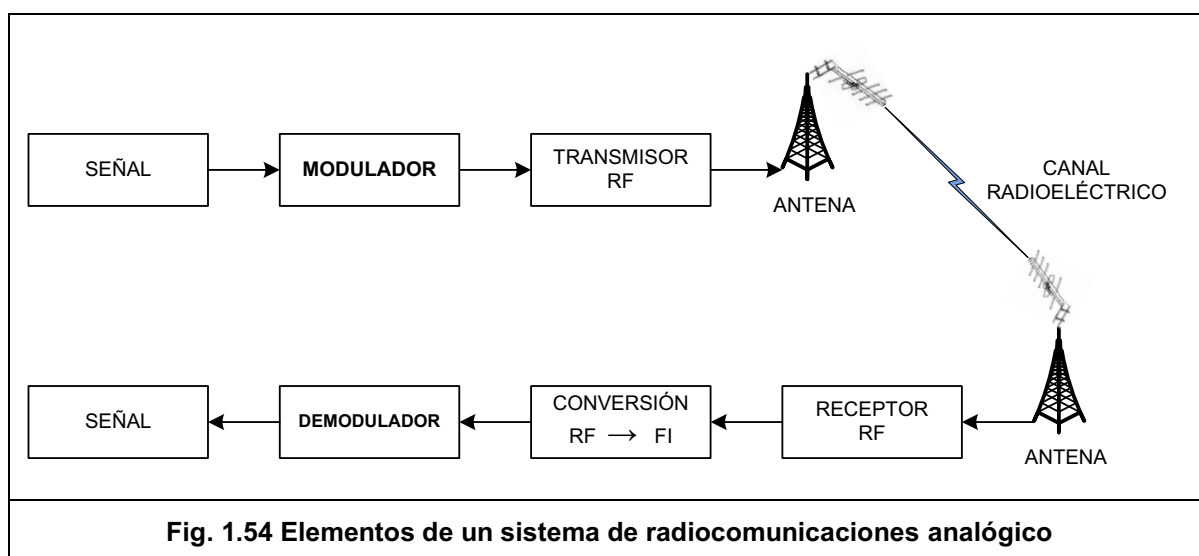
El elemento de transmisión es una onda electromagnética de alta frecuencia (radiofrecuencia), a esta onda se la conoce como "portadora", porque lleva o transporta la información (modulante).

Esta información tiene distintos orígenes, y de acuerdo a ellos será el tipo de modulación a utilizar y el lugar que esta información ocupará en el espectro de radiofrecuencia.

Algunas señales típicas a transmitir son las “vocales” (telefonía, música, cuadros de televisión, etc.); transmitir una de estas señales no es lo mismo que transmitir otra, ya que sus anchos de banda son diferentes. En el caso de señales de telefonía, estas deben ser “inteligibles”, es decir, conservar el tono y timbre.

Las normas para equipos de comunicación existentes indican el valor del ancho de banda que deberá ocupar la señal que se desea transmitir.

1.8.2 COMPONENTES DE UN ENLACE ANALÓGICO



Fuente: Varios autores

Elaborado por los autores

Un sistema de radiocomunicaciones analógico está conformado por los siguientes elementos básicos:

1.8.2.1 Modulador

Un modulador es un dispositivo electrónico que varía la forma de onda de una señal de acuerdo a una técnica específica, para poder ser enviada por un canal

de transmisión hasta un dispositivo o dispositivos que incorporen un demodulador apto para dicha técnica.

1.8.2.1.1 Modulación

Es la modificación de algún parámetro de la portadora de RF por medio de la información que se desea transmitir.

1.8.2.1.2 Sistemas de Modulación

Existen diversas formas mediante las cuales se puede modular la información a transmitir, las más utilizadas son:

➤ Modulación de amplitud (AM)

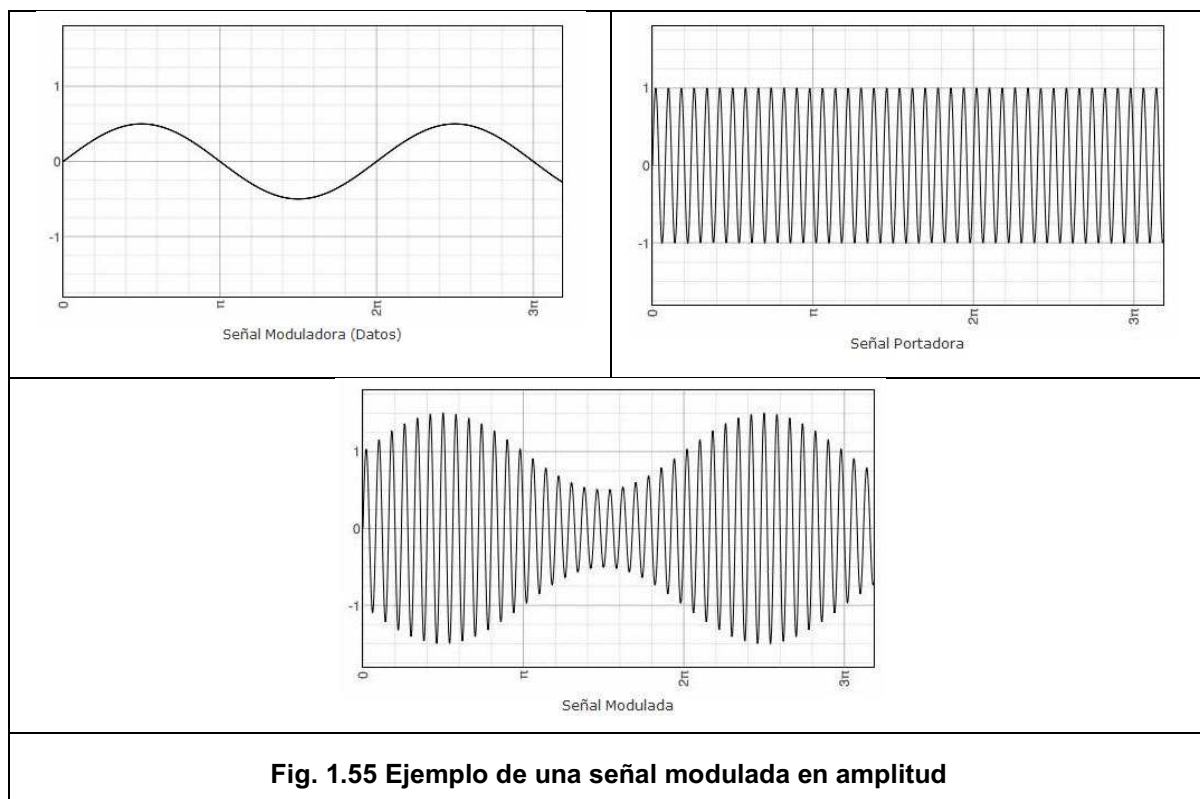


Fig. 1.55 Ejemplo de una señal modulada en amplitud

Extraído de: <http://www.textoscientificos.com/imagenes/redes/moduladora.jpg>

Modulación de amplitud (AM), es el proceso de cambiar la amplitud de una portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal modulante (información). Con la modulación AM, la información se imprime sobre la portadora en la forma de cambios de amplitud.

La banda de radiodifusión comercial AM abarca desde 535 a 1605 KHz. La radiodifusión comercial de tv se divide en tres bandas (dos de VHF y una de UHF)

➤ Modulación en frecuencia (FM)

En este caso la señal modulada mantendrá fija su amplitud y el parámetro de la señal portadora que variará es la frecuencia, y lo hace de acuerdo a como varíe la amplitud de la señal moduladora.

La frecuencia modulada es usada comúnmente en las radiofrecuencias de muy alta frecuencia por la alta fidelidad de la radiodifusión de la música y el habla. El sonido de la televisión analógica también es difundido por medio de FM.

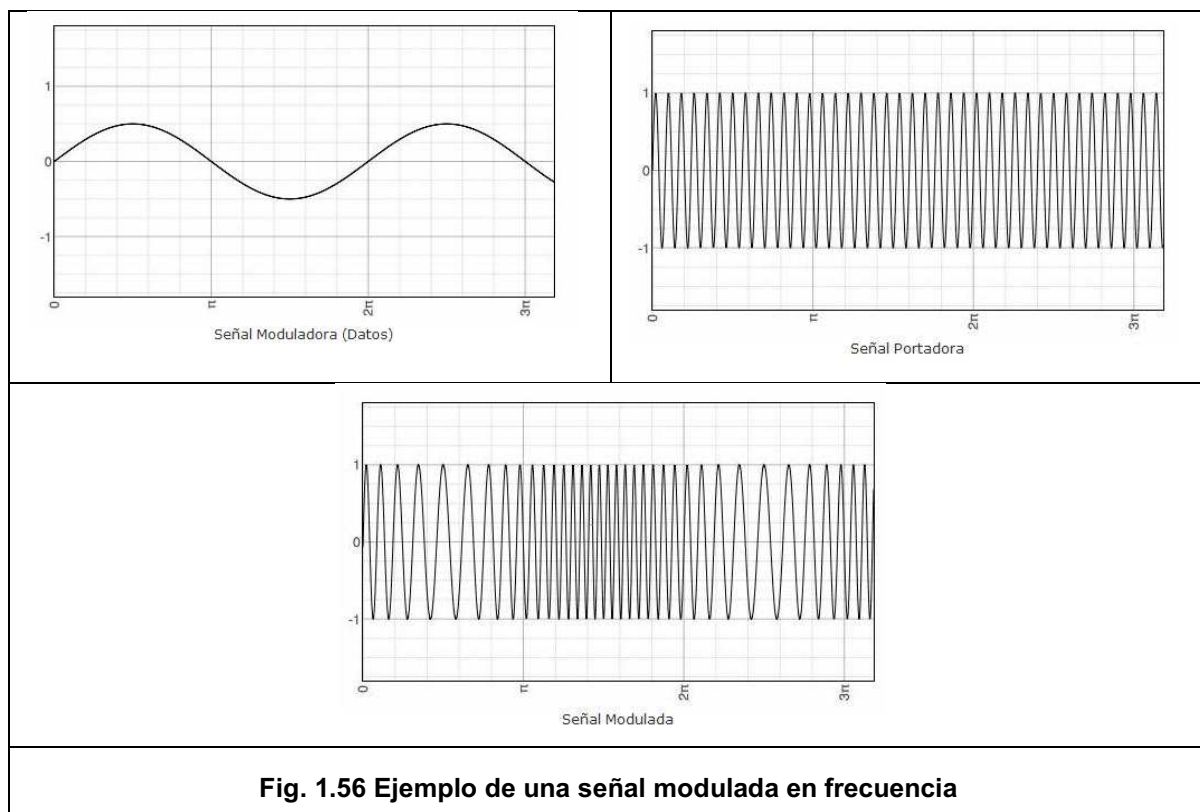


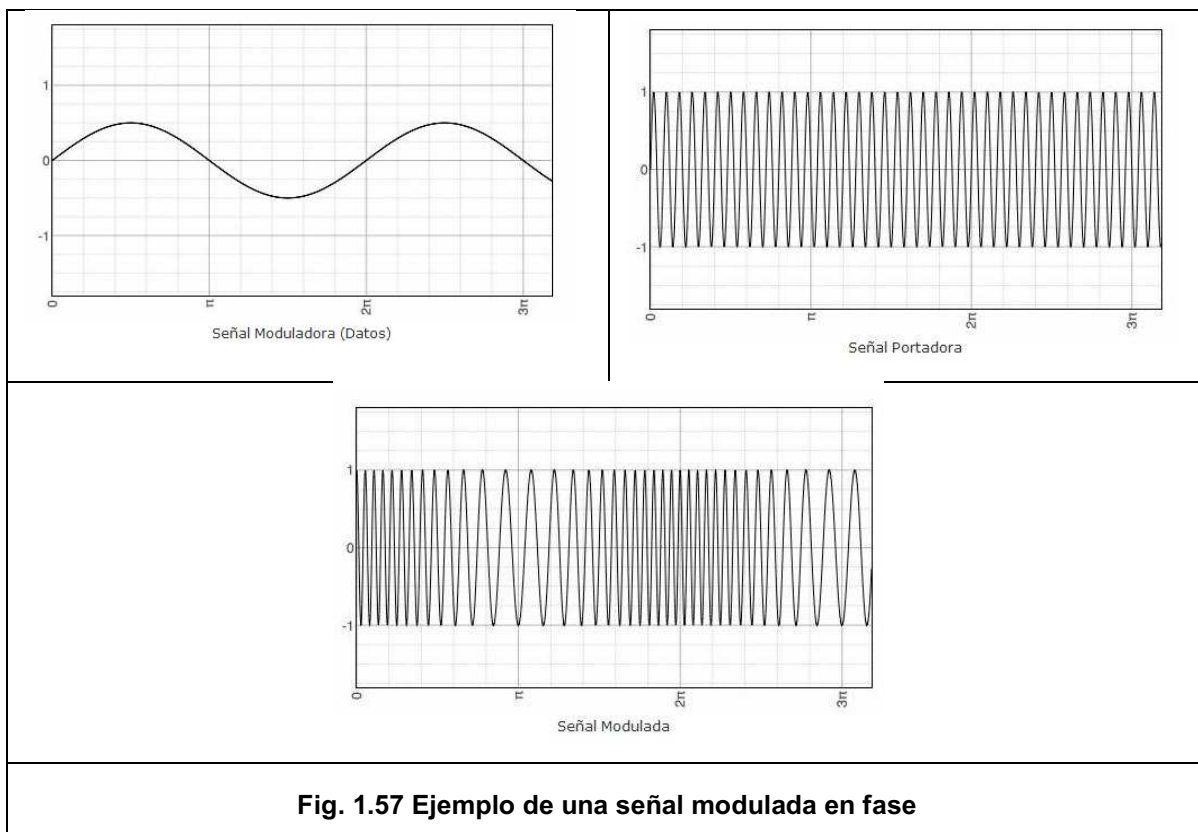
Fig. 1.56 Ejemplo de una señal modulada en frecuencia

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/imagenes/redes/moduladora.jpg>

➤ Modulación de fase (PM)

Este también es un caso de modulación donde las señales de transmisión como las señales de datos son analógicas y es un tipo de modulación exponencial al igual que la modulación de frecuencia.

En este caso el parámetro de la señal portadora que variará de acuerdo a señal moduladora es la fase.



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/imagenes/redes/moduladora.jpg>

La forma de las señales de modulación de frecuencia y modulación de fase son muy parecidas. De hecho, es imposible diferenciarlas sin tener un conocimiento previo de la función de modulación.

1.8.2.2 Transmisor – Receptor

El transmisor es el que genera la onda de radiofrecuencia que se desea transmitir, además de amplificar la misma. Esta señal se hace llegar al irradiante o antena la que entrega la energía al medio.

La función del receptor es seleccionar la señal de aquellas señales que se inducen en la antena receptora, detectar la información y reproducirla tan fielmente como sea posible. Entonces, las propiedades más importantes de un receptor son su sensibilidad, su selectividad y su fidelidad.

- **Sensibilidad:** es la capacidad de responder a pequeños voltajes de RF inducidos en la antena.
- **Selectividad:** es la capacidad de discriminar entre señales de diferentes frecuencias portadoras. Si el funcionamiento de un receptor es satisfactorio, la señal de un particular transmisor debe ser seleccionada, amplificada y las señales adyacentes también presentes en los circuitos de entrada, deben ser eliminadas.
- **Fidelidad:** es la capacidad de reproducir sin distorsión todas las frecuencias de la señal transmitida. Todas las etapas del receptor pueden afectar la fidelidad de la señal de salida.

1.8.2.3 Antenas

Existe una antena transmisora y una antena receptora. Las primeras emiten ondas radio - eléctricas y las segundas las reciben.

1.8.2.4 Demodulador

En telecomunicación el término desmodulación o demodulación engloba el conjunto de técnicas utilizadas para recuperar la información transportada por una

onda portadora, que en el extremo transmisor había sido modulada con dicha información. Este término es el opuesto a modulación.

Así en cualquier telecomunicación normalmente existirá al menos una pareja modulador-demodulador. El diseño del demodulador dependerá del tipo de modulación empleado en el extremo transmisor

1.8.2.5 Sección de Frecuencia Intermedia (FI)

Se denomina Frecuencia Intermedia (FI) a la frecuencia que en los aparatos de radio emplean el principio superheterodino, mediante el cual la FI se obtiene de la mezcla de la señal sintonizada en antena con una frecuencia variable generada localmente en el propio aparato mediante un oscilador local (OL) y que guarda con ella una diferencia constante. Esta diferencia entre las dos frecuencias es precisamente la frecuencia intermedia.

1.9 SISTEMAS DE RADIO DIGITAL

1.9.1 GENERALIDADES

El sistema de radio digital es la transmisión de portadoras analógicas moduladas, en forma digital, entre dos o más puntos de un sistema de comunicación. La propiedad que distingue un sistema de radio digital (o sistema digital de radio) de un sistema convencional de radio analógico AM, FM o PM, es la naturaleza de la señal moduladora.

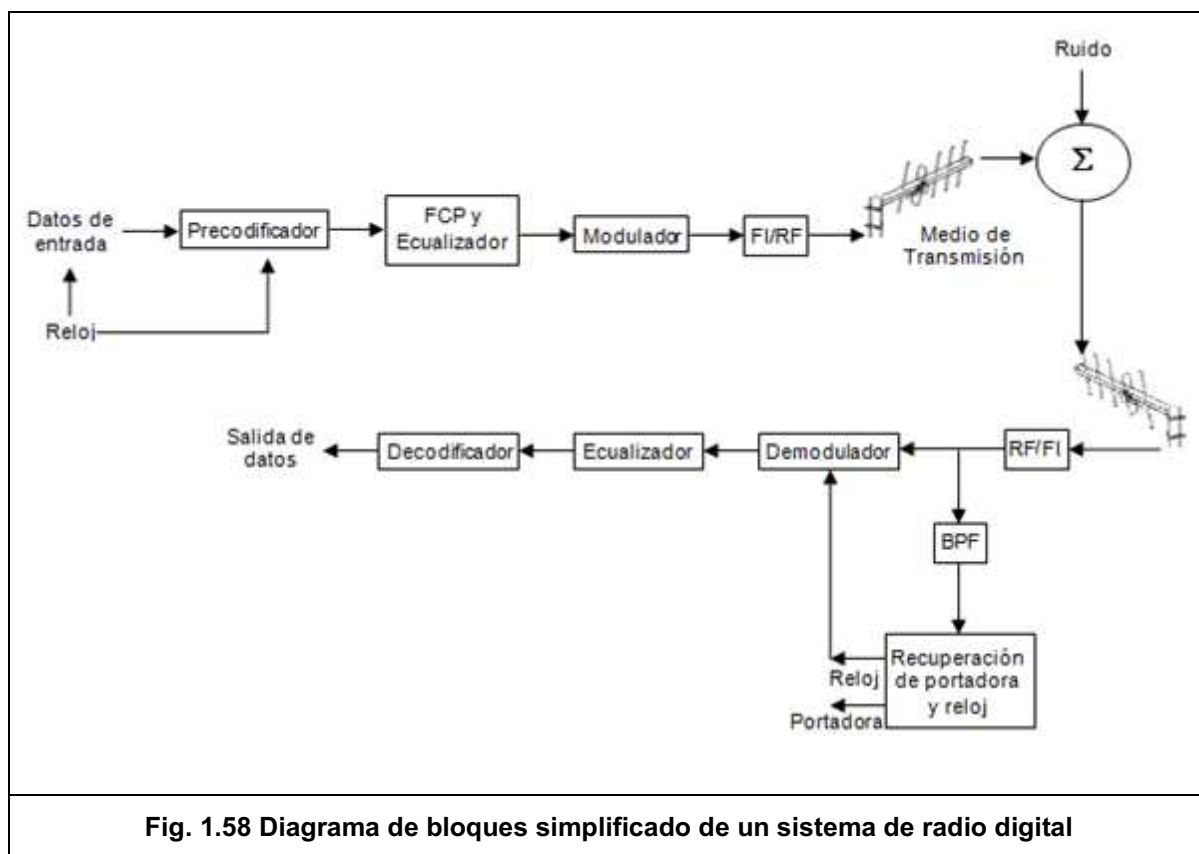
Los sistemas digitales y analógicos de radio usan, ambos, portadoras; sin embargo, en la modulación analógica la señal moduladora es analógica, y en la modulación digital la señal moduladora es digital.

Sin embargo hay que tener en cuenta que tanto en la modulación analógica como en la digital, la fuente de información puede ser analógica o digital.

Si está en forma analógica, tiene que convertirse a pulsos digitales, antes de la transmisión y convertirse de nuevo a la forma analógica, en el extremo de recepción. En un sistema de radio digital, la señal de entrada modulada y la señal de salida demodulada, son pulsos digitales.

1.9.2 COMPONENTES DE UN ENLACE DIGITAL

El diagrama de bloques básico de un enlace digital de radio es el que se muestra en la siguiente figura:



Fuente: Varios autores

Elaborado por los autores

1.9.2.1 Codificación

1.9.2.1.1 Precodificador

La etapa de precodificación se divide en dos etapas: codificación de fuente y codificación de canal.

➤ Codificación de Fuente

En el extremo transmisor el codificador de la fuente elimina la mayor cantidad posible de información redundante e irrelevante de la fuente original (audio, video, datos), mediante técnicas de compresión. El resultado es una disminución en la razón de bits y una reducción en los requerimientos de ancho de banda de transmisión. En el extremo receptor se reinserta (aproximadamente) la información eliminada y se recupera la información original (mensaje fuente).

➤ Codificación de Canal

La transmisión de la señal modulada por el medio radioeléctrico es afectada por diversos factores (ruido, interferencia, desvanecimiento, etc.) que provoca que la señal digital de banda base sea detectada con errores.

La teoría de la codificación del canal ha permitido desarrollar algoritmos para la protección contra errores debido al ruido aleatorio presente en el canal. Desde este punto de vista, los errores en la señal de banda base aparecen como una serie de eventos estadísticamente independientes (no correlacionados).

1.9.2.1.2 Decodificador

Es la última etapa en la recepción que permite restituir la señal a su forma original y recuperar la información.

1.9.2.2 FCP (Filtro conformador de pulso) y Ecuador

Al transmitir un pulso de determinada duración a través de un canal limitado en ancho de banda se produce un fenómeno conocido como interferencia intersimbolos (ISI).

Para compensar estos problemas, se utilizan dos técnicas:

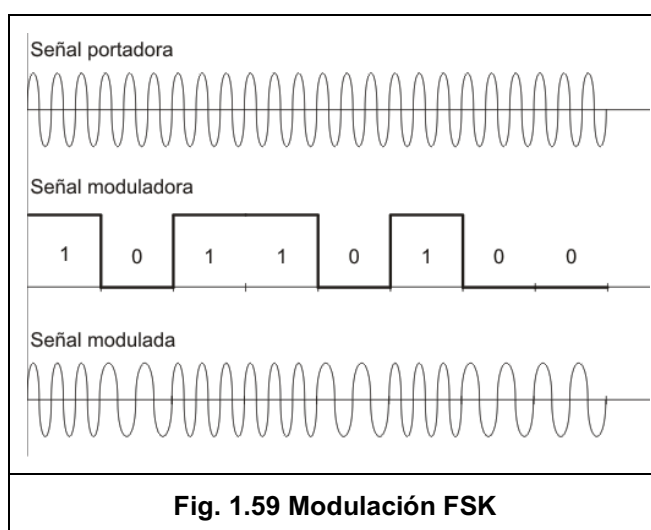
- Uso de un filtro conformador de pulsos (Filtro de Nyquist) que permite minimizar la ISI a partir de las restricciones de ancho de banda del canal.
- Uso de un ecualizador que permita compensar las variaciones en el tiempo de la respuesta al impulso del canal en su equivalente de banda base.

1.9.2.3 Modulador – Demodulador

El proceso de la modulación digital consiste en convertir (o asignar) a cada palabra codificada que sale del codificador de canal, una forma de onda adaptada a la respuesta de frecuencia del canal de transmisión. Esta forma de onda es también denominada símbolo del canal.

En esencia, hay tres técnicas de modulación digital que se suelen utilizar en sistemas de radio digital: transmisión (modulación) por desplazamiento de frecuencia (FSK), transmisión por desplazamiento de fase (PSK), y modulación de amplitud en cuadratura (QAM).

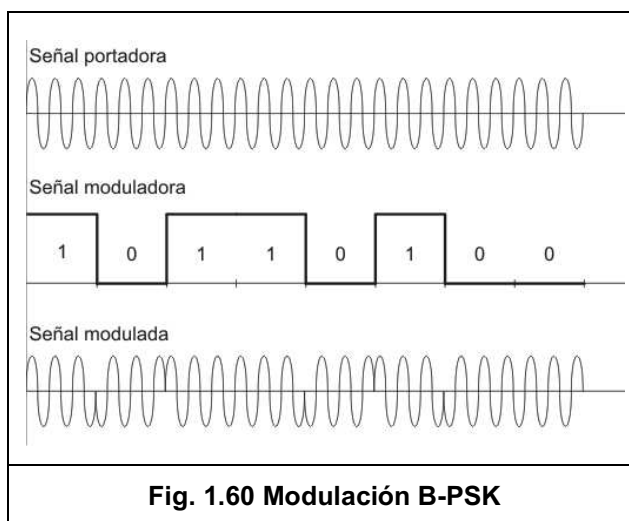
1.9.2.3.1 Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK)



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/imagenes/redes/modulacion-FSK.gif>

Este tipo de modulación consiste en asignar una frecuencia diferente a cada estado significativo de la señal de datos. El FSK binario es una Forma de modulación angular de amplitud constante, similar a la modulación en frecuencia convencional, excepto que la señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía, entre dos niveles de voltaje discreto, en lugar de una forma de onda analógica que cambia de manera continua.

1.9.2.3.2 Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK)



Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Modulacion-PSK.gif>

Es un tipo de modulación que consiste en asignar variaciones de fase de una portadora según los estados significativos de la señal de datos. Transmitir por desplazamiento en fase (PSK) es otra forma de modulación angular, modulación digital de amplitud constante. El PSK es similar a la modulación en fase convencional, excepto que con PSK la señal de entrada es una señal digital binaria y son posibles un número limitado de fases de salida, dependiendo del número de estados que tenga la señal moduladora, por ejemplo, B-PSK que tiene dos fases de salida, Q-PSK que tiene 4 fases de salida, y en general, N-PSK con N múltiplo de 2^n , con $n > 2$.

1.9.2.3.3 *Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)*

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM), es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasando 90° la fase y la amplitud.

En el demodulador se aplica el procedimiento contrario que permita recuperar la señal codificada antes de ser modulada.

1.9.2.4 **Sección de Radiofrecuencia**

1.9.2.4.1 *Transmisor (FI/RF)*

Las funciones principales del transmisor o radio – transmisor son:

- Convertir la portadora de salida del modulador a la portadora asignada al servicio de radio comunicaciones en cuestión.
- Elevar la potencia de la portadora modulada de acuerdo con los requerimientos de alcance y cobertura del sistema. Esto se logra en la etapa de potencia, estando sintonizado en RF.

Los parámetros fundamentales que caracterizan el transmisor son:

- Frecuencia y estabilidad de la portadora de RF.
- Potencia (promedio) de la portadora.

1.9.2.4.2 *Receptor (RF/FI)*

El receptor consta de un sintonizador superheterodino que permite determinar la frecuencia intermedia (FI) o de trabajo.

1.9.2.5 Antena

Su función es la misma que en el sistema de radio analógico.

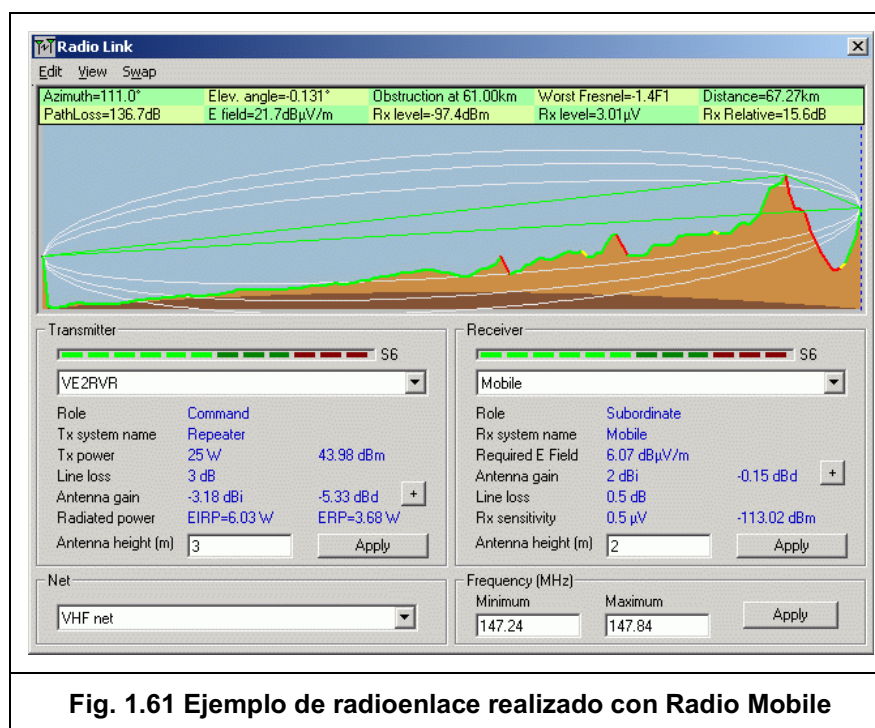
1.9.2.6 Canal de Comunicación

Consiste el medio de transmisión de la información en el cual se pueden introducir factores externos como el ruido, el cual debe ser considerado para que no produzca errores en la información. El canal de comunicación para sistemas de radio es el aire.

1.10 SIMULADORES DE ENLACES

1.10.1 RADIO MOBILE

Es un programa de simulación de radioenlaces gratuito que sirve para operar dentro del rango de 20 MHz a 20 GHz, basado en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model).



Fuente: Software Radio Mobile

Radio Mobile es un excelente programa creado en 1998 y mantenido desde entonces por el ingeniero y radioaficionado canadiense Roger Coudé, que utiliza datos digitales de elevación del terreno para generar un perfil del trayecto entre un emisor y un receptor. Estos datos, junto a otros relativos al entorno y a las características técnicas de los transceptores, sirven para alimentar un modelo de propagación de las ondas de radio conocido como "*Irregular Terrain Model*", basado en el algoritmo de Longley-Rice e integrado en el propio programa, que permite determinar el área de cobertura de un sistema de radiocomunicaciones que trabaje en una frecuencia comprendida entre los 20 y los 20 000 MHz.

Con Radio Mobile se puede realizar los cálculos y obtener todos los datos necesarios para realizar radioenlaces funcionales y abandonar la tediosa tarea que resulta de hacerlo manualmente; conseguir las cartas topográficas e ir relevando todas las curvas de nivel que atraviesa un enlace, para desde ese instante empezar a considerar los demás aspectos operativos para un correcto enlace. El programa usa cartografía y mapas satelitales; se encuentra destinado para un uso humanitario o amateur, sin embargo, después de años de desarrollo desinteresado por parte de su autor Roger Coudé alcanzó un grado de eficacia y excelencia comparable a los programas de grandes marcas como Motorola que cuestan miles de dólares.

El programa permite dibujar la elevación en los mapas usando los datos SRTM⁷ descargados desde Space Shuttle Radar Terrain Mapping Mission, con la posibilidad de agregar los mapas de rutas y autopistas simultáneamente a los relieves del contorno, obviamente junto a las curvas de nivel.

La performance de cada unidad transmisora o receptora puede ser especificada detallando la potencia, sensibilidad, parámetros de la antena, etc. los enlaces

⁷ La *Misión Topográfica Radar Shuttle* (acrónimo en inglés **SRTM**) es una misión para obtener un modelo digital de elevación de la zona del globo terráqueo entre 56 °S a 60 °N, de modo que genere una completa base de cartas topográficas digitales de alta resolución de la Tierra.

Se refiere a un tipo de cartografía digital, con imágenes de radar con una resolución de 30 – 90 metros. Latinoamérica esta muestreada con 3 segundos de arco, aproximadamente 90 metros, las imágenes son descargables gratuitamente.

entre las unidades también pueden ser analizados. El patrón de cobertura puede considerarse individualmente para cada unidad en caso de ser necesario. Presenta la característica “Best Site” que nos sugiere los lugares de emplazamiento óptimos.

1.10.1.1 Algoritmo de cálculos de propagación

➤ ITM (Irregular Terrain Model)

El algoritmo de cálculos de propagación utilizado por Radio Mobile es el de Longley-Rice, también conocido como “*Irregular Terrain Model*” o ITM. 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 la variabilidad de la señal en el espacio y en el tiempo. Fue diseñado para frecuencias de trabajo entre 20 MHz y 20 GHz y para longitudes de trayecto entre 1 km y 2000 km.

1.10.1.2 Aplicaciones

Entre las aplicaciones de Radio Mobile, podemos destacar:

- Predicción del rendimiento de sistemas radio.
- Análisis de la cobertura de un sistema sin necesidad de realizar mediciones sobre el terreno.
- Evaluación de emplazamientos óptimos para la instalación de repetidores fijos o móviles.
- Visualización 2D y 3D de modelos digitales del terreno.

- Extracción del perfil topográfico de un radioenlace.
- Interfaz con GPS (*Global Positioning System*).
- Interfaz con APRS (*Automatic Position Reporting System*).

1.10.2 MOTOROLA PTP (POINT TO POINT) LINKPLANNER



Esta aplicación permite que los usuarios determinen las características del rendimiento de enlaces para una solución inalámbrica. El modelo PTP LINKPlanner, disponible para PC y Mac, permite que el operador recree situaciones "hipotéticas", basadas en la geografía, distancia, altura de la antena, potencia de transmisión y otros factores a fin de optimizar el rendimiento del sistema antes de adquirirlo. El modelo LINKPlanner, que cuenta con abundantes funciones, brinda la posibilidad de planificar enlaces simples y múltiples simultáneamente, una función inteligente que ahorra tiempo.

1.10.2.1 Conceptos de LINKPlanner

- NLoS y LoS

La Serie PTP de Motorola está diseñada para operar en ambientes sin línea de vista (NLoS, non-line-of-sight) y con línea de vista (LoS, line-of-sight). PTP LINKPlanner utiliza la información de la trayectoria del perfil para predecir la velocidad de los datos y la fiabilidad de cada enlace, a través del ajuste de la altura de las antenas y de la potencia de radiofrecuencia. Cuando el enlace es

instalado, la pérdida por trayectoria directa puede ser revisada para confirmar las predicciones hechas por el programa.

➤ Arquitectura

El PTP LINKPlanner es una aplicación que corre sobre Windows o Macintosh. Esto cumple con los cálculos de las recomendaciones de la ITU, ITU-R P.526-9 y ITU-R P.530-10, para predecir trayectorias con línea o sin línea de vista en cualquier parte del mundo. Los datos de la trayectoria del perfil pueden ser obtenidos de diferentes maneras dependiendo de la localización global, una de las maneras más comunes es obtener los mapas utilizando los datos SRTM.

Los principales conceptos del PTP LINKPlanner son:

- Proyecto: un conjunto de datos acerca de los sitios y enlaces en la red inalámbrica.
- Sitio: la ubicación de la unidad de salida, la antena.
- Enlace: la interface de radio entre los dos sitios.

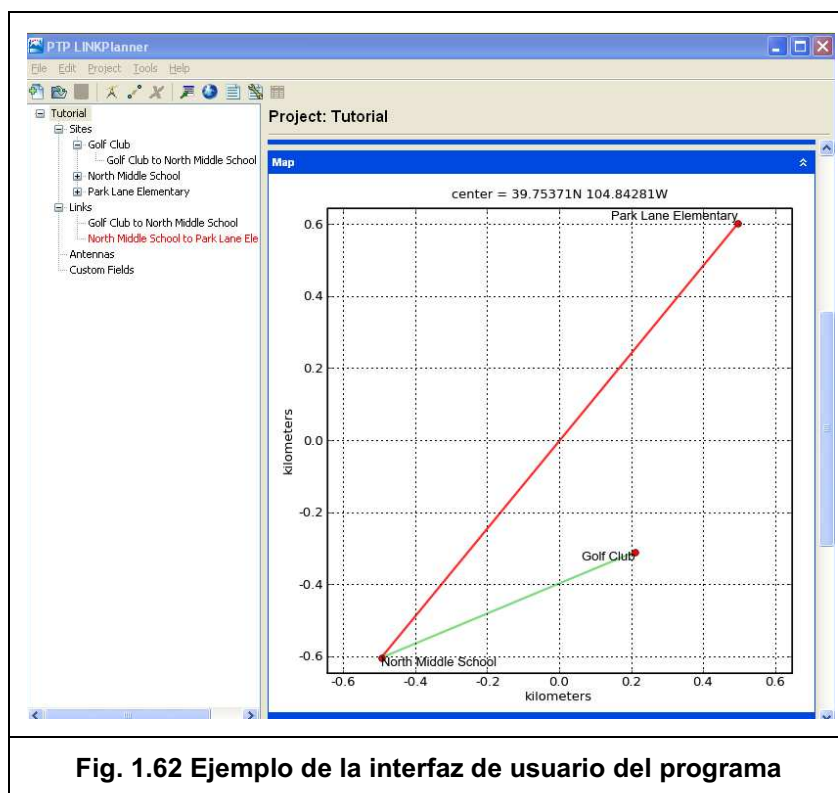
➤ Datos de entrada y de salida

Los principales datos de entrada son:

- Nombre del sitio, la posición y la altura máxima de la antena (ingresado por el usuario).
- Detalles del equipo PTP y las restricciones de licencia (seleccionados por el usuario).
- Requerimientos mínimos del desempeño del enlace (ingresado por el usuario).

- El perfil del terreno a lo largo de la trayectoria para cada enlace (obtenido utilizando una herramienta de Motorola).
- Detalles de cualquier obstáculo o reflexión que pueda afectar el desempeño del enlace (obtenido de mapas o de datos del Google Earth™).

Los principales datos de salida del LINKPlanner es el resumen del desempeño del enlace que muestra que tan bueno es el mismo, prediciendo cómo se comporta el enlace en base a los diferentes datos de entrada.



Fuente: Software PTP LINKPlanner

CAPÍTULO 2. DISEÑO

2.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO

En este capítulo se realizará, en primer lugar, una descripción de la red actual, el diagnóstico de la misma especificando sus fortalezas y debilidades; y los requerimientos de la empresa EPPETROECUADOR con referencia al Sistema de comunicación VHF.

A continuación se propondrá una solución que satisfaga los requerimientos antes descritos, la cual será abordada desde tres puntos de vista para cubrir todos los escenarios de la misma; es decir los enlaces de las Repetidoras con cada uno de los Sitios, la conexión digital entre Repetidoras y por último la cobertura de cada Repetidora.

Los dos primeros puntos de vista constarán de un análisis teórico y uno simulado mediante programas especializados para dicho propósito, como son: Radio Mobile y MOTOROLA PTP LINKPlanner. Los resultados proporcionados por los programas se los validará con el análisis teórico del primero de los enlaces con la finalidad de que el resto de los mismos se los realice mediante los programas antes mencionados; así como el tercer punto de vista. La factibilidad o no de la implementación de la solución propuesta se lo hará a partir de las conclusiones obtenidas de cada uno de los tres escenarios planteados.

Se presentará un esquema donde consten todos los enlaces pertenecientes al Sistema VHF Digital diseñado y las características del mismo. De entre todos los enlaces, se tomará uno para ejemplificar el funcionamiento y conectorización que se debe llevar a cabo en cada uno de los sitios.

Finalmente, se detallará el número y tipo de equipos necesarios para la implementación de la solución planteada, además del análisis de costos, donde

se enuncia la relación costo – beneficio de la misma, seguido de la descripción del cumplimiento de los requerimientos de la empresa y de las ventajas y desventajas del diseño propuesto.

2.2 ANTECEDENTES

2.2.1 IMPORTANCIA DE LA COMUNICACIÓN VHF PARA LA EMPRESA

La comunicación VHF es un medio de transmisión de la información trascendental para la empresa, debido a que constituye un sistema de respaldo de los otros medios de comunicación como son microonda y telefonía; ya que es independiente de los mismos.

El personal de PETROCOMERCIAL utiliza transmisiones VHF para informar sobre el estado y monitoreo del transporte de combustibles en cada una de las dependencias que pertenecen a la compañía; así como daños a lo largo del ducto que lleva los diferentes productos que se comercializa.

Su importancia radica, en que permite enlazar dos sitios lejanos en lugares donde ninguna otra comunicación, incluso la celular es posible; siendo de mucha ayuda en caso de emergencias o imprevistos.

2.2.2 ENLACE ACTUAL DE PETROCOMERCIAL

2.2.2.1 Breve descripción de la empresa PETROCOMERCIAL

PETROCOMERCIAL es una filial de la compañía estatal de petróleo PETROECUADOR, encargada del transporte, almacenamiento y comercialización de combustible a lo largo de todo el país, y también de la venta y distribución de derivados de petróleo. Para este fin utiliza su red de ductos multipropósito de 1300km y tiene una capacidad total de almacenamiento de 2 681 millones de

barriles. Transporta aproximadamente 86 300 barriles diarios, y controla el 34% del mercado de combustible ecuatoriano.

Durante la realización del presente Proyecto de Titulación, el Gobierno del Ecuador firmó los decretos ejecutivos 314 y 315, a través de los cuales se crean las empresas públicas PETROAMAZONAS EP Y EPPETROECUADOR, respectivamente. La suscripción se realizó al martes 6 de Abril del 2010.

PETROAMAZONAS EP asumirá la gestión de exploración y explotación de las áreas: Bloque 15, Edén – Yuturi y Limoncocha, Pacay, Quilla, Aguajal, Pañacocha, Paka Norte, Paka Sur, actualmente administrados por la empresa Petroamazonas Ecuador S.A., así como de los bloques, áreas o campos que le sean asignados por el Ministerio del Ramo.

En el caso de EPPETROECUADOR, el objeto principal es la gestión del sector estratégico de los recursos naturales no renovables, para su aprovechamiento sustentable, conforme con la Ley Orgánica de Empresas Públicas y la Ley de Hidrocarburos, para lo cual intervendrá en todas las fases de la actividad hidrocarburífera bajo condiciones de preservación ambiental y de respeto de los derechos de los pueblos.

Las sociedades de economía mixta de propiedad de la Empresa Estatal Petróleos del Ecuador PETROECUADOR y sus empresas filiales: OTE (Oleoducto Transecuatoriano), PETROCOMERCIAL, PETROINDUSTRIAL, PETROPRODUCCIÓN), se transformarán en empresas subsidiarias de EPPETROECUADOR.

De acuerdo a las nuevas disposiciones, la filial PETROCOMERCIAL pasó a ser parte de la empresa EPPETROECUADOR bajo la denominación: GERENCIA DE COMERCIALIZACIÓN, que tiene a su cargo comercializar derivados de hidrocarburos de procesos altamente tecnificados a fin de satisfacer la demanda a nivel nacional, con estándares de cantidad, calidad, seguridad, oportunidad y

responsabilidad, respetando al individuo y al ambiente, incursionando en la comercialización de mercados internacionales.

Por lo que, a partir de este punto se hará mención a PETROCOMERCIAL como la GERENCIA DE COMERCIALIZACIÓN DE EPPETROECUADOR.

La Gerencia de Comercialización Distrito Norte, está constituida por Terminales y Estaciones⁸, que agrupadas forman lo que se conoce como “Poliductos”, los cuales son:

- Poliducto Shushufindi – Quito

Conformado por:

Estación Shushufindi Cabecera

Estación Quijos

Estación Osayacu

Estación Chalpi

Terminal Oyambaro

Terminal Beaterio

- Poliducto Esmeraldas – Quito

Conformado por:

Estación Esmeraldas Cabecera

Terminal Santo Domingo

Estación Faisanes

⁸ **Terminal:** Lugar donde se realiza el despacho de combustible.

Estación de bombeo: Lugar donde se eleva la presión cuando ésta es muy baja.

Estación Reductora: Lugar donde se baja la presión cuando ésta es muy alta.

Estación Corazón

Terminal Beaterio

- Poliducto Quito – Ambato – Riobamba

Conformado por:

Terminal Riobamba

Terminal Ambato

Terminal Beaterio

Campamento Latacunga

Actualmente la Gerencia de Comercialización dispone de un sistema de comunicación analógico basado en repetidoras, radios móviles, radios bases y radios portátiles instalados en los poliductos, por medio de los cuales se dispone de una comunicación de voz en modo Half Dúplex, con la cual se consigue una interconexión vía radio a todo el personal que labora en los poliductos.

Para un mejor entendimiento del sistema digital que se diseñará en este capítulo, es necesario conocer el estado del sistema analógico actual. El diagrama del Sistema de Comunicación VHF Analógico de la Gerencia de Comercialización Distrito Norte se presenta en el anexo A.

La descripción de los equipos VHF instalados en cada una de las dependencias del distrito se detallará a continuación por poliductos. Solo se presentarán los equipos que intervienen en los enlaces y los presentes en las oficinas hacia donde llegan los mismos; pero es importante recalcar que en las estaciones y terminales existen otros equipos VHF como radios móviles en vehículos y portátiles repartidos en el personal de cada estación; los cuales se enunciarán en la descripción de los equipos VHF.

2.2.2.2 Sistema VHF del Poliducto Shushufindi – Quito

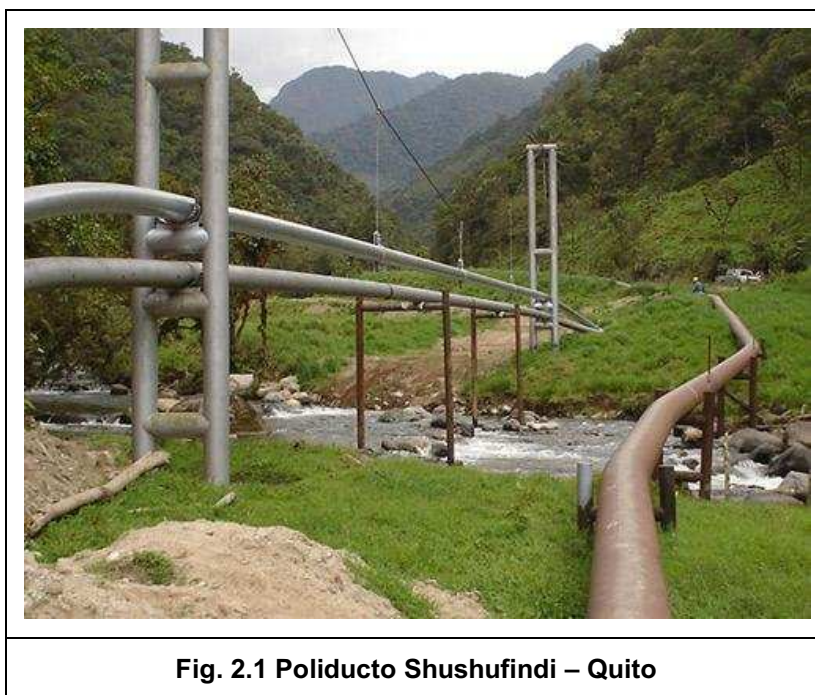


Fig. 2.1 Poliducto Shushufindi – Quito

Fuente: Página web de EPPETROECUADOR

El poliducto Shushufindi - Quito se origina en la Provincia de Sucumbíos, en la ciudad de Shushufindi en la estación Shushufindi Cabecera y se extiende hasta la ciudad de Quito en la Provincia de Pichincha en el Terminal Beaterio. Inició sus operaciones el 29 de junio de 1981, con una capacidad de diseño de 10800 BPD (Barriles Por Día), con la finalidad de transportar GLP (Gas Licuado de Petróleo), Nafta Base, Diesel y Jet Fuel. Su caudal de operación actual es de 420 bls/hora. La longitud del poliducto es de 304.815 Km.

2.2.2.2.1 Estaciones de Bombeo y Reductoros

➤ Estación Cabecera de Shushufindi

Está ubicada en la provincia de Sucumbíos en la ciudad de Shushufindi. Cuenta con un sistema de bombas que reciben los productos que entrega el Complejo Industrial Shushufindi (CIS) y que a su vez entrega a los grupos principales de bombeo de la estación.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.1 Equipos VHF de Shushufindi

Elaborado por los autores

➤ Estación Quijos

Está ubicada en la provincia de Sucumbíos en el cantón Gonzalo Pizarro. Es una estación intermedia que recibe los productos que entrega la Estación Shushufindi y se bombea hacia la siguiente estación, Osayacu.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.2 Equipos VHF de Quijos

Elaborado por los autores

➤ Estación Osayacu

Está ubicada en la provincia del Napo en la parroquia de Baeza. Es una estación intermedia y estación base que recibe los productos que entrega la Estación Quijos y se bombea hacia la siguiente estación, Chalpi.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra

Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150
----------------	----------	----------

Tabla 2.3 Equipos VHF de Osayacu

Elaborado por los autores

➤ Estación Chalpi

Está ubicada en la provincia del Napo en la parroquia de Papallacta. Es una estación intermedia que recibe los productos que entrega la Estación Osayacu y se bombea hacia la siguiente estación reductora, Beaterio u Oyambaro, dependiendo del producto.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.4 Equipos VHF de Chalpi

Elaborado por los autores

➤ Terminal de GLP Oyambaro

Está ubicado al nor – oriente de la ciudad de Quito en el kilómetro trece y medio vía Pifo – Sangolquí. Tiene como actividades importantes la recepción, el almacenamiento y despacho a granel del Gas Licuado de Petróleo (GLP), para uso doméstico e industrial. Recapta el mayor porcentaje de la producción de GLP del CIS, producto que es transportado por el poliducto Shushufindi – Quito.

Los equipos de comunicación presentes en el terminal son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado

Radio Base	MOTOROLA	MC3000
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.5 Equipos VHF de Oyambaro

Elaborado por los autores

➤ Estación Reductora Beaterio

Está ubicada en la provincia de Pichicha en la ciudad de Quito. Es una estación reductora de presión que comprime de 900 psi a 400 psi (libras por pulgada cuadrada).

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.6 Equipos VHF de Reductora Beaterio

Elaborado por los autores

2.2.2.2.2 *Sitios de Repetición*

➤ Lumbaqui

Este cerro se encuentra ubicado en el pueblo de Lumbaqui en la provincia de Sucumbíos. La repetidora de Lumbaqui se enlaza con la repetidora de Guamaní a través de un modulo RA (Radio Access) mediante una antena Yagi UDA, la misma que utiliza un circuito acoplador para unirse a un módulo RT (Radio Transmit), el cual irradia a todo el sector de Lago Agrio y Shushufindi.

Los equipos de comunicación presentes en esta repetidora son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA y Dipolo doblado
Repetidora	MOTOROLA	QUANTAR
Duplexor	Sinclair	Q2220

Tabla 2.7 Equipos VHF de la Repetidora de Lumbaqui

Elaborado por los autores

➤ Tres Cruces

Este cerro se encuentra ubicado en el recinto de Tres Cruces en la provincia de Napo. La repetidora de Lumbaqui se enlaza con Tres Cruces a través de un módulo RA asociado a una Yagi UDA la misma que usa un circuito acoplador para unirse a un módulo RT y dar cobertura a todo el camino desde el cantón El Chaco hasta el cantón El Salado.

Los equipos de comunicación presentes en esta repetidora son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA y Dipolo doblado
Repetidora	MOTOROLA	QUANTAR
Duplexor	Sinclair	Q2220

Tabla 2.8 Equipos VHF de la Repetidora de Tres Cruces

Elaborado por los autores

➤ Guamaní

El cerro Guamaní es usado como sitio de repetición para cubrir el poliducto Shushufindi – Quito utilizando un módulo RT, se encuentra en el límite de la Provincia de Pichincha y Napo.

Los equipos de comunicación presentes en esta repetidora son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo Doblado
Repetidora	MOTOROLA	QUANTAR

Tabla 2.9 Equipos VHF de la Repetidora de Guamaní

Elaborado por los autores

2.2.2.3 Sistema VHF del Poliducto Esmeraldas – Quito

El poliducto Esmeraldas - Quito se origina en la Provincia de Esmeraldas, en la ciudad de Esmeraldas en la estación Esmeraldas Cabecera y se extiende hasta la ciudad de Quito en la Provincia de Pichincha en el Terminal Beaterio. Está conformado por dos tramos: Esmeraldas – Santo Domingo y Santo Domingo Beaterio. El primer tramo inició sus operaciones en 1979 y posteriormente el 26 de septiembre de 1980 se extendió el segundo tramo. El poliducto tiene una capacidad de diseño de 11446 BPD (Barriles Por Día), con la finalidad de transportar Gasolina Super y Extra, Nafta Base, Diesel y Jet Fuel. Su caudal de operación actual es de 2500 bls/hora. La longitud del poliducto es de 252.7 Km.



Fig. 2.2 Poliducto Esmeraldas – Quito

Fuente: Página web de EPPETROECUADOR

2.2.2.3.1 Estaciones de Bombeo y Reductororas

➤ Estación Esmeraldas Cabecera

Está ubicada en la provincia de Esmeraldas en la ciudad de Esmeraldas. Cuenta con 10 tanques de almacenamiento de combustible con un grupo de válvulas que se utiliza para alinear el sistema de los productos que se reciben directamente de la Refinería Esmeraldas.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.10 Equipos VHF de Esmeraldas Cabecera

Elaborado por los autores

➤ Estación Santo Domingo

Está ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas en la ciudad de Santo Domingo. Es una estación intermedia base que recibe los productos que entrega la Estación Esmeraldas Cabecera y se bombea hasta la Estación Faisanes, como también se recibe en los tanques de almacenamiento del Terminal Santo Domingo.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.11 Equipos VHF de Santo Domingo

Elaborado por los autores

➤ Estación Faisanes

Está ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas en la parroquia de Alluriquín. Es una estación intermedia del poliducto que recibe los productos que entrega la Estación Santo Domingo y se bombea hacia la siguiente estación, Corazón.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.12 Equipos VHF de Faisanes

Elaborado por los autores

➤ Estación Corazón

Está ubicada en la provincia de Pichincha en la parroquia de Ulloa. Es una estación intermedia del poliducto que recibe los productos que entrega la Estación Faisanes y se bombea hacia la siguiente estación reductora, Beaterio.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Radio Base	MOTOROLA	XTL 5000
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.13 Equipos VHF de Corazón

Elaborado por los autores

➤ Estación Reductora Beaterio

Presenta las mismas características que las descritas en el poliducto Shushufindi – Quito, pero cuenta con equipos independientes para cada poliducto.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.14 Equipos VHF de Reductora Beaterio

Elaborado por los autores

2.2.2.3.2 *Sitios de Repetición*

➤ Atacazo

Este cerro se encuentra al sur de Quito en la provincia de Pichincha y da cobertura a todo el poliducto Esmeraldas – Quito utilizando un módulo RT. Los equipos de comunicación presentes en esta repetidora son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Repetidora	MOTOROLA	QUANTAR

Tabla 2.15 Equipos VHF de la Repetidora del Atacazo

Elaborado por los autores

2.2.2.4 Sistema VHF del Poliducto Quito – Ambato – Riobamba

El poliducto Quito – Ambato – Riobamba se origina en la Provincia de Tungurahua, en la ciudad de Ambato en el Terminal de Ambato y se extiende hasta la ciudad de Quito en la Provincia de Pichincha en el Terminal Beaterio; actualmente está en construcción la extensión a Riobamba, constituyéndose el poliducto Quito – Ambato – Riobamba; al concluirse esta obra el inicio del poliducto será en la Provincia de Chimborazo, ciudad de Riobamba, en el Terminal Riobamba. Sin considerar el tramo a Riobamba; su extensión es de 110.4 Km de longitud, a través de él se transporta Gasolina Super, Gasolina

Extra, Diesel. El diseño inicial tenía capacidad para 570 024 gls/día, actualmente su caudal de operación es de 20 496 gls/hora.



Fig. 2.3 Poliducto Quito – Ambato – Riobamba

Fuente: Página web de EPPETROECUADOR

2.2.2.4.1 Estaciones de Bombeo y Reductororas

➤ Estación de Bombeo Beaterio

Está ubicada en la provincia de Pichincha, en la ciudad de Quito, dentro de las instalaciones del Terminal de Productos Limpios El Beaterio. Es una estación base que envía los productos hacia la siguiente estación, Reductora Ambato.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	XTS 1500

Tabla 2.16 Equipos VHF de la Estación de Bombeo Beaterio

Elaborado por los autores

➤ Estación Reductora Ambato

Está ubicada en la provincia de Tungurahua en la ciudad de Ambato en el sector Huachi La Joya, es parte del Terminal Ambato. Es una estación intermedia base que recibe los productos que entrega la Estación de Bombeo de El Beaterio y próximamente se enviará hacia el Terminal Riobamba.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.17 Equipos VHF de Ambato

Elaborado por los autores

➤ Estación Riobamba

Está ubicada en la provincia de Chimborazo en la parroquia Calpi, en el cantón Riobamba. Se recibe los combustibles por autotanques provenientes del Terminal Ambato. Se realizan básicamente tres actividades: la recepción de productos, el almacenamiento y despacho; y la comercialización.

Los equipos de comunicación presentes en esta estación son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Radio Base	MOTOROLA	XTL 5000
Radio Portátil	MOTOROLA	XTS 1500

Tabla 2.18 Equipos VHF de Riobamba

Elaborado por los autores

➤ Campamento Latacunga

Está ubicada en la provincia de Cotopaxi a unos 3 Km del Norte de la ciudad de Latacunga. Se encarga del mantenimiento del poliducto Quito – Ambato. Los equipos de comunicación presentes en este campamento son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.19 Equipos VHF de Campamento Latacunga

Elaborado por los autores

2.2.2.4.2 *Sitios de Repetición*

➤ Pilisurco

Este cerro se encuentra ubicado en la provincia de Tungurahua. La repetidora del Pilisurco se enlaza con el Atacazo a través de un módulo RA asociado a una Yagi UDA que usa un circuito acoplador para unirse a un módulo RT que irradia a todo el sector del Terminal Ambato y cubre todo el poliducto.

Los equipos de comunicación presentes en esta repetidora son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA y Dipolo doblado
Repetidora	MOTOROLA	QUANTAR
Duplexor	Sinclair	Q2220

Tabla 2.20 Equipos VHF de la Repetidora del Pilisurco

Elaborado por los autores

➤ Igualata

Este cerro se encuentra ubicado en la provincia de Tungurahua. La repetidora del Igualata cubre todo el sector del Terminal Riobamba usando un módulo RT. La comunicación que brinda esta repetidora es únicamente a nivel local, hasta que se termine de construir el poliducto Ambato – Riobamba, donde luego de un estudio se analizará si se enlaza con la repetidora del Atacazo o con la del Pilisurco para conseguir la cobertura total del poliducto.

Los equipos de comunicación presentes en esta repetidora son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Repetidora	MOTOROLA	QUANTAR

Tabla 2.21 Equipos VHF de la Repetidora del Igualata

Elaborado por los autores

2.2.2.5 Sistema VHF en sitios de Administración y otros

2.2.2.5.1 Edificio El Rocío

Está ubicada en la provincia de Pichincha en la ciudad de Quito. No forma parte del área operativa de ningún poliducto, pero se encarga de la administración de las comunicaciones de los Poliductos Esmeraldas – Quito y Shushufindi – Quito, con enlaces independientes en cada uno. La administración del poliducto Quito – Ambato – Riobamba no se la realiza por VHF por lo que no se lo considera en este análisis.

Los equipos de comunicación presentes en el Edificio El Rocío son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	MC3000

Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150
----------------	----------	----------

Tabla 2.22 Equipos VHF del Edificio El Rocío

Elaborado por los autores

2.2.2.5.2 Terminal El Beaterio – Comunicaciones

El cuarto de comunicaciones del Terminal El Beaterio cumple funciones administrativas al igual que el Edificio El Rocío y mantiene comunicación con el Poliducto Shushufindi – Quito y Esmeraldas – Quito.

Los equipos de comunicación presentes en el Terminal Beaterio son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Yagi UDA
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	XTS 1500

Tabla 2.23 Equipos VHF del Terminal Beaterio - Comunicaciones

Elaborado por los autores

2.2.2.5.3 Terminal Ambato – Comunicaciones

El cuarto de comunicaciones del Terminal Ambato cumple funciones de control y monitoreo de la repetidora del Igualata ya que esta no se enlaza con la red VHF del poliducto, solo tiene cobertura local.

Los equipos de comunicación presentes en el Terminal Ambato – Comunicaciones son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Radio Base	MOTOROLA	XTL 5000

Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150
----------------	----------	----------

Tabla 2.24 Equipos VHF del Terminal Ambato - Comunicaciones

Elaborado por los autores

2.2.2.5.4 Repetidora Bijagual

Este cerro se encuentra en las cercanías del sector de Patricia Pilar localizada en el límite de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas con la provincia de los Ríos. Esta repetidora une la estación de Santo Domingo al poliducto Santo Domingo – Macul en el Distrito Sur.

Los equipos de comunicación presentes en la Repetidora de Bijagual son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Repetidora	MOTOROLA	MTR 2000

Tabla 2.25 Equipos VHF de la Repetidora de Bijagual

Elaborado por los autores

2.2.2.5.5 Repetidora de Balao

Este cerro se encuentra ubicado en la Provincia de Esmeraldas. La repetidora de Balao brinda comunicación local a la Planta de Gas (Gasito) y a la Estación Marítima, además, permite el monitoreo vía radio de los barcos petroleros que se encuentran dentro del mar.

Los equipos de comunicación presentes en la Repetidora de Balao son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Repetidora	MOTOROLA	MTR 2000

Tabla 2.26 Equipos VHF de la Repetidora de Balao

Elaborado por los autores

2.2.2.5.6 Estación Marítima

Está ubicada en la Provincia de Esmeraldas en las oficinas de Esmeraldas Sucursal y se encarga del monitoreo de la comercialización internacional de productos derivados de petróleo utilizando barcos petroleros.

Los equipos de comunicación presentes en Estación Marítima son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.27 Equipos VHF de la Estación Marítima

Elaborado por los autores

2.2.2.5.7 Planta de Gas

Está ubicada en la Provincia de Esmeraldas frente a las oficinas de Esmeraldas Sucursal y se encarga de la comercialización de GLP a lo largo de la provincia.

Los equipos de comunicación presentes en Planta de Gas son:

EQUIPO	MARCA	MODELO
Antena	Decibel Products	Dipolo doblado
Radio Base	MOTOROLA	Astro Spectra
Radio Portátil	MOTOROLA	PRO 5150

Tabla 2.28 Equipos VHF de la Planta de Gas

Elaborado por los autores

2.2.2.6 Descripción de los equipos de comunicación VHF


A continuación se describirá las características más importantes de los equipos de comunicación VHF que se encuentran instalados a lo largo de la Gerencia de Comercialización Distrito Norte.

2.2.2.6.1 Repetidoras

Son equipos que permiten recibir, procesar y retransmitir las señales de voz generadas por un usuario, ampliando la distancia de propagación de la señal de audio de acuerdo a la cobertura del sistema. La Gerencia de Comercialización dispone de dos modelos de repetidoras: MOTOROLA MTR 2000 y MOTOROLA Quantar.

➤ MTR 2000

La repetidora MTR 2000 es una estación base/repetidora/receptor de servicio continuo, es decir que el equipo puede estar transmitiendo a determinadas potencias de modo continuo y sin descanso sin degeneración o deterioro de la señal. Tiene funcionamiento analógico con procesamiento digital interno. Puede ser utilizada en sistemas convencionales (operación local, control remoto por tonos, toda comunicación analógica VHF Half Dúplex) y trunking (SMARTNET, Smartzone, toda comunicación analógica VHF con hand off y troncalización de frecuencias); en las bandas VHF, UHF y de 800 a 900 MHz.

		
PARÁMETROS	VHF	UHF
Frecuencia	132-174 MHz	403-470 MHz
Número de canales	Superior a 32	
Tamaño	13.3 cm x 48.3 cm x 41.9 cm	
Peso	19 Kg	
Potencia de transmisión	100 W	
Espaciamiento de canales	12.5, 25 y 30 KHz	12.5 y 25 KHz
Voltaje de alimentación AC	85 – 264 VAC con 47 – 63 Hz	
Voltaje de alimentación DC	28.6 V para estaciones de 100 W	
Zumbido y ruido FM	45 dB a 12.5 KHz	

	50 dB a 25/30 KHz
Distorsión de audio	3 %
Sensibilidad (12 dB SINAD ⁹)	0.35 μ V
Codificación	CSQ, TPL, DPL


Tabla 2.29 Especificaciones técnicas de la Repetidora MTR 2000

Fuente: Manual de Repetidora MTR2000

Elaborado por los autores

➤ QUANTAR

La estación base de datos QUANTAR es un modelo híbrido de repetidora que soporta todo tipo de equipos en su estructura analógica como digital, cuenta con un soporte de comunicaciones confiables de datos a altas velocidades en sistemas de 800 y 900 MHz. Proporciona una conexión entre los entornos de comunicación de las líneas fijas con los radios ya que cuenta con un transmisor de estado sólido diseñado para soportar comunicaciones confiables de datos a altas velocidades.

				
PARÁMETROS	VHF	UHF	800	900
Sub-banda de transmisión	132-174 MHz	403-520 MHz	851-870 MHz	935-941 MHz
Sub-banda de recepción	132-174 MHz	403-520 MHz	806-825 MHz	896-902 MHz
Número de canales	16			
Ancho de banda	12.5/25/30 KHz	12.5/25 KHz	12.5/25 KHz	12.5 KHz
Voltaje de alimentación AC	90 – 280 VAC			
Frecuencia de alimentación	47 – 63 Hz			
Potencia de salida	25 – 125 W	25 – 110 W	25 – 100 W	20 – 100 W
Dimensiones	221 mm x 483 mm x 432 mm			

⁹ SINAD (Signal to Noise And Distorsion Ratio), es un parámetro que mide la calidad de la señal frente a perturbaciones como el ruido y la distorsión.

Peso	22 Kg			
Distorsión de audio	2 %			
Sensibilidad (12 dB SINAD)	0.25 μ V	0.35 μ V	0.30 μ V	0.30 μ V
Codificación	CSQ, TPL, DPL			

Tabla 2.30 Especificaciones técnicas de la Repetidora QUANTAR

Fuente: Manual de Repetidora QUANTAR

Elaborado por los autores

2.2.2.6.2 Radio Bases y Móviles

Son equipos de comunicación, que permiten establecer una conversación entre dos o más usuarios en modo Half Dúplex, vía radio en vehículos o bases, receptando y transmitiendo hacia la repetidora más cercana.

➤ MARATRAC

Es un radio móvil de alta potencia para áreas extensas en ambientes complejos. Tiene un control simple, programación a través de MS-DOS y ofrece comunicaciones confiables.



PARÁMETROS	VHF	UHF
Frecuencia	150-174 MHz	450-470 MHz
Número de canales	1 – 99 canales	
Tamaño	24.5 cm x 36.8 cm x 6.4 cm	
Peso	7.26 Kg	
Potencia de transmisión	100 W	
Espaciamiento de canales	20 y 25 KHz	
Voltaje de alimentación DC	12 VDC	

Zumbido y ruido FM	45 dB
Distorsión de audio	3 %
Sensibilidad (12 dB SINAD)	0.3 μ V
Codificación	CSQ, TPL, DPL

Tabla 2.31 Especificaciones técnicas de la Radio MARATRAC

Fuente: Manual de Radio MARATRAC

Elaborado por los autores

➤ ASTRO SPECTRA

Es un radio base digital de alta potencia que acepta señalización, comunicaciones analógicas o digitales en modo normal o troncal.



PARÁMETROS	VHF	UHF
Frecuencia	136-162 MHz	403-433 MHz
	146-174 MHz	438-470 MHz
		450-482 MHz
		482-512 MHz
Número de canales	255	
Tamaño	13.7 cm x 6 cm x 3.07 cm	
Peso	5.1 Kg	
Potencia de transmisión	110 W	100 W
Espaciamiento de canales	12.5 y 30 KHz	12.5 y 25 KHz
Voltaje de alimentación DC	12 VDC	
Zumbido y ruido FM	40 dB a 12.5 KHz	
	45 – 50 dB a 25/30 KHz	
Distorsión de audio	2 %	

Sensibilidad (12 dB SINAD)	0.25 μ V
Codificación	CSQ, TPL, DPL

Tabla 2.32 Especificaciones técnicas de la Radio ASTRO SPECTRA

Fuente: Manual de Radio ASTRO SPECTRA

Elaborado por los autores

➤ MOTOROLA MC3000

Es una radio base que sirve como control remoto digital para todas las funciones de radio y frecuencias de los radios de la serie ASTRO y otros equipos compatibles con la misma, funciona en sistemas analógicos convencionales o de concentración de enlaces.

	
ESPECIFICACIONES	
Color	Negro
Máximo número de consolas	31 en paralelo
Tamaño	21.74 cm x 25.07 cm x 11.43 cm
Peso	1.36 Kg
Voltaje de alimentación DC	10.5 – 16 VDC
Zumbido y ruido FM	<50 dB
Distorsión de audio	< 5 %
Sensibilidad (12 dB SINAD)	0.8 μ V

Tabla 2.33 Especificaciones técnicas de la Radio MC 3000

Fuente: Manual de Radio MC3000

Elaborado por los autores

➤ PRO 5100

Es un radio móvil de alta potencia que provee un funcionamiento sencillo y de alta calidad, ofrece un rango más amplio de llamadas, acceso de canal más rápido, mayor privacidad y capacidad de usuarios.



PARÁMETROS	VHF	UHF
Frecuencia	136-174 MHz	403-470 MHz 450-527MHz
Número de canales	64	
Tamaño	19.8 cm x 17.9 cm x 5.9 cm	
Peso	1.65 Kg	
Potencia de transmisión	45 W	40 W
Espaciamiento de canales	12.5/20/25 KHz	20 KHz
Voltaje de alimentación DC	12 VDC	
Zumbido y ruido FM	45 dB	
Distorsión de audio	3 %	
Sensibilidad (12 dB SINAD)	0.3 μ V	
Codificación	CSQ, TPL, DPL	

Tabla 2.34 Especificaciones técnicas de la Radio PRO 5100

Fuente: Manual de Radio PRO 5150

Elaborado por los autores

➤ ASTRO XTL 5000

Es una radio móvil digital con avanzada arquitectura que ofrece una señal clara, aun en condiciones climáticas desfavorables.



PARÁMETROS	VHF	UHF
Frecuencia	136-174 MHz	380-470 MHz 450-520 MHz
Número de canales	1000	
Tamaño	56.8 mm x 180.3 mm x 231.1 mm	
Peso	2.77 Kg	
Potencia de transmisión	50 – 110 W	45 – 110 W
Espaciamiento de canales	12.5/25/30 KHz	12.5/25 KHz
Voltaje de alimentación DC	12 VDC	
Zumbido y ruido FM	34 dB a 12.5 KHz 40 – 45 dB a 25/30 KHz	
Distorsión de audio	3 %	
Sensibilidad (12 dB SINAD)	0.3 μ V	
Codificación	CSQ, TPL, DPL	

Tabla 2.35 Especificaciones técnicas de la Radio XTL 5000

Fuente: Manual de Radio XTL 5000

Elaborado por los autores

2.2.2.6.3 Radios Portátiles

Son equipos de comunicación destinados a los usuarios por su pequeño tamaño y su bajo peso, permiten una fácil manipulación y transporte, generalmente manejan potencias de 5 W, lo cual los limita a cubrir una pequeña área de cobertura.

➤ HT 1000



PARÁMETROS	VHF	UHF
Frecuencia	136-174 MHz	403-470 MHz 450-520 MHz
Número de canales	16 canales	
Tamaño	16 cm x 5.94 cm x 3.91 cm	
Peso	19.4 oz	
Potencia de transmisión	1 - 5 W	1 - 4 W
Espaciamiento de canales	12.5/25/30 KHz	12.5/25 KHz
Duración de batería	9 horas a 5 W	9 horas a 4 W
Zumbido y ruido FM	40 dB a 12.5 KHz 45 dB a 25/30 KHz	
Distorsión de audio	3 %	
Sensibilidad (12 dB SINAD)	0.28 μ V	
Codificación	CSQ, TPL, DPL	

Tabla 2.36 Especificaciones técnicas de la Radio HT 1000

Fuente: Manual de Radio HT1000

Elaborado por los autores

➤ PRO 5150

PARÁMETROS	VHF	UHF
Frecuencia	136-174 MHz	403-470 MHz 450-520 MHz
Número de canales	16 canales	
Tamaño	13.7 cm x 5.75 cm x 3.75 cm	
Peso	15 oz	
Potencia de transmisión	1 - 5 W	1 - 4 W
Espaciamiento de canales	12.5/20/25 KHz	
Duración de batería	11 horas a 5 W	8 horas a 4 W
Zumbido y ruido FM	40 dB	
Distorsión de audio	3 %	
Sensibilidad (12 dB SINAD)	0.25 μ V	
Codificación	CSQ, TPL, DPL, inv DPL	

Tabla 2.37 Especificaciones técnicas de la Radio PRO 5150

Fuente: Manual de Radio PRO 5150

Elaborado por los autores

➤ PRO 7150



PARÁMETROS	VHF	UHF
Frecuencia	136-174 MHz	403-470 MHz 450-520 MHz
Número de canales	128 canales	
Tamaño	13.7 cm x 5.75 cm x 3.75 cm	
Peso	15 oz	
Potencia de transmisión	1 - 5 W	1 - 4 W
Espaciamiento de canales	12.5/20/25 KHz	
Duración de batería	11 horas a 5 W	8 horas a 4 W
Zumbido y ruido FM	40 dB	
Distorsión de audio	3 %	
Sensibilidad (12 dB SINAD)	0.25 μ V	
Codificación	CSQ, TPL, DPL, inv DPL	

Tabla 2.38 Especificaciones técnicas de la Radio PRO 7150

Fuente: Manual de Radio PRO 7150

Elaborado por los autores

➤ XTS 1500

		
PARÁMETROS	VHF	UHF
Frecuencia	136-174 MHz	403-470 MHz 450-527MHz
Número de canales	128	
Tamaño	15.24 cm x 5.84 cm x 5.08 cm	
Peso	20 oz	
Potencia de transmisión	1 – 5 W	1 – 4 W

Espaciamiento de canales	12.5/25 KHz	
Duración de la batería	12 horas a 5 W	8 horas a 4 W
Zumbido y ruido FM	31 dB a 12.5 KHz 40 dB a 25 KHz	
Distorsión de audio	3 %	
Sensibilidad (12 dB SINAD)	0.35 μ V	
Codificación	CSQ, TPL, DPL, inv DPL	

Tabla 2.39 Especificaciones técnicas de la Radio XTS 1500

Fuente: Manual de Radio XTS 1500

Elaborado por los autores

2.2.2.6.4 Duplexores

Son elementos pasivos que permiten multiplexar dos frecuencias sobre un elemento radiante (antena), esta función es útil en sistemas VHF convencionales, ya que permite colocar la frecuencia de transmisión y recepción sobre una misma antena.

➤ Sinclair Q2220



ESPECIFICACIONES	
Frecuencia	136-174 MHz
Entrada de potencia	350 W
Tamaño	10.6 cm x 77 cm x 48.3 cm
Peso	12.7 Kg
Separación de frecuencia	500 KHz
Pérdidas de inserción	1.5 dB

Tabla 2.40 Especificaciones técnicas del Duplexor Q2220

Fuente: Manual de Duplexor Q2220

Elaborado por los autores

2.2.3 RESUMEN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA VHF ACTUAL

El Sistema de radio VHF analógico utilizado actualmente en el Distrito Norte de la Gerencia de Comercialización de EPPETROECUADOR, está constituido por equipos tanto analógicos como digitales, como se muestra en la tabla 2.41.

Equipo	Marca	Modelo	Analógico / Digital
Repetidora	Motorola	Quantar	Analógico y Digital
Repetidora	Motorola	MTR 2000	Analógico
Radio Base – Móvil	Motorola	PRO 5100	Analógico
Radio Base – Móvil	Motorola	Maratrac	Analógico
Radio Base – Móvil	Motorola	Astro Spectra	Analógico
Radio Base	Motorola	Consola MC 3000	Analógico y Digital
Radio Móvil	Motorola	XTL 5000	Analógico y Digital
Radio Portátil	Motorola	PRO 5150	Analógico
Radio Portátil	Motorola	HT 1000	Analógico
Radio Portátil	Motorola	PRO 7150	Analógico
Radio Portátil	Motorola	XTS 1500	Analógico y Digital

Tabla 2.41 Equipos utilizados en la comunicación VHF actual

Fuente: Inventario de comunicaciones EPPETROECUADOR

Elaborado por los autores

Como se pudo observar en la tabla anterior se dispone de diferentes modelos de radios: móviles, portátiles y bases; así como de repetidoras, distribuidos indistintamente a lo largo de todas las estaciones y terminales de la gerencia.

2.3 DIAGNÓSTICO DE LA RED ACTUAL

Luego de un análisis de las características del Sistema VHF actual se observa que presenta fortalezas y debilidades, las mismas que se describen a continuación:

2.3.1 FORTALEZAS

- El sistema VHF presenta una alta confiabilidad, que en promedio es del 99.9%, que de acuerdo a la tabla 1.2 (página 98) se traduce en un tiempo de indisponibilidad de 8.75 horas al año. Cabe recalcar que éste es un dato aproximado debido a que la empresa no cuenta con un software que lleve las estadísticas de la red, por lo que este valor se lo obtiene a partir del seguimiento que el personal del Área de Comunicaciones le da a cada uno de los enlaces.
- En la mayoría de sitios existe una buena fidelidad del audio en las comunicaciones; es decir, son claras y comprensibles; excepto las de la repetidora del Pilisurco, en las cuales existe la presencia de ruido que baja la calidad del audio.
- El monitoreo de las comunicaciones VHF se encuentran centralizado en dos sitios: El Beaterio y el Ed. El Rocío, lo que permite una administración más fácil del sistema.
- El sistema VHF es independiente del resto de comunicaciones de la empresa, lo que permite tener redundancia en las mismas, es decir, el fallo de un sistema no involucra la interrupción de los demás.

2.3.2 DEBILIDADES

- Debido a la existencia de varios modelos de equipos y a que el sistema es analógico, no se aprovechan todas las características (encriptación de la información, llamada selectiva, entre otros) de los equipos, especialmente de los digitales; además, éstos se hallan operando como analógicos para mantener la compatibilidad con el sistema.
- Por la naturaleza de la comunicación analógica existe ruido en las transmisiones, lo cual se agudiza en los sitios que se enlazan con la repetidora del Pilisurco que no permite claridad en el audio.

- El sistema VHF actual es susceptible a ser interceptado por usuarios no autorizados, ya que, si un radio es programado con las frecuencias correspondientes a los enlaces puede acceder a la red VHF y escuchar información confidencial; debido a que no se posee ningún mecanismo de seguridad o autenticación.
- Por las características que presentan los equipos actuales, no se puede hacer diferenciación entre los usuarios; por lo que todos pueden escuchar información sea o no de su interés.
- Existen repetidoras que pertenecen a la línea élite de MOTOROLA que por sus características podrían ser utilizadas para enlaces de larga distancia y con gran número de usuarios, y a pesar de eso, son utilizadas para dar cobertura local con un número limitado de usuarios, lo que es evidentemente un desperdicio de recursos.
- Los equipos VHF implementados a lo largo de la red se encuentran, en su mayoría, discontinuados y con un stock limitado de repuestos.
- El sistema VHF no cuenta con un software de monitoreo que reporte el funcionamiento de los enlaces, porque no se tiene acceso remoto al mismo, como lo tiene el sistema microonda de la empresa.

2.4 REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA

Antes de realizar el diseño del nuevo sistema de comunicación VHF, es necesario, además de conocer la situación del sistema actual, tener en cuenta los requerimientos de la empresa, los cuales son:

- Cambiar el sistema de comunicación analógico a digital para estar a la vanguardia de los avances tecnológicos en el ámbito de las comunicaciones, ya que, la tendencia actual es migrar todos los sistemas de analógicos a digitales.

- Implementar mecanismos de seguridad en las comunicaciones para evitar el acceso de usuarios no autorizados.
- Facilidad para realizar llamadas selectivas, a una persona, a un grupo de personas o a todos los usuarios, dependiendo del tipo de información que se esté transmitiendo.
- Mantener una administración centralizada del sistema en los mismos sitios donde se lo maneja actualmente.
- Asegurar un costo aceptable en la implementación de la migración de analógico a digital.
- Disminución y/o eliminación de ruido especialmente en los enlaces que se dirigen hacia el Pilisurco.
- Converger la información que se envía por VHF al protocolo que se maneja en el resto de comunicaciones de la empresa, es decir, IP; de manera que se pueda acceder remotamente a la red VHF para monitorear los enlaces.
- Conservar el rango de cobertura del sistema VHF analógico para asegurar que los sitios que tienen comunicación actualmente la mantengan luego de la migración a digital.
- Mantener una alta confiabilidad y disponibilidad de los enlaces como se lo tiene actualmente con el sistema analógico.
- El sistema de voz digital que se proponga debe ser totalmente independiente del sistema de datos y telefonía actual para asegurar redundancia en las comunicaciones.

- En el caso de requerirse un nuevo sistema para la migración de analógico a digital, utilizar los equipos MOTOTRBO de MOTOROLA, ya que es la marca que se ha venido implementando en la empresa con excelentes resultados. Aprovechar la mayor cantidad de recursos e infraestructura implementado actualmente en cada uno de los enlaces, como: antenas, sistemas de respaldo de energía, torres, casetas, entre otras; además, mantener las mismas frecuencias con las que se está trabajando.

2.5 DISEÑO DEL SISTEMA VHF DIGITAL

Teniendo en cuenta el diagnóstico del sistema VHF analógico y los requerimientos de la empresa, se concluye que la red actual no permite cumplir con algunos de los requerimientos de la Gerencia; puesto que los equipos no brindan mecanismos de seguridad apropiados, no admiten configuraciones de llamada selectiva, no permiten transmisión de información vía IP y la mayoría de ellos se encuentran discontinuados. Por lo que, se propone como solución el diseño de un sistema digital, que ocupe un solo modelo de radios: portátiles, bases y móviles; y repetidoras utilizando la línea estándar MOTOTRBO (ver anexo B) de MOTOROLA que cumple con las especificaciones requeridas. Por otro lado, como se puede observar en el anexo C, los dos modelos de radios móviles y los dos de radios portátiles mantienen las mismas características técnicas y funcionales, cumpliendo con los requerimientos planteados, pudiéndose seleccionar cualquiera de ellos, ya que además son compatibles entre sí.

Con el fin de transportar la información de manera digital, se vio la necesidad de enlazar las repetidoras vía microonda; tomando como referencia el análisis del ancho de banda necesario para transmitir la información, lo que se detallará en el punto 2.5.1.2; se seleccionó la plataforma CANOPY (ver anexo D) de MOTOROLA, que es una solución compatible con el sistema MOTOTRBO. Por tratarse de enlaces punto a punto, se utilizará la serie Backhaul de CANOPY, concretamente el equipo: CANOPY PTP58500 (ver anexo E) que permite trabajar

a diferentes anchos de banda dependiendo de la distancia y si se tiene o no línea de vista.

2.5.1 TIPO DE TRÁFICO A CURSARSE POR LA RED Y DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE BANDA REQUERIDO

2.5.1.1 Tráfico

El tipo de tráfico que se enviará por cada uno de los enlaces de la red VHF se limitará, en su mayoría, a la voz; aunque, por las características que ofrece MOTOTRBO, se pueden manejar varias aplicaciones de datos, como: mensajes de texto, telemetría, rastreo satelital, entre otros; que también pueden ser enviados sobre el sistema VHF digital a diseñarse.

2.5.1.2 Ancho de banda

El ancho de banda necesario para la transmisión de información a través del medio inalámbrico, se obtiene de la siguiente manera:

Los equipos MOTOTRBO trabajan con un ancho de banda analógico de 12.5 y 25 KHz utilizando una modulación FM y con un ancho de banda digital de 12.5 KHz con modulación 4FSK de acuerdo a los estándares ETSI-TS102 361-1. Este valor está estandarizado por la SUPERTEL.

Los equipos CANOPY trabajan en bandas no licenciadas y el ancho de banda es variable de acuerdo a la modulación que se utiliza. La empresa ha venido trabajando las comunicaciones microonda con una modulación 16QAM a una velocidad de 2 Mbps y ancho de banda de 4 MHz para transmitir datos; cabe mencionar que estos valores son de un enlace de mínimo tráfico y poca utilización. La infraestructura VHF con MOTOTRBO tiene la capacidad de transmitir información digital de: monitoreo remoto de equipos, mensajes de texto, rastreo satelital y telemetría que requieren un ancho de banda superior al que utiliza la voz.

Tomando en cuenta estos antecedentes y que CANOPY también permite trabajar con 16QAM, ancho de banda y velocidades de transmisión variadas; se escoge dentro de la línea CANOPY el equipo que se ajusta a las características con las que opera actualmente la empresa.

De acuerdo a las características de dicho equipo, el ancho de banda con el que se trabajará es de 5MHz como muestra el anexo E, y es ajustable hasta 15MHz dependiendo de las necesidades del sistema.

2.5.2 DISEÑO DE LOS ENLACES

Para el diseño de los enlaces se utilizará los pasos detallados en el capítulo 1, en el punto 1.6.3 (página 81). Con el fin de cumplir con los requerimientos antes mencionados se plantearán tres escenarios:

- Enlace Sitio – Repetidora.

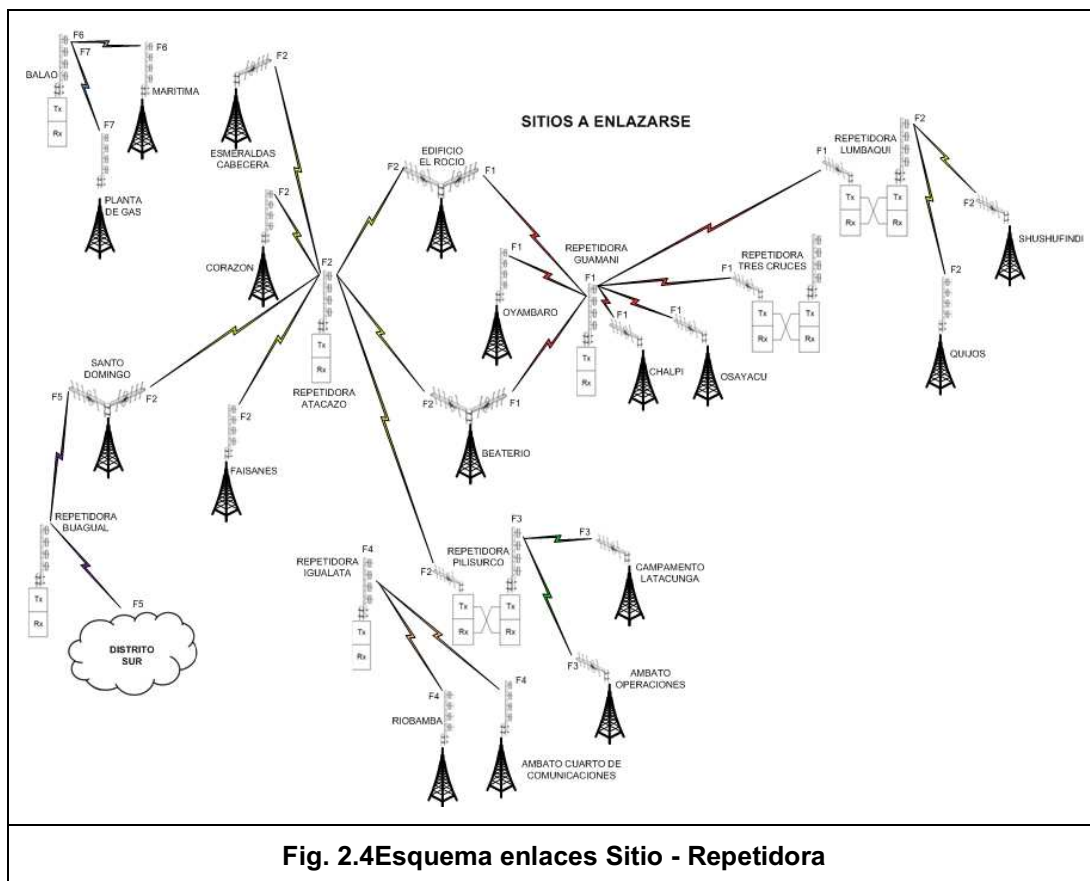
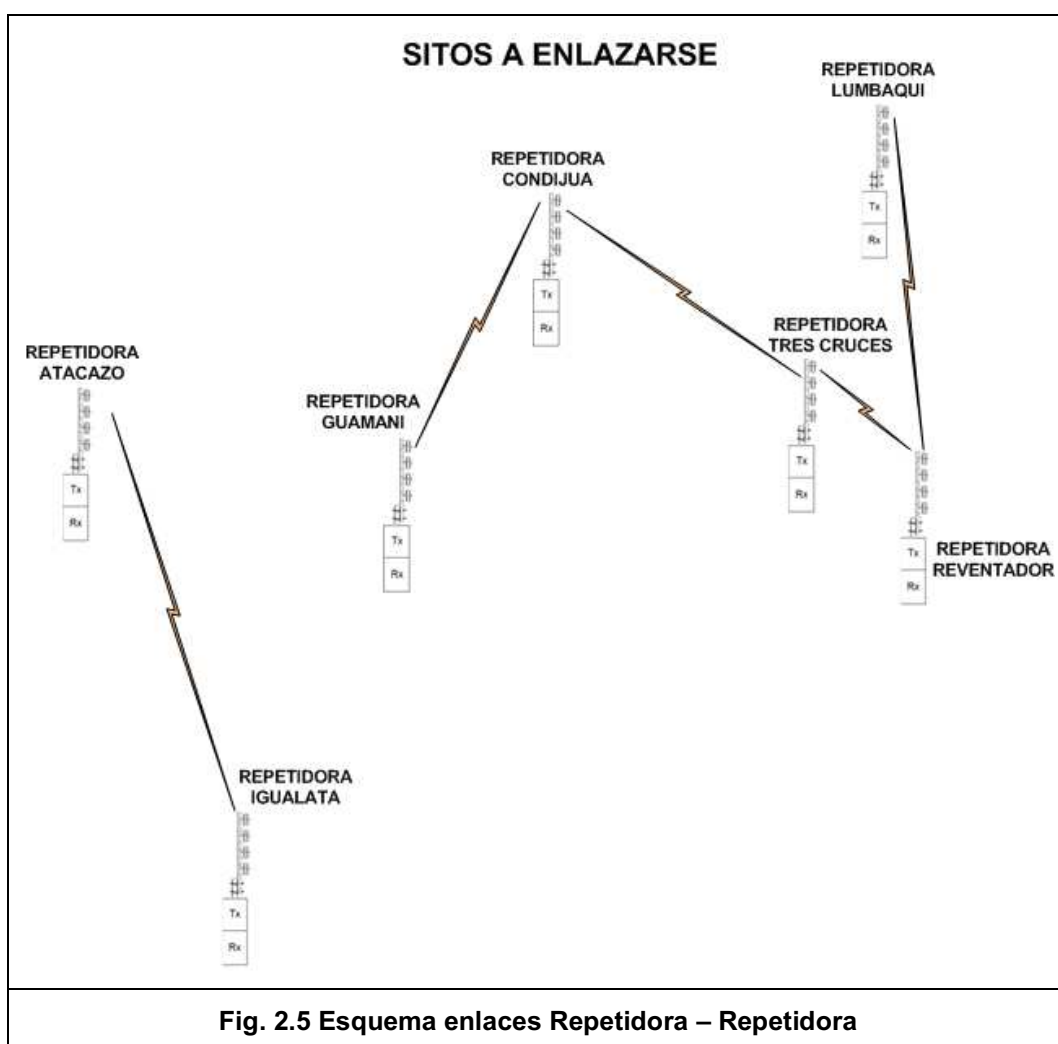


Fig. 2.4 Esquema enlaces Sitio - Repetidora

Elaborado por los autores

- Enlace Repetidora – Repetidora.



Elaborado por los autores

- Cobertura de las Repetidoras.

2.5.2.1 Enlace Sitio – Repetidora

2.5.2.1.1 Planificación del enlace

Para poder entender y realizar de mejor manera el enlace VHF, se dividió en ocho zonas a todo el Distrito Norte, tomando como referencia las repetidoras existentes y su cobertura. Cada zona llevará el nombre de la repetidora que da la cobertura.

➤ Zona 1: Lumbaqui

Repetidora	Terminal / Estación
Lumbaqui	Quijos
	Shushufindi

Tabla 2.42 Lugares que conforman la Zona 1

Elaborado por los autores

➤ Zona 2: Tres Cruces

Repetidora	Cobertura
Tres Cruces	Radios móviles a lo largo de la vía hacia El Chaco y El Salado

Tabla 2.43 Lugares que conforman la Zona 2

Elaborado por los autores

➤ Zona 3: Guamaní

Repetidora	Terminal / Estación
Guamaní	Beaterio
	Chalpi
	Ed. El Rocío
	Osayacu
	Oyambaro

Tabla 2.44 Lugares que conforman la Zona 3

Elaborado por los autores

➤ Zona 4: Atacazo

Repetidora	Terminal / Estación
Atacazo	Beaterio
	El Corazón

	Ed. El Rocío
	Esmeraldas Cabecera
	Faisanes
	Sto. Domingo

Tabla 2.45 Lugares que conforman la Zona 4

Elaborado por los autores

➤ Zona 5: Igualata

Repetidora	Terminal / Estación
Igualata	Ambato Comunicaciones
	Ambato Operaciones
	Riobamba
	Campamento Latacunga

Tabla 2.46 Lugares que conforman la Zona 5

Elaborado por los autores

➤ Zona 6: Balao

Repetidora	Terminal / Estación
Balao	Marítima
	Planta de Gas

Tabla 2.47 Lugares que conforman la Zona 6

Elaborado por los autores

➤ Zona 7: Bijagual

Repetidora	Terminal / Estación
Bijagual	Sto. Domingo

Tabla 2.48 Lugares que conforman la Zona 7

Elaborado por los autores

2.5.2.1.2 Características de los enlaces

➤ Banda de frecuencia

Dentro del rango de frecuencias que constituyen la banda de VHF (30 MHz a 300MHz), las comunicaciones de la Gerencia de Comercialización de la empresa EPPETROECUADOR operan en el rango de 136 MHz a 174 MHz.

➤ Características climáticas

Cada zona tiene distintas características climáticas, así:

Zona	Tipo de Clima
Uno – Lumbaqui	Tropical Húmedo
Dos – Tres Cruces	Tropical Húmedo
Tres – Guamaní	Templado de montaña
Cuatro – Atacazo	Subtropical –Templado de montaña
Cinco – Igualata	Templado seco
Seis – Balao	Marítimo templado
Siete – Bijagual	Subtropical

Tabla 2.49 Tipos de clima por zona

Fuente: INAMHI

Elaborado por los autores

➤ Especificaciones técnicas de los equipos de radio

Ver anexo C.

➤ Tipo y ganancia de las antenas

Se utilizará tres tipos de antenas: Yagi UDA, dipolo doblado y látigo, las dos primeras se emplearán en las repetidoras y estaciones, y la tipo látigo en los autos.

- Látigo



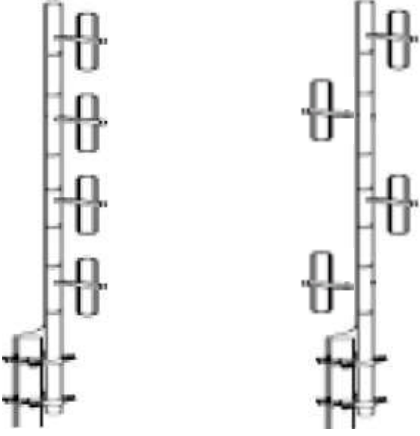
ESPECIFICACIONES	
Marca	Maxrad
Modelo	MHB5800
Frecuencia	144 – 174 MHz
Impedancia nominal	50 Ω
Ganancia	3 dBi
Potencia de entrada	200 W

Tabla 2.50 Características de la antena Látigo

Fuente: Especificaciones de la Antena

Elaborado por los autores

- Arreglo de dipolos



ESPECIFICACIONES	
Marca	Decibel Products
Modelo	DB-222
Frecuencia	138 – 174 MHz y 220 – 222 MHz
Ancho de banda	10 MHz
Impedancia nominal	50 Ω
Ganancia	6 dBi omnidireccional y 9 dBi direccional

Polarización	Vertical
Potencia de entrada	500 W

Tabla 2.51 Características de la antena Dipolo doblado

Fuente: Especificaciones de la Antena

Elaborado por los autores

- Yagi –UDA

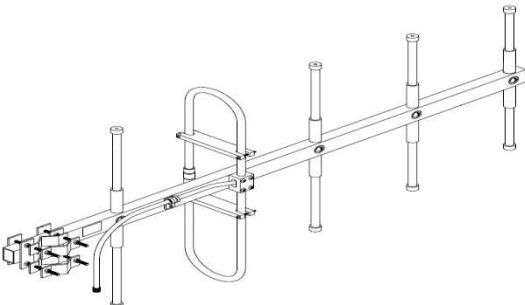
	
ESPECIFICACIONES	
Marca	Decibel Products
Modelo	DB-292
Frecuencia	150 – 174 MHz
Ancho de banda	10 MHz
Impedancia nominal	50 Ω
Ganancia	9 dBi
Polarización	Vertical
Potencia de entrada	350 W

Tabla 2.52 Características de la antena Yagi UDA

Fuente: Especificaciones de la Antena

Elaborado por los autores

- Ubicación geográfica de las estaciones y repetidoras

La descripción de los sitios de las repetidoras y estaciones, se la realizará teniendo en cuenta la distribución por zonas que se detalló al inicio de este subcapítulo.

- Zona 1: Lumbaqui

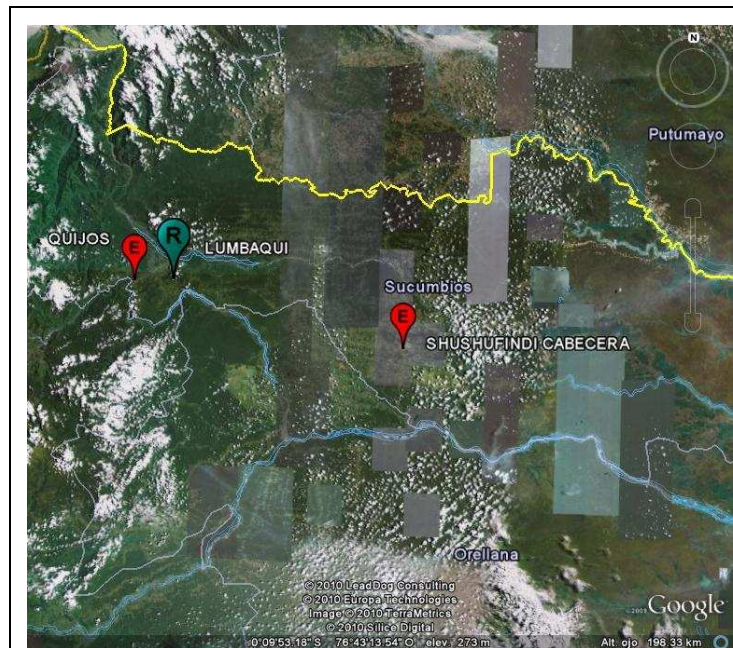


Fig. 2.6 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 1

Fuente: Software Google Earth

Elaborado por los autores

- Zona 2: Tres Cruces

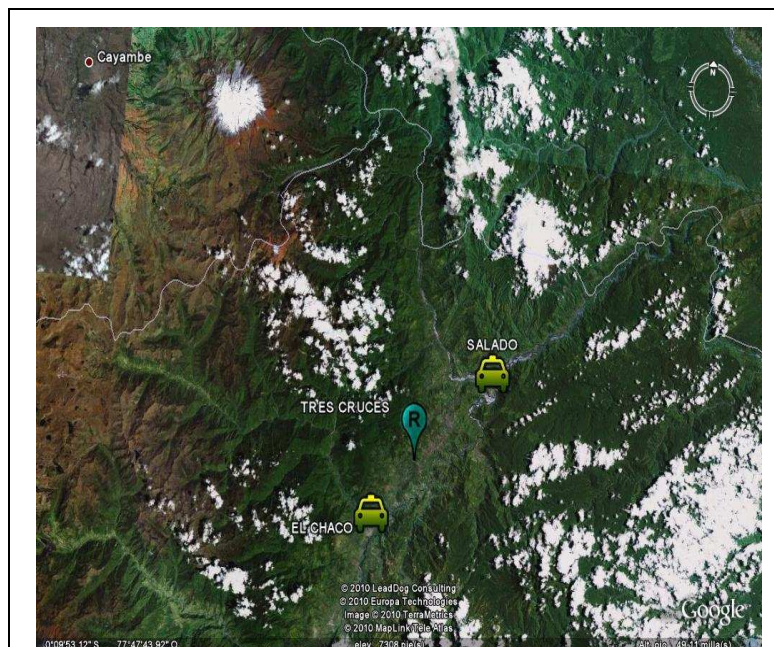


Fig. 2.7 Ubicación de la repetidora y cobertura de la Zona 2

Fuente: Software Google Earth

Elaborado por los autores

- Zona 3: Guamaní

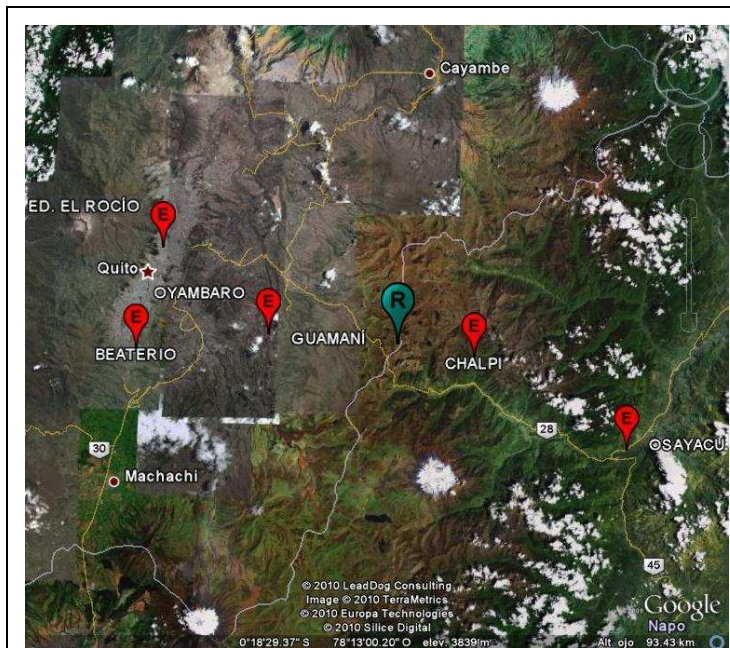


Fig. 2.8 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 3

Fuente: Software Google Earth

Elaborado por los autores

- Zona 4: Atacazo

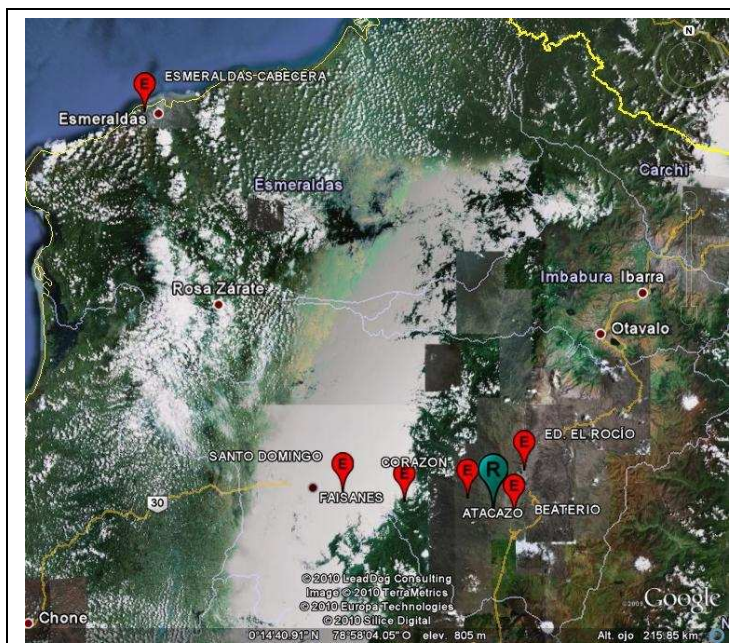


Fig. 2.9 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 4

Fuente: Software Google Earth

Elaborado por los autores

- Zona 5: Igualata

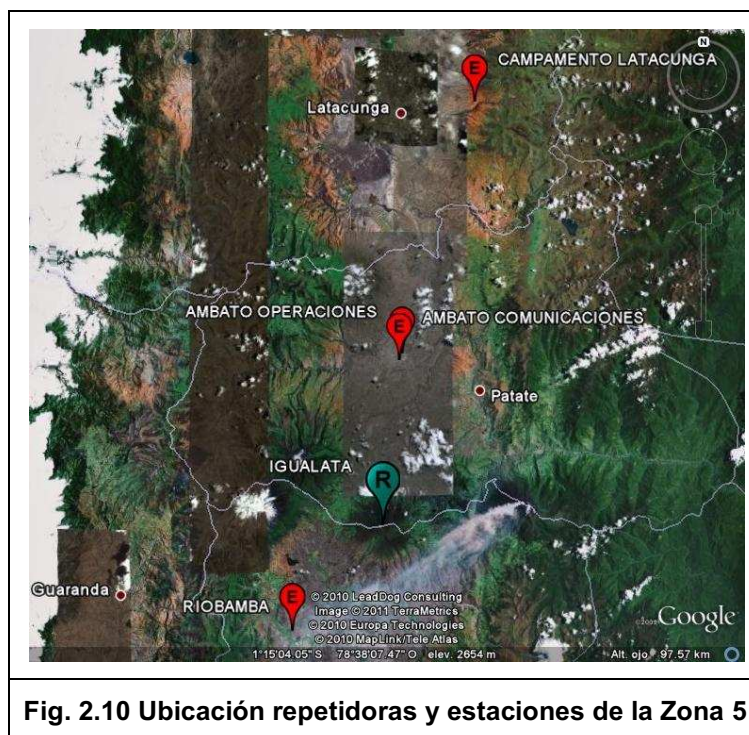


Fig. 2.10 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 5

Fuente: Software Google Earth

Elaborado por los autores

- Zona 6: Balao

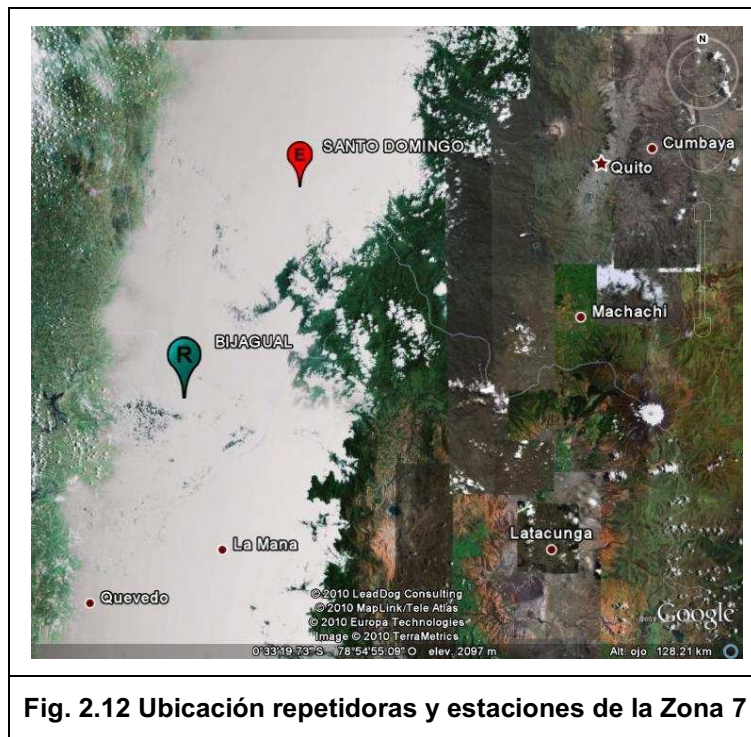


Fig. 2.11 Ubicación repetidoras y estaciones de la Zona 6

Fuente: Software Google Earth

Elaborado por los autores

- Zona 7: Bijagual



Fuente: Software Google Earth

Elaborado por los autores

2.5.2.1.3 Presupuesto del enlace

Toda la información técnica que se requiera de los equipos para realizar el presupuesto del enlace, se tomará del anexo C. El diseño se lo realizará con los valores críticos de los diferentes parámetros, para simular el peor escenario del enlace.

➤ Potencia de Transmisión

- Potencia del Repetidor: De 25 W a 45 W.
- Potencia del Radio Móvil: De 1W a 25 W (potencia baja) y de 25 W a 45W (potencia alta).

➤ Umbral o sensibilidad del receptor

- Sensibilidad del Repetidor: Para un 5% de BER, 0.3 μ V.
- Sensibilidad del Radio Móvil: Para un 5% de BER, 0.3 μ V.

➤ Pérdidas en la propagación

- Pérdidas en el cable

El cable o guía de onda utilizado para las antenas dipolo doblado y yagi UDA es el RG8, que tiene una atenuación de 0.08 dB / metro. Y para la antena látigo se usa el cable RG58, que tiene una atenuación de 0.23 dB / metro; estos datos son tomados de acuerdo a la figura 1.34 (página 85).

- Pérdidas en los conectores

Se estima 0.25 dB de pérdida para cada conector en el cableado. Se utilizará dos conectores por sitio, es decir, cuatro conectores por enlace.

- Pérdida por propagación en espacio libre

La frecuencia que se utilizará para determinar las pérdidas, es un valor promedio entre las frecuencias mínima y máxima, que son: 136 MHz y 174 MHz respectivamente, obteniéndose el resultado de 155 MHz. Y de acuerdo a la ecuación 1.12 (página 87), las pérdidas por espacio libre son:

$$FSL_{(dB)} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147.558$$

Zona	Enlace	Distancia d en Km	Frecuencia f en MHz	Pérdidas FSL en dB
1	Lumbaqui – Quijos	12.670	155	98.312
	Lumbaqui – Shushufindi	77.578	155	114.051
2	Tres Cruces – El Chaco	9.052	155	95.392
	Tres Cruces – El Salado	11.706	155	97.625

3	Guamaní – Beaterio	38.770	155	108.027
	Guamaní – Chalpi	11.390	155	97.387
	Guamaní – Ed. El Rocío	37.660	155	107.774
	Guamaní – Osayacu	37.840	155	107.816
	Guamaní – Oyambaro	19.270	155	101.954
4	Atacazo – Beaterio	9.435	155	95.751
	Atacazo – Corazón	10.860	155	96.963
	Atacazo – Ed. El Rocío	22.003	155	103.106
	Atacazo – Esmeraldas Cabecera	186.860	155	121.687
	Atacazo – Faisanes	30.114	155	105.830
	Atacazo – Santo Domingo	51.950	155	110.568
5	Igualata – Ambato Comunicaciones	25.070	155	104.240
	Igualata – Ambato Operaciones	26.046	155	104.571
	Igualata – Riobamba	21.280	155	102.816
	Igualata – Campamento Latacunga	65.660	155	112.603
6	Balao – Marítima	2.291	155	83.457
	Balao – Planta de Gas	2.709	155	84.913
7	Bijagual – Santo Domingo	49.764	155	110.195

Tabla 2.53 Pérdidas por espacio libre en los diferentes enlaces

Elaborado por los autores

- Pérdidas por vegetación y obstáculos y Pérdidas por gases, vapores atmosféricos y lluvia

Estas pérdidas solo afectan a frecuencias en el orden de los GHz, por lo que no se considerarán en este diseño.

➤ Antenas

Se describe el tipo de antena que se utilizará en cada uno de los enlaces de las diferentes zonas. Por requerimiento de la empresa y el buen estado de las antenas, se las reutilizará para el diseño digital.

Lugar	Tipo de Antena	Ganancia
Lumbaqui	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Quijos	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Shushufindi	Yagi UDA	9 dBi
Tres Cruces	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
El Chaco	Látigo	3 dBi
El Salado	Látigo	3 dBi
Guamaní	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Beaterio	Yagi UDA	9 dBi
Chalpi	Yagi UDA	9 dBi
Ed. El Rocío	Yagi UDA	9 dBi
Osayacu	Yagi UDA	9 dBi
Oyambaro	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Atacazo	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Corazón	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Esmeraldas Cabecera	Yagi UDA	9 dBi
Faisanes	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Santo Domingo	Yagi UDA	9 dBi
Ambato Operaciones	Yagi UDA	9 dBi
Campamento Latacunga	Yagi UDA	9 dBi
Bijagual	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Igualata	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Ambato Comunicaciones	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Riobamba	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Balao	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Marítima	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi
Planta de Gas	Dipolo Doblado Omnidireccional	6 dBi

Tabla 2.54 Tipos de antenas utilizadas en los diferentes enlaces

Elaborado por los autores

➤ Cálculo del PIRE

Tomando como referencia la ecuación 1.13 (página 92), el PIRE para cada uno de los enlaces es:

$$\text{PIRE (dBm)} = \text{Potencia del transmisor (dBm)} - \text{Pérdidas en el cable y conectores (dB)} + \text{Ganancia de antena (dBi)}$$

Donde:

- Potencia del transmisor (repetidora, radio móvil): 25 vatios potencia baja, 45 vatios potencia alta.

Mediante la ecuación 1.2 (página 38) se determina que los 25 vatios corresponden a 44 dBm y que 45 vatios corresponden a 46.5 dBm.

- Pérdidas en el cable y conectores

En los conectores se tiene una pérdida de 0,5 dB por sitio.

Las pérdidas en el cable dependerán de la altura a la que se encuentre ubicada la antena y de la cantidad de cable que se deja para respaldo, por cualquier eventualidad en el mismo, el área de comunicaciones de la empresa tiene como norma dejar 20m a las antenas dipolo y yagi; y 5m a la antena látigo como respaldo. La longitud total del cable se multiplica por el factor de pérdidas en el cable que se determinó en el punto 2.5.2.1.3 (página 180), obteniéndose las pérdidas totales en el cable.

La justificación sobre cómo se obtienen las alturas de las antenas se explicará en cada uno de los enlaces.

Las alturas de las antenas y las pérdidas por cable y conectores se detallan en la siguiente tabla:

Lugar	Altura de la Antena (m)	Longitud total de cable (m)	Pérdida en los cables (dB)	Pérdida en los conectores (dB)	Pérdida Total (dB)
Lumbaqui	24	44	3.52	0.50	4.02
Quijos	18	38	3.04	0.50	3.54
Shushufindi	10	30	2.40	0.50	2.90
Tres Cruces	36	56	4.48	0.50	4.98
El Chaco	2.5	7.5	1.725	0.50	2.225
El Salado	2.5	7.5	1.725	0.50	2.225
Guamaní	42	62	4.96	0.50	5.46
Beaterio	30	50	4.00	0.50	4.50
Chalpi	15	35	2.80	0.50	3.30
Ed. El Rocío	40	60	4.80	0.50	5.30
Osayacu	21	41	3.28	0.50	3.78
Oyambaro	18	38	3.04	0.50	3.54
Atacazo	36	56	4.48	0.50	4.98
Corazón	10	30	2.40	0.50	2.90
Esmeraldas Cabecera	10	30	4.96	0.50	2.90
Faisanes	36	56	4.48	0.50	4.98
Santo Domingo	21	41	3.28	0.50	3.78
Igualata	30	50	4.00	0.50	4.50
Ambato Comunicaciones	36	56	4.48	0.50	4.98
Ambato Operaciones	12	32	2.56	0.50	3.06
Riobamba	36	56	4.48	0.50	4.98
Campamento Latacunga	10	30	2.40	0.50	2.90
Balao	42	62	4.96	0.50	5.46
Marítima	20	40	3.20	0.50	3.70
Planta de Gas	20	40	3.20	0.50	3.70
Bijagual	36	56	4.48	0.50	4.98

Tabla 2.55 Pérdidas en cables y conectores

Elaborado por los autores

Con los valores anteriores, el PIRE para cada sitio es:

Zona	Lugar	Potencia del transmisor (dBm)	Pérdida en cables y conectores (dB)	Ganancia de la antena (dBi)	PIRE (dBm)
1	Lumbaqui	44	4.02	6	45.98
	Quijos	44	3.54	6	46.46
	Shushufindi	44	2.90	9	50.10
3	Guamaní	44	5.46	6	47.04
	Beaterio	44	4.50	9	51.00
	Chalpi	44	3.30	9	52.20
	Ed. El Rocío	44	5.30	9	50.20
	Osayacu	44	3.78	9	51.72
	Oyambaro	44	3.54	6	48.96
4	Atacazo	44	4.48	6	45.02
	Beaterio	44	4.50	9	48.50
	Corazón	44	2.90	6	47.10
	Ed. El Rocío	44	5.30	9	47.70
	Esmeraldas Cabecera	44	4.96	9	50.10
	Faisanes	44	4.48	6	45.02
	Santo Domingo	44	3.28	9	49.22
5	Igualata	44	4.00	6	45.50
	Ambato Comunic.	44	4.48	6	45.02
	Ambato Operaciones	44	2.56	9	49.94
	Riobamba	44	4.48	6	45.02
	Campamento Latacunga	44	2.40	9	50.10
6	Balao	44	4.96	6	44.54
	Marítima	44	3.20	6	46.30
	Planta de Gas	44	3.20	6	46.30
7	Bijagual	44	4.48	6	45.02
	Santo Domingo	44	3.28	9	49.22

Tabla 2.56 PIRE por sitio

Elaborado por los autores

Para la Zona 2, no se calculará el parámetro del PIRE debido a que se trata de un enlace de cobertura y no punto a punto.

En la Zona 3, el PIRE fue calculado con potencia del transmisor alta (45 vatios), lo que se explicará en el anexo F, en los enlaces correspondientes a esta Zona.

2.5.2.1.4 Parámetros del enlace

El análisis de los parámetros del enlace se lo realizará por zonas y por enlace punto a punto.

➤ Zona 1: Enlace Lumbaqui – Quijos

- Requerimientos del Enlace Lumbaqui – Quijos

El presente enlace tiene como objetivo brindar comunicación VHF a la radio base ubicada en la Estación Quijos, con la finalidad de que se pueda enlazar con las demás radio bases y móviles del Poliducto Shushufindi – Quito.

- Solución Propuesta

Para solventar los requerimientos del presente enlace, se decide mantener la ubicación actual de los sitios; al igual que el tipo, polarización y alturas de las antenas. La repetidora de Lumbaqui operará como RT.

- Perfil Topográfico

El perfil topográfico se lo obtendrá mediante un software de simulación, Radio Mobile, cuyos datos son aceptados por la Coordinación de Infraestructura y Comunicaciones de EPPETROECUADOR. La información que requiere el programa se detalla a continuación:

Coordenadas Repetidora Lumbaqui:

Latitud: 00° 00' 34" S

Longitud: 77° 19' 32" O

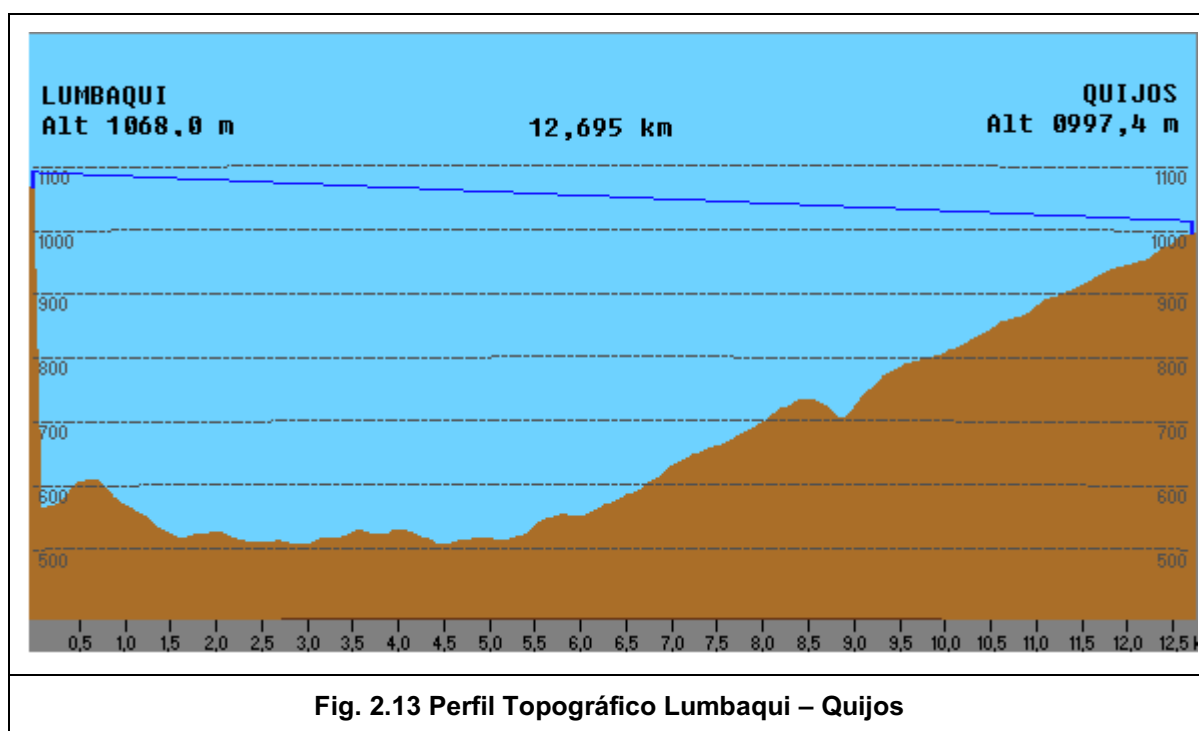
Altura: 1068 msnm

Coordenadas Estación Quijos:

Latitud: 00° 00' 55" S

Longitud: 77° 26' 22" O

Altura: 997.1 msnm



Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

- Punto de reflexión

La reflexión de las ondas en un enlace producen interferencias de la información, debido a que, la onda que rebota en la superficie terrestre llega al receptor con menor potencia y desfasada con respecto a la onda que se propaga por línea de

vista, por lo que se evitará dichos puntos de reflexión, procurando tener línea de vista ubicando las antenas en sitios altos y además utilizando antenas direccionales.

- Zonas de Fresnel

Para la determinación del radio de la primera zona de Fresnel, se tomará como referencia el punto donde está ubicada la obstrucción más alta a lo largo del perfil topográfico, y basándose en la figura 1.40 (página 95) y en la ecuación 1.8 (página 79), el radio de la primera zona de Fresnel es:

$$f = 0.155 \text{ GHz}$$

$$d_1 = 8.5 \text{ Km}$$

$$d_2 = 4.195 \text{ Km}$$

$$d = 12.695 \text{ Km}$$

$$F_n = 17.32 \times \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{d \times f}} = r_n$$

$$r_1 = 17.32 \times \sqrt{\frac{8.5 \times 4.195}{12.695 \times 0.155}}$$

$$r_1 = 73.729 \text{ m}$$

- Margen de despeje

Para el cálculo del margen de despeje es necesario primero determinar la altura de despeje en la elevación más alta, utilizando la ecuación 1.15 (página 96) y la figura 1.40 (página 95).

$$d_1 = 8.5 \text{ Km}$$

$$d_2 = 4.195 \text{ Km}$$

$$d = 12.695 \text{ Km}$$

$$h_1 = 1092 \text{ m}$$

$$h_2 = 1015.4 \text{ m}$$

$$h_c = 733 \text{ m}$$

$$a = 6370 \text{ Km}$$

$$k = 4/3$$

$$h_{\text{desp}} = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - \left(h_c + \frac{d_1 d_2}{2ka} \right)$$

$$h_{\text{desp}} = 1092 + \frac{8.5}{12.695}(1015.4 - 1092) - \left(733 + \frac{(8500)(4195)}{2(1.333)(6370000)} \right)$$

$$h_{\text{desp}} = 305.615 \text{ m}$$

Los valores de las alturas utilizadas para el cálculo de la altura de despeje se obtienen del perfil topográfico de la figura 2.13; al igual que los valores de las distancias utilizadas en el cálculo de las zonas de Fresnel y la altura de despeje; dichas distancias hacen referencia al obstáculo más alto.

Debido a que la $h_{\text{desp}} > 0$, no existe obstrucción por cumbre, por lo tanto, se puede calcular el margen de despeje de la zona de Fresnel, que de acuerdo a la ecuación 1.16 (página 96) es:

$$M_{D\%} = \left(1 + \frac{h_{\text{desp}} - r_1}{r_1} \right) \times 100$$

$$M_{D\%} = \left(1 + \frac{305.615 - 73.729}{73.729} \right) \times 100$$

$$M_{D\%} = 414.511\%$$

El margen de despeje es superior al 60% que es lo mínimo requerido, por lo que la zona de Fresnel se considera despejada.

- Altura de las antenas

Debido a que el enlace Lumbaqui – Quijos se encuentra despejado, se mantendrá las alturas de las antenas, es decir:

Altura de la antena de Lumbaqui: $h_a = 24$ m.

Altura de la antena de Quijos: $h_b = 18$ m.

- Potencia nominal de recepción

La potencia nominal de recepción se calcula mediante la ecuación 1.10 (pág. 83).

$$P_{inRX} = \text{Potencia del transmisor [dBm]} - \text{Pérdida en el cable TX [dB]} + \text{ganancia de antena TX [dBi]} - \text{Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto [dB]} + \text{ganancia de antena RX [dBi]} - \text{Pérdidas en el cable del RX [dB]} - \text{Pérdidas y atenuaciones adicionales [dB]} = \text{Potencia nominal del receptor}$$

Lumbaqui:

Potencia del Transmisor = 44 dBm (ver tabla 2.56)

Pérdida en el cable y conectores del Tx = 4.02 dB (ver tabla 2.56)

Ganancia de antena Tx = 6 dBi (ver tabla 2.56)

Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto = 98.312 dB (ver tabla 2.53)

Ganancia de antena Rx = 6 dBi (ver tabla 2.56)

Pérdidas en el cable y conectores del Rx = 3.54 dB (ver tabla 2.56)

$$P_{inRX} = -49.872 \text{ dBm}$$

Quijos:

Potencia del Transmisor = 44 dBm (ver tabla 2.56)

Pérdida en el cable y conectores del Tx = 3.54 dB (ver tabla 2.56)

Ganancia de antena Tx = 6 dBi (ver tabla 2.56)

Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto = 98.312 dB (ver tabla 2.53)

Ganancia de antena Rx = 6 dBi (ver tabla 2.56)

Pérdidas en el cable y conectores del Rx = 4.02 dB (ver tabla 2.56)

$$P_{inRX} = -49.872 \text{ dBm}$$

- Margen de desvanecimiento y confiabilidad del enlace

Para el cálculo del margen de desvanecimiento, se necesita expresar el umbral de recepción o sensibilidad del receptor en dBm, para lo cual se utilizará la siguiente ecuación.

$$U_{\text{dBm}} = 10 \log_{10} \left(\frac{U^2}{R \times p_0} \right)$$

Ecuación 2.1

Donde:

U = Sensibilidad del equipo en voltios = 0.3 μ V.

R = Impedancia característica = 50 Ω .

p_0 = potencia de referencia = 1 mW.

Entonces, el umbral de recepción en dBm es:

$$U_{\text{dBm}} = -117.447 \text{ dBm}$$

Reemplazando este valor en la ecuación 1.18 (página 98), y utilizando el valor de la potencia nominal del receptor calculada en el punto anterior, el margen de desvanecimiento es:

$$MD_{\text{(dB)}} = P_{\text{in}}(\text{dBm}) - U_{\text{Rx}}(\text{dBm})$$

$$MD_{\text{(dB)}} = -49.852 - (-117.447)$$

$$\boxed{MD = 67.575 \text{ dB}}$$

De acuerdo a la tabla 1.2 (página 98), la confiabilidad del enlace es superior al 99.999 %, que da un tiempo de indisponibilidad menor a 5,23 minutos en el año.

- Análisis de los resultados obtenidos

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Zona de Fresnel:

El margen de despeje tiene un valor de 414.511%, que es superior al 60% mínimo requerido para asegurar que la primera zona de Fresnel está despejada.

Potencia que llega al receptor:

Comparando la potencia nominal de recepción (-49.872 dBm) con la sensibilidad del equipo (-117.447 dBm), se observa que es mucho mayor que el umbral mínimo que necesita el receptor para funcionar.

Confiabilidad y disponibilidad del enlace:

El enlace tiene una confiabilidad alta, llegando a ser mayor al 99.999%, que se traduce en un tiempo de indisponibilidad menor que 5.23 minutos en el año, que es un valor aceptable.

Por los resultados expuestos, se llega a la conclusión que el enlace es factible de realizarse y que el mismo cumplirá con todos los requerimientos.

- Enlace Lumbaqui – Quijos en Radio Mobile

Con la ayuda de Google Earth y los datos proporcionados por la empresa, se obtienen las coordenadas de las ubicaciones de los diferentes sitios, las mismas que son ingresadas en Radio Mobile.

A continuación se detallará el procedimiento, paso por paso, para realizar un enlace en Radio Mobile:

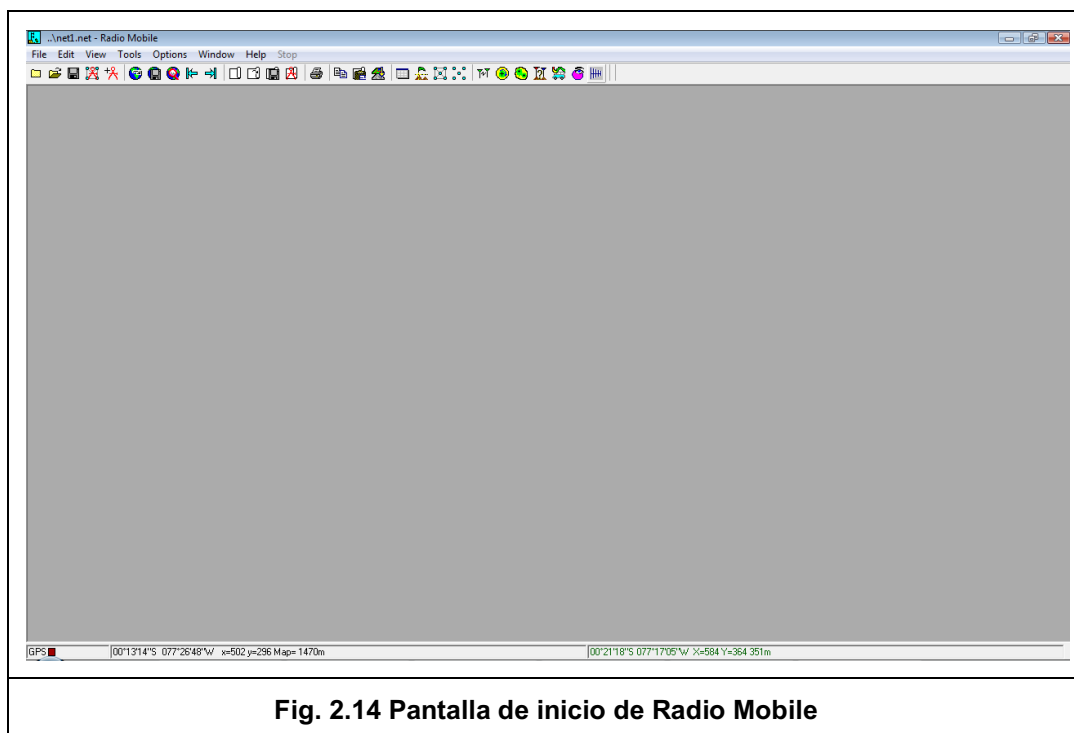


Fig. 2.14 Pantalla de inicio de Radio Mobile

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

1. En el menú principal se selecciona New networks de la opción File.

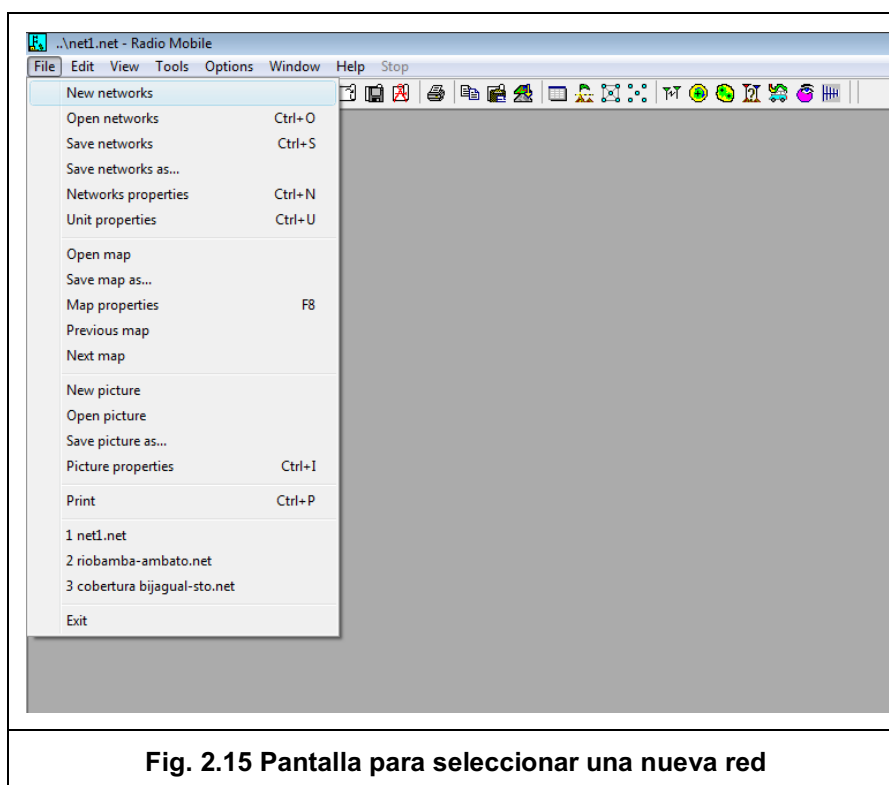
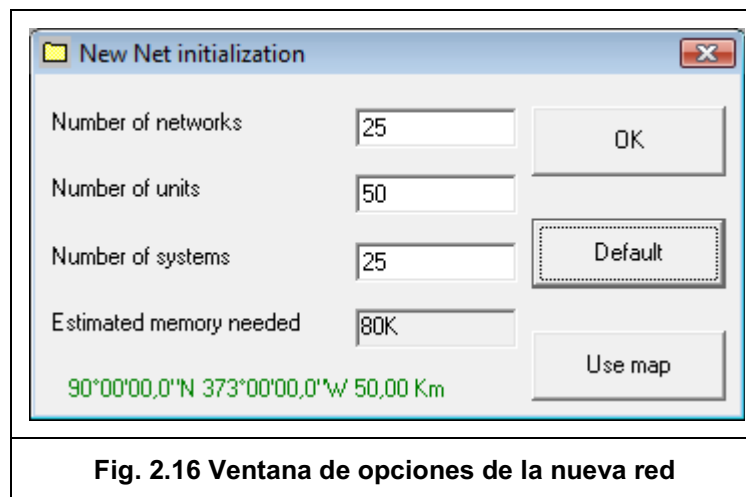


Fig. 2.15 Pantalla para seleccionar una nueva red

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

2. Se abre una ventana que corresponde a New networks, en la cual se selecciona la opción "Default" más OK.

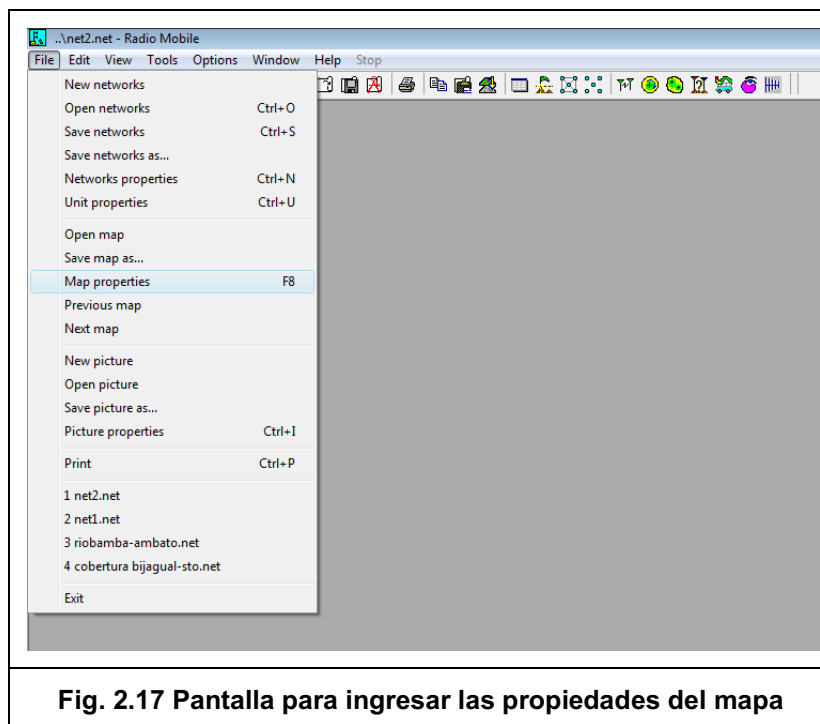


Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

3. Ingreso de las coordenadas del punto medio del enlace.

En el menú principal se selecciona Map properties de la opción File.



Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Se escoge la opción “Enter LAT LON or QRA” en donde se ingresa las coordenadas del punto medio y finalmente se hace clic en “Extract”.

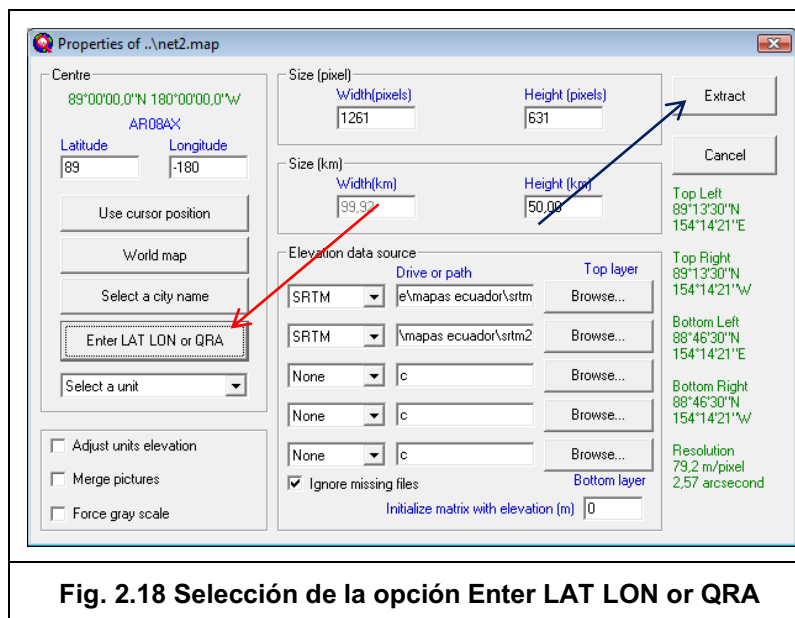


Fig. 2.18 Selección de la opción Enter LAT LON or QRA

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

En el enlace Lumbaqui – Quijos el punto medio aproximadamente es: 00° 00' 32.69" S, 77° 22' 30.14" O.

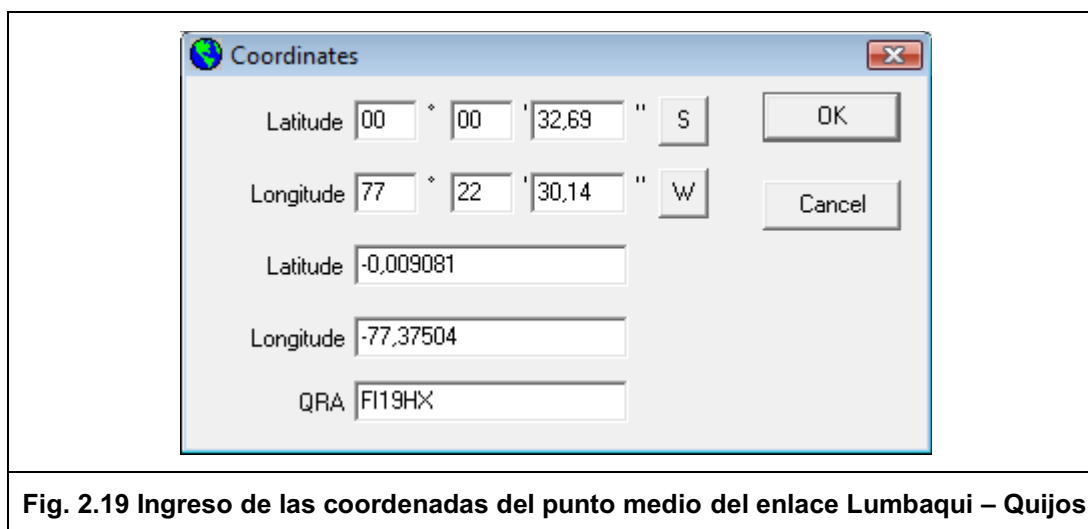
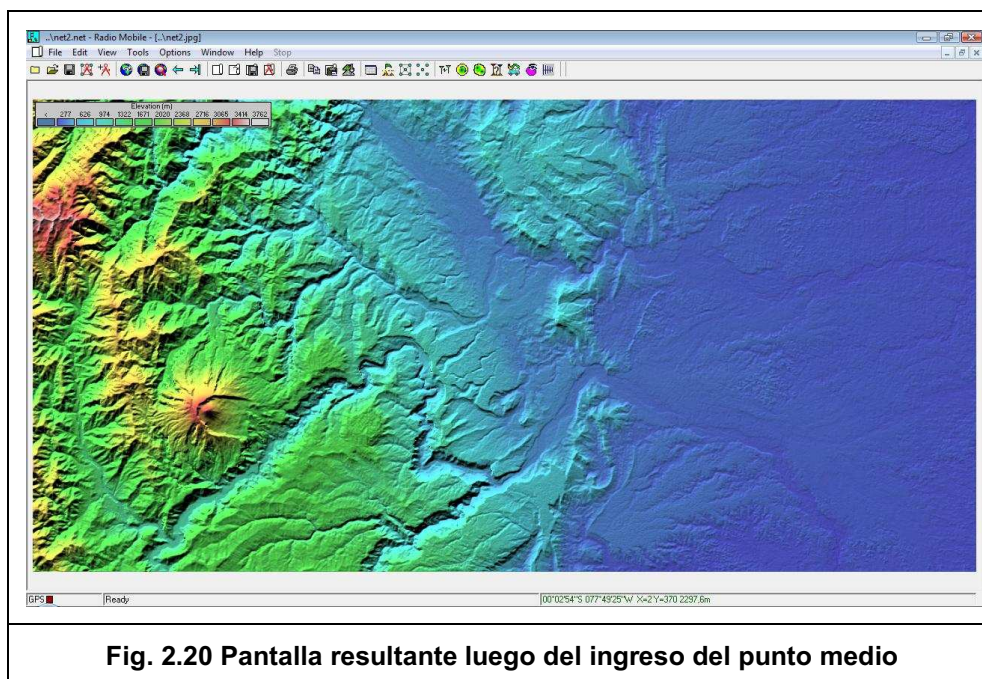


Fig. 2.19 Ingreso de las coordenadas del punto medio del enlace Lumbaqui – Quijos

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

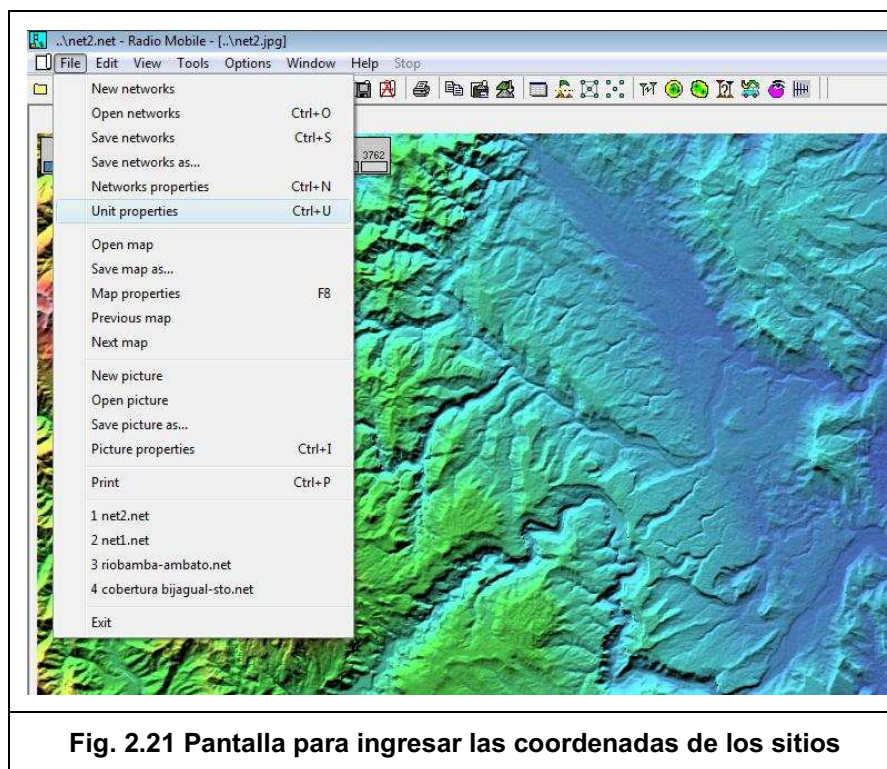


Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

4. Ingreso de las coordenadas de los sitios

En el menú principal se selecciona Unit properties de la opción File.



Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Del mismo modo que se procedió con los datos del punto medio, se ingresan las coordenadas de cada uno de los sitios, en la opción “Enter LAT LON or QRA”, además del nombre del sitio. Cada uno de los lugares se lo asocia en una unidad diferente.

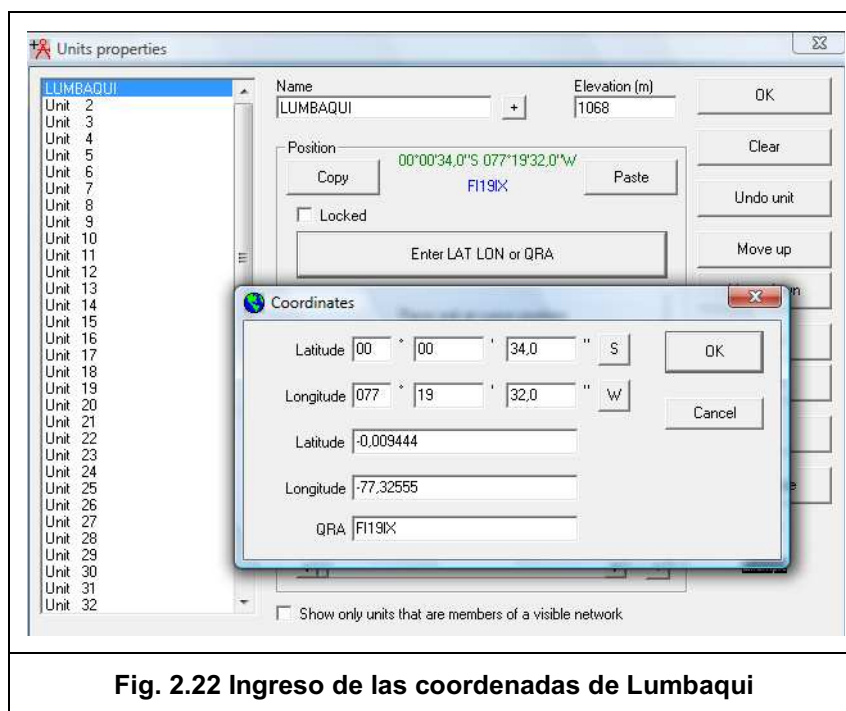


Fig. 2.22 Ingreso de las coordenadas de Lumbaqui

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

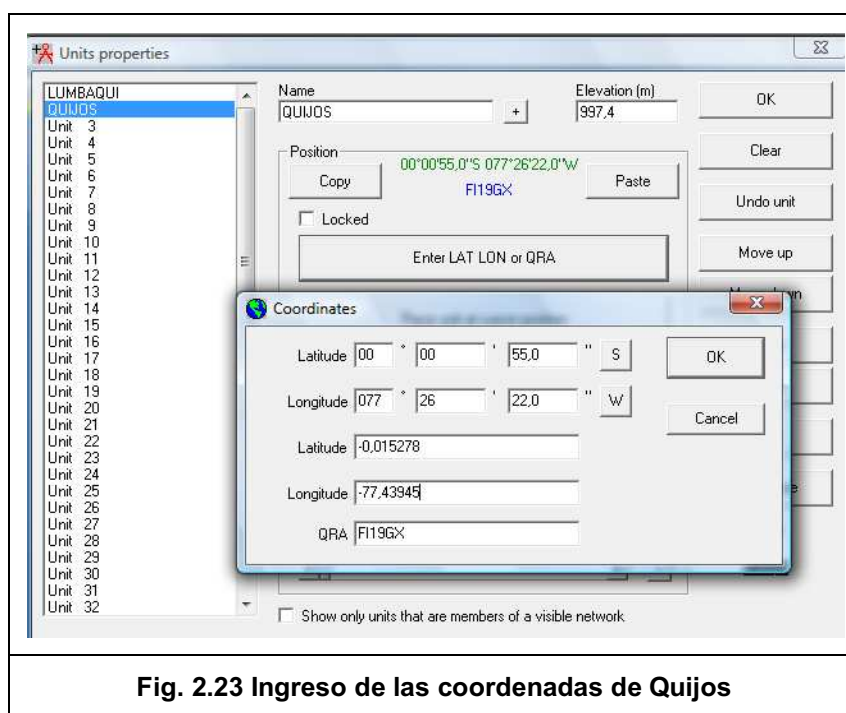
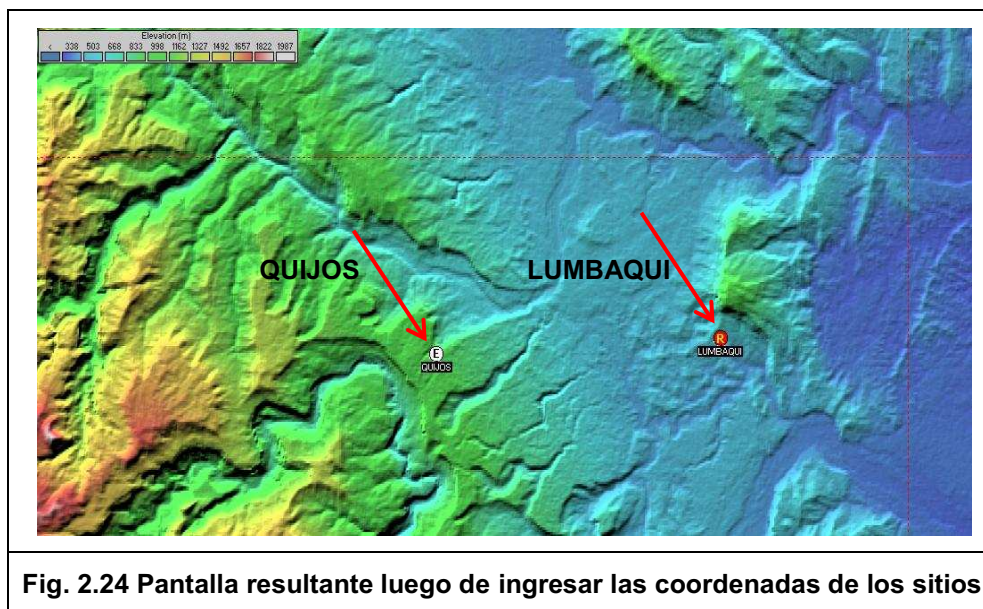


Fig. 2.23 Ingreso de las coordenadas de Quijos

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Luego de ingresar las coordenadas, se da clic en la opción OK, y se desplegará la siguiente pantalla:

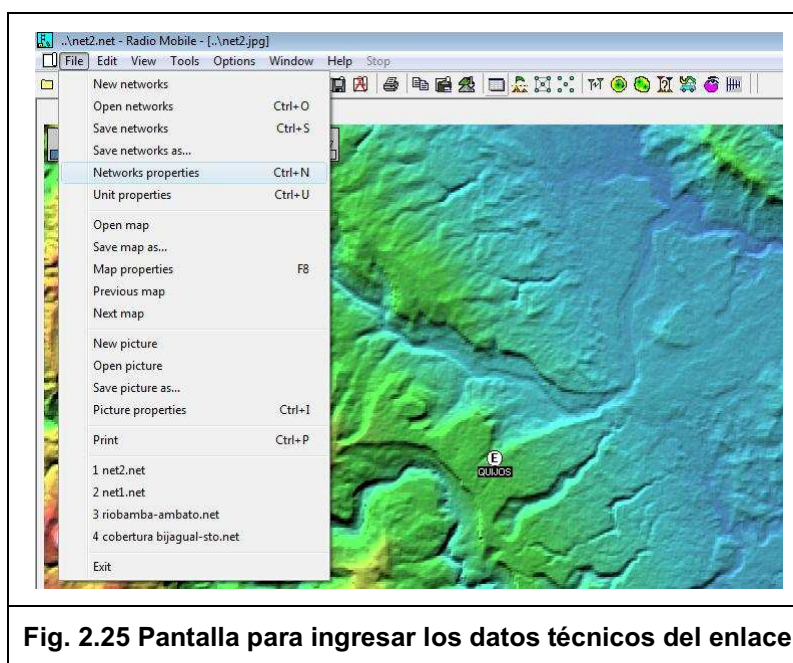


Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

5. Ingreso de las propiedades del enlace

En el menú principal se selecciona Network properties de la opción File.



Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Se ingresan los datos del enlace, de acuerdo a los requerimientos del programa, así:

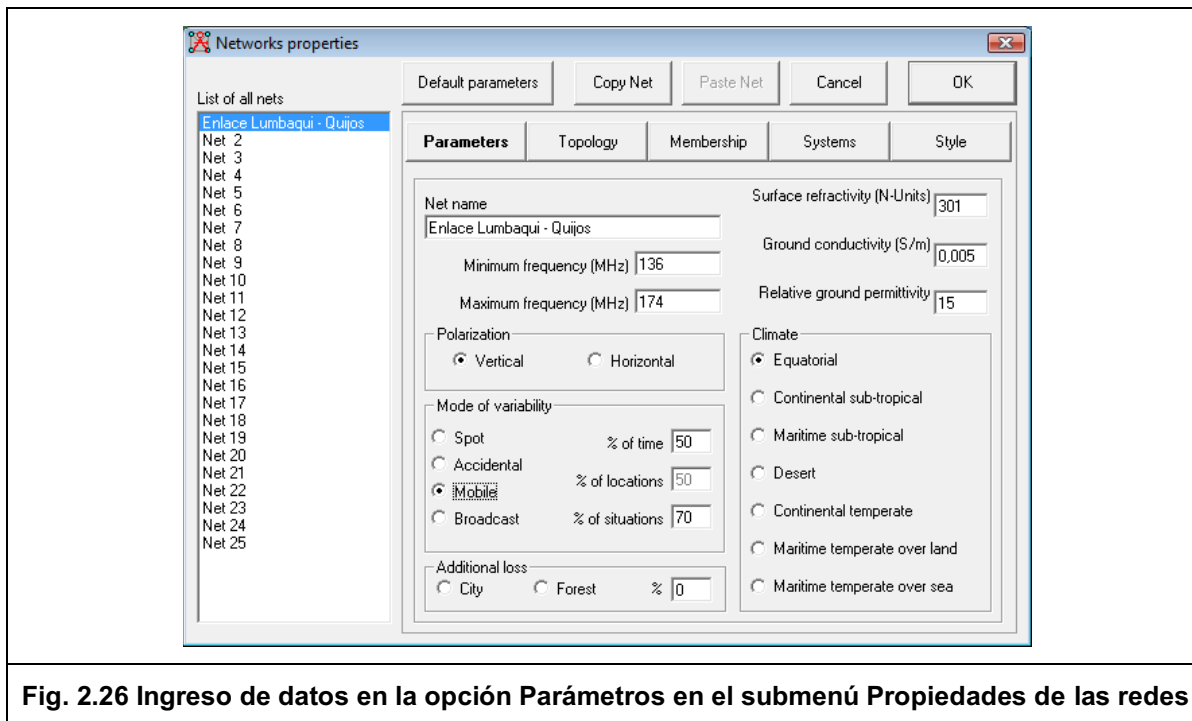


Fig. 2.26 Ingreso de datos en la opción Parámetros en el submenú Propiedades de las redes

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

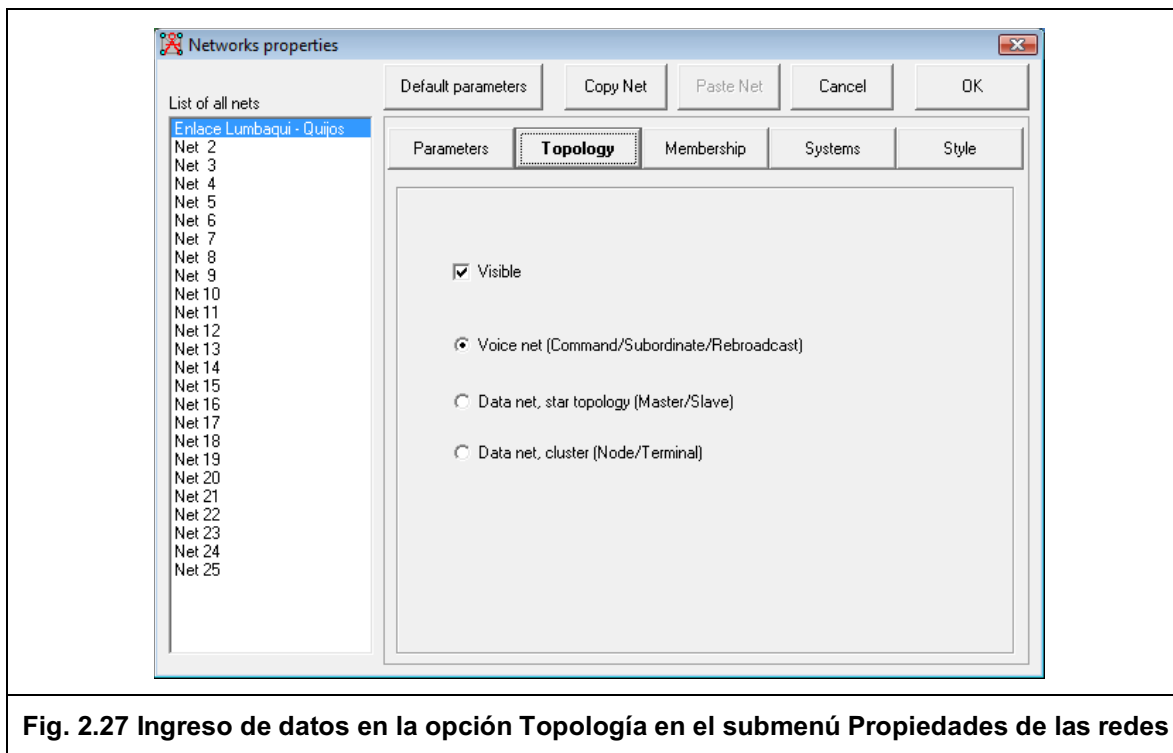


Fig. 2.27 Ingreso de datos en la opción Topología en el submenú Propiedades de las redes

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Se elige por cada sitio un sistema diferente, y se le configura con los parámetros de cada uno.

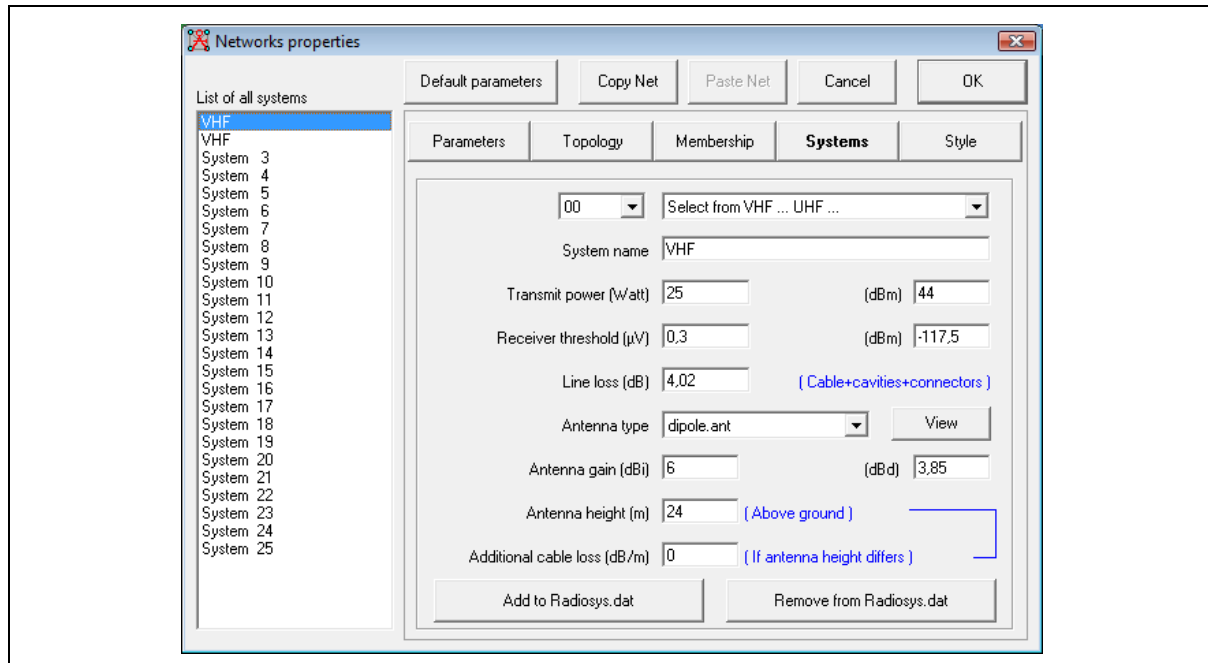


Fig. 2.28 Ingreso de datos en la opción Sistemas en el submenú Propiedades para Lumbaqui

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

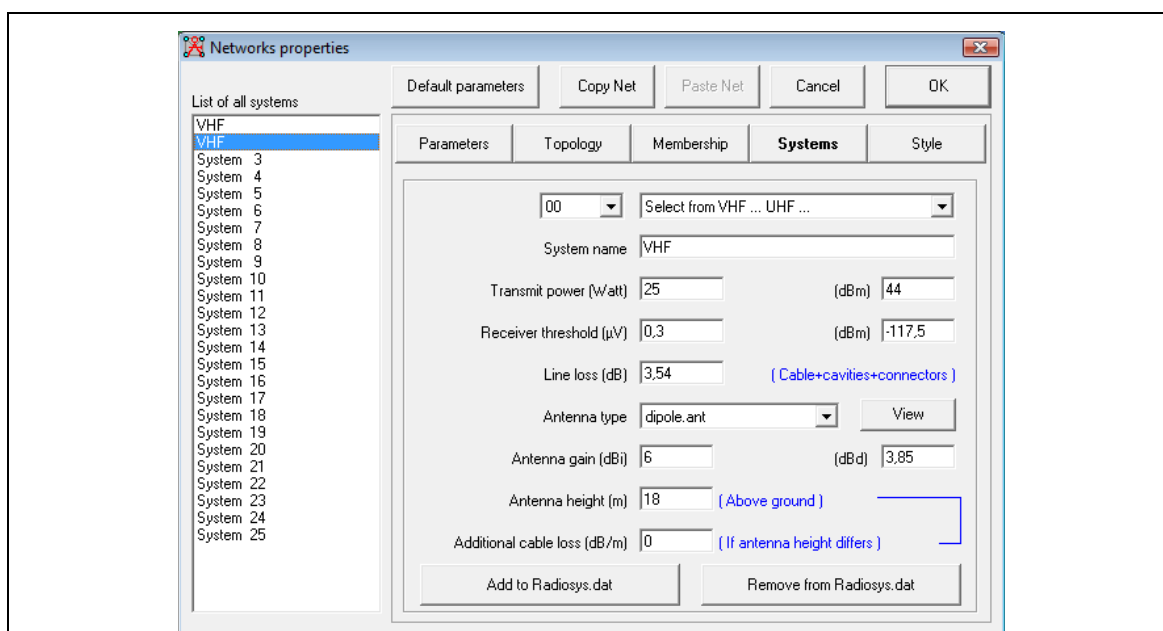


Fig. 2.29 Ingreso de datos en la opción Sistemas en el submenú Propiedades para Quijos

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

En la opción Membership se escoge a los sitios miembros del enlace y se define la direccionalidad de las antenas, se debe tener cuidado al asignar a cada uno como un sistema VHF distinto, en el mismo orden que se les ubicó en la opción Systems.

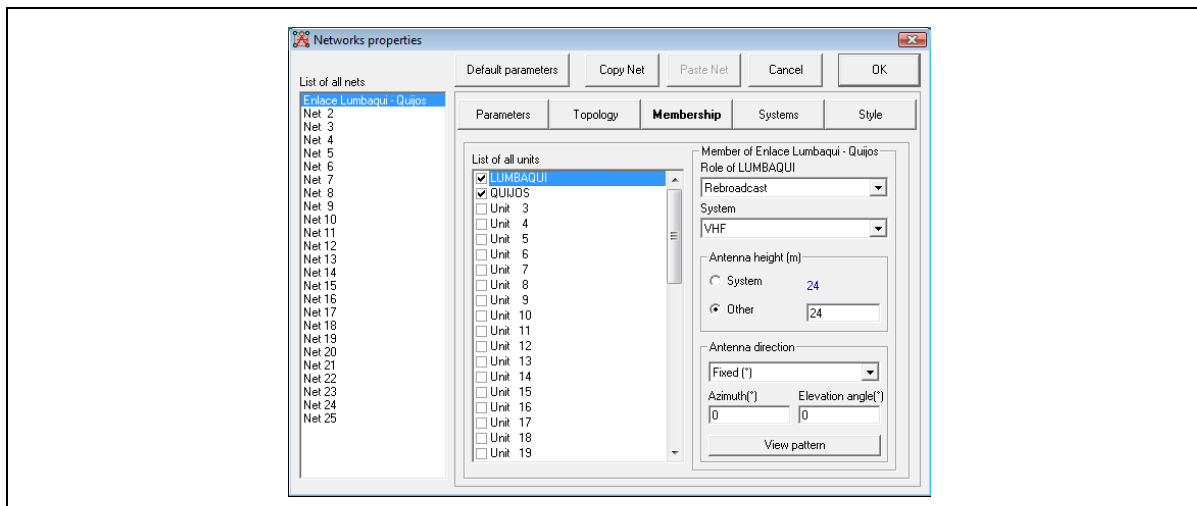


Fig. 2.30 Ingreso de datos en la opción Miembros en el submenú Propiedades para Lumbaqui

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

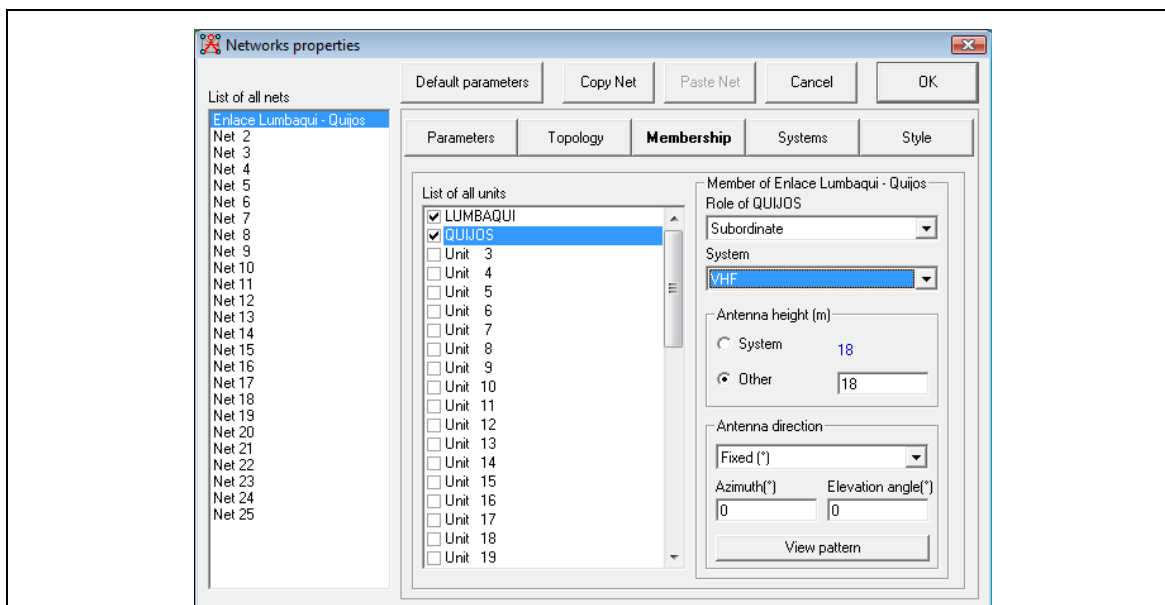


Fig. 2.31 Ingreso de datos en la opción Miembros en el submenú Propiedades para Quijos

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

En la opción Style se dejan los parámetros predeterminados:

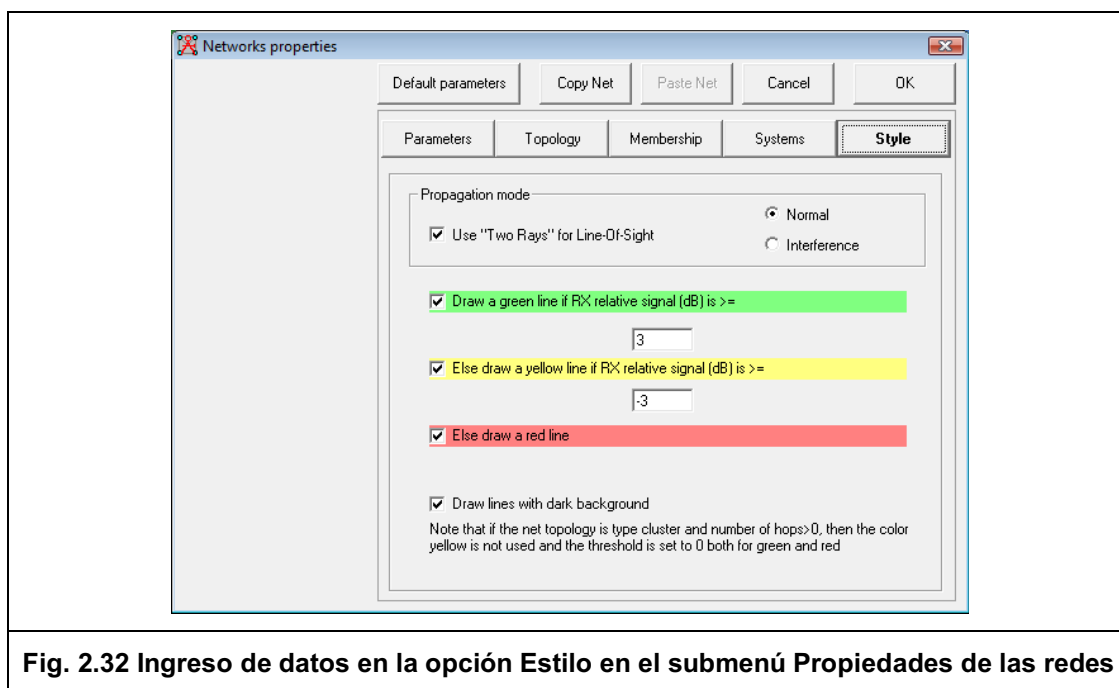


Fig. 2.32 Ingreso de datos en la opción Estilo en el submenú Propiedades de las redes

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Por último, se da clic en la opción OK obteniéndose la siguiente pantalla:

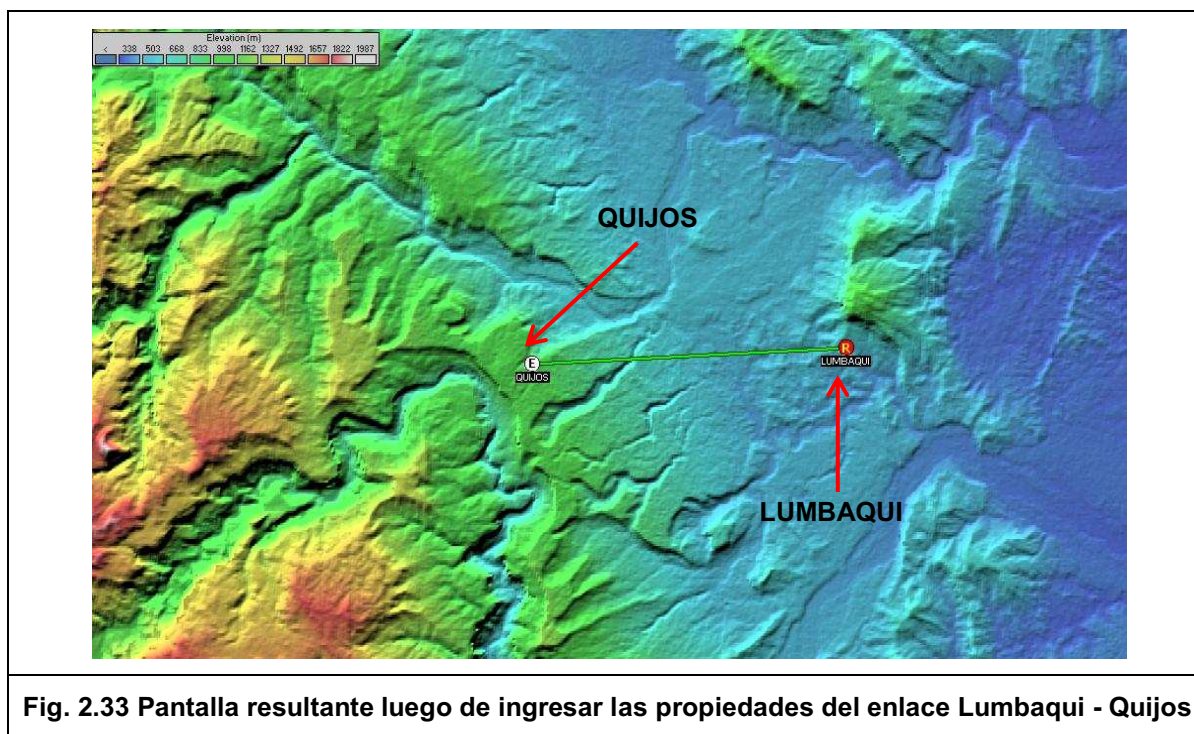


Fig. 2.33 Pantalla resultante luego de ingresar las propiedades del enlace Lumbaqui - Quijos

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

6. Verificación del enlace

Luego de haber ingresado todos los datos necesarios para establecer el enlace, se debe comprobar la existencia o no del mismo, utilizando Radio Link de la opción Tools del menú principal.

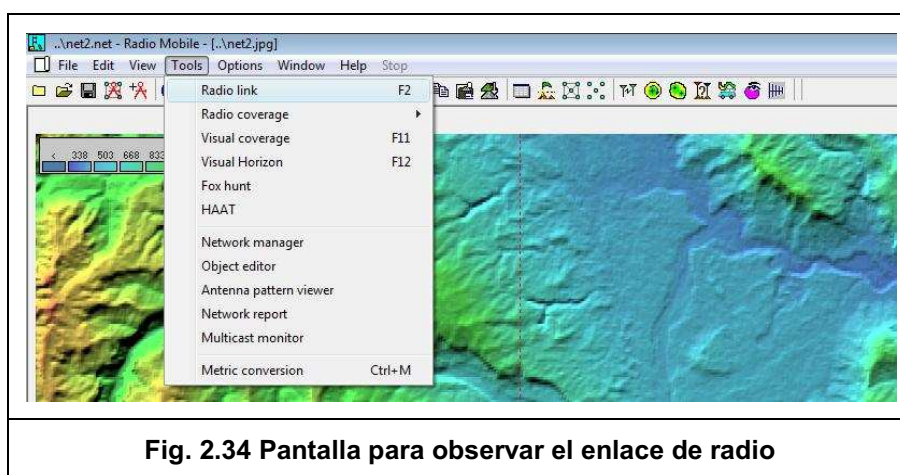


Fig. 2.34 Pantalla para observar el enlace de radio

Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Al seleccionar radio link, se desplegará la siguiente ventana, donde se observa el estado del enlace:

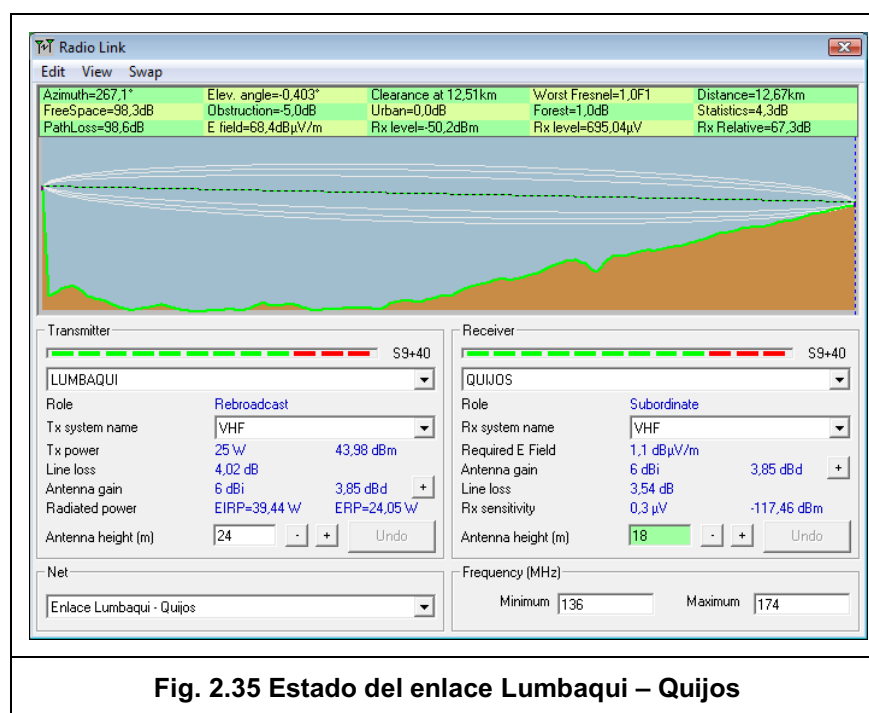


Fig. 2.35 Estado del enlace Lumbaqui – Quijos

Fuente: Software Radio Mobile

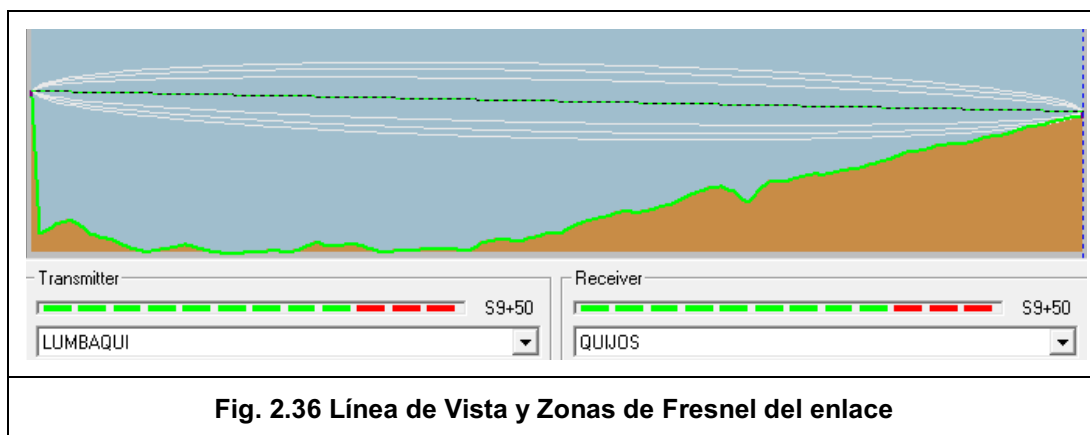
Elaborado por los autores

7. Análisis de los resultados

Para el análisis del enlace, se utiliza el gráfico y los valores de la figura 2.35.

En la figura 2.36, las zonas en verde a lo largo de la superficie terrestre, indican que existe cobertura en esos lugares. De la misma manera, la línea verde que une el transmisor con el receptor significa que existe enlace entre ambos.

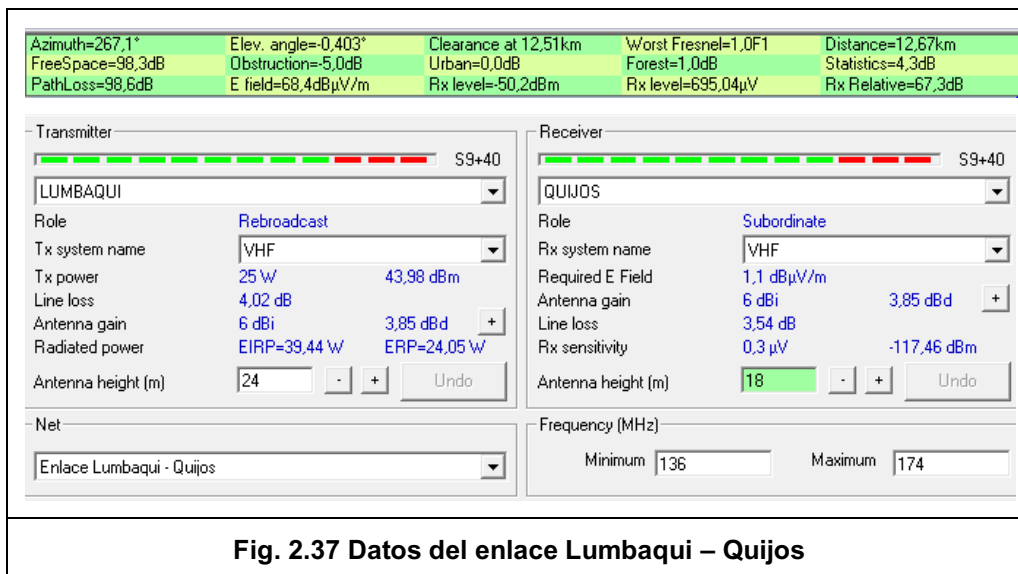
Además se observa que existe línea de vista entre los sitios; las elipses de color blanco que se describen alrededor de la línea que une el transmisor con el receptor, representan: el 60% de la primera zona de Fresnel, el 100% de la primera zona de Fresnel y el 141% de la primera zona de Fresnel, de adentro haciaafuera respectivamente. Se aprecia que la primera zona de Fresnel está despejada.



Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

En la figura 2.37, se observa los datos técnicos del enlace, como resultado de los parámetros ingresados anteriormente, entre otros se tiene: Distancia total del enlace (Distance), pérdidas por espacio libre (FreeSpace), umbral de recepción (Rx Relative), PIRE (EIRP), margen de despeje de la zona de Fresnel (Worst Fresnel), Potencia de recepción (Rx level) . Cabe indicar, que esta información se la obtiene no solo en los extremos del enlace, sino en cualquier punto a lo largo del mismo.



Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Mediante los resultados que indica Radio Mobile, se puede concluir que el enlace es factible y que cumplirá con todos los requerimientos.

- Validación de los resultados del Enlace Lumbaqui – Quijos proporcionados por Radio Mobile

Se validará la información proporcionada por Radio Mobile mediante una comparación con los resultados obtenidos en el diseño teórico del enlace, con el fin de poder realizar los enlaces restantes utilizando únicamente el software de simulación.

Se aceptarán como válidos los resultados de Radio Mobile, si estos no superan el 10% de error con respecto a los valores teóricos. La ecuación que se utilizará para este propósito es:

$$\text{Error}_{\%} = \frac{X_S - X_T}{X_T} \times 100$$

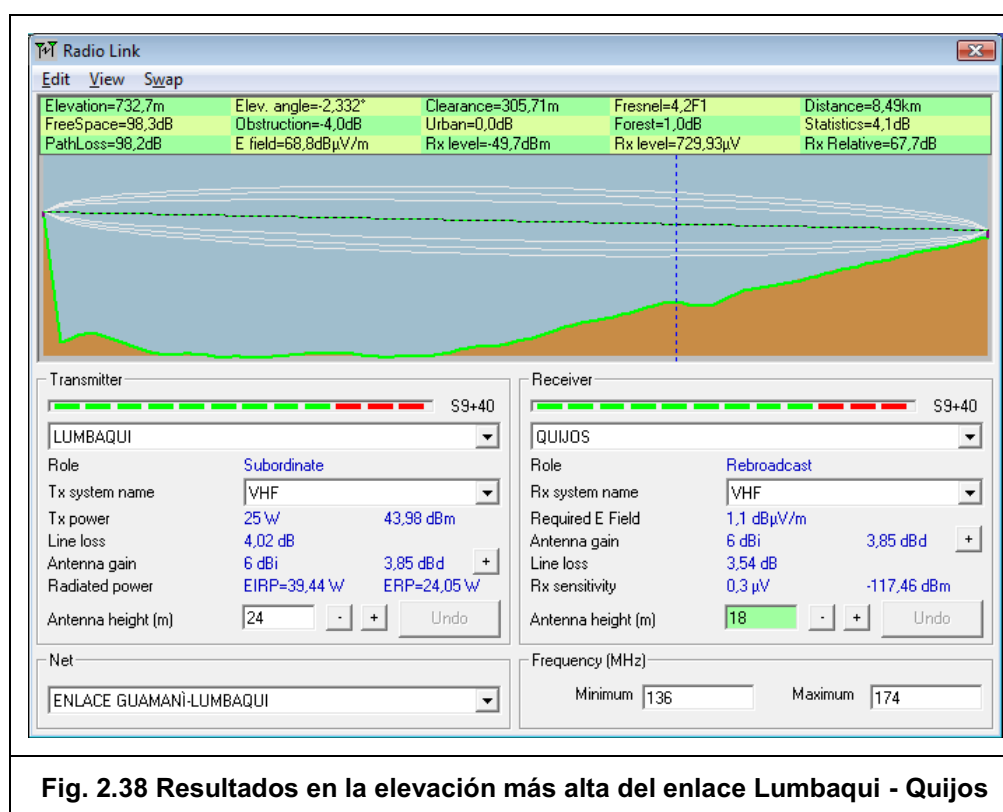
Ecuación 2.2

Donde:

X_S = Valor medido (Radio Mobile)

X_T = Valor real (Teórico)

En la parte teórica, se realizaron los cálculos de ciertos valores tomando como referencia el punto donde está ubicada la elevación más alta a lo largo del perfil topográfico, que corresponde a 8.5 Km de distancia medidos desde Lumbaqui, a una altura de 733 msnm. Por esta razón se ubicará este punto en Radio Mobile para poder efectuar la comparación deseada.



Fuente: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Parámetro	Valor Teórico	Valor Radio Mobile	% Error
Pérdidas por espacio libre	98.312 dB	98.3 dB	0.01
¹⁰ Margen de Despeje	414.511 %	420.00 %	1.32

¹⁰ Valor medido a una distancia de 8.5 Km de Lumbaqui

PIRE Lumbaqui	45.98 dBm	45.954 dBm	0.06
PIRE Quijos	46.46 dBm	46.44 dBm	0.04
Potencia nominal de Recepción Lumbaqui	- 49.872 dBm	- 50.90 dBm	2.06
Potencia nominal de Recepción Quijos	- 49.872 dBm	- 50.90 dBm	2.06
Margen de Desvanecimiento Lumbaqui	67.575 dB	66.50 dB	1.59
Margen de Desvanecimiento Quijos	67.575 dB	66.50 dB	1.59

Tabla 2.57 Comparación de resultados teóricos con los de Radio Mobile

Elaborado por los autores

El error obtenido en la comparación de los resultados no supera el 3%, que es menor al mínimo establecido para considerar los resultados como válidos, por lo tanto, la información que proporciona Radio Mobile será aceptada para concluir la existencia o no de un enlace.

Por lo antes expuesto, los enlaces restantes se los realizará únicamente en Radio Mobile.

➤ Enlaces de la sección 2.5.2.1

Los enlaces correspondientes a las zonas restantes se las detallan en el anexo F.

2.5.2.2 Enlace Repetidora - Repetidora

2.5.2.2.1 Planificación del enlace

Como se hizo mención en el punto 2.5 (página 168), el equipo que se utilizará es el Backhaul CANOPY PTP 58500; y los enlaces se simularan en el software PTP LINKPlanner de Motorola, que se especializa en bandas de frecuencia en el orden de las microondas.

Debido a que no existe línea de vista entre las repetidoras de Guamaní y Lumbaqui, es necesario añadir más repetidoras que permitan enlazar estos dos

puntos, las cuales son: Condijsua y Reventador que pertenecen al OTE, las mismas que aseguran línea de vista entre todos los puntos.

➤ Banda de frecuencia

La banda de frecuencias que se utilizará será la de 5.8GHz, que va desde 5.725 GHz a 5.850 GHz.

➤ Características climáticas

Enlace	Tipo de Clima
Guamaní – Condijsua	Templado de montaña
Condijsua – Tres Cruces	Templado de montaña
Tres Cruces – Reventador	Templado de montaña
Reventador – Lumbaqui	Templado de montaña
Atacazo – Igualata	Templado seco

Tabla 2.58 Tipos de clima de cada enlace entre repetidoras

Fuente: INAMHI

Elaborado por los autores

➤ Especificaciones técnicas del equipo CANOPY

Ver anexo E

➤ Tipo y ganancia de las antenas

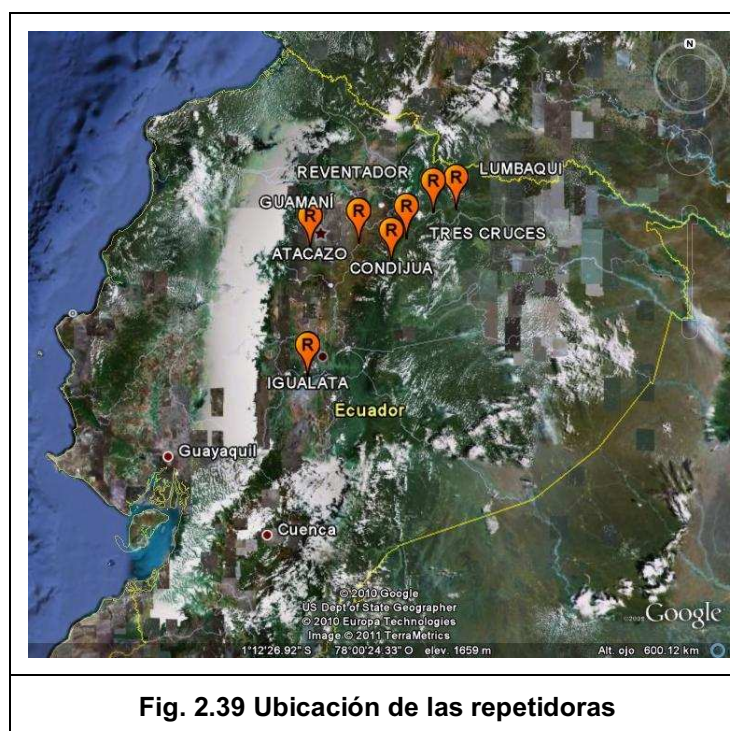
El tipo de antena a utilizarse es un flat plate integrado, propio del sistema Backhaul.

Tipo	Vista Lateral	Ganancia	Orientación
Flat Plate integrado		23 dBi	8°

Tabla 2.59 Características de la antena

Elaborado por los autores

➤ Ubicación geográfica de las repetidoras



Fuente: Software Google Earth

Elaborado por los autores

2.5.2.2.2 Presupuesto del enlace

Toda la información técnica que se requiera de los equipos para realizar el presupuesto del enlace, se tomará del anexo E. El diseño se lo realizará con los

valores críticos de los diferentes parámetros, para simular el peor escenario del enlace.

➤ Potencia de Transmisión

- Potencia del equipo: De 1.58 μ W a 0.5 W.

➤ Umbral o sensibilidad del receptor

- Sensibilidad del equipo: De 4.45 μ V a 79.43 μ V.

➤ Pérdidas en la propagación

- Pérdidas en el cable

El enlace con Backhaul CANOPY utiliza cable Ethernet FTP para exteriores para la conexión desde la antena a los equipos; el transceiver se encuentra incorporado a la antena, por lo que, la atenuación en el cable es despreciable.

- Pérdidas en los conectores

Se estima 0.2 dB de pérdida para cada conector RJ45 en el cableado. Se utilizará dos conectores por sitio, es decir, cuatro conectores por enlace.

- Pérdida por propagación en espacio libre

La frecuencia que se utilizará para determinar las pérdidas, es un valor promedio entre las frecuencias mínima y máxima, que son: 5.725 GHz y 5.850 GHz respectivamente, obteniéndose el resultado de 5.8 GHz

Y de acuerdo a la ecuación 1.12 (página 87), las pérdidas por espacio libre son:

$$FSL_{(dB)} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147.558$$

Enlace	Distancia d en Km	Frecuencia f en MHz	Pérdidas FSL en dB
Guamaní – Condijua	36.979	5800	139.078
Condijua – Tres Cruces	28.046	5800	136.676
Tres Cruces – Reventador	36.682	5800	139.008
Reventador – Lumbaqui	22.914	5800	134.920
Atacazo – Igualata	126.548	5800	149.764

Tabla 2.60 Pérdidas por espacio libre en los enlaces entre repetidoras

Elaborado por los autores

- Pérdidas por vegetación y obstáculos y Pérdidas por gases, vapores atmosféricos y lluvia

Las pérdidas por vegetación y obstáculos no afectan a los enlaces debido a que no existen obstáculos en el trayecto; y las pérdidas por lluvia no afectan a frecuencias bajo los 6 GHz, por ello las únicas pérdidas que se considerarán son las causadas por gases atmosféricos tal y como se puede observar en la figura 1.36 (página 88).

Enlace	Distancia d en Km	Pérdidas por Gases Atmosféricos en dB/Km	Pérdidas Total en dB
Guamaní – Condijua	36.979	0.01	0.37
Condijua – Tres Cruces	28.046	0.01	0.28
Tres Cruces – Reventador	36.682	0.01	0.37
Reventador – Lumbaqui	22.914	0.01	0.23
Atacazo – Igualata	126.548	0.01	1.27

Tabla 2.61 Pérdidas por gases atmosféricos en los enlaces entre repetidoras

Elaborado por los autores

➤ Cálculo del PIRE

Tomando como referencia la ecuación 1.13 (página 92), el PIRE para cada uno de los enlaces es:

$$\text{PIRE (dBm)} = \text{Potencia del transmisor (dBm)} - \text{Pérdidas en el cable y conectores (dB)} + \text{Ganancia de antena (dBi)}$$

Donde:

- Potencia del transmisor: 0.5 vatios.

Mediante la ecuación 1.2 (página 38) se determina que los 0.50 vatios corresponden a 27 dBm.

- Pérdidas en conectores:

En los conectores se tiene una pérdida de 0.4 dB por sitio.

Con los valores anteriores, el PIRE para cada sitio es:

Lugar	Ganancia de la antena (dBi)	Potencia del transmisor (dBm)	Pérdida en conectores (dB)	PIRE (dBm)
Guamaní	23	27	0.4	49.6
Condijua	23	27	0.4	49.6
Tres Cruces	23	27	0.4	49.6
Reventador	23	27	0.4	49.6
Lumbaqui	23	27	0.4	49.6
Atacazo	23	27	0.4	49.6
Igualata	23	27	0.4	49.6

Tabla 2.62 PIRE por sitio

Elaborado por los autores

2.5.2.2.3 Parámetros del enlace

El análisis de los parámetros del enlace se lo realizará por enlace punto a punto.

➤ Enlace Guamaní – Condijua

- Requerimientos del Enlace Guamaní – Condijua

El presente enlace tiene como objetivo establecer una comunicación digital entre las dos repetidoras, con la finalidad de administrar la información que se transporta por medio del protocolo IP.

- Solución Propuesta

Para solventar los requerimientos del presente enlace y asegurar línea de vista, se decide elevar las alturas de las antenas a 48 metros y utilizar la infraestructura del OTE en el cerro Condijua.

- Perfil Topográfico

El perfil topográfico se lo obtendrá mediante un software de simulación, MOTOROLA PTP LINKPlanner, cuyos datos son aceptados por la Coordinación de Infraestructura y Comunicaciones de EPPETROECUADOR. La información que requiere el programa se detalla a continuación:

Repetidora Guamaní:

Latitud: 00° 19' 00" S

Longitud: 78° 11' 22" O

Altura de la antena: 48 metros

Repetidora Condijua:

Latitud: 00° 29' 01.6" S

Longitud: 77° 54' 06.9" O

Altura de la antena: 48 metros



Fig. 2.40 Perfil Topográfico Guamaní – Condiuja

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

- Punto de reflexión

No existe la posibilidad de que existan puntos de reflexión de las ondas, debido a que a que el enlace tiene línea de vista.

- Zonas de Fresnel

Para la determinación del radio de la primera zona de Fresnel, se tomará como referencia el punto donde está ubicada la obstrucción más alta a lo largo del perfil topográfico, y basándose en la figura 1.40 (página 95) y en la ecuación 1.8 (página 79), el radio de la primera zona de Fresnel es:

$$f = 5.8 \text{ GHz}$$

$$d_1 = 6.568 \text{ Km}$$

$$d_2 = 30.411 \text{ Km}$$

$$d = 36.979 \text{ Km}$$

$$F_n = 17.32 \times \sqrt{\frac{d_1 \times d_2}{d \times f}} = r_n$$

$$r_1 = 17.32 \times \sqrt{\frac{6.568 \times 30.411}{36.979 \times 5.8}}$$

$$r_1 = 16.714 \text{ m}$$

- Margen de despeje

Para el cálculo del margen de despeje es necesario primero determinar la altura de despeje en la obstrucción más alta, utilizando la ecuación 1.15 (página 96) y la figura 1.40 (página 95).

$$d_1 = 6.568 \text{ Km}$$

$$d_2 = 30.411 \text{ Km}$$

$$d = 36.979 \text{ Km}$$

$$h_1 = 4409 \text{ m}$$

$$h_2 = 2574 \text{ m}$$

$$h_c = 3976.6 \text{ m}$$

$$a = 6370 \text{ Km}$$

$$k = 4/3$$

$$h_{\text{desp}} = h_1 + \frac{d_1}{d}(h_2 - h_1) - \left(h_c + \frac{d_1 d_2}{2ka} \right)$$

$$h_{\text{desp}} = 4409 + \frac{6.568}{36.979}(2574 - 4409) - \left(3976.6 + \frac{(6.568)(30.411)}{2(1.333)(6370)} \right)$$

$$h_{\text{desp}} = 102.302 \text{ m}$$

Los valores de las alturas utilizadas para el cálculo de la altura de despeje se obtienen del perfil topográfico de la figura 2.40; al igual que los valores de las distancias utilizadas en el cálculo de las zonas de Fresnel y la altura de despeje; dichas distancias hacen referencia al obstáculo más alto.

Debido a que la $h_{\text{desp}} > 0$, no existe obstrucción por cumbre, por lo tanto, se puede calcular el margen de despeje de la zona de Fresnel, que de acuerdo a la ecuación 1.16 (página 96) es:

$$M_{D\%} = \left(1 + \frac{h_{\text{desp}} - r_1}{r_1} \right) \times 100$$

$$M_{D\%} = \left(1 + \frac{102.302 - 16.714}{16.714} \right) \times 100$$

$$M_{D\%} = 612.074\%$$

El margen de despeje es superior al 60% que es lo mínimo requerido, por lo que la zona de Fresnel se considera despejada.

- Altura de las antenas

Para asegurar que el enlace esté despejado se ubicarán las antenas a una altura superior que las de VHF, es decir:

Altura de la antena de Guamaní: $h_a = 48$ m.

Altura de la antena de Condijua: $h_b = 48$ m.

- Potencia nominal de recepción

La potencia nominal de recepción se calcula mediante la ecuación 1.10 (pág. 83).

$$P_{\text{inRX}} = \text{Potencia del transmisor [dBm]} - \text{Pérdida en el cable TX [dB]} + \text{ganancia de antena TX [dBi]} - \text{Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto [dB]} + \text{ganancia de antena RX [dBi]} - \text{Pérdidas en el cable del RX [dB]} - \text{Pérdidas y atenuaciones adicionales [dB]} = \text{Potencia nominal del receptor}$$

Guamaní:

Potencia del Transmisor = 27 dBm (ver tabla 2.62)

Pérdida en conectores del Tx = 0.4 dB (ver tabla 2.62)

Pérdida por gases atmosféricos = 0.37 dB (ver tabla 2.61)

Ganancia de antena Tx = 23 dBi (ver tabla 2.62)

Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto = 139.078 dB (ver tabla 2.60)

Ganancia de antena Rx = 23 dBi (ver tabla 2.62)

Pérdidas en conectores del Rx = 0.4 dB (ver tabla 2.62)

$$P_{inRX} = -67.248 \text{ dBm}$$

Condijua:

Potencia del Transmisor = 27 dBm (ver tabla 2.62)

Pérdida en conectores del Tx = 0.4 dB (ver tabla 2.62)

Pérdida por gases atmosféricos = 0.37 dB (ver tabla 2.61)

Ganancia de antena Tx = 23 dBi (ver tabla 2.62)

Pérdidas en la trayectoria en el espacio abierto = 139.078 dB (ver tabla 2.60)

Ganancia de antena Rx = 23 dBi (ver tabla 2.62)

Pérdidas en conectores del Rx = 0.4 dB (ver tabla 2.62)

$$P_{inRX} = -67.248 \text{ dBm}$$

- Margen de desvanecimiento y confiabilidad del enlace

Para el cálculo del margen de desvanecimiento, se necesita expresar el umbral de recepción o sensibilidad del receptor en dBm, el cual es:

$$U_{dBm} = -94 \text{ dBm}$$

Reemplazando este valor en la ecuación 1.18 (página 98), y utilizando el valor de la potencia nominal del receptor calculada en el punto anterior, el margen de desvanecimiento es:

$$MD_{(dB)} = P_{in}(dBm) - U_{Rx}(dBm)$$

$$MD_{(dB)} = -67.248 - (-94)$$

$$\boxed{MD = 26.752 \text{ dB}}$$

De acuerdo a los valores presentados en la tabla 1.2 (página 98), la confiabilidad del enlace es alrededor de 99.90 %, que da un tiempo de indisponibilidad de aproximadamente 8.75 horas al año.

- Análisis de los resultados obtenidos

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Zona de Fresnel:

El margen de despeje tiene un valor de 612.074%, que es superior al 60% mínimo requerido para asegurar que la primera zona de Fresnel está despejada.

Potencia que llega al receptor:

Comparando la potencia nominal de recepción (-67.248 dBm) con la sensibilidad del equipo (-94 dBm), se observa que es mayor que el umbral mínimo que necesita el receptor para funcionar.

Confiabilidad y disponibilidad del enlace:

El enlace presenta una confiabilidad aceptable, llegando a ser de alrededor de 99.9 %, que se traduce en un tiempo de indisponibilidad de aproximadamente 8.75 horas en el año, que es un valor permitido. Por los resultados expuestos, se llega a la conclusión que el enlace es factible de realizarse y que el mismo cumplirá con todos los requerimientos.

- Enlace Guamaní – Condijsua en PTP LINKPlanner

Con la ayuda de Google Earth y los datos proporcionados por la empresa, se obtienen las coordenadas de las ubicaciones de los diferentes sitios, las mismas que son ingresadas en el software PTP LINKPlanner.

A continuación se detallará el procedimiento, paso por paso, para realizar un enlace microonda en PTP LINKPlanner:

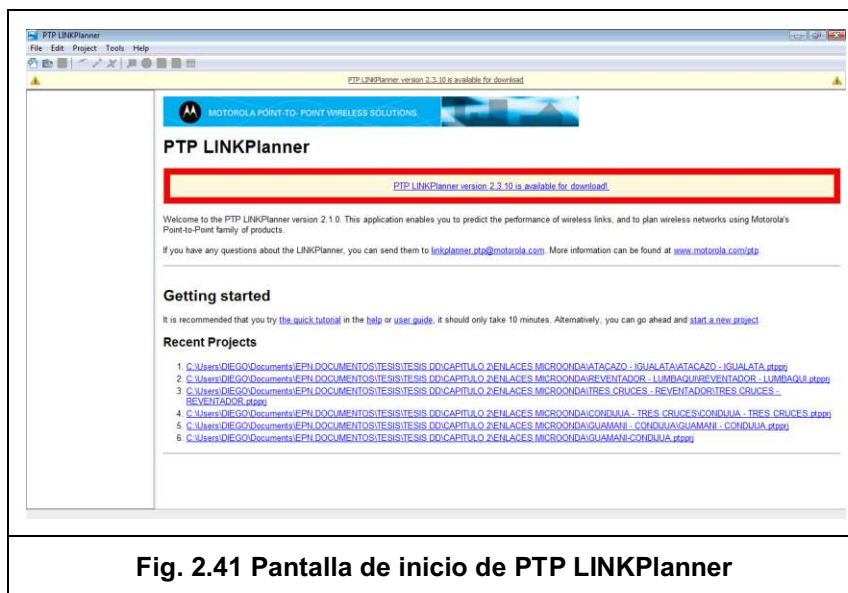


Fig. 2.41 Pantalla de inicio de PTP LINKPlanner

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

1. En el menú principal seleccionar **New Project** .

La pantalla que se despliega es la siguiente:

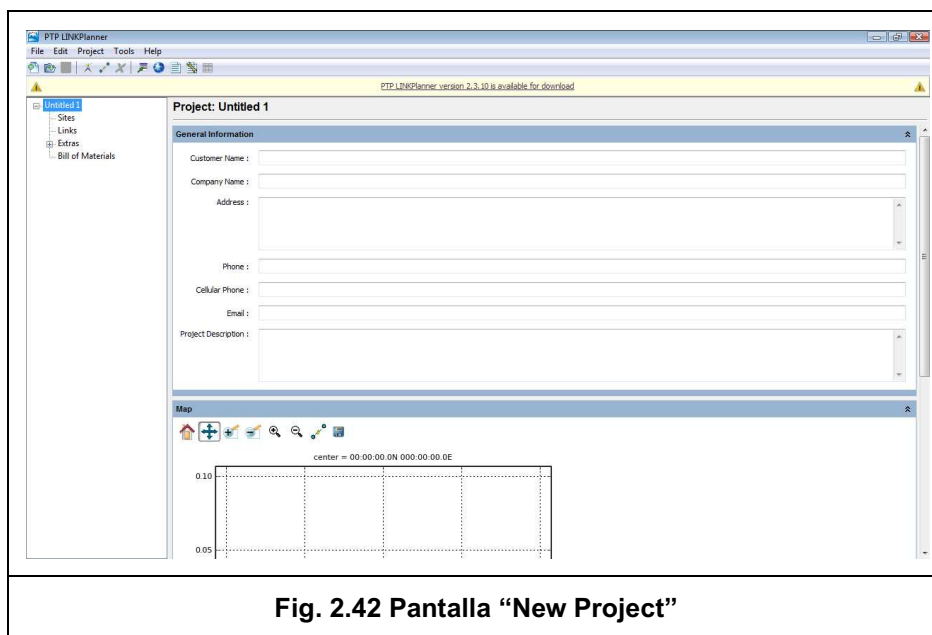



Fig. 2.42 Pantalla "New Project"

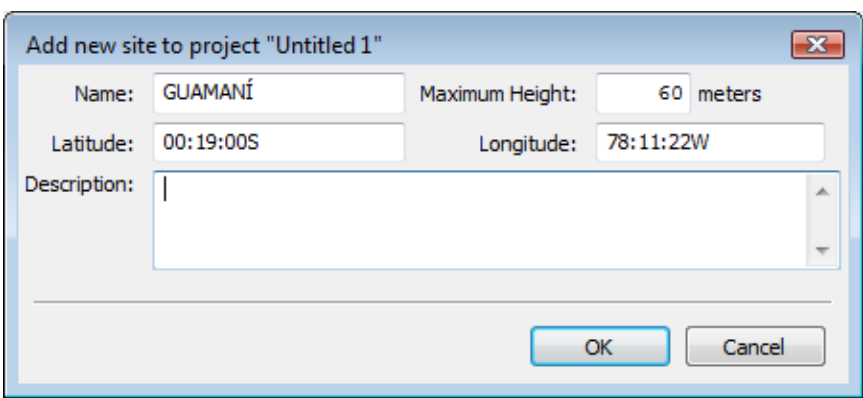
Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

El cuadro anterior se debe llenar con los datos que solicita.

2. En el menú principal seleccionar **New Site** 

Se ingresa las coordenadas y altura máxima de la torre correspondiente a uno de los sitios.



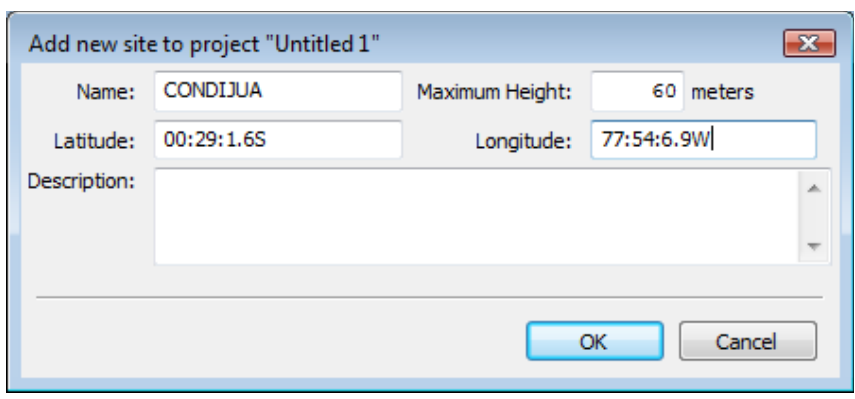
The screenshot shows a dialog box titled "Add new site to project 'Untitled 1'". It contains the following fields: Name: GUAMANÍ, Maximum Height: 60 meters, Latitude: 00:19:00S, and Longitude: 78:11:22W. There is a Description text area below these fields. At the bottom right, there are "OK" and "Cancel" buttons.

Fig. 2.43 Ingreso de coordenadas y altura de la torre de Guamaní

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

Se repite el paso anterior para cada uno de los sitios que forman el enlace.



The screenshot shows a dialog box titled "Add new site to project 'Untitled 1'". It contains the following fields: Name: CONDIJUA, Maximum Height: 60 meters, Latitude: 00:29:1.6S, and Longitude: 77:54:6.9W. There is a Description text area below these fields. At the bottom right, there are "OK" and "Cancel" buttons.

Fig. 2.44 Ingreso de coordenadas y altura de la torre de Condiuja

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

3. En el menú principal seleccionar **New Link** 

Seleccionar los sitios que se van a enlazar:

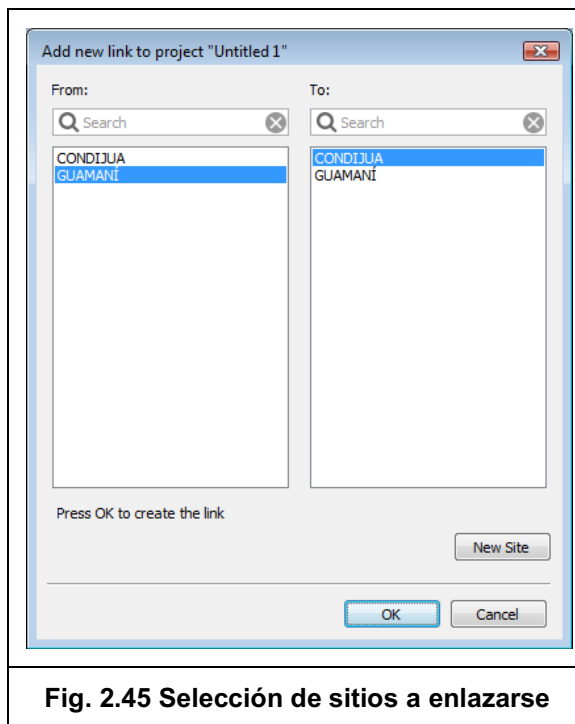


Fig. 2.45 Selección de sitios a enlazarse

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores



Fig. 2.46 Pantalla resultante luego de seleccionar los sitios del enlace

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

4. En el menú principal seleccionar la opción **Project** y dentro de éste **Get profile**.

Se despliega la ventana "Request profiles", se selecciona el enlace y se da click en OK para aceptar.

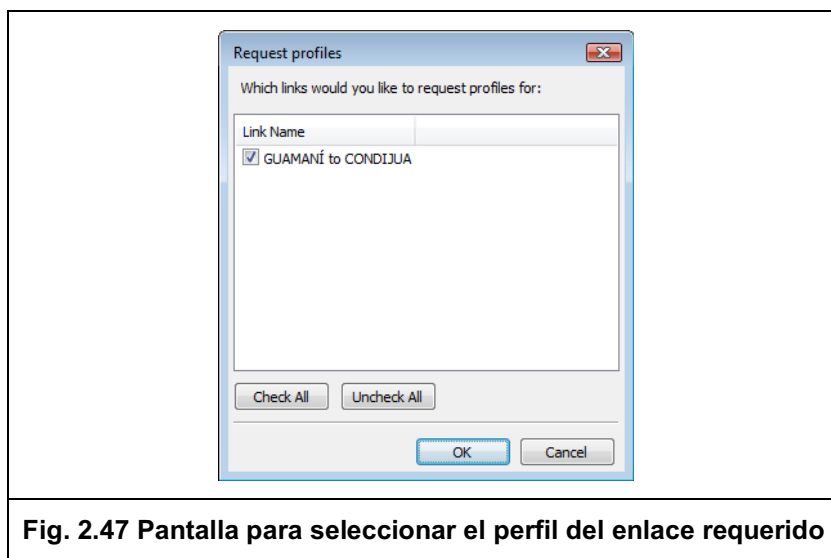


Fig. 2.47 Pantalla para seleccionar el perfil del enlace requerido

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

El requerimiento del perfil es enviado a MOTOROLA PTP Path Profiler y después de 5 minutos éste enviará un e-mail que contiene el perfil requerido.

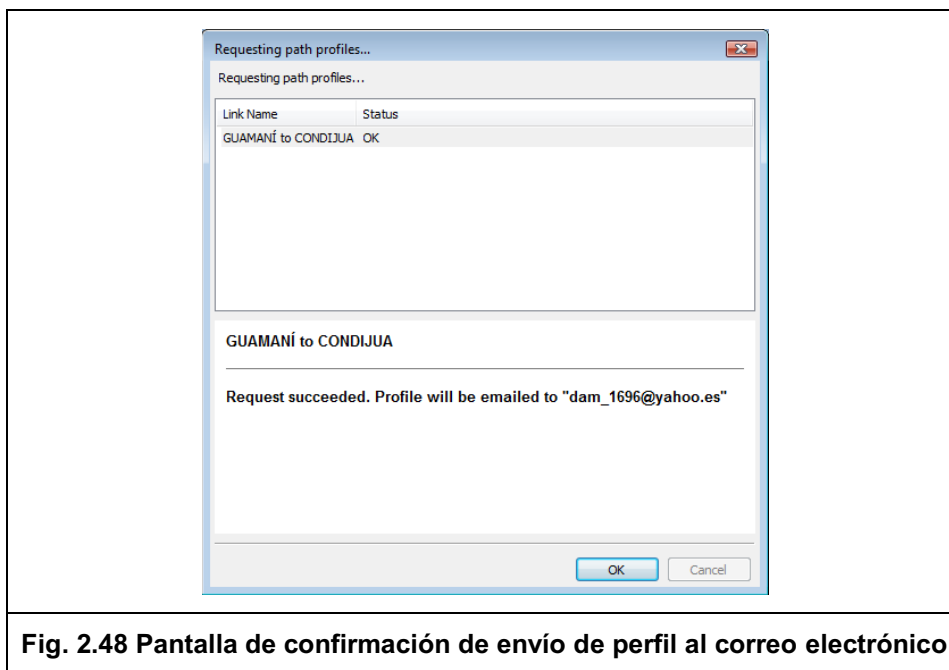


Fig. 2.48 Pantalla de confirmación de envío de perfil al correo electrónico

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

5. Ingreso de características de los equipos

Mientras se espera el correo electrónico, se puede llenar información requerida acerca del tipo de equipos a utilizar en el enlace, concretamente del tipo de antena que se usa que corresponde a la serie PTP 58XXX, además de otros parámetros como: frecuencia de trabajo, ancho de banda, regulación, optimización, sincronización y simetría.

Para el caso del presente enlace, la antena que se utiliza es la PTP 58500, la regulación que se escogerá es la que rige en países como EEUU, Brasil, Canadá y Taiwán, como se muestra a continuación:

Equipment				
Region and Equipment Selection				
Band	Regulation	Product		
5.8 GHz	FCC USA, Canada, Taiwan, Brazil	PTP58500		
PTP58500 Configuration				
Bandwidth	E1/T1	Optimisation	Symmetry	Master
5 MHz	None	IP	Symmetric	GUAMANI

Fig. 2.49 Ingreso de características de los equipos

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

6. Descarga de archivo que contiene el perfil del enlace

Se necesita descargar el archivo adjunto en el correo electrónico enviado por MOTOROLA para luego abrirlo. Automáticamente el programa carga el archivo y muestra los resultados del enlace.

Adicional en el gráfico del perfil se incluye si existe o no línea de vista y la primera zona de Fresnel de color azul, como se muestra a continuación:

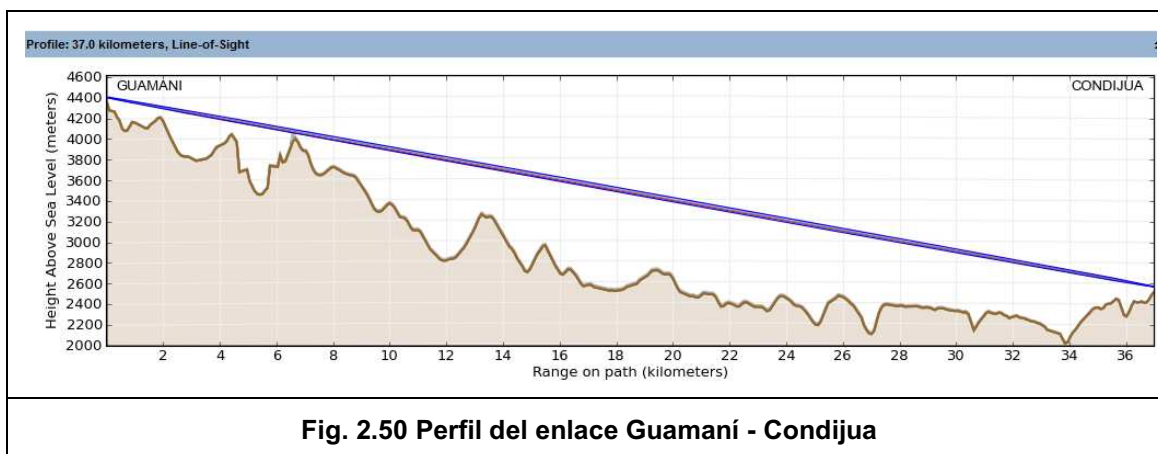


Fig. 2.50 Perfil del enlace Guamaní - Condiuja

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

Además, se obtiene cierta información del enlace que, dependiendo de los equipos, pueden ser modificados a los valores necesarios, como por ejemplo: altura de la antena, potencia de transmisión, velocidad efectiva de transmisión, indisponibilidad mínima, entre otros; como se muestra en la siguiente figura:

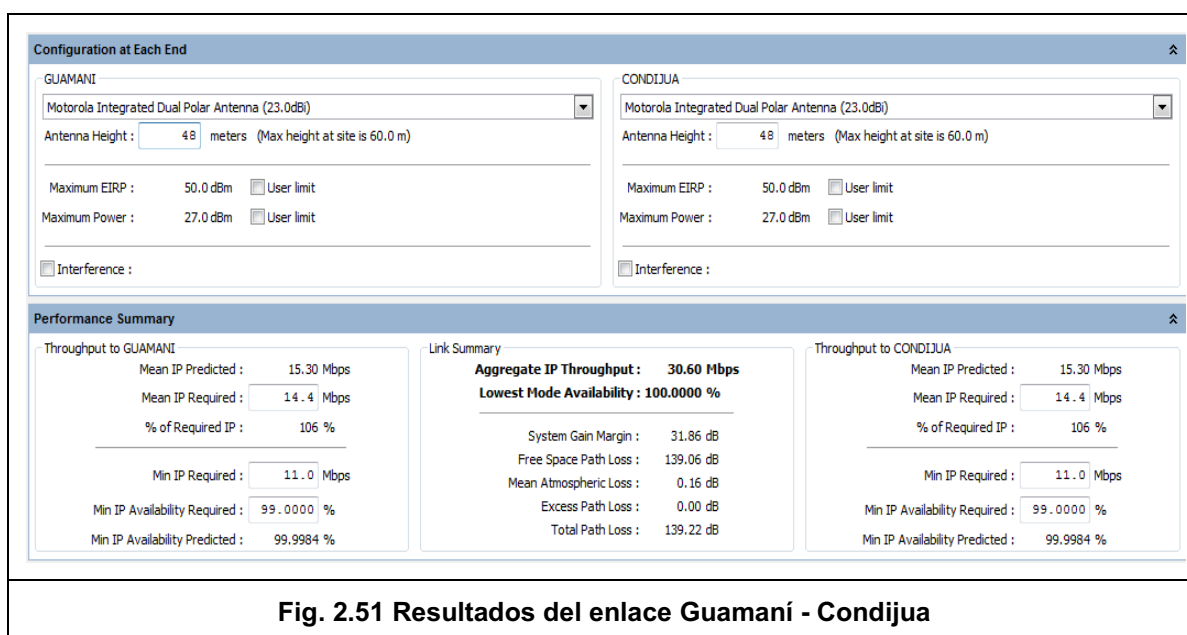


Fig. 2.51 Resultados del enlace Guamaní - Condiuja

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

7. Verificación del enlace

Para obtener todos los resultados del enlace el programa realiza dos reportes del mismo en formato PDF. El primero es un reporte de los resultados generales del

enlace; el segundo es un reporte de instalación donde incluye los datos técnicos de cada uno de los sitios de una forma detallada para su instalación, así como el tipo y la cantidad de equipos que se necesitan.

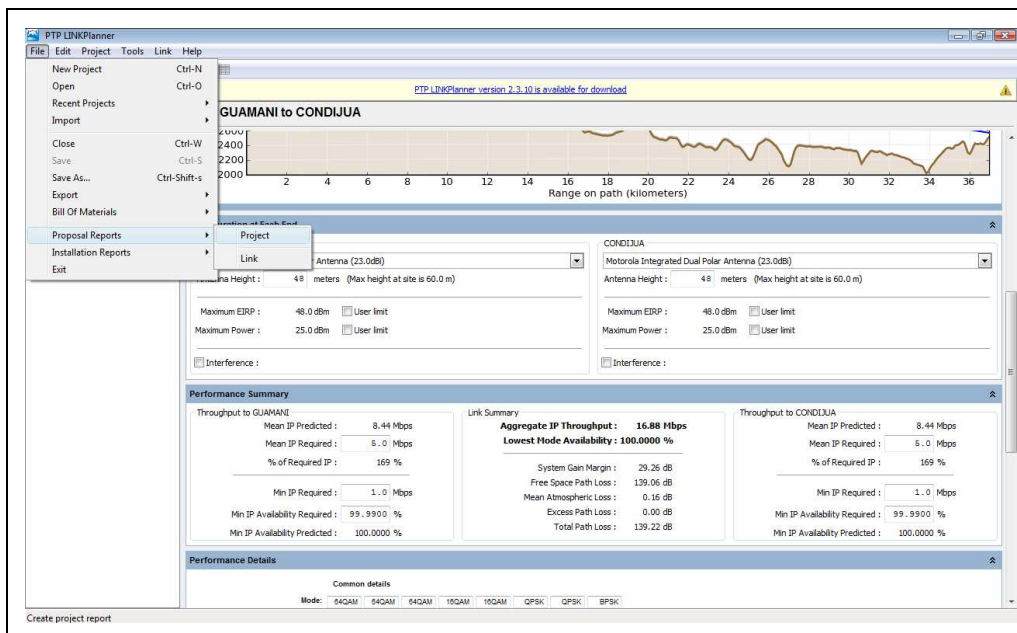


Fig. 2.52 Selección del reporte del estado del enlace

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

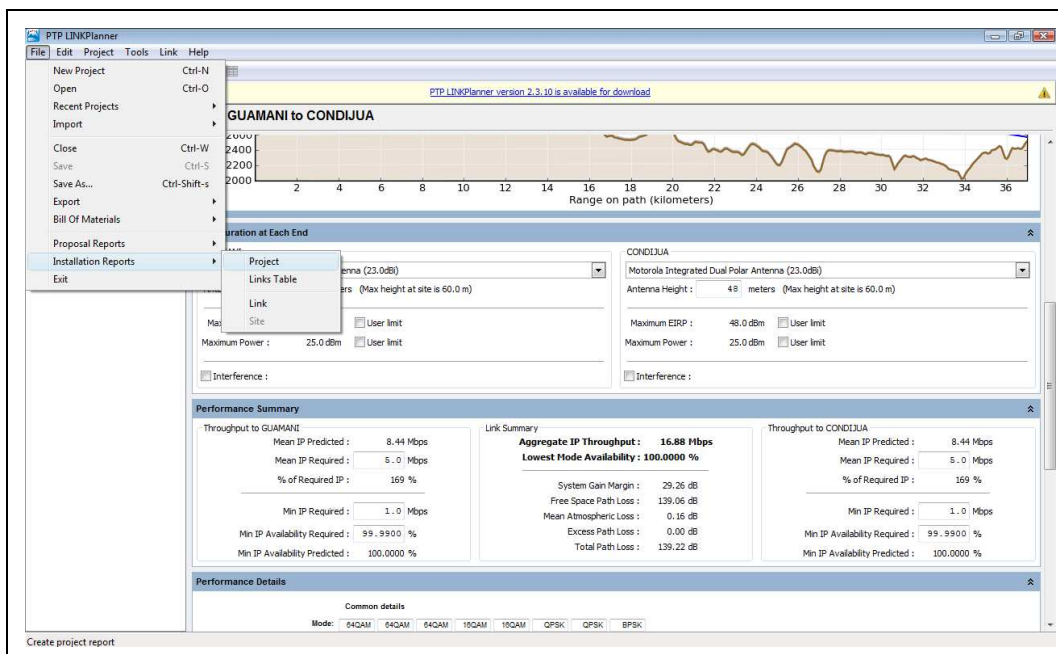


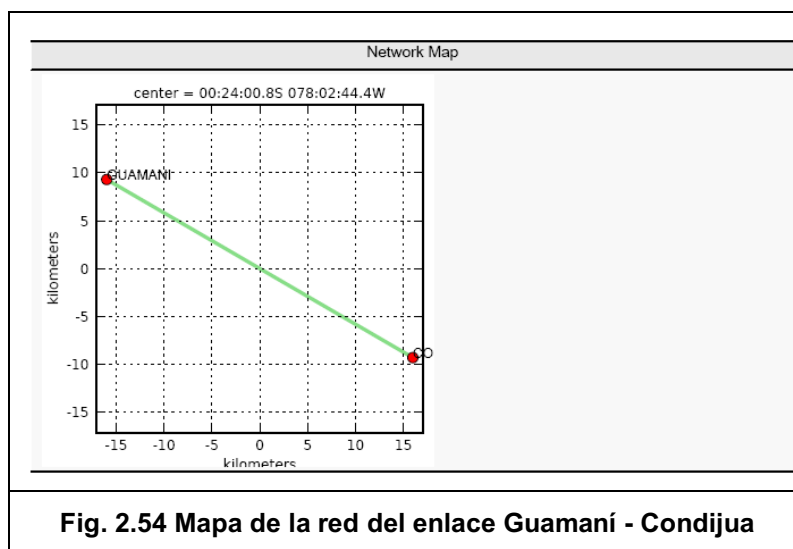
Fig. 2.53 Selección del reporte de instalación

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

8. Análisis de los resultados

Para un completo análisis del enlace, se utilizará la información más relevante del reporte de estado del enlace y el de instalación, cuyos resultados son los siguientes:



Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

La línea de color verde que une los dos puntos en la figura anterior indica que existe enlace.

Summary	
Link Name	GUAMANI to CONDIJUA
Link Type	Line-of-Sight
Equipment Type	PTP58500
Maximum Obstruction	80 meters
Link Distance	36.979 kilometers
Free Space Path Loss	139.06 dB
Excess Path Loss	0.00 dB
User IP Throughput Expectation Aggregate	Aggregate 30.60 Mbps assuming PTP-500 Series running the 500-03-02 software
RF Frequency Band	5.8 GHz (5725 to 5850 MHz)
RF Channel Bandwidth	5 MHz

Fig. 2.55 Resumen de resultados del enlace Guamaní – Condiujá

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

Del gráfico anterior se concluye que el enlace posee línea de vista y que no existe ningún tipo de atenuación adicional causada por vegetación y/o edificaciones.

GUAMANI Site	
Hardware Platform	PTP58500 Integrated
Antenna Type	Motorola Integrated Dual Polar Antenna (23.0dBi)
Antenna Gain	23.0 dBi
Antenna Height	48 meters AGL
Site Elevation	4361 meters AMSL
Mean IP Throughput Predicted	15.30 Mbps
Mean IP Throughput Required	14.40 Mbps
Minimum IP Throughput Required	11.00 Mbps
Minimum IP Throughput Availability Predicted	99.9984% (unavailable for 8.3 mins/year)
Output Power	27.00 dBm
Site Location	00:19:00.0S 078:11:22.0W

Fig. 2.56 Resumen de resultados de Guamaní

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

CONDIJUA Site	
Hardware Platform	PTP58500 Integrated
Antenna Type	Motorola Integrated Dual Polar Antenna (23.0dBi)
Antenna Gain	23.0 dBi
Antenna Height	48 meters AGL
Site Elevation	2526 meters AMSL
Mean IP Throughput Predicted	15.30 Mbps
Mean IP Throughput Required	14.40 Mbps
Minimum IP Throughput Required	11.00 Mbps
Minimum IP Throughput Availability Predicted	99.9984% (unavailable for 8.3 mins/year)
Output Power	27.00 dBm
Site Location	00:29:01.6S 077:54:06.9W

Fig. 2.57 Resumen de resultados de Condiuja

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

En las figuras 2.56 y 2.57 se puede observar que la velocidad efectiva de transmisión del enlace por sitio es de 15.30 Mbps la cual es superior al mínimo

requerido. La confiabilidad es de 99.9984 %, que se traduce en un tiempo de indisponibilidad de 8.3 minutos al año, que es un valor aceptable.

Installation Notes for GUAMANI	
Coordinates	00:19:00.0S 078:11:22.0W
Antenna Height	48.0 meters AGL
Antenna Type	Motorola Integrated Dual Polar Antenna
Bearing to CONDIJUA	120.2° from True North
Antenna Tilt angle	-3.0°
Link Name	GUAMANI to CONDIJUA
Link Location	GUAMANI
Telecomms Interface	None
Master Slave Mode	Master
Link Mode Optimisation	IP Traffic
Max Transmit Power setting while pointing	27 dBm
Platform Variant	Integrated Antenna
Channel Bandwidth	5 MHz
Link Symmetry	Symmetric
Predicted Receive Power	-66 dBm ± 5 dB
Max Transmit Power setting before Disarm	27 dBm
Predicted Link Loss	139.22 dB ± 5.00 dB

Fig. 2.58 Parámetros para la instalación de la antena en Guamaní

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

Installation Notes for CONDIJUA	
Coordinates	00:29:01.6S 077:54:06.9W
Antenna Height	48.0 meters AGL
Antenna Type	Motorola Integrated Dual Polar Antenna
Bearing to GUAMANI	300.2° from True North
Antenna Tilt angle	2.7°
Link Name	GUAMANI to CONDIJUA
Link Location	CONDIJUA
Telecomms Interface	None
Master Slave Mode	Slave
Link Mode Optimisation	IP Traffic
Max Transmit Power setting while pointing	27 dBm
Platform Variant	Integrated Antenna
Channel Bandwidth	5 MHz
Predicted Receive Power	-66 dBm ± 5 dB
Max Transmit Power setting before Disarm	27 dBm
Predicted Link Loss	139.22 dB ± 5.00 dB

Fig. 2.59 Parámetros para la instalación de la antena en Condiuja

Fuente: Software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

De las figuras 2.58 y 2.59 se obtienen datos importantes como: ángulos de orientación y elevación de la antena, máxima potencia de transmisión, potencia de recepción de la señal (-66 dBm), la que se observa que es mayor que el umbral del equipo que es -96 dBm; entre otros.

Por los resultados antes mencionados proporcionados por el software PTP LINKPlanner, se puede concluir que el enlace es factible y que cumplirá con todos los requerimientos.

- Validación de los resultados del Enlace Guamaní – Condijua proporcionados por el software PTP LINKPlanner

Se validará la información proporcionada por el software PTP LINKPlanner mediante una comparación con los resultados obtenidos en el diseño teórico del enlace, con el fin de poder realizar los enlaces restantes utilizando únicamente el software de simulación.

Se aceptarán como válidos los resultados de Radio Mobile, si estos no superan el 10% de error con respecto a los valores teóricos. Se utilizará la ecuación 2.2 (página 206) para este propósito.

$$\text{Error}_{\%} = \frac{X_S - X_T}{X_T} \times 100$$

Parámetro	Valor Teórico	Valor LINKPlanner	% Error
Pérdidas Totales	139.438 dB	139.22 dB	0.156
Confiabilidad	99.90 %	99.9984 %	0.098
PIRE Guamaní	49.60 dBm	50.00 dBm	0.810
PIRE Condijua	49.60 dBm	50.00 dBm	0.810
Potencia nominal de Recepción de Guamaní	- 67.248 dBm	- 66.00 dBm	1.860
Potencia nominal de Recepción de Condijua	- 67.248 dBm	- 66.00 dBm	1.860
Línea de vista	SI	SI	-

Tabla 2.63 Comparación de resultados teóricos con los del software PTP LINKPlanner

Elaborado por los autores

El error obtenido en la comparación de los resultados no supera el 2%, que es menor al mínimo establecido para considerar los datos como válidos, por lo tanto, la información que proporciona el software PTP LINKPlanner será aceptada para concluir la existencia o no de un enlace. Por lo antes expuesto, los enlaces restantes se los realizará únicamente en el software PTP LINKPlanner.

➤ Enlaces de la sección 2.5.2.2

Los enlaces restantes entre repetidoras se los detallan en el anexo G.

2.5.2.3 Cobertura de las Repetidoras

Se presentará un diagrama de cobertura por cada repetidora que muestre los niveles de recepción de la señal y la extensión geográfica de la cobertura VHF, con el fin de asegurar la comunicación en los alrededores y a lo largo de las vías principales que unen los diferentes sitios con las repetidoras en cada zona del punto 2.5.2.1 (página 171). Para un mejor análisis de la cobertura se presentarán las distancias a las cuales la intensidad de la señal es: buena, promedio y excelente; utilizando Radio Mobile, de acuerdo al siguiente gráfico:

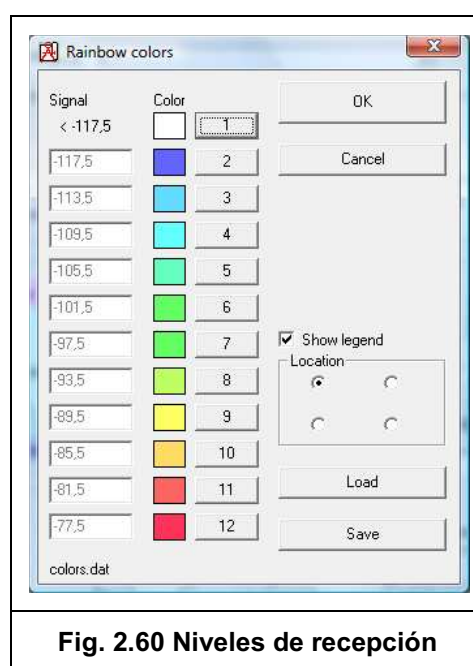


Fig. 2.60 Niveles de recepción

Fuente: Software Radio Mobile

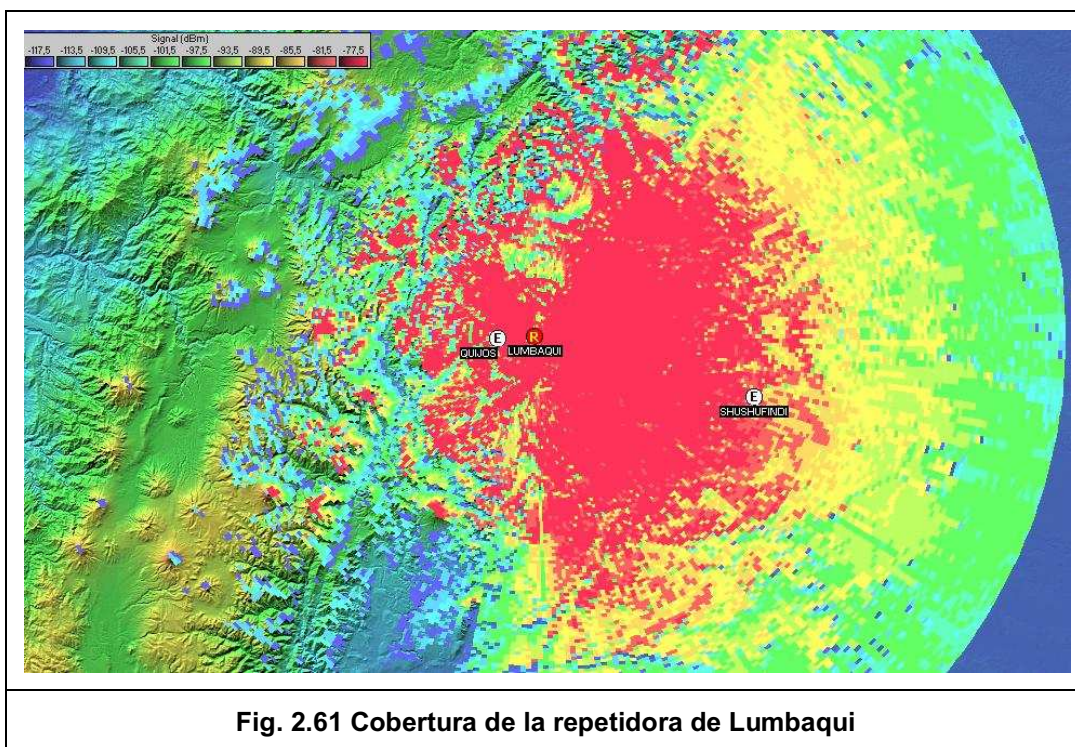
Se considerará que la señal tiene un nivel bueno hasta -109.5 dBm (celeste), promedio hasta -89.5 dBm (amarillo) y excelente hasta -81.5 dBm (rojo).

Las repetidoras que se analizarán son:

- Lumbaqui
- Tres Cruces
- Guamaní
- Atacazo
- Igualata
- Balao
- Bijagual

Finalmente, se añadirá un diagrama de la cobertura de todas las repetidoras a los largo de la Gerencia de Comercialización.

2.5.2.3.1 Repetidora de Lumbaqui



Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Repetidora	Intensidad de la señal	Distancia de cobertura	Nivel de recepción
Lumbaqui	Buena	200.48 Km	-109.5 dBm
	Promedio	144.71 Km	-89.5 dBm
	Excelente	103.46 Km	-81.5 dBm

Tabla 2.64 Niveles de cobertura de la repetidora de Lumbaqui

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

2.5.2.3.2 Repetidora de Tres Cruces

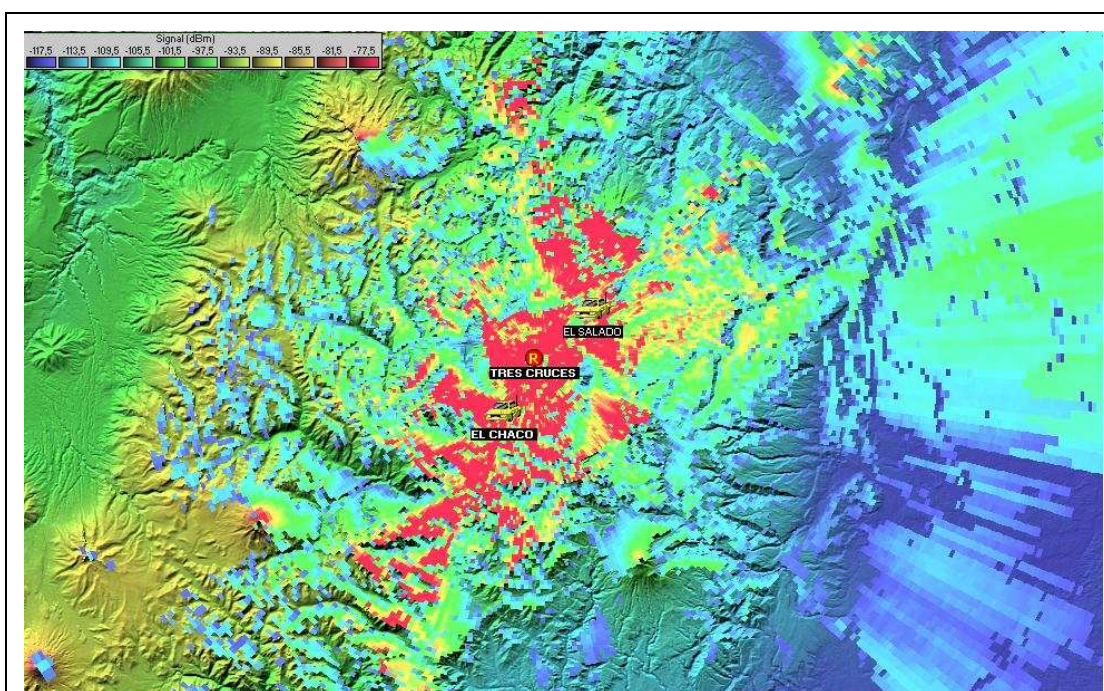


Fig. 2.62 Cobertura de la repetidora de Tres Cruces

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Repetidora	Intensidad de la señal	Distancia de cobertura	Nivel de recepción
Tres Cruces	Buena	47.64 Km	-109.5 dBm
	Promedio	41.39 Km	-89.5 dBm
	Excelente	21.77 Km	-81.5 dBm

Tabla 2.65 Niveles de cobertura de la repetidora de Tres Cruces

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

2.5.2.3.3 Repetidora de Guamaní

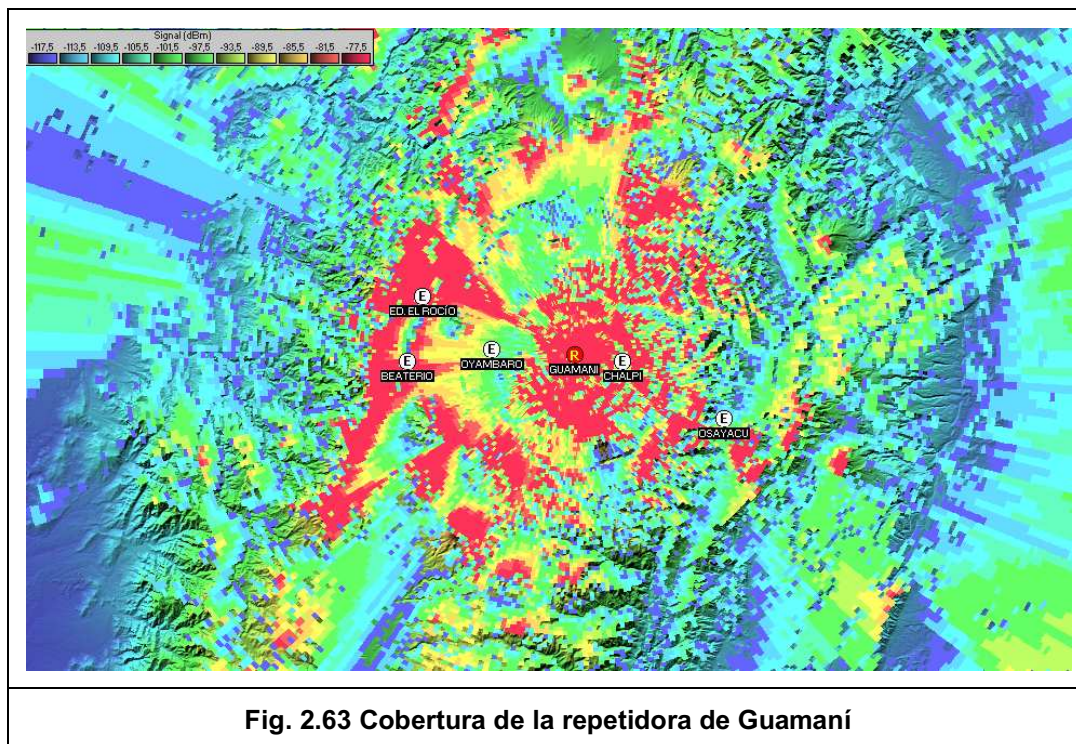


Fig. 2.63 Cobertura de la repetidora de Guamaní

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

Repetidora	Intensidad de la señal	Distancia de cobertura	Nivel de recepción
Guamaní	Buena	93.40 Km	-109.5 dBm
	Promedio	78.73 Km	-89.5 dBm
	Excelente	44.34 Km	-81.5 dBm

Tabla 2.66 Niveles de cobertura de la repetidora de Guamaní

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

2.5.2.3.4 Repetidora del Atacazo

Repetidora	Intensidad de la señal	Distancia de cobertura	Nivel de recepción
Atacazo	Buena	257.10 Km	-109.5 dBm
	Promedio	207.91 Km	-89.5 dBm
	Excelente	133.44 Km	-81.5 dBm

Tabla 2.67 Niveles de cobertura de la repetidora del Atacazo

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

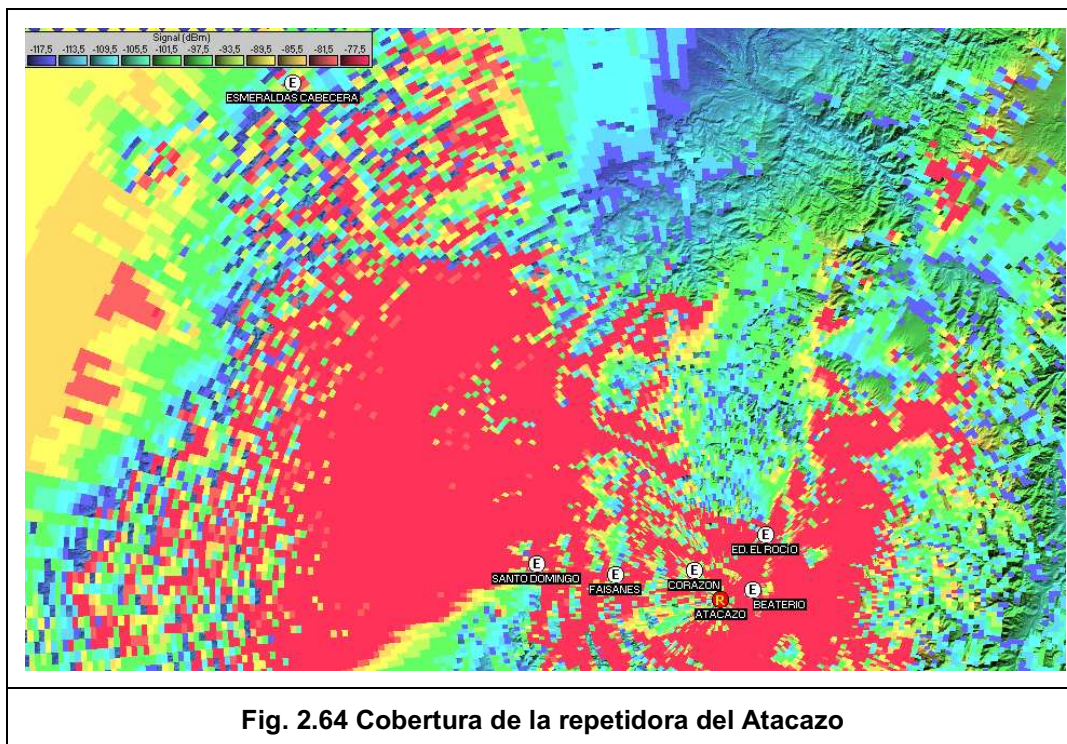


Fig. 2.64 Cobertura de la repetidora del Atacazo

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

2.5.2.3.5 Repetidora del Igualata

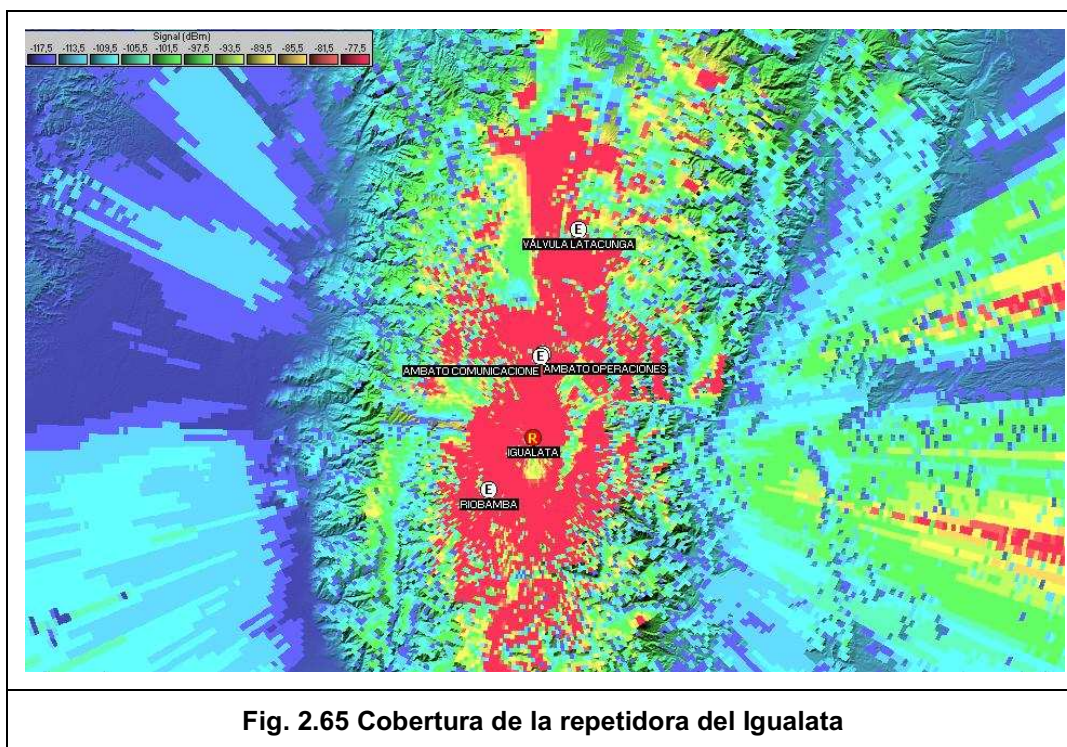


Fig. 2.65 Cobertura de la repetidora del Igualata

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

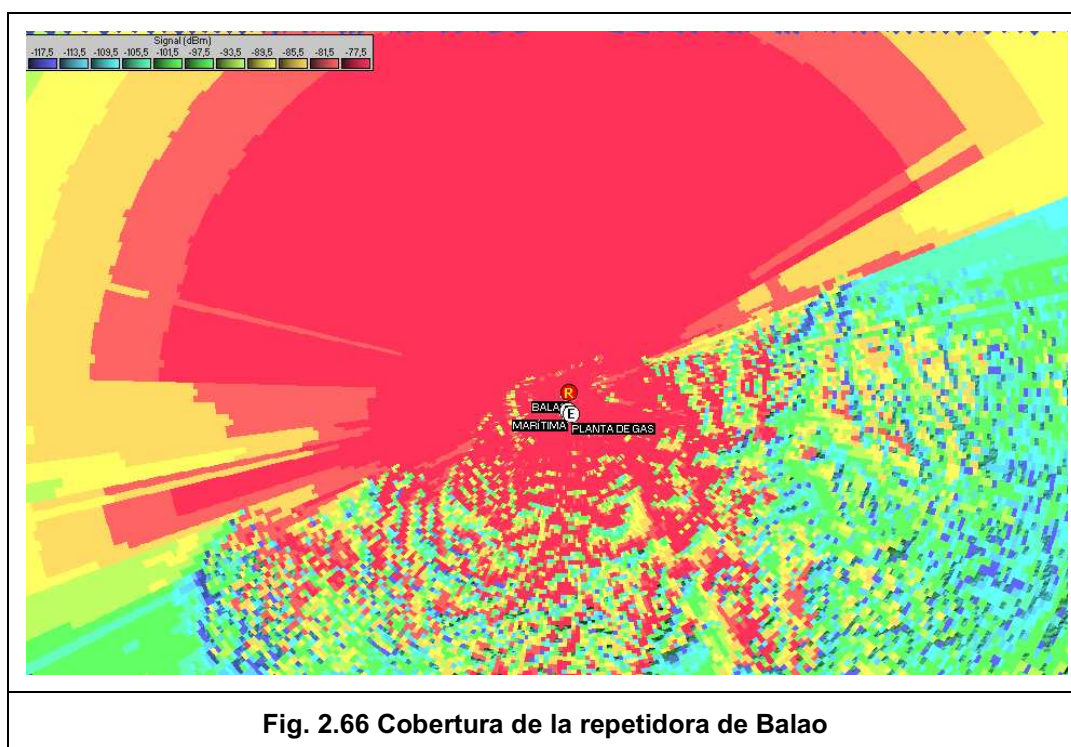
Repetidora	Intensidad de la señal	Distancia de cobertura	Nivel de recepción
Iguatala	Buena	126.90 Km	-109.5 dBm
	Promedio	107.92 Km	-89.5 dBm
	Excelente	92.59 Km	-81.5 dBm

Tabla 2.68 Niveles de cobertura de la repetidora del Iguatala

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

2.5.2.3.6 Repetidora de Balao



Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

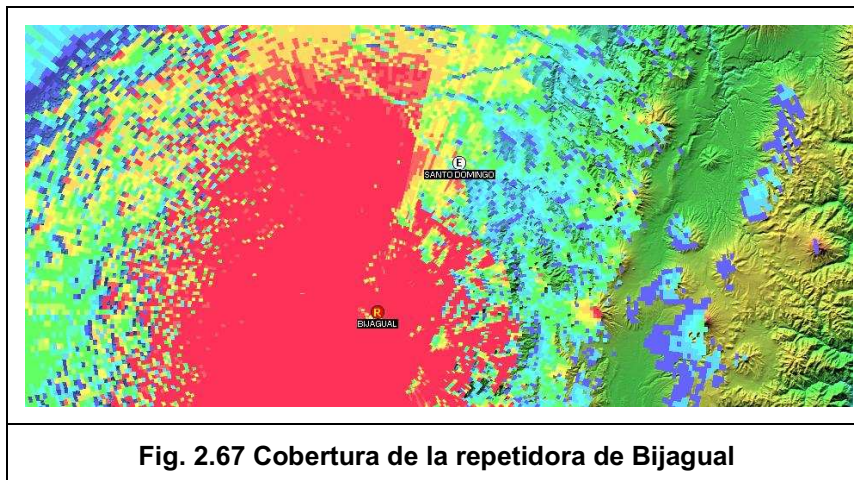
Repetidora	Intensidad de la señal	Distancia de cobertura	Nivel de recepción
Balao	Buena	60.44 Km	-109.5 dBm
	Promedio	45.80 Km	-89.5 dBm
	Excelente	31.11 Km	-81.5 dBm
	Excelente dentro del mar	54.86 Km	-81.5 dBm

Tabla 2.69 Niveles de cobertura de la repetidora de Balao

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

2.5.2.3.7 Repetidora de Bijagual



Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

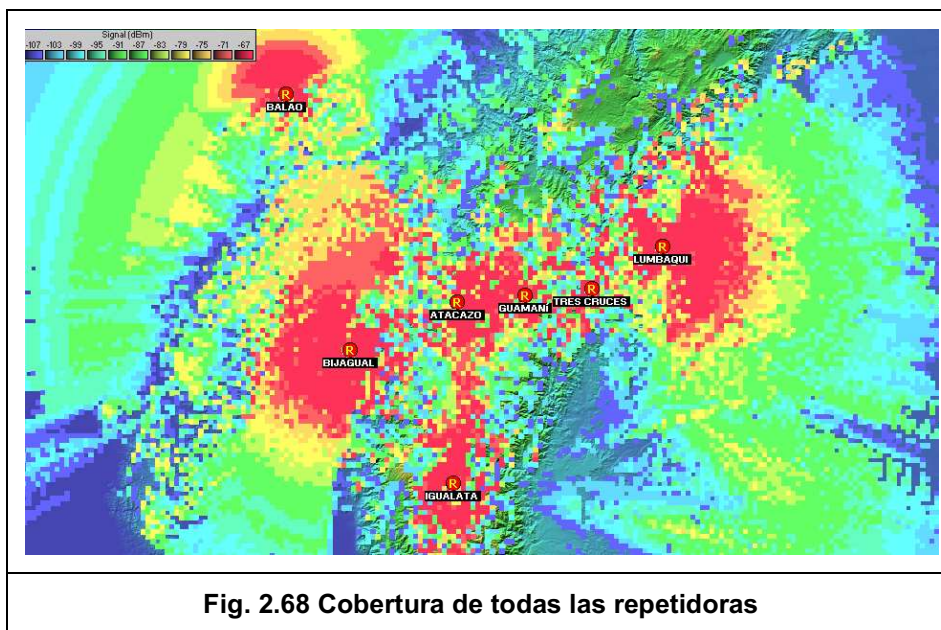
Repetidora	Intensidad de la señal	Distancia de cobertura	Nivel de recepción
Bijagual	Buena	87.31 Km	-109.5 dBm
	Promedio	71.96 Km	-89.5 dBm
	Excelente	44.14 Km	-81.5 dBm

Tabla 2.70 Niveles de cobertura de la repetidora de Bijagual

Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

2.5.2.3.8 Cobertura de todas las repetidoras



Extraído de: Software Radio Mobile

Elaborado por los autores

2.5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el punto 2.5.2.1 se pudo comprobar que en los enlaces VHF Sitio – Repetidora los resultados son los necesarios para poder determinar que dichos enlaces son factibles de implementarse; puesto que en todos se tiene una alta intensidad de la señal en el receptor, buena confiabilidad que significa bajos tiempos de indisponibilidad.

De igual manera, en el punto 2.5.2.2, al aumentar las dos repetidoras, Condijua y Reventador, se asegura una confiable y completa comunicación digital entre las repetidoras de Guamaní y Lumbaqui permitiendo conectar a todo el poliducto Shushufindi – Quito. En todos los enlaces microonda se asegura un buen nivel de recepción de la señal y bajos tiempos de indisponibilidad.

Por último, en el punto 2.5.2.3, se determinó la cobertura de cada una de las repetidoras y de todas en conjunto, corroborando así, que se tiene comunicación a lo largo de cada uno de los poliductos y las vías aledañas a los mismos.

Desde el punto de vista técnico se concluye que el Sistema VHF Digital diseñado es factible de realizarse y cumplirá con todos los requerimientos de la empresa.

2.5.4 ESQUEMA DEL DIAGRAMA VHF DIGITAL DISEÑADO

La totalidad de los enlaces VHF y microonda que conforman la integridad del Sistema VHF Digital de la Gerencia de Comercialización Distrito Norte se presentan en el anexo H.

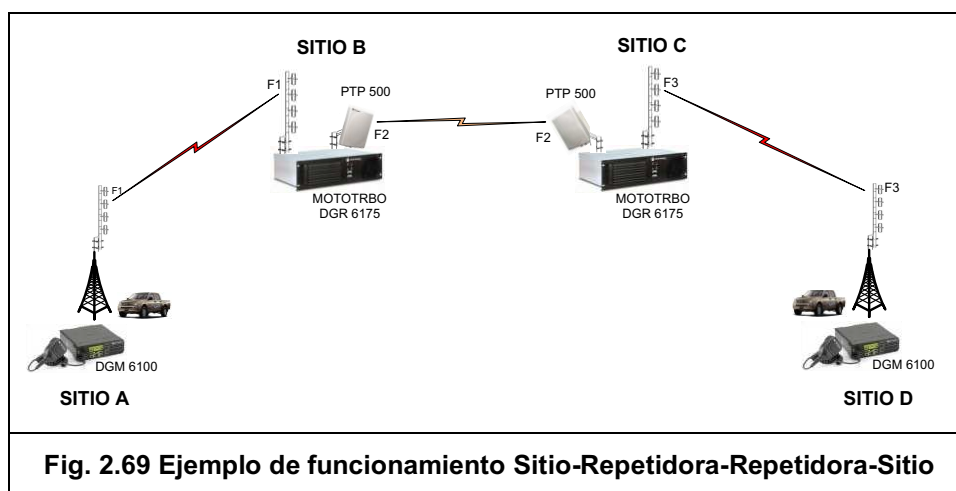
2.5.5 EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO Y CONECTORIZACIÓN DE UNO DE LOS ENLACES DEL SISTEMA VHF

Se detallará un ejemplo de enlace entre Sitio – Repetidora – Repetidora – Sitio para poder observar la interconexión de los equipos MOTOTRBO y CANOPY, la

transmisión de información entre repetidoras y cómo estas irradian la señal hacia los sitios, además de la forma de cómo éstos captan dicha señal.

Para este propósito se planteará la siguiente situación:

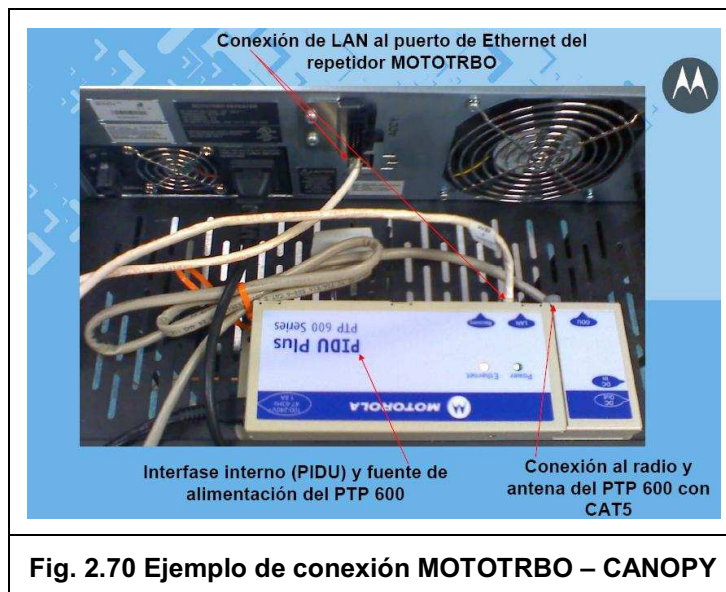
Un usuario ubicado en el sitio A desea comunicarse con otro usuario en el sitio D, como se muestra en la figura:



Elaborado por los autores

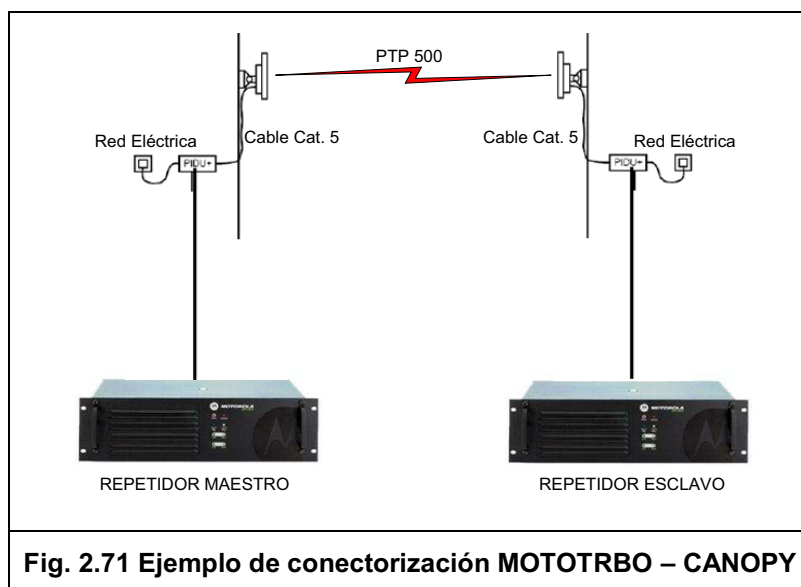
El proceso para realizar esta comunicación es el siguiente:

- El usuario en el sitio A realiza una llamada PTT (Push To Talk) desde su radio móvil/base MOTOTRBO a la frecuencia F1, ésta es captada por la repetidora B configurada a esa frecuencia.
- La repetidora B transforma la información VHF en datos IP mediante el software IP Site Connect (ver anexo I) y el vocoder AMBE++ (que se describirá más adelante).
- La repetidora B se conecta a una unidad PIDU (Powered InDoor Unit) que es una interfaz interna y fuente de alimentación del equipo CANOPY, mediante el puerto Ethernet de la repetidora MOTOTRBO; la PIDU se conecta al radio y antena CANOPY mediante un cable Ethernet categoría 5, como se muestra en la figura 2.70:



Extraído de: Manual de Instalación de Equipos CANOPY

- La información es enviada por el enlace microonda entre Backhuals, desde la Repetidora B hasta la Repetidora C a una frecuencia F2.



Elaborado por los autores

- En la Repetidora C se realiza el proceso inverso que en la Repetidora B; es decir, la información captada por el Backhaul C es convertida a VHF por la Repetidora MOTOTRBO y es irradiada hacia el sitio D a la frecuencia F3 configurada en el equipo. El radio móvil/base en D capta

la señal enviada por la repetidora C a dicha frecuencia, con lo que se completa la comunicación.

2.6 CARACTERÍSTICAS ADICIONALES DEL SISTEMA VHF DIGITAL DISEÑADO

2.6.1 SEGURIDAD

La seguridad de la red está implementada a través de mecanismos que ofrecen los mismos equipos que se utilizan, es decir, MOTOTRBO y CANOPY, que incluyen técnicas como:

2.6.1.1 Seguridad en MOTOTRBO

- Scramble de inversión de voz

Consiste en darle la vuelta a la semionda positiva del espectro de audio, añadiéndola a la semionda negativa y con un desfase determinado en frecuencia audible para poder ser sincronizada en el receptor autorizado. Se sabe que existe una transmisión, pero es ininteligible para los receptores no autorizados.

- Encriptación

Utiliza una encriptación básica de 8 bits o una mejorada de 40 bits (requiere licencia adicional). Permite volver ilegible la información, la cual una vez encriptada solo puede leerse aplicándole la llave de encriptación correspondiente. Consiste en mezclar los bits de la información con una secuencia aleatoria de bits conocida como key o llave, de manera que se logre ensanchar el espectro de la señal hasta hacerlo casi plano, con el objetivo de que se parezca al espectro del ruido; solo aquel que conozca la llave podrá recuperar la información original.

MOTOTRBO usa una clave propia de encriptación para cada grupo privado de trabajo.

➤ Autenticación

Cada grupo de trabajo requiere un alias, el cual puede ser alfanumérico y de una longitud de 16 caracteres; además, requiere un número de identificación individual (ID) para el equipo entre 1 a 16'776415 seguido de la clave de encriptación propia de cada grupo. Cada radio tiene un PTT-ID que identifica a la radio como única.

2.6.1.2 Seguridad en CANOPY

➤ Encriptación

El tipo de encriptación que ocupa CANOPY es AES (Estándar de Encriptación Avanzada) de 128/256 bits. AES es una técnica de claves simétrica que proporciona una encriptación segura; utiliza una de las tres fortalezas de clave de cifrado que es una clave de encriptación (contraseña) de 128/256 bits. Cada tamaño de la clave de cifrado hace que el algoritmo se comporte ligeramente diferente. AES es lo suficientemente seguro para proteger la información clasificada hasta el nivel alto secreto.

➤ Autenticación

El proceso de autenticación toma en consideración el número electrónico de serie único a cada transceptor junto con una llave secreta de 128 bits únicamente conocida por el operador de la red. El sistema es transparente para firewalls, servidores DHCP y dispositivos NAT.

2.6.2 MODULACIÓN

2.6.2.1 Modulación en MOTOTRBO

MOTOTRBO ocupa una modulación 4FSK, que es una extensión de FSK, en el cual se tiene que una sucesión de dos dígitos binarios pueden ser transmitidos por un símbolo cuatro-ario; esto se debe a que solo existen cuatro sucesiones

posibles de dos dígitos binarios (11, 10, 01, 00); de esta manera se aumenta la potencia de transmisión, incrementándose la relación señal a ruido por ende la señal es más inmune a éste.

2.6.2.2 Modulación en CANOPY

Las técnicas de modulación que ocupan los equipos CANOPY son:

➤ MIMO OFDM

MIMO OFDM, es una tecnología que transmite múltiple señales simultáneamente sobre un solo medio de transmisión. Cada señal viaja con su propio y único rango de frecuencia (portadora), el cual es modulado por los datos (sean de texto, voz, vídeo, etc.).

OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) distribuye el dato sobre un largo número de portadores de diferentes frecuencias ortogonales entre sí, cada dato es modulado en QAM o en PSK. Así, se asegura una gran eficiencia espectral, alta resistencia a interferencias de trayectoria múltiples y al desvanecimiento.

MIMO (Múltiples Entradas Múltiples Salidas) es una técnica en la cual la radio irradia múltiples haces desde la antena, lo cual brinda una importante protección contra el desvanecimiento e incrementa las probabilidades de que se establezca una conexión exitosa.

➤ 16QAM

En la modulación 16QAM, cada flujo de datos se divide en grupos de cuatro bits y a su vez en subgrupos de dos bits, codificando cada bit en cuatro estados o niveles de amplitud y fase de las portadoras.

2.6.3 GRUPOS DE TRABAJO Y LLAMADA SELECTIVA

MOTOTRBO permite hacer tres clases de grupos de trabajo que están relacionados con los 3 tipos de llamadas selectivas que permiten los equipos (ver anexo B), que son:

- Llamada individual
- Llamada de grupo
- Llamada a todos

Los distintos grupos son creados y configurados en el software de programación de radios y repetidoras MOTOTRBO, CPS (Customer Programming Software); cada equipo puede acceder a ellos mediante un nombre de usuario y una contraseña.

2.6.4 SISTEMAS DE RESPALDO DE ENERGÍA

Todo sistema de comunicación necesita un sistema de respaldo de energía en caso de que el principal falle, ya que no se puede interrumpir el servicio, en especial cuando la información que se transporta por dicho sistema es de mucha importancia.

En el caso del sistema VHF digital diseñado se utilizarán los siguientes equipos:

- Banco de baterías

Se utilizarán bancos de baterías para proporcionar la energía de corriente continua que necesiten los equipos.

- Cargador / inversor

Este equipo permite dos modos de operación: el primero, como cargador, en el cual se alimenta de corriente alterna y entrega corriente continua; el segundo, como inversor, en donde se alimenta con corriente continua y entrega corriente alterna.

- Fuente DC

Se la utiliza para alimentar con corriente continua a los equipos conectados a ella, ó como cargador de baterías.

2.6.4.1 Funcionamiento del sistema de respaldo de energía

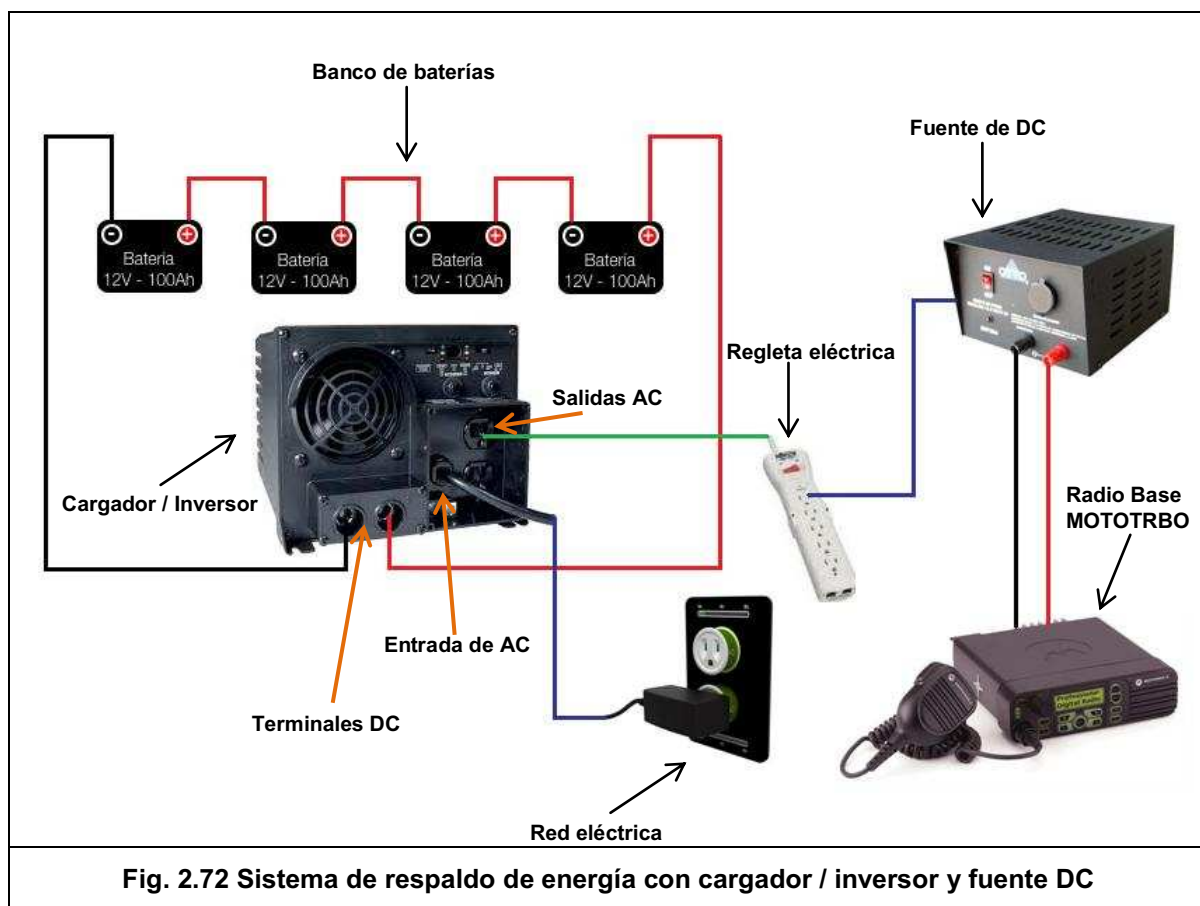
Para los sistemas de respaldo de energía se proponen dos configuraciones:

- Utilizando el cargador / inversor y la fuente DC

En esta configuración, la entrada AC del cargador / inversor está conectada a la red eléctrica, la salida AC del mismo a una regleta eléctrica y los terminales DC al banco de baterías. La fuente DC y los equipos que funcionan con corriente alterna están conectados a la regleta eléctrica; y los que operan con corriente continua se alimentan de la fuente.

El funcionamiento de esta configuración es la siguiente: cuando la corriente principal funciona correctamente, el cargador / inversor opera como cargador de baterías y además alimenta a la regleta eléctrica con corriente alterna. Si existe un corte de energía, el cargador / inversor entra en la opción de inversor, es decir, toma la carga DC de las baterías y la transforma en AC para alimentar a la regleta eléctrica. De esta manera, si la falla de energía no se prolonga por mucho tiempo llegando a descargar completamente a las baterías, se asegura que la regleta

eléctrica siempre esté energizada, manteniendo todos los equipos operando correctamente.



Elaborado por los autores

- Utilizando solo la fuente DC

Esta configuración solo es apta para conectar equipos que funcionen con corriente continua. La fuente DC está conectada a la red eléctrica y sus terminales cargan al banco de baterías, del cual se alimentan los equipos de comunicaciones. Si existiese un corte de energía, los equipos tomarán la energía de las baterías mientras dure su carga.

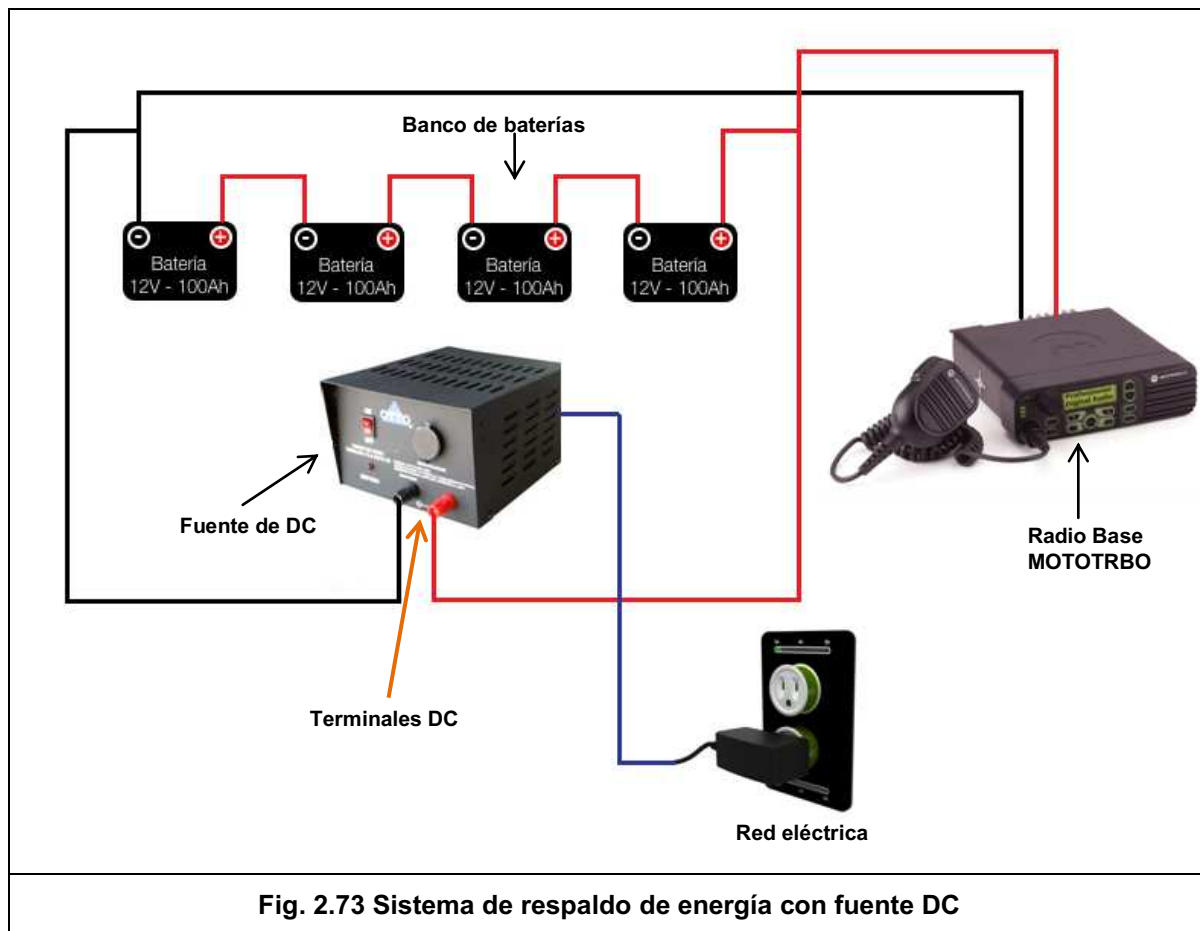


Fig. 2.73 Sistema de respaldo de energía con fuente DC

Elaborado por los autores

2.6.5 PROTOCOLOS UTILIZADOS EN LA TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los productos MOTOTRBO, radios portátiles y móviles, proporcionan una interfaz física y lógica a una tarjeta interna con un procesador a bordo y lógica intrínseca. Dicha tarjeta usa el protocolo XCMP (Extended Command and Management Protocol) para establecer un mecanismo de comunicación entre la tarjeta y la radio. A través de este protocolo la tarjeta puede solicitar notificaciones de ciertos eventos como: presionar un botón o censar señales, por ejemplo: detección de portadora, detección de PL¹¹, etc., con el fin de adoptar nuevas medidas para procesar una función personalizada. La sincronización que se utiliza para este propósito es a través de la interfaz serial SSI (Synchronous Serial

¹¹ PL: Private Line, se usa para generar un tono que se transmite adicionalmente a la portadora para evitar transmisiones no deseadas; la repetidora detecta la portadora y este tono y entra en funcionamiento

Interface) para transportar las señales de control del protocolo XCMP junto con los paquetes desde y hacia la radio.

MOTOTRBO utiliza terminales USB para conectar sus accesorios como: micrófono y parlante constituyendo el medio físico de conexión; y para control del mismo, trabaja en capa 2 con las interfaces de red NDIS (Network Driver Interface Specification) y RNDIS (Remote Network Driver Interface Specification), que proporcionan aplicaciones de programación para la tarjeta de red NIC interna utilizando Windows, de esta manera permiten tener una conexión Ethernet local y remota. La transmisión de datos en capa 3 se basa en el protocolo IP, y de acuerdo a las aplicaciones que ofrece como: mensaje de texto, transmisión de voz, telemetría y rastreo satelital; se define el protocolo que utilizará en capas superiores, así:

- Telemetría

Protocolo capa transporte: UDP (User Datagram Protocol)

Protocolo capa aplicación: TP-NET (Third Party - NET)

- Localización Satelital

Protocolo capa transporte: UDP

Protocolo capa aplicación: LRPP (Long Range Reconnaissance Patrol)

- Transmisión de voz

Protocolo capa transporte: UDP

Protocolo capa aplicación: RTMP (Real Time Protocol)

- Mensajería de Texto

Protocolo capa transporte: UDP

Protocolo capa aplicación: TMP (Time Protocol)

2.6.5.1 Procesamiento de la información

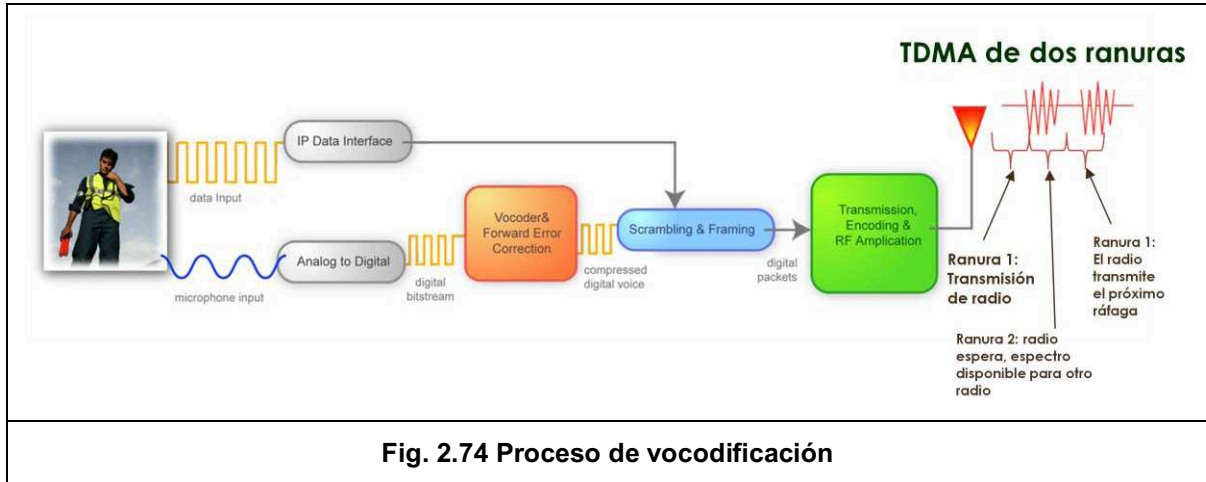
El dispositivo que se encarga de la conversión de la información a digital dentro del radio transmisor, es un circuito integrado denominado vocoder (codificador de voz) AMBE++. AMBE (Advanced Multi – Band Excitation) es un estándar de codificación de voz propietario, desarrollado por Digital Voice Systems, Inc.'s (DVSI's).

Un vocoder digital reduce una señal compleja de voz a un pequeño número de parámetros. En lugar de transmitir la conversación análoga en su plenitud, lo cual requiere una cantidad relativamente grande de ancho de banda, un radio digital transmite sólo los parámetros importantes. Por cuanto estos parámetros pueden ser representados por un pequeño número de bits digitales, requieren menos ancho de banda.

➤ Procedimiento de Vocodificación

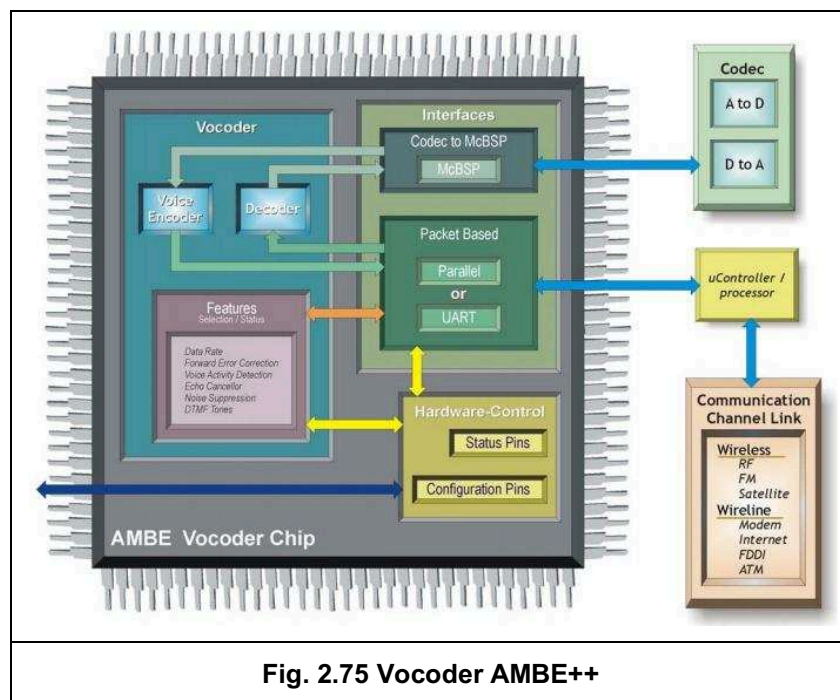
- El proceso de vocodificación inicia dividiendo la conversación en segmentos cortos, generalmente de 20 a 30 milisegundos de longitud. Cada segmento es analizado y los parámetros importantes como el tono, nivel y respuesta de frecuencia son extraídos. Estos parámetros son codificados entonces, usando un pequeño número de bits digitales.
- Antes de la transmisión, los parámetros codificados de la conversación también son protegidos mediante la adición de bits de corrección de errores (Forward Error Correction, o FEC).
- Durante la recepción, la FEC es usada para corregir errores de bits que puedan haber ocurrido debido a impedimentos en el canal RF. Pese a que la FEC no puede corregir todos los errores que pueden ocurrir, sí puede corregir un número razonable de errores de bits, proveyendo una

degradación mínima del audio a través de gran parte del área de cobertura.



Fuente: Manual de MOTOTRBO

El Vocoder AMBE++ ó AMBE +2, operan en velocidades de transmisión de 2 a 9.6 Kbps, frecuencias de muestreo de 8 KHz en muestras de 20 ms. Los datos de audio son usualmente combinados con 7 o más bits de FEC (Foward Error Correction), produciendo un ancho de banda total de RF de aproximadamente 2250 Hz.



Fuente: Manual del Vocoder AMBE++

2.7 ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

2.7.1 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Para establecer el costo total del proyecto, es necesario conocer el número total de equipos que se requiere para los enlaces en cada uno de los sitios. Teniendo en cuenta el requerimiento de la empresa de reutilizar, en la medida de lo posible, la mayor cantidad de equipos e infraestructura, se decide mantener las antenas, sistemas de respaldo de energía, torres, casetas y racks actuales ya que están en buenas condiciones como para formar parte del nuevo sistema. De esta manera los equipos que se necesitan adquirir son:

EQUIPOS MOTOTRBO				
Sitio	Repetidora	Radio Base	Radio Móvil	Radio Portátil
Shushufindi	-	2	4	8
Quijos	-	1	1	3
Osayacu	-	1	4	6
Chalpi	-	1	2	3
Oyambaro	-	1	3	6
Beaterio	-	9	16	13
Ed. El Rocío	-	2	6	6
Corazón	-	1	2	3
Faisanes	-	1	2	3
Santo Domingo	-	5	6	14
Esmeraldas Cabecera	-	3	5	5
Marítima	-	1	4	2
Planta de Gas	-	2	15	4
Riobamba	-	3	4	5
Ambato Operaciones	-	2	4	5
Ambato Comunicaciones	-	1	-	-
Campamento Latacunga	-	1	2	1
Lumbaqui	1	-	-	-
Tres Cruces	1	-	-	-

Guamaní	1	-	-	-
Atacazo	1	-	-	-
Igualata	1	-	-	-
Balao	1	-	-	-
Bijagual	1	-	-	-
Total	7	37	80	87

Tabla 2.71 Listado de equipos VHF MOTOTRBO

Elaborado por los autores

EQUIPOS CANOPY	
Enlace	Sistema Backhaul
Guamaní – Condijua	1
Condijua – Tres Cruces	1
Tres Cruces – Reventador	1
Reventador – Lumbaqui	1
Atacazo – Igualata	1
Total	5

Tabla 2.72 Listado de equipos CANOPY

Elaborado por los autores

Para obtener el costo total de la implementación del diseño propuesto, se solicitaron proformas a cuatro empresas distribuidoras de equipos MOTOROLA en el país, como son: Accesorios Solutions S.A., Proasetel, Cescom e Inredtel; de las cuales se escogió la propuesta económica de Accesorios Solutions S.A. para la serie MOTOTRBO, y la de Proasetel para CANOPY, las cuales se presentan en el anexo J. Se seleccionó a estos proveedores debido a que sus cotizaciones fueron las menos costosas, ofrecen garantía en los productos y los equipos cumplen con las características requeridas.

En el caso de radios móviles, portátiles y bases se ha escogido el modelo más completo por ende el más costoso; para simular las peores condiciones.

Los precios que se presentarán son referenciales, por lo que al adquirir en un gran número los costos totales son menores.

De acuerdo a los datos de las tablas 2.71 y 2.72 y a los valores obtenidos del anexo J, el costo total de la implementación del Sistema VHF Digital propuesto es:

MOTOTRBO (Accesorios Solutions S.A.)					
Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Repetidora	MOTOROLA	DGR 6175	7	2700.00	18900.00
Radio Base	MOTOROLA	DGM 6100	37	1145.00	42365.00
Radio Móvil	MOTOROLA	DGM 6100	80	855.00	68400.00
Radio Portátil	MOTOROLA	DGP 6150	87	835.00	72645.00
Kit programación (todos los modelos)	MOTOROLA	-	5	250.00	1250.00
Manuales (todos los modelos)	MOTOROLA	-	5	180.00	900.00
TOTAL	204 460.00 \$				

Tabla 2.73 Costo de equipos MOTOTRBO

Fuente: PROFORMA ACCESORIOS SOLUTIONS

Elaborado por los autores

CANOPY (Proasetel)					
Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Enlace Backhaul de 52 Mbps, 5.7 GHz (completo)	MOTOROLA	PTP 500	5	8157.33	40786.65
Accesorios adicionales (cable FTP para exteriores, conectores RJ45 blindados)	-	Categoría 5	-	-	1000
TOTAL	41 786.65 \$				

Tabla 2.74 Costo de equipos CANOPY

Fuente: PROFORMA PROASTEL

Elaborado por los autores

Sumando los costos de los equipos MOTOTRBO y CANOPY, el costo total del proyecto es de:

246 246.65 \$

2.7.2 ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN

El costo total del proyecto es relativamente alto; pero los beneficios que brinda a la empresa sustentan este valor, así:

- Para mantener el sistema actual de comunicación VHF en operación e implementar una plataforma digital sobre él es necesario reemplazar algunas repetidoras que se encuentran en mal estado, debido a que los modelos están discontinuados y no existen repuestos para las mismas en el país; además su tiempo de vida útil está por terminar. El costo de una repetidora Quantar es de 23500 dólares¹² lo cual supera el valor de las 7 repetidoras MOTOTRBO; asimismo el precio de una radio base XTL5000, que es el único modelo actual híbrido (funcionamiento analógico / digital) que se podría utilizar, es de 3500 dólares¹³, el mismo que es más costoso que una radio base MOTOTRBO. Por ende, migrar el sistema de analógico a digital manteniendo los modelos de equipos implementados actualmente, resulta mucho más caro que hacerlo con MOTOTRBO, además, se necesitan nuevas interfaces para poder adaptar la transmisión de información a los requerimientos de la empresa.
- La red propuesta, por ser digital y de última generación, asegura la escalabilidad del sistema y facilita la actualización del mismo a medida que avance la tecnología. El tiempo de vida útil de los equipos es superior a los 15 años, y debido a que trabaja con tecnología digital de

¹² Valor extraído del Departamento Técnico Oficina Comercial Raymond Wells

¹³ Valor extraído de página web de Accesorios Solutions S.A.

vanguardia, se asegura a la empresa un sistema VHF digital escalable y duradero.

- Los equipos MOTOROLA que se utilizan en el diseño son compatibles con los actuales, permitiendo una migración paulatina de analógico a digital; de igual manera pueden funcionar a la par con otras plataformas de MOTOROLA por si se necesitara añadir equipos con otras características a la red.
- Los equipos MOTOTRBO permiten brindar seguridad a la red de manera implícita, es decir, las repetidoras y radios usados cuentan con mecanismos para proteger las comunicaciones, evitando el acceso de usuarios no autorizados; lo que no existe actualmente y para implementar alguna política de seguridad es necesario la adquisición de accesorios adicionales que permitan realizarlo.
- La línea MOTOTRBO trabaja en el mismo rango de frecuencias que los equipos instalados en la red analógica, por lo que no se requiere ninguna concesión adicional de frecuencias con el organismo regulador; además la línea CANOPY trabaja en bandas ISM que son de licencia libre. De esta manera no se incurre en ningún gasto ni trámite para la utilización de frecuencias y anchos de banda en el diseño de la solución planteada.
- El sistema VHF diseñado otorga características adicionales que la red actual no posee, como: acceso remoto a los dispositivos (repetidoras, radios bases y radios móviles), lo que facilita el monitoreo y administración de los mismos.

La solución digital propuesta ofrece altos beneficios a la empresa que sustentan la inversión en la implementación de la misma. Por lo tanto, desde el punto de vista económico se concluye que el Sistema VHF Digital diseñado es factible de realizarse y cumplirá con todos los requerimientos de la empresa.

2.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA VHF DIGITAL

2.8.1 VENTAJAS

- Bajo costo de implementación.
- Tecnología de vanguardia, escalable, flexible a través de la utilización de una arquitectura modular.
- Arquitectura resistente para trabajos en ambientes adversos, ya que es construida bajo estándares militares.
- Compatibilidad con otras plataformas MOTOROLA.
- Comunicaciones seguras.
- Administración local y remota de la red.
- Llamada selectiva.
- Combina el acceso de voz y datos en el mismo dispositivo.
- Reducción del ruido y preservación de la calidad de voz.
- Garantía de 15 años en los equipos.
- Duración prolongada de la batería en radios portátiles.
- Aplicaciones de datos como: localización GPS, mensajería de texto, correo electrónico, telemetría y registro de llamadas.
- Llamadas de alerta y emergencia.
- Conectividad IP.

La descripción de las ventajas enunciadas se las puede encontrar en el anexo B.

2.8.2 DESVENTAJAS

- Al tratarse de una tecnología diferente se requerirá de un tiempo prudencial para que los usuarios se ambienten al uso de los equipos lo que repercutirá en el no aprovechamiento de todas las características y aplicaciones que se ofrecen.
- Los equipos CANOPY disponen de un gran ancho de banda a comparación del que se requiere para el funcionamiento del sistema diseñado, aún cuando se ha utilizado el modelo de menor ancho de banda de la línea.

2.9 COMPROBACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS PLANTEADOS POR LA EMPRESA

En este punto se detallarán los requerimientos de la empresa y la manera como se dio cumplimiento a los mismos.

- Cambio del sistema de analógico a digital

El sistema VHF diseñado es completamente digital.

- Seguridad en las comunicaciones

No se ha implementado algún tipo de seguridad extrínseca, ya que no es necesario, porque los equipos MOTOTRBO y CANOPY brindan mecanismos de seguridad propietarios a las comunicaciones como se detalló en el punto 2.6.1.

- Llamadas selectivas

El cumplimiento de este requerimiento se encuentra en el punto 2.6.3.

- Administración centralizada

Como se evidencia en el diseño del sistema VHF, los sitios de administración de las comunicaciones siguen siendo El Beaterio y el Ed. El Rocío; es por ello que los tres poliductos tienen enlaces independientes con dichos lugares.

- Costo aceptable

Este requerimiento se lo cumple en el punto 2.7.

- Disminución y/o eliminación del ruido

Al trabajar con tecnología digital se asegura la disminución del ruido; adicionalmente los equipos utilizados tienen incorporados filtros supresores de ruido.

- Converger la información al protocolo IP

La conversión de la información al protocolo IP se lo muestra en el punto 2.6.5.

- Confiabilidad y disponibilidad

El promedio de confiabilidad del diseño realizado es del 99.9 %, que coincide con la del enlace analógico. Este se traduce en un tiempo de indisponibilidad de 8.75 horas en el año.

- Independencia del sistema VHF

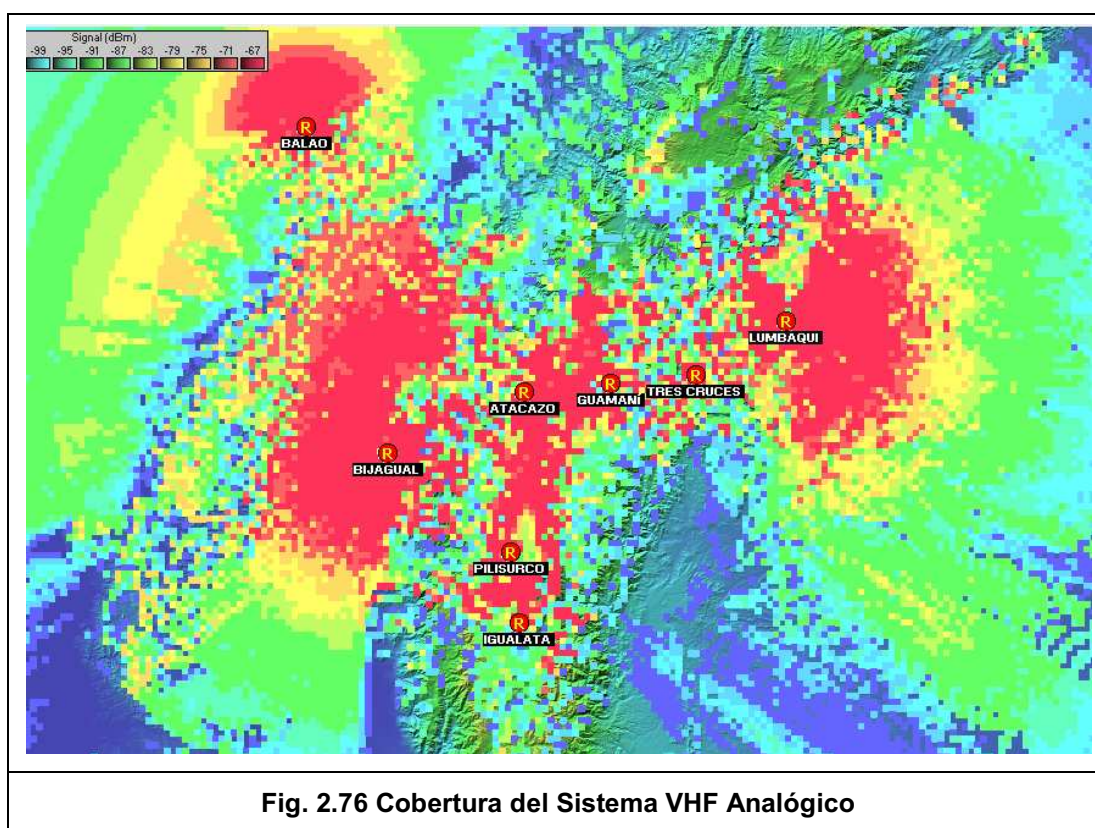
El Sistema VHF Digital constituye un respaldo al resto de comunicaciones, tiene su propia red e infraestructura; por lo que es totalmente independiente.

- Equipos MOTOTRBO de MOTOROLA y reutilización de recursos

Los enlaces VHF fueron realizados íntegramente con la línea MOTOTRBO de MOTOROLA. Además, se reutilizó la mayor cantidad de infraestructura, como se menciona en el punto 2.7.1 (página 251).

- Conservar el rango de cobertura

El rango de cobertura del Sistema VHF Analógico se presenta en la siguiente figura:



Fuente: Radio Mobile

Elaborado por los autores

Comparando las figuras 2.76 y 2.68 (página 237) donde se encuentra la cobertura del Sistema VHF Digital, se evidencia que ésta se mantiene, incluso se aumenta en la ciudad de Riobamba gracias a la repetidora del Iguayata.

En conclusión, el diseño planteado en este proyecto de un Sistema VHF Digital para la Gerencia de Comercialización de EPPETROECUADOR, cumple con todos los requerimientos técnicos y económicos; por lo que es factible su implementación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al culminar el presente proyecto de titulación, se presentan factores concluyentes que permitan corroborar los objetivos planteados y justificar los resultados obtenidos de acuerdo a los requerimientos presentados por la empresa, y el cumplimiento de los mismos. Además se presenta ideas que aconsejan a tomar acciones coherentes para alcanzar metas y objetivos importantes para la implementación proyecto.

CONCLUSIONES:

- Se logró determinar las ventajas y desventajas del cambio de tecnología analógica a digital del Sistema VHF de la Gerencia de Comercialización Distrito Norte.
- El Terminal Riobamba no podía ser monitorizado ni administrado desde el Terminal Beaterio o el Ed. El Rocío con el sistema analógico, debido a que no se poseía enlace hacia éste sitio, ya que solo se tenía cobertura local en este lugar y no se conectaba con la repetidora del Pilisurco para tener salida al poliducto Quito – Ambato – Riobamba. Con el sistema VHF digital diseñado se habilita la repetidora del Igualata para que conecte la totalidad del poliducto antes mencionado y a su vez a éste con los sitios de control y administración.
- A pesar de existir comunicaciones de alta velocidad que conectan dos puntos lejanos, las transmisiones VHF son de gran importancia debido a que constituyen un sistema de respaldo a las anteriores; esto es muy valioso para la empresa, puesto que por la naturaleza de las ondas VHF que se propagan a través de obstáculos y cubren amplias zonas, es utilizada a lo largo del tendido del poliducto que atraviesa montañas, valles y sitios donde ningún otro tipo de señal puede llegar, constituyéndose en el medio de transmisión de información principal en este tipo de ambientes.

-
- El sistema VHF actual de la Gerencia de Comercialización es robusto y confiable; pero desperdicia muchos recursos, ya que no explota todas las capacidades digitales de radios y repetidoras que se encuentran operando como analógicos; por lo que no podría convertirse en un sistema escalable que permita una expansión de la red a futuro y el costo de su mantenimiento es muy alto por lo obsoleto de algunos de sus equipos.
 - La implementación de un sistema de comunicación VHF sobre una red IP independiente de la red de datos existente en la Gerencia de Comercialización, permite tener un medio de comunicación de respaldo, a través de un enlace VHF redundante de alta eficiencia y confiabilidad, con un margen de indisponibilidad anual muy bajo, que garantiza que funcionará incluso cuando el resto de comunicaciones no lo hagan.
 - La utilización de softwares de simulación como Radio Mobile y PTP LINKPlanner permitieron tener un enfoque global de la situación de los enlaces y sus resultados se acercaban con mucha precisión a la realidad, lo que se comprobó con los valores teóricos, sin embargo existen fenómenos impredecibles que por su naturaleza aleatoria no pueden ser considerados en el software, por lo que siempre la información que se obtenga de ellos tiene que ser validada por los cálculos teóricos.
 - Con el sistema digital diseñado se asegura cobertura en todos los sitios y carreteras, además de una transferencia de información confiable a altas velocidades, reutilizando la mayor cantidad de recursos ya existentes en la empresa, lo que representa un ahorro para la misma sin alterar la calidad, seguridad, claridad, y robustez propias de una comunicación digital.
 - El sistema VHF propuesto es escalable y es compatible con la infraestructura actual de la empresa, por lo que permitirá una migración paulatina de lo analógico a lo digital, manteniendo la disponibilidad de los enlaces y la integridad de las comunicaciones; es decir, el sistema no se interrumpirá en este proceso.

-
- Al enviar información por un medio digital, aún cuando es voz, es necesario contar con un mayor ancho de banda y una correcta modulación que permita aumentar la tasa de transferencia de los datos; esto se logra aumentando la frecuencia de la portadora de RF y trabajando en una menor longitud de onda del espectro; lo que se pudo conseguir con la plataforma CANOPY de MOTOROLA, que además asegura encriptación de la comunicación y confiabilidad al transportar las comunicaciones VHF por un medio vulnerable como es el inalámbrico.
 - Para las comunicaciones inalámbricas en el rango de la microonda es necesario contar con línea de vista, y a pesar de contar con la técnica OFDM y MIMO que ofrece CANOPY, que permite alcanzar largas distancias aún cuando no se tiene línea de vista; se aumentó dos repetidoras, Condijua y Reventador, que aseguran un enlace sin obstrucciones para conectar el Poliducto Shushufindi – Quito; para incrementar la confiabilidad, disponibilidad y velocidad de las comunicaciones.
 - Al utilizar una técnica de transmisión digital con acceso TDMA se tiene la ventaja de que se pueden enviar dos comunicaciones a la misma frecuencia al mismo tiempo sin que se interfieran entre sí, lo que permite aumentar el número de usuarios en el sistema y el rendimiento del mismo; ó se puede aprovechar ese segundo canal de comunicación para transmitir otro tipo de información diferente a la voz, como: mensajes de texto, datos, telemetría, etc.
 - Los equipos MOTOTRBO ofrecen altas potencias de transmisión aún cuando se usa un sistema digital, lo que ofrece una amplia cobertura y conexión de sitios a largas distancias; por ello permitió a este proyecto retirar la repetidora del Pilisurco y aprovechar la ubicación de la repetidora del Igualata para dar cobertura a la carretera y al Poliducto Quito – Ambato – Riobamba, y enlazarse con el Atacazo, sin comprometer el nivel de señal y la cobertura que brindaba la otra repetidora.
 - Se comprobó que la implementación de un Sistema VHF totalmente nuevo con MOTOTRBO y CANOPY, pertenecientes a la línea estándar de MOTOROLA,

es más económico que migrar a un solo modelo de la línea élite existente actualmente; por ejemplo la repetidora Quantar tiene un costo de aproximadamente 23 500 dólares, mientras que una repetidora MOTOTRBO de apenas 2700 dólares; y a pesar de solo necesitarse dos repetidoras Quantar (para Balao y Bijagual que tienen el modelo MTR2000) su costo es superior que adquirir las siete repetidoras MOTOTRBO del Sistema propuesto; sin contar con las repetidoras que se encuentran en mal estado.

- Los equipos CANOPY ofrecen la ventaja de trabajar en bandas no licenciadas, lo que significa un ahorro económico y de tiempo al no necesitarse ningún tipo de concesión por las frecuencias a utilizarse, y además, gracias a esta característica son compatibles con más equipos que trabajen a esas frecuencias, no solo MOTOROLA.
- El monitoreo y control del Sistema VHF se lo puede realizar de dos maneras: mediante un repetidor maestro cercano a los sitios de administración de las comunicaciones para poder acceder rápidamente en caso de fallos, el cual debe estar conectado a la red IP de la empresa para poder ingresar de manera remota desde la maestra a todas las repetidoras en modo esclavo. O implementar enlaces microonda desde las repetidoras maestras a otra repetidora en el sitio de administración de comunicaciones para que ésta se convierta en la nueva repetidora maestra de todo el sistema y se pueda acceder a todas las repetidoras del sistema. En ambos casos no se incumple con el requerimiento de independencia del Sistema VHF y el actual de datos; ya que en caso de fallar alguno de los dos, el otro funcionará normalmente.
- Por todo lo antes mencionado se concluye que la implementación del Sistema VHF Digital en la Gerencia de Comercialización Distrito Norte de EPPETROECUADOR es factible y cumplirá con todos los requerimientos de la empresa, brindando una comunicación VHF rápida, segura, confiable, disponible, de amplia cobertura y robusta, a un bajo costo.

RECOMENDACIONES:

- Para utilizar todas las ventajas que ofrece MOTOTRBO referente a la técnica TDMA es importante la configuración de los equipos con grupos de trabajo que permitan diferenciar los tipos de comunicaciones que existen dentro de las estaciones y terminales a una misma frecuencia, es decir, dividir las transmisiones de acuerdo al contenido de la información que se intercambie, de manera que, por ejemplo, los guardias se comuniquen solo entre ellos y no escuchen transmisiones de los operadores y viceversa; pero el administrador si los podría escuchar a los dos grupos.
- Por la cercanía de las repetidoras maestras: Guamaní y Atacazo, se recomienda hacer la administración del Sistema VHF desde las mismas para no realizar gastos innecesarios en nuevos equipos al añadir un enlace adicional.
- Es necesario contar con equipos de respaldo de energía, como baterías, reguladores de voltajes, UPS, cargadores – inversores, generadores, entre otros; para asegurar la disponibilidad de las comunicaciones incluso cuando existan cortes en la red eléctrica; especialmente en las repetidoras que se encuentran en sitios de difícil acceso, donde el problema de energía no podría ser solucionado inmediatamente.
- Para tener un mínimo impacto en los usuarios por la migración del Sistema Analógico al Digital, es recomendable primero cambiar los radios móviles, bases y portátiles para que operen de modo analógico con las repetidoras actuales; y posteriormente realizar la sustitución de repetidoras para completar así el cambio de tecnología.
- Es importante proporcionar una inducción técnica sobre los equipos MOTOTRBO a los usuarios finales para que sean aprovechadas todas las características de los mismos, como son: mensajes de texto, localización GPS, llamada selectiva, telemetría entre otros.

- Para un aprovechamiento eficaz del ancho de banda que ofrece CANOPY, es necesario utilizar las diferentes aplicaciones de datos que ofrece MOTOTRBO y no solo para transmitir voz, puesto que la red es capaz de soportar transmisiones de datos a altas velocidades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

- BATEMAN Andy, “Comunicaciones Digitales”, ED. Marcombo, Barcelona, 2003
- ESCALONA Alberto, “Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles”, ED. McGraw – Hill, 2004
- HERNÁNDEZ José, “Antenas Principios Básicos, Análisis y Diseño”, ED. Universidad Autónoma de Baja California, Baja California, 1998
- KENNEDY George, “Electronic Communication Systems”, ED. McGraw – Hill, 1977
- LAPATINE Sol, “Electrónica en Sistemas de Comunicación”, ED. Limusa, 1988
- RODDY Dennis, “ Electronic Communications”, ED. Prentice – Hall, 1995
- TOMASI Wayne, “Sistemas de Comunicaciones Electrónicas”, ED. Prentice Hall, cuarta edición, México, 2003

TESIS

- ANDRADE Geovanny, VALLE Edwin, “Estudio y Diseño de un Sistema de Comunicación Digital de Voz con Tecnología Trunking para Los Poliductos de Petrocomercial Regional Norte”, Escuela Politécnica Nacional, DIRECTOR: Ing. Erwin Barriga, 2008
- ASTUDILLO Fátima, “Diseño e Implementación del Radioenlace Digital Fraccional entre la Repetidora del Atacazo y la Válvula de Bloqueo N°10

del SOTE, ubicada en Viche”, Escuela Politécnica Nacional, DIRECTOR: Ing. Adrián Zambrano, 2009

- OBANDO Álex, “Diseño integral de una red de radio sobre IP para la Compañía Wega Mining Ecuador”, Escuela Politécnica Nacional, DIRECTOR: Ing. Adrián Zambrano, 2010
- VIÑACHI, Christian, “Estudio y Diseño de un Sistema de Radio Troncalizado para Petroecuador y sus Filiales”, Escuela Politécnica del Ejército, DIRECTOR: Ing. David Andrade, 2010

PUBLICACIONES

- BUETTRICH Sebastián, “Cálculo de Radioenlace”
<http://www.scribd.com/doc/12785791/Calculo-y-Dimensionamiento-de-Radioenlaces>
- CANOPY, MANUAL DE OPERACIÓN E INSTALACIÓN
<http://passthrough.fwnotify.net/download/499588/http://www.canopywireless.pl/files/File/manuals/BH45UserGuideIss3a.pdf>
- ESTÁNDAR ETSI-TS102 361-1
- GARCÍA Hever, ENLACE A RADIOFRECUENCIA
<http://solaris-digital.com/curso.pdf>
- MODELO DE CÁLCULO DE RADIOENLACE
<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Radioenlaces/1511.pdf>
- MOTOROLA; MOTOTRBO, APPLICATION DEVELOPMENT KIT OVERVIEW

- RADIOENLACES FIJOS TERRESTRES
<http://www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Radioenlaces/1501.pdf>
- SECRETARIA NACIONAL DE COMUNICACIONES, PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS
- UIT, RECOMENDACIÓN UIT-R P.526-10
- UIT, RECOMENDACIÓN UIT-R P.676-7
- UIT, RECOMENDACIÓN UIT-R P.833-6
- UIT, RECOMENDACIÓN UIT-R P.834-6

MANUALES Y FOLLETOS

- AYUDAS DEL SOFTWARE RADIO MOBILE
- AYUDAS DEL SOFTWARE PTP LINKPLanner
- CURSO MOTOTRBO, MOTOROLA
- MANUAL DE OPERACIÓN E INSTALACIÓN CANOPY PTP 500, MOTOROLA
- MANUAL DE OPERACIÓN E INSTALACIÓN CANOPY MÓDULO SUSCRIPTOR, MOTOROLA
- MANUAL DE OPERACIÓN E INSTALACIÓN CANOPY PUNTO DE ACCESO, MOTOROLA

- MANUAL DE OPERACIÓN E INSTALACIÓN CANOPY UNIDAD BACKHAUL, MOTOROLA
- MANUAL DE OPERACIÓN DEL VOCODER AMBE++, DVSI Inc.

INTERNET

- <http://www.petrocomercial.com/wps/portal>
- <http://www.motorola.com/Business/XL-ES/Product+Lines/MOTOTRBO>
- <http://www.motorola.com/Business/USEN/Business+Product+and+Services/Wireless+Broadband+Networks/Point-to-Multipoint+Networks/>
- <http://es.wikipedia.org/wiki>
- <http://es.scribd.com/doc/42513817/Manual-de-Comunicaciones>
- <http://www.bitzipper.com/es/aes-encryption.html>
- <http://www.dvsinc.com/press/PR20061.htm>