

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **ESTUDIO PARA LA MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES VHF ANALÓGICO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO A UN SISTEMA DIGITAL**

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

**FABARA VON LIPPKE MAURO JOSUE**

mauro\_fabara\_2006@yahoo.com

**VILLALBA MÁRQUEZ ROBERTO DAVID**

roberto\_vm3@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. MARIO RUBÉN CEVALLOS VILLACRESES**

mario.cevallos@epn.edu.ec

**CO-DIRECTOR: ING. PABLO AMADOR ECHEVERRÍA ZUMÁRRAGA**

pecheverria@eeq.com.ec

**Quito, Octubre 2012**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Mauro Josue Fabara Von Lippke y Roberto David Villalba Márquez, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

---

**Mauro Fabara**

---

**Roberto Villalba**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Mauro Josue Fabara Von Lippke y Roberto David Villalba Márquez, bajo mi supervisión.

---

Ing. Mario Cevallos

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Mauro Josue Fabara Von Lippke y Roberto David Villalba Márquez, bajo mi supervisión.

---

Ing. Pablo Echeverría

**CO-DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación. Mis sinceros agradecimientos están dirigidos hacia la Empresa Eléctrica Quito por el auspicio y ayuda brindada. Al Ingeniero Gustavo Prado, quien nos brindó información relevante. A mi familia y a la familia Villalba Márquez por brindarnos todo su apoyo. A la Escuela Politécnica Nacional, a mis maestros que me otorgaron los conocimientos adquiridos y a los Ingenieros Mario Cevallos y Pablo Echeverría quienes han dirigido esta investigación.

Mauro Josue Fabara Von Lippke

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todos los colaboradores y gestores para la culminación del presente proyecto de titulación, y en particular a la Empresa Eléctrica Quito por el auspicio y ayuda brindada. Al Ingeniero Gustavo Prado por brindar todas las facilidades para desarrollar ésta tesis. A mi familia y a la familia Fabara Von Lippke por brindarnos todo su apoyo. A la Escuela Politécnica Nacional, a mis maestros que me otorgaron los conocimientos adquiridos y a los Ingenieros Mario Cevallos y Pablo Echeverría quienes han dirigido la trayectoria de ésta investigación.

Roberto David Villalba Márquez

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de tesis a mis padres, mis hermanos y mis amigos, quienes han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento y han hecho mi vida más fácil. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Mauro Josue Fabara Von Lippke

## **DEDICATORIA**

El esfuerzo realizado en el presente proyecto de titulación, y el apoyo incondicional recibido, se lo dedico a mis padres Ing. Hernán Villalba y Dra. Irene Márquez quienes con su perseverancia me han iluminado para seguir adelante. A mi hermano Julián que ha sido un gran amigo y ejemplo de superación profesional.

A mi familia Cynthia e Israel, que han sido un respaldo en todo momento y me ha brindado la fuerza necesaria para luchar y cumplir mis metas.

Roberto David Villalba Márquez



## CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN .....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XXI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XXVII</b>
<b>INDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>XXXI</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XXXII</b>
<b>PRESENTACIÓN .....</b>	<b>XXXIII</b>
<b>CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE LA RED ACTUAL VHF DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 CONCEPTOS BÁSICOS .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2 PROPAGACIÓN EN VHF.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.2.1 Distancia .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2.2 Reflexión.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2.3 Refracción .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.2.4 Difracción .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.2.5 Absorción.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1.3 SISTEMA VHF ANALÓGICOS .....</b>	<b>7</b>

1.1.3.1 Duplexor .....	7
1.1.3.2 Amplificador de Potencia.....	8
1.1.3.3 Modulador/Demodulador .....	8
1.1.3.4 Convertidor de Frecuencia .....	9
<b>1.1.4 PARAMETROS DE ANTENAS .....</b>	<b>9</b>
1.1.4.1 Diagrama de Radiación.....	9
1.1.4.2 Directividad.....	11
1.1.4.3 Densidad de potencia.....	12
1.1.4.4 Eficiencia .....	12
1.1.4.5 Ganancia.....	13
1.1.4.6 Ancho de banda .....	13
1.1.4.7 Polarización.....	14
1.1.4.8 Zonas de Fresnel.....	14
1.1.4.9 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) .....	16
1.1.4.10 Potencia de Recepción .....	16
<b>1.1.5 TIPOS DE REDES EN RADIOCOMUNICACIONES .....</b>	<b>16</b>
1.1.5.1 Modo Directo .....	17
1.1.5.2 Nodo Simple .....	18
1.1.5.3 Simulcast .....	19
<b>1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE RADIOCOMUNICACIÓN ANALÓGICOS VHF DE LA EMPRESA ELECTRICA QUITO.....</b>	<b>21</b>
<b>1.2.1 DEFINICIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO DE RADIOCOMUNICACIONES VHF .....</b>	<b>21</b>
1.2.1.1 Especificaciones Técnicas Generales .....	21
• Duración de la batería en un ciclo de 5/5/90 .....	22

• Rango de frecuencias .....	22
1.2.1.2 Especificaciones Técnicas del Transmisor. ....	22
• Tolerancia de frecuencia.....	22
• Distorsión de audio.....	23
1.2.1.3 Especificaciones Técnicas del Receptor .....	23
• Distorsión de audio.....	23
• Selectividad .....	23
<b>1.2.2 CARACTERÍSTICAS TECNICAS DEL EQUIPAMIENTO ACTUAL .....</b>	<b>24</b>
1.2.2.1 Radios Portátiles.....	24
1.2.2.2 Radios Móviles o Bases .....	28
1.2.2.3 Repetidoras .....	31
1.2.2.4 Duplexores.....	32
<b>1.3 EQUIPOS DE RADIOCOMUNICACIONES DISTRIBUIDOS POR CANALES Y ÁREAS DE TRABAJO .....</b>	<b>34</b>
1.3.1 SUMARIO DE EQUIPOS PORTÁTILES Y MÓVILES.....	35
1.3.1.1 Equipos de Radiocomunicaciones en Canal 5 (1, 2, 3) .....	35
1.3.1.2 Equipos de Radiocomunicaciones en Canal 4.....	36
1.3.1.3 Equipos de Radiocomunicaciones en Canal 6 y 8.....	36
1.3.1.4 Equipos de Radiocomunicaciones en Canal 7.....	37
1.3.2 TOTAL DE EQUIPOS PORTÁTILES Y MÓVILES.....	37
1.3.3 SUMARIO DE EQUIPOS REPETIDORES, RADIOS PARA ENLACE Y DUPLEXORES.....	38
1.3.3.1 Equipos de Radiocomunicaciones en El Troje.....	38
1.3.3.2 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Guamaní La Virgen .....	38

1.3.3.3 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Blanco .....	39
1.3.3.4 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Pichincha .....	39
1.3.3.5 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Cruz Loma .....	40
1.3.3.6 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Condorcocha .....	40
1.3.3.7 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Cruz Loma .....	40
1.3.3.8 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Alaspungo.....	41
1.3.3.9 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Condijua.....	41
1.3.4 TOTAL DE EQUIPOS REPETIDORES, RADIOS PARA ENLACE Y DUPLEXORES.....	42
<b>1.4 SOFTWARE DE SIMULACIÓN RADIO MOBILE .....</b>	<b>42</b>
1.4.1 TIPOS DE ARCHIVOS EN RADIO MOBILE.....	43
1.4.2 CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO .....	44
1.4.2.1 Unidad .....	45
1.4.2.2 Red .....	46
1.4.2.3 Sistema .....	46
1.4.3 MODELO LONGLEY – RICE .....	47
<b>1.5 DESCRIPCIÓN DE LA RED VHF ACTUAL DE LA EMPRESA ELECTRICA QUITO.....</b>	<b>50</b>
1.5.1 LOCALIZACIÓN DE LOS NODOS ACTUALES.....	50
1.5.2 DESCRIPCIÓN DE CANALES Y ENLACES EXISTENTES.....	53
1.5.3 EJEMPLO DE CONEXIÓN DE EQUIPAMIENTO EN EL NODO ALASPUNGO .....	55

<b>1.5.4 SIMULACIÓN DE LA RED ACTUAL ANALÓGICA VHF DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO .....</b>	<b>58</b>
<b>1.6.4.1 Creación de las Unidades en Radio Mobile.....</b>	<b>58</b>
<b>1.5.4.2 Creación de Redes en Radio Mobile .....</b>	<b>59</b>
<b>1.5.4.3 Creación de Sistemas en Radio Mobile.....</b>	<b>61</b>
<b>1.5.4.4 Cálculo de las Pérdidas de Línea. ....</b>	<b>62</b>
<b>1.5.4.5 Estilo de configuración del Radio Enlace. ....</b>	<b>62</b>
<b>1.5.4.6 Presentación de Enlaces de Radio Simulados .....</b>	<b>63</b>
<i>1.5.4.6.1 Descripción del Enlace y Cobertura entre Canal 5 – Canal 1.....</i>	<i>64</i>
<i>1.5.4.6.2 Descripción del Enlace Canal 5 – Canal 2 .....</i>	<i>75</i>
<i>1.5.4.6.3 Descripción del Enlace Canal 5 – Canal 3 .....</i>	<i>76</i>
<i>1.5.4.6.4 Descripción de la Cobertura Total Canales 5-1-2-3.....</i>	<i>77</i>
<i>1.5.4.6.5 Descripción del Canal 4 .....</i>	<i>77</i>
<i>1.5.4.6.6 Descripción del Enlace Canal 6 – Canal 8 .....</i>	<i>78</i>
<i>1.5.4.6.7 Descripción del Canal 7 .....</i>	<i>79</i>
<i>1.5.4.6.8 Descripción del Canal 12 .....</i>	<i>79</i>
<b>1.6 DIAGNOSTICO DE LA RED ACTUAL ANALÓGICA VHF.....</b>	<b>80</b>
<b>1.6.1 FORTALEZAS .....</b>	<b>80</b>
<b>1.6.2 DEBILIDADES.....</b>	<b>81</b>
 <b>CAPITULO II: DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES VHF DIGITAL.....</b>	<b>82</b>
 <b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>82</b>
 <b>2.1 ANÁLISIS PREVIO AL DISEÑO DEL SISTEMA VHF DIGITAL..</b>	<b>83</b>

2.1.1 REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO .....	83
<b>2.2 SISTEMAS VHF DIGITALES.....</b>	<b>84</b>
2.2.1 CONVERSIÓN A/D Y D/A .....	85
2.2.2 CODIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN DE LA FUENTE .....	85
2.2.3 CODIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN DEL CANAL.....	85
2.2.4 FILTRO CONFORMADOR DE PULSO .....	86
2.2.5 ECUALIZADOR .....	86
2.2.6 MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN DIGITAL .....	86
2.2.7 TECNICAS DE ACCESO AL MEDIO.....	87
2.2.7.1 TDMA (Time Division Multiple Access) .....	87
2.2.7.2 FDMA (Frequency Division Multiple Access) .....	88
2.2.7.3 TDMA VS FDMA.....	90
<b>2.3 SISTEMA MOTOTRBO.....</b>	<b>91</b>
2.3.1 TOPOLOGÍAS DEL SISTEMA .....	92
2.3.1.1 Modo directo digital .....	92
2.3.1.2 Modo de repetidor digital .....	93
2.3.1.3 Múltiples repetidores digitales en modo autónomo.....	95
2.3.1.3.1 Área de cobertura solapada .....	95
2.3.1.3.1 Códigos de colores (CC).....	96
2.3.1.4 Múltiples Repetidores Digitales En Modo De Conexión IP De Sitio (IP SITE CONECT).....	97
2.3.1.4.1 Consideraciones acerca de las frecuencias y códigos de colores .....	98

2.3.1.4.2 <i>Consideraciones acerca de la red auxiliar</i> .....	99
<b>2.3.1.5 Modo Troncalizado (Capacity Plus) .....</b>	<b>100</b>
2.3.1.5.1 <i>Capacity Plus Single-Site</i> .....	100
2.3.1.5.2 <i>LinkedCapacity Plus Multi-Site</i> .....	101
<b>2.4 DISEÑO DE LA RED VHF DIGITAL DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO.....</b>	<b>102</b>
<b>2.4.1 ELECCIÓN DEL MODO DE CONFIGURACIÓN DE LA RED VHF DIGITAL DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO .....</b>	<b>102</b>
2.4.1.1 <b>Modo Troncalizado .....</b>	<b>103</b>
2.4.1.2 <b>Modo Monocanal.....</b>	<b>103</b>
<b>2.4.2 UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE REPETICIÓN .....</b>	<b>103</b>
<b>2.4.3 DISEÑO DE LA TOPOLOGÍA FÍSICA DEL SISTEMA VHF DIGITAL ...</b>	<b>106</b>
<b>2.4.4 TOPOLOGÍA LÓGICA DEL SISTEMA VHF DIGITAL .....</b>	<b>108</b>
<b>2.4.5 TIPO DE TRÁFICO .....</b>	<b>108</b>
<b>2.4.6 CONSIDERACIONES SOBRE ANCHO DE BANDA.....</b>	<b>108</b>
<b>2.4.7 CONSIDERACIONES DE VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN PARA ENLACES MICROONDA .....</b>	<b>109</b>
<b>2.4.8 EJEMPLO DE NUEVAS INSTALACIONES EN EL CERRO PICHINCHA .....</b>	<b>113</b>
<b>2.5 ÁREAS DE COBERTURA.....</b>	<b>115</b>
<b>2.5.1 COBERTURA PARA CANAL 5 .....</b>	<b>116</b>

<b>2.5.2 COBERTURA PARA CANAL 6 .....</b>	<b>118</b>
<b>2.5.3 COBERTURA PARA CANAL 4 .....</b>	<b>120</b>
<b>2.5.4 COBERTURA PARA CANAL 7 .....</b>	<b>122</b>
<b>2.5.5 COBERTURA PARA CANAL 12 .....</b>	<b>124</b>
<b>2.6 SOFTWARE PTP LINKPLANNER .....</b>	<b>126</b>
<b>2.6.1 LOS Y NLOS .....</b>	<b>126</b>
<b>2.6.2 ARQUITECTURA .....</b>	<b>126</b>
<b>2.6.3 DATOS DE ENTRADA / SALIDA .....</b>	<b>127</b>
<b>2.7 SIMULACIÓN DE ENLACES MICROONDAS DE LA RED VHF DIGITAL .....</b>	<b>128</b>
<b>2.7.1 DESCRIPCIÓN DEL ENLACE CERRO BLANCO – CERRO PICHINCHA .....</b>	<b>135</b>
<b>2.7.1.1 Datos del sistema.....</b>	<b>135</b>
<b>2.7.1.2 Potencia de Transmisión .....</b>	<b>135</b>
<b>2.7.1.3 Sensibilidad del Receptor.....</b>	<b>136</b>
<b>2.7.1.4 Throughput .....</b>	<b>136</b>
<b>2.7.2 RESULTADOS DEL ENLACE .....</b>	<b>137</b>
<b>Pérdidas en el espacio libre.....</b>	<b>137</b>
<b>Margen de desvanecimiento .....</b>	<b>137</b>
<b>Ganancia del Sistema .....</b>	<b>137</b>
<b>Confiabilidad del Enlace .....</b>	<b>137</b>



Tasa de datos globales .....	137
2.7.2.1 Perdidas en el espacio libre.....	137
2.7.2.2 Potencia de entrada al receptor.....	138
2.7.2.3 Margen de desvanecimiento .....	138
2.7.2.4 Confiabilidad del Enlace.....	138
2.7.2.5 Ganancia del Sistema .....	139
2.7.2.6 Tasa de datos globales .....	140
<b>2.8 DESCRIPCIÓN DE BENEFICIOS INHERENTES A LA TECNOLOGÍA DIGITAL.....</b>	<b>149</b>
2.8.1 ITINERANCIA DE SITIOS (ROAMING).....	149
2.8.2 PRIVACIDAD DE VOZ Y DATOS .....	150
2.8.2.1 Tipos de privacidad .....	150
2.8.3 SERVICIO INCORPORADO DE MENSAJERÍA DE TEXTO .....	151
<b>2.9 DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS APLICATIVOS PARA LA RED VHF DIGITAL DE LA EEQ .....</b>	<b>151</b>
2.9.1 APLICACIONES UTILIZANDO SERVIDORES MOTOTRBO.....	151
2.9.1.1 Interconexión con Telefonía mediante el Sistema Mototrbo (DTP) .....	152
2.9.1.2 Servidor de Aplicaciones.....	156
2.9.1.3 Modo de conexión de un servidor de aplicaciones de datos en un sistema IP Site Connect .....	156
2.9.2 DESCRIPCIÓN DE APLICACIONES DESARROLLADAS POR UN PROVEEDOR INDEPENDIENTE (SMARTPTT). .....	158

<b>2.9.2.1 SERVIDOR DE APLICACIONES SMARTPTT DISPATCHER SYSTEM SOFTWARE .....</b>	<b>158</b>
<b>2.9.2.2 CONFORMACIÓN DEL SISTEMA SMARTPTT .....</b>	<b>159</b>
2.9.2.2.1 <i>Consola de Despacho .....</i>	<i>159</i>
2.9.2.2.2 <i>Servidor de Aplicaciones (RadioServer).....</i>	<i>159</i>
2.9.2.2.3 <i>Interfaz de la red de radio VHF.....</i>	<i>160</i>
<b>2.9.2.3 ESQUEMA DE CONEXIÓN .....</b>	<b>161</b>
<b>2.9.2.4 Interconexión con la telefonía mediante SMARTPTT .....</b>	<b>162</b>
<b>2.9.2.5 Aplicación de servicios de localización .....</b>	<b>164</b>
<b>2.9.2.6 Servicios de mensajería de texto .....</b>	<b>165</b>
<b>2.10 PROTOCOLOS UTILIZADOS EN LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>166</b>
<b>2.10.1 APLICACIÓN DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN .....</b>	<b>167</b>
<b>2.10.2 SERVICIOS DE MENSAJERÍA DE TEXTO.....</b>	<b>167</b>
<b>2.10.3 TRANSMISIÓN DE VOZ .....</b>	<b>168</b>
<b>2.11 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DIGITAL.....</b>	<b>169</b>
<b>2.11.1 RADIOS PORTÁTILES DIGITALES.....</b>	<b>169</b>
<b>2.11.2 RADIOS MÓVILES DIGITALES .....</b>	<b>171</b>
<b>2.11.3 REPETIDORES DIGITALES .....</b>	<b>174</b>
<b>CAPITULO III: ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LA MIGRACIÓN AL SISTEMA VHF DIGITAL.....</b>	<b>176</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>176</b>

<b>3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA .....</b>	<b>176</b>
<b>3.2 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>177</b>
<b>3.3 COSTOS PARA EL SISTEMA VHF DIGITAL.....</b>	<b>179</b>
<b>3.3.1 TARIFACIÓN POR USO DE FRECUENCIAS Y DERECHOS DE CONCESIÓN .....</b>	<b>179</b>
<b>3.3.1.1 Tarificación De Frecuencias Para el Sistema VHF .....</b>	<b>182</b>
<i>3.3.1.1.1 Tarifa Mensual.....</i>	<i>182</i>
<i>3.3.1.1.2 Derecho de Concesión .....</i>	<i>183</i>
<b>3.3.1.2 Tarificación de Frecuencias para Enlaces Microonda.....</b>	<b>183</b>
<i>3.3.1.2.1 Tarifa Mensual.....</i>	<i>184</i>
<i>3.3.1.2.2 Derecho de concesión.....</i>	<i>184</i>
<b>3.3.2 COSTOS DE EQUIPAMIENTO RED RADIOCOMUNICACIONES VHF DIGITAL.....</b>	<b>185</b>
<b>3.3.2.1 Costos Equipamiento VHF .....</b>	<b>185</b>
<b>3.3.2.2 Costos Equipamiento de Enlaces Punto a Punto .....</b>	<b>186</b>
<b>3.3.2.3 Costos Equipamiento de Respaldo de Energía .....</b>	<b>187</b>
<b>3.3.2.4 Costos de Software para Sistemas Aplicativos .....</b>	<b>188</b>
<b>3.3.2.5 Costos de Instalación .....</b>	<b>188</b>
<b>3.3.2.6 Costos de Mantenimiento.....</b>	<b>189</b>
<b>3.3.2.7 Resumen de Costos del Proyecto.....</b>	<b>189</b>
<b>3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA RED .....</b>	<b>190</b>
<b>3.4.1 VENTAJAS DEL SISTEMA VHF DIGITAL SOBRE EL ANALÓGICO ....</b>	<b>190</b>

3.4.2 DESVENTAJAS DEL SISTEMA VHF DIGITAL CON RESPECTO AL ANALÓGICO .....	193
3.5 VIABILIDAD DEL PROYECTO .....	193
<b>CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>195</b>
4.1 CONCLUSIONES.....	195
4.2 RECOMENDACIONES.....	197
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>XXXV</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>XL</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>XLIV</b>
<b>ANEXO II .....</b>	<b>XLIX</b>
<b>ANEXO III .....</b>	<b>LVII</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Reflexión de una onda en la superficie terrestre. ....	5
Figura 1.2 Comparación entre el radio real y el radio aparente de la Tierra .....	5
Figura 1.3 Representación de una onda difractada.....	6
Figura 1.4 Diagrama del Sistema VHF Analógico. ....	7
Figura 1.5 Comportamiento de un Duplexor.....	8
Figura 1.6 Diagrama de radiación y los planos E y H.....	10
Figura 1.7 Parámetros del diagrama de radiación de una antena.....	11
Figura 1.8 Eficiencia de una antena. ....	13
Figura 1.9 Tipos de Polarización. ....	14
Figura 1.10 Primera Zona de Fresnel.....	15
Figura 1.11 Red en Modo Directo. ....	17
Figura 1.12 Red de Nodo Simple. ....	18
Figura 1.13 Red Simulcast. ....	20
Figura 1.14 Tipos de Archivos en Radio Mobile. ....	44
Figura 1.15 Creación de Nuevo Proyecto en Radio Mobile.....	45
Figura 1.16 Propiedades de las Unidades en Radio Mobile.....	45
Figura 1.17 Propiedades de la Redes en Radio Mobile. ....	46

Figura 1.18 Propiedades de los Sistemas en Radio Mobile. ....	47
Figura 1.19 Ubicación de Nodos Actuales. ....	51
Figura 1.20 Distribución Geográfica de los Sitios de Repetición.....	52
Figura 1.21 Enlaces entre los canales 5, 1, 2, 3.....	53
Figura 1.22 Enlaces entre los canales 8 y 6, Ubicación canales 4, 7 y 12. ....	54
Figura 1.23 Esquema del Nodo Cerro Alaspungo. ....	55
Figura 1.24 Equipos VHF en el Cerro Alaspungo.....	56
Figura 1.25 Torre de Comunicaciones, Ubicación de Antenas: 4 Dipoles y Yagi.....	57
Figura 1.26 Creación de Estaciones en Radio Mobile.....	58
Figura 1.27 Ubicación de los Nodos en Radio Mobile.....	59
Figura 1.28 Configuración de las Redes en Radio Mobile. ....	60
Figura 1.29 Configuración de los Sistemas en Radio Mobile. ....	61
Figura 1.30 Estilo de Configuración del Radio Enlace. ....	63
Figura 1.31 Radio Enlaces Simulados. ....	63
Figura 1.32 Enlace Canal 5 - Canal 1. ....	64
Figura 1.33 Enlace Canal 5 – Canal 1 en RMPATH. ....	70
Figura 1.34 Determinación de la Altura de Despeje.....	71
Figura 1.35 Cerro Cruz Loma – El Troje en Google Earth 3D.....	73

Figura 1.36 Cobertura del Enlace Canal 5 – Canal 1.....	74
Figura 1.37 Enlace Canal 5 – Canal 2.....	75
Figura 1.38 Cobertura del Enlace Canal 5 – Canal 2.....	75
Figura 1.39 Enlace Canal 5 – Canal 3.....	76
Figura 1.40 Cobertura del Enlace Canal 5 – Canal 3.....	76
Figura 1.41 Cobertura Total de Canales 5, 1, 2, 3.....	77
Figura 1.42 Cobertura del Canal 4.....	77
Figura 1.43 Enlace Canal 6 – Canal 8.....	78
Figura 1.44 Cobertura del Enlace Canal 6 – Canal 8.....	78
Figura 1.45 Cobertura del Canal 7.....	79
Figura 1.46 Cobertura del Canal 12.....	79
Figura 2.1 Diagrama Sistema VHF Digital.....	84
Figura 2.2 Diagrama Modulación Digital.....	87
Figura 2.3 Migración de Analógico a Digital con TDMA.....	88
Figura 2.4 Introducción de 2 canales de 6.25KHz en uno de 12.5KHz con FDMA. ..	89
Figura 2.5 Migración de analógico a digital con FDMA de 6,25 kHz.....	89
Figura 2.6 Radios MOTOTRBO digitales en Modo Directo.....	93
Figura 2.7 Radios MOTOTRBO digitales en Modo de Repetidor.....	94

Figura 2.8 Múltiples Repetidores sin Solapamiento. ....	95
Figura 2.9 Múltiples Repetidores con Solapamiento. ....	96
Figura 2.10 Múltiples repetidores digitales con códigos de colores diferentes. ....	96
Figura 2.11 Código de colores en sitio congestionado. ....	97
Figura 2.12 Ejemplo de dos sistemas de conexión IP de sitio con áreas de cobertura solapadas. ....	99
Figura 2.13 Ejemplo Repetidores en Modo Troncalizado un solo sitio. ....	101
Figura 2.14 Ejemplo Repetidores en Modo Troncalizado Múltiples Sitios. ....	102
Figura 2.15 Ubicación Sitios de Repetición Nueva Red VHF. ....	105
Figura 2.16 Diseño Topología Física del Sistema VHF Digital. ....	106
Figura 2.17 Topología Lógica del Sistema VHF Digital. ....	108
Figura 2.18 Cantidad de información en enlaces microonda para la nueva red VHF. ....	111
Figura 2.19 Esquema de Conexiones Nuevas en Cerro Pichincha. ....	114
Figura 2.20 Mapa Geográfico del Canal 5. ....	116
Figura 2.21 Nueva Cobertura para Canal 5. ....	117
Figura 2.22 Mapa Geográfico del Canal 6. ....	118
Figura 2.23 Nueva Cobertura para Canal 6. ....	119
Figura 2.24 Mapa Geográfico del Canal 4. ....	120



Figura 2.25 Nueva Cobertura para Canal 4.....	121
Figura 2.26 Mapa Geográfico del Canal 7.....	122
Figura 2.27 Nueva Cobertura para Canal 7.....	123
Figura 2.28 Mapa Geográfico del Canal 12.....	124
Figura 2.29 Nueva Cobertura para Canal 12.....	125
Figura 2.30 Creación de Sitios en PTPLinkPlanner. ....	129
Figura 2.31 Creación de Enlaces en PTPLinkPlanner. ....	129
Figura 2.32 Obtención de Perfil Topográfico vía email en PTP LinkPlanner.....	130
Figura 2.33 Enlaces Microonda en Google Earth.....	131
Figura 2.34 Enlace Cerro Cruz Loma - Cerro Pichincha en 3D.....	132
Figura 2.35 Sumario del Proyecto en PTP LinkPlanner .....	133
Figura 2.36 Enlace Cerro Blanco – Cerro Pichincha en PTP LinkPlanner. ....	134
Figura 2.37 Enlace Cerro Condijua – Cerro La Virgen en PTP LinkPlanner. ....	141
Figura 2.38 Enlace Cerro La Virgen – Cerro Pichincha en PTP LinkPlanner.....	142
Figura 2.39 Enlace Cerro Pichincha – Cerro Cruz Loma en PTP LinkPlanner.....	143
Figura 2.40 Enlace Cerro Alaspungo – Cerro Blanco en PTP LinkPlanner.....	144
Figura 2.41 Enlace Cerro Condorcocha– Cerro Blanco en PTP LinkPlanner. ....	145
Figura 2.42 Enlace Cerro Atacazo– Cerro Cruz Loma en PTP LinkPlanner. ....	146

Figura 2.43 Enlace Cerro Condijua– Cerro Tres Cruces en PTP LinkPlanner. ....	147
Figura 2.44 Enlace Cerro Tres Cruces– Cerro Reventador en PTP LinkPlanner....	148
Figura 2.45 Esquema de conexión de aplicaciones con servidores MOTOTRBO. .	152
Figura 2.46 Esquema conexión del APP. ....	153
Figura 2.47 Esquema conexión del APP con un solo canal del Repetidor. ....	154
Figura 2.48 Tipos de conexión de APPs en modo IPSC. ....	155
Figura 2.49 Esquema de conexión de Servidor de Aplicaciones MOTOTRBO. ....	157
Figura 2.50 Tipos de Conexión del Servidor SMARTPTT. ....	160
Figura 2.51 Esquema de conexión de aplicaciones con servidor SMARTPTT. ....	161
Figura 2.52 Esquema de interconexión con la telefonía mediante SmartPTT. ....	163
Figura 2.53 Arquitectura del Servicio de Localización. ....	167
Figura 2.54 Arquitectura del Servicio de Mensajería de Texto. ....	168
Figura 2.55 Arquitectura de Transmisiones de Voz. ....	168
Figura 3.1 Cronograma de Implementación del Proyecto. ....	178
Figura 3.2 Descripción de Servicios – Tarifas en la página WEB del Conatel. ....	179
Figura 3.3 Comparación entre el sistema analógico actual y el sistema MOTOTRBO .....	190
Figura 3.4 Comparación entre el desempeño del audio analógico y el digital. ....	191

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Bandas de Frecuencia del Espectro Radioeléctrico .....	3
Tabla 1.2 Especificaciones Técnicas del Radio Portátil EP – 450.....	25
Tabla 1.3 Especificaciones Técnicas del Radio Portátil PRO – 5150.....	26
Tabla 1.4 Especificaciones Técnicas del Radio Portátil GP-350 .....	27
Tabla 1.5 Especificaciones Técnicas del Radio Móvil EM – 400.....	28
Tabla 1.6 Especificaciones Técnicas del Radio Móvil PRO5100 .....	29
Tabla 1.7 Especificaciones Técnicas del Radio Móvil PRO3100 .....	30
Tabla 1.8 Especificaciones Técnicas del Radio Móvil GM – 300 .....	31
Tabla 1.9 Especificaciones Técnicas del Repetidor CDR-500 .....	32
Tabla 1.10 Duplexor SINCLAIR Q2220E .....	33
Tabla 1.11 Duplexor WACOM WP641 .....	34
Tabla 1.12 Sumario de Equipos Portátiles y Móviles en Canal 5 (1, 2, 3).....	36
Tabla 1.13 Sumario de Equipos Portátiles y Móviles en Canal 4 .....	36
Tabla 1.14 Sumario de Equipos Portátiles y Móviles en Canal 6-8.....	37
Tabla 1.15 Sumario de Equipos Portátiles y Móviles en Canal 7 .....	37
Tabla 1.16 Total de Equipos Portátiles, Móviles y Bases .....	38

Tabla 1.17 Equipos VHF en EL Troje.....	38
Tabla 1.18 Equipos VHF en Cerro Guamaní La Virgen .....	39
Tabla 1.19 Equipos VHF en Cerro Blanco .....	39
Tabla 1.20 Equipos VHF en Cerro Pichincha.....	39
Tabla 1.21 Equipos VHF en Cerro Cruz Loma .....	40
Tabla 1.22 Equipos VHF en Cerro Condorcocha .....	40
Tabla 1.23 Equipos VHF en Cerro Cruz Loma .....	41
Tabla 1.24 Equipos VHF en Cerro Alaspungo.....	41
Tabla 1.25 Equipos VHF en Cerro Condijua .....	41
Tabla 1.26 Total De Equipos Repetidores, Radio para Enlace Y Duplexores .....	42
Tabla 1.27 Permittividad Relativa y Conductividad del Suelo .....	48
Tabla 1.28 Modos de Variabilidad en el Modelo de Longley – Rice. Fuente: NTIA Reporte 82-100. ....	49
Tabla 1.29 Localización de los Nodos Actuales .....	50
Tabla 1.30 Características de cada Red en Radio Mobile .....	60
Tabla 1.31 Características de los Sistemas en Radio Mobile .....	61
Tabla 1.32 Cálculo de las Pérdidas de Línea .....	62
Tabla 1.33 Datos proporcionados por Radio Mobile .....	64

Tabla 1.34 Parámetros Calculados por Radio Mobile .....	67
Tabla 2.1 TDMA vs. FDMA.....	91
Tabla 2.2 Ubicación de los Nuevos Sitios de Repetición .....	104
Tabla 2.3 Cantidad de información en enlaces microonda para la nueva red VHF .	112
Tabla 2.4 Equipamiento en Cerro Pichincha .....	113
Tabla 2.5 Datos del Sistema – Software PTPLinkPlanner .....	135
Tabla 2.6 Datos del Sistema – Potencia de Transmisión del Equipo PTP07800. ...	135
Tabla 2.7 Datos del Sistema – Sensibilidad del Receptor.....	136
Tabla 2.8 Variación del Throughput en función del Ancho de Banda del canal y Tipo de Modulación .....	137
Tabla 2.9 Resultados del Enlace C. Pichincha – C. Blanco en PTP LinkPlanner....	137
Tabla 2.10 Margen de Desvanecimiento – Confiabilidad del Enlace.....	139
Tabla 2.11 Especificaciones Técnicas del Radio Portátil Digital DGP 6150.....	170
Tabla 2.12 Especificaciones Técnicas del Radio Digital Portátil DGP4150.....	171
Tabla 2.13 Especificaciones Técnicas del Radio Móvil Digital DGM 6100.....	172
Tabla 2.14 Especificaciones Técnicas del Radio Digital Portátil DGm4100. ....	173
Tabla 2.15 Especificaciones Técnicas del Repetidor Digital DGR 6175. ....	174
Tabla 2.16 Especificaciones Técnicas del Repetidor Digital MTR 3000.....	175

Tabla 3.1 Dimensionamiento para el Sistema de Radiocomunicaciones VHF Digital .....	177
Tabla 3.2 Enlaces Microonda – Distancias Equivalentes para Cálculo de Tarifas ..	183
Tabla 3.3 Cálculo de Tarifas Mensuales por Enlaces Microonda.....	184
Tabla 3.4 Cálculo de Derechos de Concesión para Enlaces Microonda.....	184
Tabla 3.5 Costos de los Equipos de Radiocomunicaciones .....	185
Tabla 3.6 Costo del Equipamiento VHF .....	186
Tabla 3.7 Costo del Equipamiento de enlaces Punto a Punto .....	187
Tabla 3.8 Costos de Equipamiento de Respaldo de Energía .....	187
Tabla 3.9 Costo de Software para Sistemas Aplicativos .....	188
Tabla 3.10 Costos de Instalación .....	188
Tabla 3.11 Costos de Mantenimiento.....	189
Tabla 3.12 Resumen de Costos .....	189

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Pérdidas en espacio libre .....	4
Ecuación 1.2 Directividad de una antena .....	12
Ecuación 1.3 Eficiencia de una antena .....	13
Ecuación 1.4 Radio de la Zona de Fresnel .....	15
Ecuación 1.5 PIRE .....	16
Ecuación 1.6 Potencia de recepción .....	16
Ecuación 1.7 Conversión de factor de curvatura de la tierra a unidades N .....	48
Ecuación 1.8 Sensibilidad .....	65
Ecuación 1.9 Campo eléctrico requerido de una antena.....	65
Ecuación 1.10 Factor de la antena.....	66
Ecuación 1.11 Margen de desvanecimiento.....	68
Ecuación 1.12 Altura de despeje.....	71
Ecuación 1.13 Margen de despeje .....	72
Ecuación 3.1 Tarifación mensual por frecuencias VHF .....	180
Ecuación 3.2 Tarifación mensual por enlace punto a punto .....	180
Ecuación 3.3 Derechos de concesión de frecuencias .....	180

## RESUMEN

En el presente proyecto primero se describe el estado actual del sistema de comunicaciones VHF de la Empresa Eléctrica Quito, el equipamiento existente, enfocado en los diferentes grupos de trabajo que constituyen el sistema analógico de comunicaciones VHF de la EEQ. Se describe la cobertura, orografía y ubicación geográfica de los lugares de enlace, repetidoras y canales de frecuencias. También se realiza el diagnóstico de la red actual enumerando sus fortalezas y debilidades.

En el segundo capítulo se emplean los datos del sistema analógico y los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito para realizar el diseño del sistema digital, se justifica la utilización de equipamiento MOTOROLA y del sistema MOTOTRBO. Se toman en cuenta factores como topología física, capacidad de transmisión, ancho de banda del canal, simulación de las nuevas áreas de cobertura y simulación de los enlaces microonda. Se realiza un estudio de las facilidades y sistemas aplicativos que ofrece la nueva tecnología digital.

En el tercer capítulo se determina la factibilidad económica de la migración al sistema VHF digital, para lo cual se describen costos de equipamiento, instalación y mantenimiento del nuevo sistema. Se incluye un estudio sobre la parte legal calculando las tarifas por concesión y permiso de uso de frecuencias de 12.5 KHz para VHF y una sub-banda licenciada de 7.2 GHz para enlaces microonda. También se especificará las ventajas y desventajas que se obtendrán al realizar el cambio de tecnología.

En la parte final del proyecto, se emiten las conclusiones que hacen referencia a los objetivos planteados, y se mencionan las recomendaciones respectivas para una futura implementación del nuevo sistema de radiocomunicaciones VHF digital.



## **PRESENTACIÓN**

La Empresa Eléctrica Quito tiene implementado un sistema de comunicaciones analógico, conformado por radios móviles, equipos portátiles, estaciones base y repetidores, a lo largo del área de concesión de la EEQ. Se plantea realizar un estudio y diseño para la utilización de una tecnología digital en las comunicaciones VHF que permita conseguir nuevos beneficios inherentes a la tecnología digital.

El sistema actual de la Empresa Eléctrica Quito cuenta con equipos analógicos que no permiten utilizar todas las funciones y facilidades que ofrecen los equipos digitales, como son escalabilidad de la red, aumento de capacidad y eficiencia del espectro, comunicaciones de datos integrados y comunicaciones de voz mejoradas, seguridad de la información transmitida, administración vía IP, interactividad con sistemas aplicativos como datos GPS, interconexión con telefonía y servicios de mensajería.

Los equipos del sistema VHF tanto analógicos como digitales, en comparación a otros sistemas como telefonía celular, resultan más económicos y robustos, facilitan la propagación de ondas para lograr penetración en zonas de difícil acceso, permiten recorrer grandes distancias, y con componentes menos complejos simplifican el mantenimiento y operación del equipamiento.

Por las razones anteriormente descritas y debido a los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito, se propone un Sistema de Radiocomunicaciones VHF Digital, con equipamiento de una sola marca comercial que facilite su operación y mantenimiento, y que permita una migración paulatina de tecnología hacia un sistema digital sin afectar la continuidad de trabajo de la Empresa Eléctrica Quito.

En la sección anterior se presenta un índice de tablas, figuras y ecuaciones descritas en el presente proyecto de titulación. Al finalizar con el contenido, adicionalmente se incluye glosario de términos técnicos para facilitar su comprensión y lectura.

# **CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DE LA RED ACTUAL VHF DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO**

## **INTRODUCCIÓN**

En este primer capítulo se realizará la descripción de la red de radiocomunicaciones VHF actual de la EEQ, indicando el tipo de equipos que utiliza, como estos están organizados, y de qué manera están distribuidos en el área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito. También se describirá el modo de operación de la red, para lo cual primero debemos revisar algunos conceptos que nos facilitarán el entendimiento de la propagación de las ondas y características de las antenas.

La Empresa Eléctrica Quito ha ido creciendo y expandiendo la red eléctrica dentro de su área de concesión, con lo cual se ha visto obligada a ampliar su red de radiocomunicaciones. Así ha añadido canales y modificado otros, y según las operaciones a realizar se ha visto en la necesidad de emplear diferentes modos de conexión de red, por lo que será necesario también describir los tipos de redes de radiocomunicaciones VHF.

Para comprender el funcionamiento de la red de radiocomunicaciones se realizará la simulación de la misma, con el software Radio Mobile, se describirán sus características principales con las cuales se facilita la localización de los nodos actuales, la configuración de los enlaces existentes y el área de cobertura de cada canal.

Al finalizar, en el presente capítulo es necesario realizar el diagnóstico del sistema VHF analógico actual de la Empresa Eléctrica Quito, para lo cual se describirán sus fortalezas y debilidades.

## 1.1 CONCEPTOS BÁSICOS<sup>1</sup>

A continuación se describirán ciertos conceptos sobre la propagación de ondas en la banda VHF, revisando también los parámetros más importantes de una antena y los tipos de redes móviles de mayor relevancia para el presente proyecto.

### 1.1.1 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

El espectro radioeléctrico, según UIT, es el conjunto de ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de los 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial.

Se presenta una tabla en la cual se encuentra la división del espectro radioeléctrico indicando también el uso típico de cada una de las bandas.

BANDA	FRECUENCIAS	LONGITUDES DE ONDA	APLICACIONES TÍPICAS
Frecuencias extremadamente bajas (ELF)	Menor a 3KHz	Mayor a 100 000 m	Comunicaciones submarinas y subterráneas, teledetección
Frecuencias muy bajas (VLF)	3 – 30KHz	100 000 – 10 000 m	Telegrafía en navegación, servicios fijos de largo alcance, ayudas náuticas
Frecuencias bajas (LF)	30 – 300KHz	10 000 – 1 000 m	Comunicación náutica de largo alcance, radiodifusión, ayudas náuticas
Frecuencias medias (MF)	300 – 3 000KHz	1 000 – 100 m	Sistemas móviles de aire, mar y tierra, radiodifusión, navegación
Frecuencias altas (HF)	3 – 30MHz	100 – 10 m	Sistemas móviles de aire, mar y tierra, radiodifusión, punto a punto fijos
Frecuencias muy altas	30 – 300MHz	10 – 1 m	Sistemas móviles de aire, mar y tierra,

<sup>1</sup>Nota: esta sección contiene información recopilada del libro GRAHAM, Adrian; KIRKMAN, Nicholas; PAUL, Peter, Mobile Radio Network Design in the VHF and UHF Band. 1ra edición. Editorial WILEY. 2007.

(VHF)			radiodifusión, navegación
Frecuencias ultra altas (UHF)	300 – 3 000MHz	1 m – 10 cm	Sistemas móviles de aire, mar y tierra, radiodifusión, navegación, fijos, radar, satélite, telemetría
Frecuencias súper altas (SHF)	3 – 30GHz	10 – 1 cm	Punto a punto fijos, satélite fijo, radar
Frecuencias extremadamente altas (EHF)	30 – 300GHz	1 cm – 1 mm	Punto a punto móvil y fijo (línea de vista), satélite

**Tabla XIX.1 Bandas de Frecuencia del Espectro Radioeléctrico<sup>2</sup>**

Como se observa en la tabla anterior, existe servicio móvil en varias bandas, pero nos vamos a enfocar en la banda de VHF ya que en esta banda se encuentra trabajando actualmente el sistema de radiocomunicaciones de la Empresa Eléctrica Quito, cabe mencionar que en esta banda y en la de UHF han ocurrido los desarrollos más recientes, y que en bandas de frecuencias menores las formas de propagación son diferentes a los de VHF y bandas superiores.

### **1.1.2 PROPAGACIÓN EN VHF**

En frecuencias superiores a HF, el tamaño de los obstáculos como construcciones e irregularidades en el terreno es mayor al de la longitud de onda, por lo cual estos obstáculos tienen un considerable efecto en la propagación de la energía de radiofrecuencia.

La propagación en la banda de VHF debido a su longitud de onda, está sujeta a distintas formas de propagación, tales como: distancia (pérdidas en espacio libre), reflexión, refracción, difracción y absorción. Estos conceptos serán expuestos

---

<sup>2</sup> Fuente: ÁLVAREZ, J. A. (s.f.). BANDAS DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.

brevemente, ya que si bien son importantes en las radiocomunicaciones, el presente proyecto no se enfoca en la propagación de las ondas.

### **1.1.2.1 Distancia**

Toda señal radiada reducirá su energía mientras se aleja de su fuente. En la mayoría de condiciones donde no hay otros factores presentes, esta tomará la conocida formula de pérdidas en el espacio libre (mostrada en su formula logarítmica).

**Ecuación XIX.1**

$$L = (32.44 + 20 \log f + 20 \log d)$$

Donde

$L$  es la pérdida del enlace en dB

$f$  es la frecuencia en MHz

$d$  es distancia en Km

Esta ecuación muestra que no solo aumentan las pérdidas por la distancia, sino también por la frecuencia empleada.

### **1.1.2.2 Reflexión**

Las ondas de radio se reflejan cuando éstas se encuentran con grandes superficies planas. El grado de planicidad debe ser comparado con el área de la primera zona de Fresnel en la zona de reflexión.

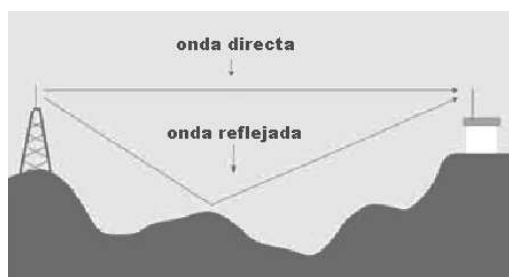


Figura XIX.1 Reflexión de una onda en la superficie terrestre.

### 1.1.2.3 Refracción

La refracción es causada por la variación en el índice de refracción atmosférico a diferentes alturas, generalmente a mayor altura se reduce la presión atmosférica, la temperatura y la presión parcial del vapor de agua, disminuyendo con esto el índice de refracción. También se producen variaciones de refracción provocadas por efectos climáticos.

El efecto de la variación del índice de refracción provoca el cambio de trayectoria de las ondas, permitiendo la recepción de señales de radio a pesar de no tener aparentemente línea de vista.

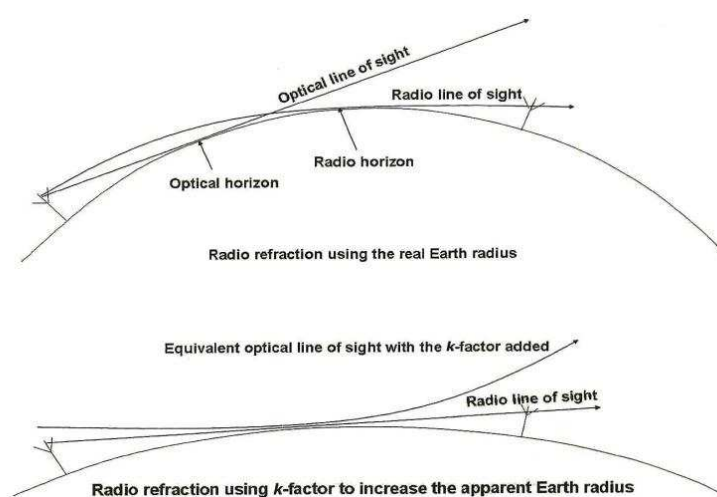


Figura XIX.2 Comparación entre el radio real y el radio aparente de la Tierra

### 1.1.2.4 Difracción

La difracción es el fenómeno por el cual una onda puede contornear un obstáculo en su propagación, alejándose del comportamiento de los rayos rectilíneos. La pérdida en el nivel de señal por una ruta con difracción es muy significativo comparado con una en el espacio libre, reduciéndose notablemente el alcance máximo de un enlace.<sup>3</sup>

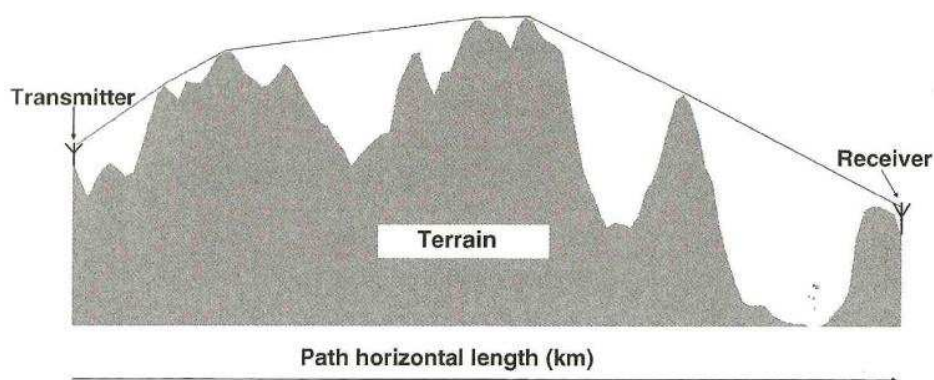


Figura XIX.3 Representación de una onda difractada.

### 1.1.2.5 Absorción

La energía irradiada también será absorbida por medios como materiales de construcción, vegetación, vehículos y masa corporal. Por ende existirán pérdidas por absorción si el usuario se encuentra ubicado en una zona urbana, dentro de un edificio, en una arboleda, o incluso si lleva el radio portátil a la altura de la cintura y no de la cabeza.

---

<sup>3</sup> DE LA CRUZ, J. M. (s.f.). Introducción a la Difracción de Ondas.

### 1.1.3 SISTEMA VHF ANALÓGICOS

Los sistemas VHF analógicos están enfocados principalmente en proveer comunicación por voz. Algunos sistemas más avanzados proveen también servicios como: alarmas de emergencia, identificación de llamada, llamada selectiva e inhibición de radios.

En la siguiente figura se muestra un esquema típico de una instalación de un sistema VHF analógico y se describen brevemente sus componentes.

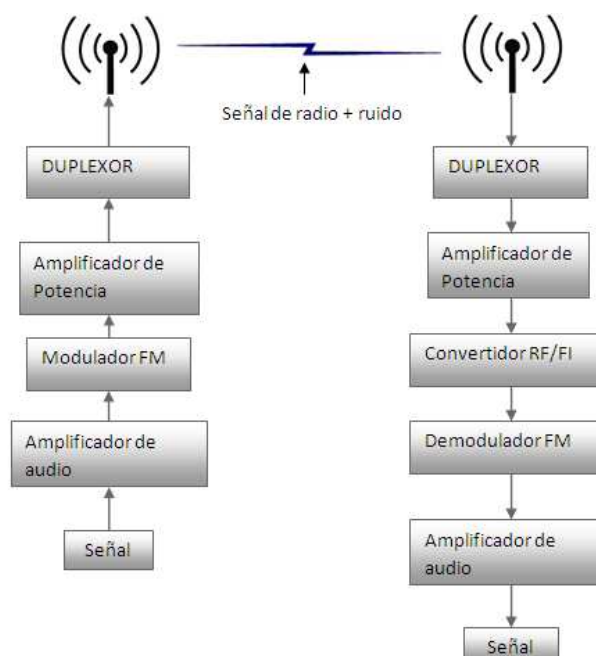


Figura XIX.4 Diagrama del Sistema VHF Analógico.

#### 1.1.3.1 Duplexor

El duplexor es un elemento pasivo que permite emplear una sola antena para la transmisión y recepción de información, cada una en diferente frecuencia.



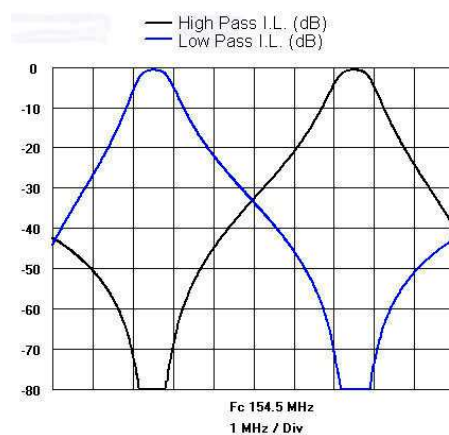


Figura XIX.5 Comportamiento de un Duplexor.

El duplexor permite la transmisión y recepción simultánea a través de la misma antena, en la transmisión permite el paso de la frecuencia de transmisión mientras bloquea la frecuencia de recepción, y en la recepción funciona de manera inversa.

### 1.1.3.2 Amplificador de Potencia

En la transmisión el amplificador de potencia se encarga de entregar la señal a la antena para que se propague lo suficiente para obtener la cobertura deseada. Mientras que en el receptor amplifica la señal que viene de la antena para su posterior demodulación.

### 1.1.3.3 Modulador/Demodulador

La modulación consiste en variar algún parámetro de la señal portadora de radiofrecuencia en función de la señal que se desea transmitir (voz, datos, etc.). En sistemas VHF analógicos usualmente se emplea la modulación por frecuencia, aunque también se usa la modulación por amplitud y por fase.

En la demodulación se extrae la información (voz, datos, etc.) de la señal modulada.

#### **1.1.3.4 Convertidor de Frecuencia**

En los aparatos de radio que emplean el principio superheterodino se mezcla la señal sintonizada en la antena (frecuencia de señal modulada) con una frecuencia variable generada localmente en el propio equipo mediante un oscilador local y que guarda una diferencia constante. Esta diferencia entre las dos frecuencias se denomina frecuencia intermedia (FI).

La frecuencia intermedia se emplea para que todos los circuitos sintonizados existentes a partir de la etapa de conversión trabajen a una frecuencia fija (FI), y por tanto son más fáciles de ajustar. De este modo se mejora la selectividad y se facilita el diseño de las etapas amplificadoras.<sup>4</sup>

#### **1.1.4 PARAMETROS DE ANTENAS**

Para evaluar el efecto de una antena sobre el sistema de radiocomunicaciones enunciaremos los parámetros que la describen.

##### **1.1.4.1 Diagrama de Radiación**

Es una representación gráfica de la distribución espacial del campo eléctrico o de la densidad de potencia producida por una antena.

Los parámetros más importantes del diagrama de radiación son:

- Planos principales de radiación: E y H

El diagrama de radiación puede representarse de manera tridimensional. En la figura 1.6 se muestra el diagrama tridimensional de una antena y los planos E y H. Para antenas polarizadas linealmente se define el plano E como el que forman la dirección

---

<sup>4</sup> WIKIPEDIA. (s.f.). Frecuencia Intermedia.

de máxima radiación y el campo eléctrico en dicha dirección. El plano H es el formado por la dirección de máxima radiación y el campo magnético en dicha dirección. Los dos planos son perpendiculares entre sí y su intersección determina una línea que define la dirección de máxima radiación de la antena.<sup>5</sup>

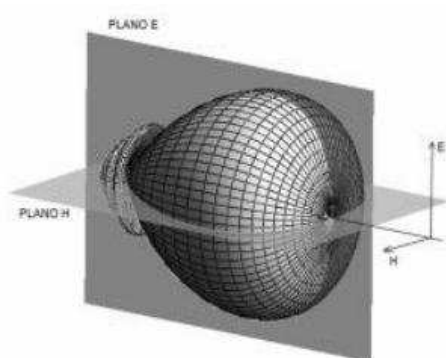


Figura XIX.6 Diagrama de radiación y los planos E y H.

- Lóbulo principal: Es el margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.
- Lóbulo secundario: A las zonas de radiación que rodean al lóbulo principal y son de menor amplitud se denominan lóbulos secundarios.
- Ancho de haz: Es el ángulo que se forma cuando el diagrama de radiación de un haz toma un valor de 3 dB por debajo del máximo; es decir que se forman dos puntos de intersección en los cuales la densidad de potencia radiada se reduce a la mitad.
- Relación de lóbulo principal a secundario: Es el cociente en dB entre el valor del diagrama en la dirección de máxima radiación y el valor máximo del lóbulo secundario.
- Relación delante-atrás (D/A): Es el cociente en dB entre el valor de máxima radiación y el de la misma dirección pero sentido opuesto.

---

<sup>5</sup>CONTRERAS, J. (2009). Diseño e Implementación De Un Simulador Para Analizar El Funcionamiento De Un Sistema De Antenas Inteligentes.

- Nulos: Un punto nulo es aquel en el cual la intensidad de potencia radiada esta en un mínimo. Son empleados para la supresión de señales de interferencia en una dirección dada.

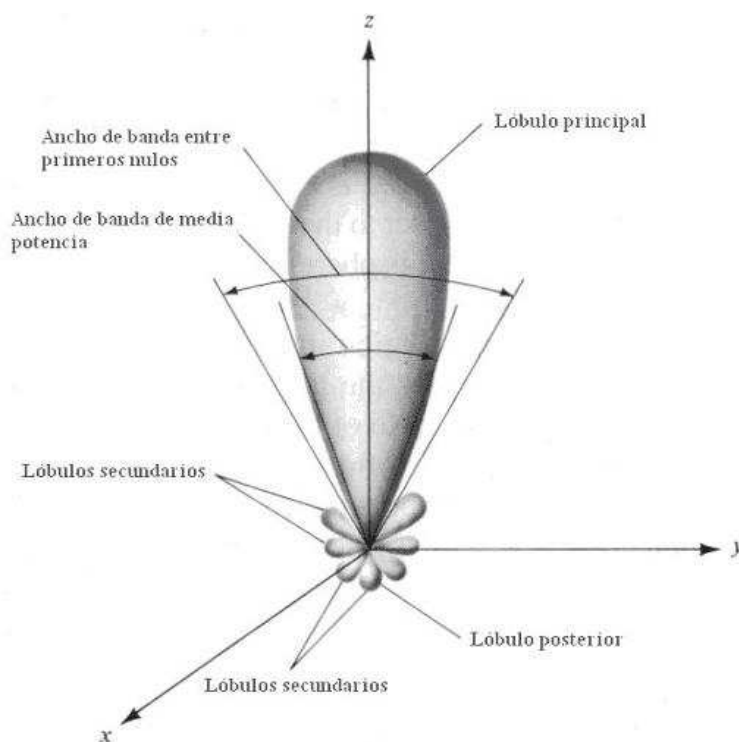


Figura XIX.7 Parámetros del diagrama de radiación de una antena.

Referencia: (Balanis, 2008)

#### 1.1.4.2 Directividad

Es la relación entre la densidad de potencia radiada de una antena en una dirección a una determinada distancia, y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica en la misma dirección y distancia, suponiendo que ambas antenas estén irradiando igual potencia. Si no se especifica la dirección, se sobrentiende que la directividad se refiere a la dirección de máxima radiación.

## Ecuación XIX.2

$$D = \frac{Prad}{\frac{Wrad}{4\pi r^2}}$$

Donde,

$Prad =$  Densidad de Potencia [ $w/m^2$ ]

$Wrad =$  Potencia radiada [ $w$ ]

$4\pi r^2 =$  área del patrón de radiación de una antena isotrópica [ $m^2$ ]

#### 1.1.4.3 Densidad de potencia

Se define como la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección.

$$P = E \times H$$

$P =$  densidad de potencia [ $W/m^2$ ]

$E =$  intensidad de campo eléctrico [ $V/m$ ]

$H =$  intensidad de campo magnético [ $A/m$ ]

#### 1.1.4.4 Eficiencia

La eficiencia de una antena se define como la relación entre la potencia radiada y la potencia de entrada de la antena.

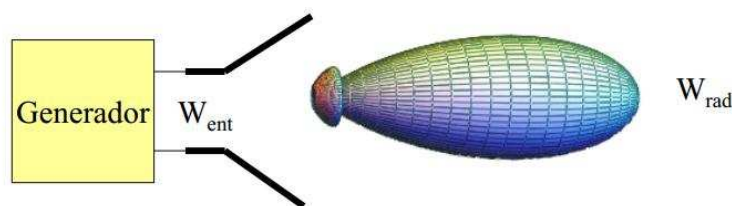


Figura XIX.8 Eficiencia de una antena.<sup>6</sup>

Ecuación XIX.3

$$n = \frac{W_{rad}}{W_{ent}}$$

#### 1.1.4.5 Ganancia

Se define como el producto de la eficiencia de la antena por la directividad. Es la capacidad de una antena en concentrar la potencia radiada en una orientación dada.

La ganancia se expresa en dBi o dBd, dependiendo, si se toma como referencia una antena isotrópica o un dipolo de media onda.

$$G = \frac{Prad}{\frac{Went}{4\pi r^2}} = nD$$

#### 1.1.4.6 Ancho de banda

Las antenas están limitadas a operar en un margen de frecuencias debido a su geometría finita, este rango de frecuencias es denominado ancho de banda de la antena.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. (s.f.). Antenas.

<sup>7</sup> BLOG INFORMATICO. (s.f.). Antenas y sus Características.

### 1.1.4.7 Polarización

La polarización se define como la figura geométrica determinada por el vector campo eléctrico en función del tiempo. Existen varios tipos de polarización:

- Polarización Lineal. Si el vector de polarización del campo eléctrico traza una recta. Cuando la recta es paralela a la superficie de la tierra se le llama *polarización horizontal*, caso contrario, si es perpendicular a la superficie se dice que la antena está en *polarización vertical*.
- Polarización circular. Si el vector de polarización del campo eléctrico gira  $360^\circ$  con la misma intensidad el todo el giro.
- Polarización elíptica. Si el vector de polarización del campo eléctrico gira  $360^\circ$  pero la intensidad varía durante el giro.

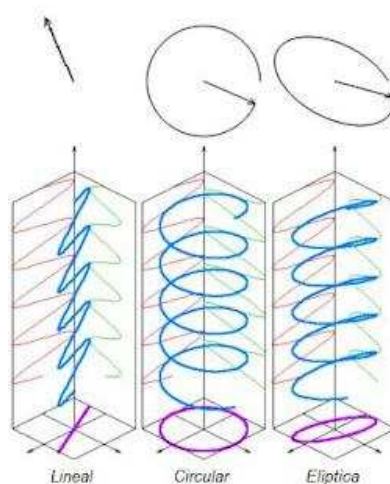


Figura XIX.9 Tipos de Polarización.<sup>8</sup>

### 1.1.4.8 Zonas de Fresnel

En un enlace punto a punto se debe considerar varios factores, como línea de vista y la zona de Fresnel que se define como el volumen de espacio libre de obstáculos

<sup>8</sup> VILLENA, R. (s.f.). Antenas Para Todos.

que debe existir entre la antena transmisora y receptora. La primera zona de Fresnel es una elipsoide cuyo contorno incluye todos aquellos puntos que al ser reflejados tienen una diferencia de fase con la señal directa igual a  $\lambda/2$ . La segunda zona de Fresnel es un segundo elipsoide que contiene al primero con diferencia de fase igual a  $\lambda$ . Para obtener las siguientes zonas de Fresnel se sigue el mismo método aplicando un desfase de  $n*\lambda/2$  siendo  $n$  el número de la enésima zona de Fresnel. Para asegurar un enlace la obstrucción máxima permisible puede considerarse en 40% de la primera zona de Fresnel.

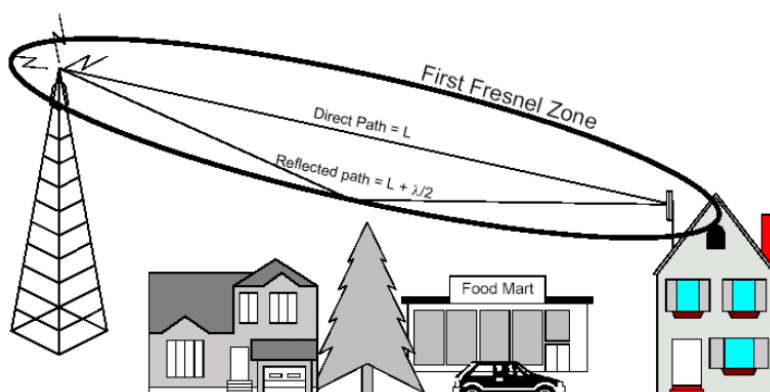


Figura XIX.10 Primera Zona de Fresnel.<sup>9</sup>

La fórmula para el cálculo del radio de las zonas de Fresnel es la siguiente.

Ecuación XIX.4

$$R_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Donde:

---

<sup>9</sup> INELE. (s.f.). Tipos de Propagación de Ondas.



- $R_n$  Es el radio de la enésima zona de Fresnel en metros.  
 $d_1$  Es la distancia desde el transmisor al objeto en metros.  
 $d_2$  Es la distancia desde el receptor al objeto en metros.  
 $\lambda$  Es la longitud de onda de la señal transmitida en metros.

#### 1.1.4.9 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE)

Producto de la potencia suministrada a una antena por la ganancia de la antena, en una dirección dada, relativa al radiador isotrópico.

Ecuación XIX.5

$$PIRE(dBW) = Potencia\ de\ entrada(dBW) + Ganancia\ de\ Antena(dBi)$$

#### 1.1.4.10 Potencia de Recepción

Es el nivel de señal que llega al receptor, se calcula como la suma entre la potencia de transmisión, la ganancia de las antenas, menos las pérdidas.

Ecuación XIX.6

$$Potencia\ Rx(dBm) = Potencia\ de\ transmision(dBm) +$$

$$Ganancia\ de\ las\ antenas(Tx\ y\ Rx)(dB) - Perdidas(dB)$$

#### 1.1.5 TIPOS DE REDES EN RADIOCOMUNICACIONES

A continuación se describen los tipos de redes móviles divididas según su principal modo de operación, pero abarcaremos solo las redes de interés para este proyecto.

### 1.1.5.1 Modo Directo

El modo de operación directo se da cuando una estación móvil se comunica directamente con otra estación móvil, o grupo de móviles, sin pasar por una estación base.

Las comunicaciones pueden ser realizadas a un solo usuario o a un grupo de usuarios, dependiendo de los que estén sintonizados en un mismo canal. Las transmisiones son típicamente half-duplex.

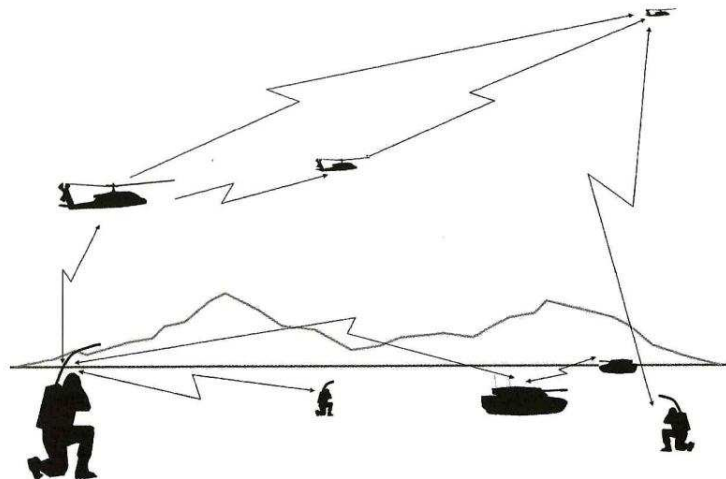


Figura XIX.11 Red en Modo Directo.

El modo directo, en comparación con otras redes, tiene varias ventajas dentro de las cuales están:

- No hay costo de infraestructura.
- Simple de operar.
- No está limitada a un área de servicio (puede ser desplegada en cualquier lugar)
- Tiempo de despliegue muy rápido.
- No tiene huella permanente (no queda infraestructura instalada después de la operación por parte de los usuarios)

- El corto rango de comunicaciones entre abonados es útil para prevenir la detección, interceptación y localización por parte de adversos.

El modo directo también tiene varias desventajas, como son:

- El corto alcance de los enlaces limita la cobertura, y no garantiza la conexión de unos otros con otros.
- Solo aceptable para un número pequeño de abonados, de otra manera el tráfico reducirá el rendimiento del sistema.
- La comunicación depende del orden del usuario. Un solo usuario podría bloquear las llamadas por un mal uso.
- Altamente vulnerable a las interferencias.

### 1.1.5.2 Nodo Simple

El tipo más simple de una red de radio móvil con infraestructura fija es con un solo nodo, que provee de cobertura a un área relativamente pequeña. Este sistema también es generalmente half-duplex, y cualquier abonado de la red puede unirse a una conversación, pero solo uno puede hablar a la vez.

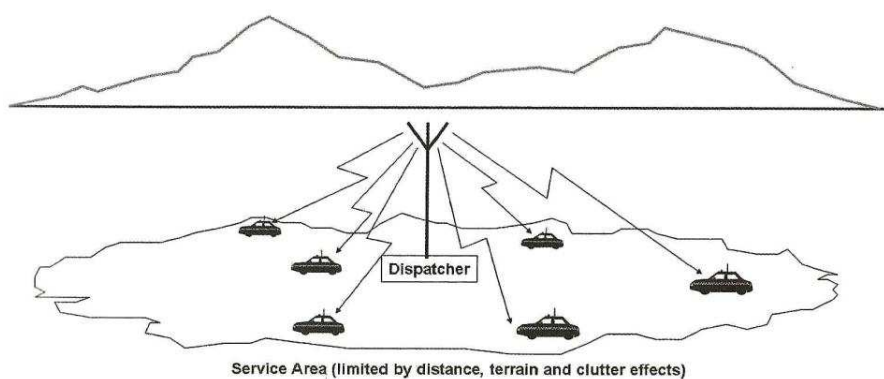


Figura XIX.12 Red de Nodo Simple.

Esta arquitectura tiene algunas ventajas que lo hacen apropiada según las necesidades:

- Es de bajo costo, tanto para la estación base como para las unidades móviles.

- Provee un mayor alcance que el modo directo (radio a radio).
- Permite compartir el espectro entre varios usuarios.
- Provee un estándar simple usado en todo el mundo.
- Para operaciones combinadas donde los abonados pueden escuchar las direcciones de enlace ascendente y descendente, que permite que se mantengan informados y por tanto tener una comprensión de cómo se está desarrollando la operación.

Sin embargo, este tipo de redes tiene algunas limitantes, como las siguientes:

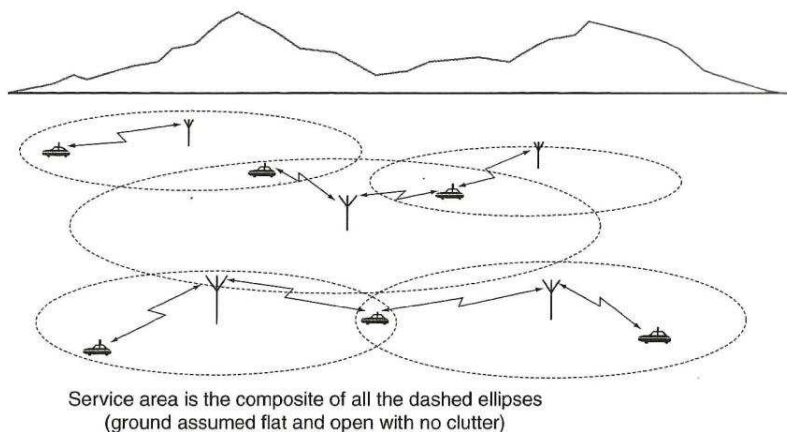
- Cobertura limitada al alcance del nodo.
- Propensión del sistema a abuso, donde una persona que llama puede bloquearlo por una transmisión continua.

El diseño de estas redes es muy sencillo, las únicas variantes son la localización, la altura sobre el suelo y el tipo de antena. Generalmente se adquieren productos estándar para la estación base y los móviles. La frecuencia deberá ser solicitada en una banda disponible, y será asignada por un ente regulador.

### **1.1.5.3 Simulcast**

Esta arquitectura es empleada en el caso de requerir una cobertura extensa pero baja demanda de tráfico. También llamada “quasi-synchronous”, este tipo de red en lugar de tener una estación base se tienen varias de estas. Cada estación transmite la misma información en la misma frecuencia y sincronizada para minimizar interferencias.

Los usuarios móviles en áreas en las que tienen cobertura más de una estación base recibirán servicio de cada una de estas estaciones base. Las señales recibidas de cada estación base son combinadas, con el sistema “voto” hacia el sistema con la señal recibida más fuerte.



**Figura XIX.13 Red Simulcast.**

Esta arquitectura tiene varios beneficios, como los siguientes:

- Es menos costoso de implementar que un sistema celular.
- Permite una gran cobertura usando mínima infraestructura.
- Es una tecnología bien establecida en todo el mundo, por lo que es menos riesgosa implementar que nuevas tecnologías y adecuado para cualquier parte del mundo.
- Porque usa solo una frecuencia (o un solo par), todos los abonados van a escuchar al transmisor, manteniéndolos informados de las actividades que ocurren.

El Simulcast tiene algunas limitaciones, las principales son:

- Las unidades móviles deben poder trabajar con retrasos por propagación y son más complejas que otros sistemas.
- El diseño de una red para una determinada área cobertura es más compleja debido a la cantidad de variables.
- El diseño requiere enlaces entre estaciones vía terrestre o punto a punto para que las llamadas puedan ser transmitidas por toda la red.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE RADIOCOMUNICACIÓN ANALÓGICOS VHF DE LA EMPRESA ELECTRICA QUITO

Una red general de radiocomunicaciones consta del siguiente equipamiento básico:

- **Radios Portátiles.** Son dispositivos electrónicos que permiten comunicación local. Debido a su tamaño compacto facilitan la manipulación y transporte; manejan una potencia promedio de 5 W.
- **Radios Móviles.** Estos equipos de comunicación se utilizan en vehículos o estaciones bases, poseen mejor sensibilidad que los radios portátiles y potencia de transmisión hasta 25 W; por lo que permiten captar señales en sitios más alejados al repetidor.
- **Repetidor.** Es un dispositivo electrónico que recibe una señal débil y la retransmite con un nivel de potencia más alto. Permite cubrir distancias más grandes de radiocomunicación.

### 1.2.1 DEFINICIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO DE RADIOCOMUNICACIONES VHF

Se debe describir las características del equipo y la función de las especificaciones técnicas para comprender su funcionamiento. En el equipamiento se presentan especificaciones técnicas generales, en el transmisor y en el receptor.

#### 1.2.1.1 Especificaciones Técnicas Generales

- **Número de canales.**

Es la capacidad de canales que pueden programarse en el equipo de radiocomunicaciones.

- **Espaciamiento del canal**

Es el rango de frecuencias utilizado entre canales para evitar el solapamiento de los mismos. Para aprovechar el espectro electromagnético se exigen espaciamientos de canal cada vez más estrechos.

- **Duración de la batería en un ciclo de 5/5/90**

Es el tiempo de funcionamiento del equipo con un uso del 5% en modo de transmisión, 5% en modo de recepción y 90% en modo silencio.

- **Estabilidad de frecuencia**

Se relaciona con la habilidad para mantener una frecuencia en estado estacionario estable (temperatura  $-30^{\circ}$  a  $60^{\circ}$ ) luego de una perturbación externa. Se expresa en partes por millón (ppm) y un valor bajo indica mejor estabilidad.

- **Rango de frecuencias**

Especifica las frecuencias mínima y máxima de trabajo para las cuales funciona el equipo de radiocomunicaciones.

### 1.2.1.2 Especificaciones Técnicas del Transmisor.

- **Potencia de Salida RF**

Indica el intervalo de potencias que entrega el equipo, especificando si trabaja en frecuencias de VHF o UHF.

- **Tolerancia de frecuencia**

Es la capacidad del transmisor para permitir desviaciones de frecuencia no mayores a la desviación nominal de trabajo, y su valor representa la desviación máxima de frecuencia permitida en un canal. En los manuales de equipos de radiocomunicación se describe con el nombre de Limitación de Modulación.

- **Distorsión de audio**

Es el efecto por el cual una señal pura se modifica apareciendo componentes de nuevas frecuencias armónicas a la fundamental; el objetivo es obtener un valor pequeño de distorsión de audio en el equipo.

### 1.2.1.3 Especificaciones Técnicas del Receptor

- **Sensibilidad (12dB SINAD)**

Es la capacidad del receptor en captar señales débiles. La SINAD (Signal to Noise and Distortion Ratio) es un parámetro que mide la calidad de la señal frente a perturbaciones como el ruido y la distorsión. Para comunicaciones aceptables se prefieren valores menores a 12 dB de SINAD.

- **Distorsión de audio**

Al igual que la especificación para el transmisor, el objetivo es mantener una recepción aceptable de la señal, con un valor de porcentaje bajo de distorsión de audio en el equipo.

- **Intermodulación**

Es la capacidad de captar las señales moduladas adecuadas en compañía de otras señales de interferencia.

- **Selectividad**

Es la capacidad del receptor para rechazar señales de canales adyacentes, y captar la señal deseada. Se requieren valores altos que permitirán menor interferencia.



## **1.2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO ACTUAL**

La red de radiocomunicaciones de la Empresa Eléctrica Quito consta actualmente con equipamiento totalmente analógico. A continuación se presentan tablas con las respectivas características técnicas principales de los equipos de radiocomunicación, portátiles, móviles, repetidores y duplexores; que se encuentran actualmente instalados a lo largo del área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito. Cabe resaltar que todos los equipos portátiles, móviles y repetidores de la Empresa Eléctrica Quito son de la marca comercial Motorola.

### **1.2.2.1 Radios Portátiles**

- **EP – 450**

El radio portátil EP450 de dos vías sin pantalla consta con un sistema mejorado con 64 canales y activación por voz avanzada (VOX)<sup>10</sup>. El EP-450 presenta recepción y transmisión PTT/ID<sup>11</sup>, la cual permite optimizar el tiempo de uso del equipo, identificando al usuario de radio al comienzo de la transmisión.

---

<sup>10</sup>VOX: es una función complementaria utilizada en equipos de radiocomunicaciones que permite una transmisión activada por voz, permite hablar y escuchar una conversación de radio sin usar las manos mediante el uso de un accesorio de audio apropiado.

<sup>11</sup> PPT/ID: Push toTalk / Identifier, ésta función envía el número de identificación de unidad cuando se presiona el botón PPT, de esta manera se consigue una comunicación privada.



<b>CARACTERISTICAS</b>		
Número de canales	64 canales	
Dimensiones	130.5mm x 62mm x 45mm	
Peso	397g	
Duración de la batería de litio en un ciclo de 5/5/90	17horas en baja potencia 12 horas en alta potencia	
Estabilidad de frecuencia	±2.5 ppm	
Espaciamiento del canal	12.5 / 20 / 25 KHz	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Rango de frecuencias	136 - 162 MHz 146 - 174 MHz	403 - 440 MHz 438 - 470 MHz 465 - 495 MHz 490 - 527 MHz
	<b>Transmisor</b>	<b>UHF</b>
Potencia de Salida RF	1-5 W	1-4 W
Limitación de modulación	±2.5KHz@12.5KHz / ±5KHz@25KHz	
Distorsión de audio	<3%	
	<b>Receptor</b>	
Sensibilidad (12dB SINAD)	0.25uV	
Distorsión de audio	5%	
Intermodulación	70dB	
Selectividad	70dB@25KHz / 60dB@12.5KHz	

**Tabla XIX.2Especificaciones Técnicas del Radio Portátil EP – 450<sup>12</sup>**

<sup>12</sup> Fuente: MOTOROLA. (2005). EP450 RADIO PORTATIL.

- **PRO – 5150**

Este radio ofrece transmisión interna accionada por voz (VOX) con manos libres usando el accesorio apropiado. Dispone de 16 canales convencionales programables con espaciamiento de 12.5 kHz o 25 kHz. Se presentan beneficios como reducción del ruido de fondo y mejora la calidad del sonido.


		
<b>CARACTERISTICAS</b>		
Número de canales	4 ó 16 canales	
Dimensiones	137.16mm x 57.40mm x 38.1mm	
Peso	420g	
Espaciamiento del canal	12.5 / 20 / 25 KHz	
Duración de la batería de litio en un ciclo de 5/5/90	11 horas en baja potencia 8 horas en alta potencia	
Estabilidad de Frecuencia	±5 ppm@25KHz ±2.5 ppm@25KHz	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Rango de frecuencias	136 - 174 MHz	403 - 470 MHz 450 - 527 MHz
	<b>Transmisor</b>	<b>UHF</b>
Potencia de Salida RF	1-5 W	1-4 W
Limitación de modulación	±2.5KHz@12.5KHz ±4KHz@20KHz ±5KHz@25KHz	
Distorsión de audio	3% típica	
	<b>Receptor</b>	<b>UHF</b>
Sensibilidad (12dB SINAD)	0.25uV típica	
Distorsión de audio	3% típica	
Intermodulación (EIA)	70dB	
Selectividad	70dB@25KHz / 60dB@12.5KHz	

Tabla XIX.3 Especificaciones Técnicas del Radio Portátil PRO – 5150<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Fuente: MOTOROLA. (2002). PRO 5150 RADIO PORTATIL.

- **GP – 350**

El radio portátil GP-350 fue diseñado para resistir condiciones ambientales hostiles, esta unidad posee la flexibilidad y confiabilidad necesarias para satisfacer cualquier desafío de comunicación. La portabilidad del radio GP350 le ofrece al usuario la facilidad para comunicarse fuera de un vehículo u oficina. Se ofrece niveles de potencia programables y rastreo de canal prioritario.

		
<b>CARACTERISTICAS</b>		
Número de canales	2 ó 16 canales	
Dimensiones	142mm x 63mm x 45.6mm	
Peso	509g	
Duración de batería de litio en un ciclo de 5/5/90	10.5 horas en baja potencia 8 horas en alta potencia	
Estabilidad de frecuencia	±0.0005%	
Espaciamiento del canal	20/ 25KHz	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Rango de frecuencias	146 - 174 MHz	438 - 470 MHz
<b>Transmisor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Potencia de Salida RF	1- 5 W	1- 4 W
Limitación de modulación	±2.5KHz @ 12.5KHz ±5KHz @ 25/30KHz	
Distorsión de audio	3% típica	
<b>Receptor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Sensibilidad	0.28uV típica	
Salida de audio a una Distorsión < 10% (1KHz)	500mW	
Intermodulación	65dB	
Selectividad	70dB@25KHz/ 60dB@12.5KHz	

**Tabla XIX.4 Especificaciones Técnicas del Radio Portátil GP-350**

**Fuente: Hoja de especificaciones GP-350. Referencia (Motorola, 1996)**

### 1.2.2.2 Radios Móviles o Bases

- **EM – 400**

El radio móvil EM400 de Motorola permite mejorar el desempeño de las operaciones comerciales al ofrecer diferentes funciones. Entre esas funciones podemos mencionar: el rastreo de doble prioridad, 32 canales para organizar grupos de conversación, variadas funciones de señalización para intercambio oportuno de comunicaciones, y una pantalla alfanumérica con íconos fáciles de comprender que brindan información sobre el estado de las funciones, tales como rastreo, alta / baja potencia y fuerza de la señal recibida.

		
CARACTERISTICAS		
Número de canales	32 canales	
Dimensiones	169mm x 118mm x 44mm	
Peso	1.02Kg	
Espaciamiento del canal	12.5 / 20 / 25 KHz	
Estabilidad de Frecuencia	±2.5 ppm	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Rango de frecuencias	136 - 162 MHz	403 - 440 MHz
	146 - 174 MHz	438 - 470 MHz 465 - 495 MHz
<b>Transmisor</b>	<b>Baja Potencia</b>	<b>Alta Potencia</b>
Potencia de salida RF	1- 25 W	25 - 45 W (VHF) 25 - 40 W (UHF)
Limitación de modulación	±2.5KHz@12.5KHz ±4KHz@20KHz ±5KHz@25KHz	
Distorsión de audio	3%	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
<b>Receptor</b>		
Sensibilidad (12dB SINAD)	0.35uV típica	
Distorsión de audio	3% típica	
Intermodulación (EIA)	65dB@12.5KHz 75dB@25KHz	65dB@12.5KHz 70dB@25KHz
	65dB@12.5KHz 75dB@25KHz	65dB@12.5KHz 70dB@25KHz
Selectividad	65dB@12.5KHz 75dB@25KHz	65dB@12.5KHz 70dB@25KHz

Tabla XIX.5Especificaciones Técnicas del Radio Móvil EM – 400<sup>14</sup>

<sup>14</sup> Fuente: MOTOROLA. (2009). EM400 RADIO MOVIL.

- **PRO5100**

Este radio móvil provee un funcionamiento sencillo y de alta calidad. Permite llamada selectiva y alerta de llamada, verificación de radio, identificación de llamada (PTT-ID), e inhibición selectiva de radio. Ofrece también un rango más amplio de llamadas, un acceso de canal más rápido, una mayor privacidad y capacidad de usuarios.

 <b>CARACTERISTICAS</b>		
Número de canales	64 canales	
	<b>Baja Potencia</b>	<b>Alta Potencia</b>
Dimensiones	186mm x 179mm x 59mm	198mm x 179mm x 59mm
Peso	1.43Kg	1.65Kg
Espaciamiento del canal	12.5 / 20 / 25 KHz	
Estabilidad de Frecuencia	±2.5 ppm	
Rango de frecuencias	136 - 174 MHz (VHF) 403 - 470 MHz (UHF) 450 - 520 MHz (UHF)	
<b>Transmisor</b>	<b>Baja Potencia</b>	<b>Alta Potencia</b>
Potencia de salida RF	1- 25 W	25 - 45 W (VHF) 25 - 40 W (UHF)
Limitación de modulación	±2.5KHz@12.5KHz ±4KHz@20KHz ±5KHz@25KHz	
Distorsión de audio	2%	
<b>Receptor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Sensibilidad (12dB SINAD) EIA	0.22uV típica	
Distorsión de audio	2%	
Intermodulación (TIA 603)	75dB@12.5KHz 78dB@25KHz	75dB@12.5KHz 75dB@25KHz
Selectividad (TIA 603)	65dB@12.5KHz 80dB@25KHz	65dB@12.5KHz 75dB@25KHz

Tabla XIX.6 Especificaciones Técnicas del Radio Móvil PRO5100<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Fuente: MOTOROLA. (2009). PRO5100 RADIO MOVIL PROFESIONAL. Obtenido de Hoja de Especificaciones:

- **PRO3100**

El radio móvil profesional PRO3100 de Motorola dispone de todas las funciones esenciales para mantener conectividad constante y eficiente con comunicaciones claras y nítidas aún en entornos ruidosos.

		
CARACTERISTICAS		
Número de canales	4 canales	
	<b>Baja Potencia</b>	<b>Alta Potencia</b>
Dimensiones	177mm x 176mm x 56mm	189mm x 176mm x 56mm
Peso	1.43Kg	1.59Kg
Espaciamiento del canal	12.5 / 20 / 25 KHz	
Rango de frecuencias	136 - 174 MHz (VHF) 403 - 470 MHz (UHF) 450 – 520 MHz (UHF)	
<b>Transmisor</b>	<b>Baja Potencia</b>	<b>Alta Potencia</b>
Potencia de salida RF	1- 25 W	25 - 45 W (VHF) 25 - 40 W (UHF)
Distorsión de audio	2%	
<b>Receptor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Sensibilidad (12dB SINAD) EIA	0.22uV típica	
Distorsión de audio	2%	
Intermodulación	75dB@12.5KHz 78dB@25KHz	75dB@12.5KHz 75dB@25KHz
Selectividad	65dB@12.5KHz 80dB@25KHz	65dB@12.5KHz 75dB@25KHz

**Tabla XIX.7 Especificaciones Técnicas del Radio Móvil PRO3100<sup>16</sup>**

<sup>16</sup> Fuente: MOTOROLA. (s.f.). Especificaciones PRO3100.

- **GM – 300**

El radio móvil GM300 de Motorola cubre las bandas de VHF y UHF con 8 o 16 canales, 12.5/20/25/30kHz de separación entre canales, y niveles de potencia de 10, 25, y 45W. La línea de GM300 fue descontinuada por Motorola.

<b>CARACTERISTICAS</b>		
Número de canales	8 ó 16 canales	
Dimensiones	198mm x 178mm x 50.8mm	
Peso	1.7Kg	
Espaciamiento del canal	12.5 / 20 / 25 / 30 KHz	
Rango de frecuencias	146 - 174 MHz (VHF) 438 - 470 MHz (UHF) 490 – 520 MHz (UHF)	
<b>Transmisor</b>	<b>Baja Potencia</b>	<b>Alta Potencia</b>
Potencia de salida RF	1-10 W	25 - 45 W
Distorsión de audio (EIA)	<3%	
<b>Receptor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Sensibilidad (EIA)	0.30uV	
Distorsión de audio	2%	

Tabla XIX.8Especificaciones Técnicas del Radio Móvil GM – 300<sup>17</sup>

### 1.2.2.3 Repetidoras

- **CDR-500**

La repetidora CDR500 ofrece una mayor funcionalidad, la potencia y rango necesarios para mejorar las capacidades de los radios móviles. Es fácil de instalar y ofrece un diseño compacto que permite más flexibilidad al seleccionar su ubicación. Su extraordinaria flexibilidad le permite escoger la frecuencia específica y los niveles

<sup>17</sup> Fuente: MEISTER, R. W. (06 de octubre de 2011). Motorola GM300.



de potencia necesarios. Requiere de dos radios móviles de preferencia de la serie PRO, y un duplexor.

		
<b>CARACTERISTICAS</b>		
Dimensiones AxAxP (cm)		18.8 x 44.2 x 34
Peso (Kg)		19.4
Ciclo de trabajo al duplexor	Baja potencia	100%(40W LB/ 25W UHF, VHF)
	Alta potencia	50%(60W LB/ 40W UHF/ 45W VHF)
Entrada principal (Seleccionable)		115/230V 50-60Hz

Tabla XIX.9 Especificaciones Técnicas del Repetidor CDR-500<sup>18</sup>

- **Micor 2000**

La Micor 2000 es una repetidora cristalizada que requiere de un duplexor pero no de radios móviles adicionales para funcionar. Trabaja en el rango de 146-174MHz en VHF, tiene una potencia de transmisión de 50-100 W y una sensibilidad en recepción de aproximadamente 0.35uV. Este modelo de repetidoras ya fue descontinuado por el fabricante.<sup>19</sup>

#### 1.2.2.4 Duplexores


- **SINCLAIR Q2220E**

El diseño Q2220E proporciona una respuesta cuasi pasabanda, produce una supresión del ruido entre y adyacente a las frecuencias de duplexación. Junto con los

<sup>18</sup> Fuente: MOTOROLA. (s.f.). Especificaciones CDR - 500.

<sup>19</sup> (Morris) Information and Modifications for the MSR2000 station.

componentes compensadores de temperatura, proporciona estabilidad del rendimiento en una frecuencia de separación baja.



Especificaciones Técnicas	
<b>Rango de Frecuencia</b>	138 a 174 MHz
<b>Perdidas por inserción (max) Tx a Ant</b>	1.5 dB
<b>Potencia media de entrada (max)</b>	350 W
<b>Conectores</b>	N-Hembra
<b>Separación de frecuencias (min)</b>	0.5 MHz
<b>Aislamiento (min)</b>	70 dB
<b>Dimensiones A x A x P</b>	770 x 106 x 483 mm
<b>Peso</b>	12.71 kg

Tabla XIX.10 Duplexor SINCLAIR Q2220E<sup>20</sup>

- **WACOM WP641**

El WP-641 es un Circuito duplexor de 4 cavidades diseñado para uso con sistemas dúplex en la banda de 144-174 MHz, diseñado cuando la separación entre las frecuencias de transmisión y recepción es de 500 KHz o más. Las cavidades están interconectadas con doble cable blindado en una configuración pasabanda.

---

<sup>20</sup> Fuente: SINCLAIR. (s.f.). Low Band, Aviation, and VHF Duplexores.



<b>Especificaciones Técnicas</b>	
<b>Rango de Frecuencia</b>	144 a 174 MHz
<b>Perdidas por inserción (max) Tx a Ant</b>	1.5 dB
<b>Potencia media de entrada (max)</b>	275 W
<b>Conectores</b>	N-Hembra o N-Macho
<b>Separación de frecuencias (min)</b>	0.5 MHz
<b>Aislamiento (min)</b>	55 dB
<b>Dimensiones A x A x P</b>	106 x 483 x 770 mm
<b>Peso</b>	19.09 kg

Tabla XIX.11 Duplexor WACOM WP641<sup>21</sup>

### 1.3 EQUIPOS DE RADIOCOMUNICACIONES DISTRIBUIDOS POR CANALES Y ÁREAS DE TRABAJO

La Empresa Eléctrica Quito se divide estructuralmente en 5 Gerencias: Generación, Distribución, Comercialización, Financiera y Administrativa, y a su vez cada Gerencia está dividida en Direcciones y Departamentos. A continuación se presentan tablas con la distribución de los radios portátiles y móviles existentes en la Empresa

<sup>21</sup> Fuente: WACOM. (s.f.). DUPLEXER.

Eléctrica Quito, de acuerdo a su utilización en los diferentes departamentos y grupos de trabajo. También se los distribuye en base a los canales de frecuencia que tiene el sistema VHF analógico actual de radiocomunicaciones, dichos canales serán explicados en detalle más adelante en el presente capítulo.

### 1.3.1 SUMARIO DE EQUIPOS PORTÁTILES Y MÓVILES

#### 1.3.1.1 Equipos de Radiocomunicaciones en Canal 5 (1, 2, 3)

CANAL 5 (1,2,3)	RADIOS PORTÁTILES		RADIOS MÓVILES		RADIO BASES
	EP-450	PRO-5150	EM-400	PRO-5100	EM-400
Despacho de Distribución	2	4	4	2	3
Oficina El Dorado					1
Molinuco					1
Bocatoma Guangopolo					1
Operación y Mto. Urbano	7	2	12	2	
Operadores Urbanos	11	5	5	3	
Líneas Energizadas	2	1	6	2	
<b>Operación y Mto. Rural</b>					
Zona Noroeste					
Calderón	12	4	2	1	
San Antonio	3	1	4		
Perucho	1		1		
Nanegalito	1				
Pedro Vicente Maldonado	1	2	1		
San Miguel de Los Bancos	1				
Zona Noreste	1	2			
Tumbaco	5	7	1	2	
El Quinche	3	1			
Baeza	1	1	1		
Sangolquí	4	2	1		
Conocoto	2	2			
Machachi	1	1			
Red Subterránea	7	5	6	3	
<b>Sub-total por modelos</b>	65	40	44	15	6
<b>Total de Portátiles, Móviles y Bases</b>	105		59		6
<b>Total</b>	170				

Tabla XIX.12 Sumario de Equipos Portátiles y Móviles en Canal 5 (1, 2, 3)

## 1.3.1.2 Equipos de Radiocomunicaciones en Canal 4

CANAL 4	RADIOS PORTÁTILES			RADIOS MÓVILES			RADIO BASES	
	EP-450	PRO-5150	GP-350	EM-400	PRO-5100	GM-300	PRO-5100	EM-400
Dpto. Sistemas y Potencia	1		1					
Despacho de Potencia	3		1		2	1	1	
Dpto. Líneas y SS/EE	7	2	1	6		3		
Proyecto Quijos			3					
Ingeniería Civil	4							
Generación	11	1	4	2	3	4		
Construcción de Subestaciones	1		1					
Seguridad Industrial	3		2					
Bienestar Social						1		
Transportes		1	1	1	1	3		
Alumbrado Público	23	2		3	2	7		
Subestaciones								7
Centrales								6
<b>Sub-total por modelos</b>	53	6	14	12	8	19	1	13
<b>Total de Portátiles, Móviles y Bases</b>	73			39			14	
<b>Total</b>	126							

Tabla XIX.13 Sumario de Equipos Portátiles y Móviles en Canal 4

## 1.3.1.3 Equipos de Radiocomunicaciones en Canal 6 y 8

CANAL 6 - 8	RADIOS PORTÁTILES			RADIOS MÓVILES		RADIOS BASES
	EP-450	PRO-5150	GP-350	EM-400	GM-300	EM-400
Fiscalización de Redes	6	5	1			
Reparaciones de Distribución						1
Construcción de Redes	7			2	1	
Reducción de pérdidas técnicas	4	2				
Administración de Proyectos		1				
Alumbrado Público	2				1	
<b>Sub-total por modelos</b>	19	8	1	2	2	
<b>Total Portátiles, Móviles y Bases</b>	28			4		1
<b>Total</b>	33					

Tabla XIX.14 Sumario de Equipos Portátiles y Móviles en Canal 6-8

## 1.3.1.4 Equipos de Radiocomunicaciones en Canal 7

CANAL 7	RADIOS PORTÁTILES		RADIOS MÓVILES		RADIOS BASES	
	EP-450	PRO-5150	EM-400	PRO-5100	PRO-5100	GM-300
Call Center		1		2		
Trasvase Cumbaya						2
Tanque Guangopolo					1	
Acometidas Urbanas	1	9				
Laboratorio de Medidores		1				
Laboratorio de Transformadores		1				
Cortes y Reconexiones	2	1	1	2		
Clientes Especiales				2		
Sección Especial			1	2		
Dpto. Control Clientes	1	1				
Diseño y Presupuesto						
Agencias Urbanas		1	1	3		
División Periférica	1					
Agencias Rurales	15	1	7	3		
<b>Sub-total por modelos</b>	20	16	10	14	1	2
<b>Total de Portátiles y Móviles</b>	36		24		3	
<b>Total</b>	63					

Tabla XIX.15 Sumario de Equipos Portátiles y Móviles en Canal 7

## 1.3.2 TOTAL DE EQUIPOS PORTÁTILES Y MÓVILES

De acuerdo a la distribución de los radios portátiles y móviles dentro de cada grupo de trabajo de la Empresa Eléctrica Quito, se realiza un sumatorio para conocer el total de equipos de radiocomunicaciones que conforman la red analógica VHF actual, pero aún sin tomar en cuenta las repetidoras distribuidas en cada nodo, lo cual se realizará en el desarrollo de éste capítulo.

	CANAL 5 (1,2,3)	CANAL 4	CANAL 6 - 8	CANAL 7	SUBTOTOTAL	TOTAL
<b>RADIOS PORTATILES</b>	105	73	28	36	242	<b>392</b>
<b>RADIOS MOVILES</b>	59	39	4	24	126	
<b>RADIOS BASES</b>	6	14	1	3	24	

**Tabla XIX.16 Total de Equipos Portátiles, Móviles y Bases**

### **1.3.3 SUMARIO DE EQUIPOS REPETIDORES, RADIOS PARA ENLACE Y DUPLEXORES**

La red VHF actual de la Empresa Eléctrica Quito consta con 8 sitios de repetición distribuidos a lo largo de su área de concesión que abarca las provincias de Pichincha, Imbabura y Napo. A continuación se describen los equipos instalados en cada estación.

#### **1.3.3.1 Equipos de Radiocomunicaciones en El Troje**

En la estación El Troje ubicada en el cantón Quito en la Provincia de Pichincha, se encuentra el Canal 1 para brindar cobertura a las zonas aledañas. En este sitio se tiene implementado un enlace con el canal 5. Los equipos instalados son los siguientes.

CANAL 1	REPETIDOR	2 RADIOS PARA TX Y RX	DUPLEXOR	RADIO PARA ENLACE CON CH5
	MOTOROLA CDR500	PRO 3100 MOTOROLA VHF 25W	SINCLAIR Q2220E	PRO-5100 MOTOROLA VHF 25W

**Tabla XIX.17 Equipos VHF en EL Troje**

#### **1.3.3.2 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Guamaní La Virgen**

En la estación del Cerro Guamaní La Virgen, ubicada al sur - este de la ciudad de Quito en el límite de la provincia de Pichincha con la provincia del Napo, se

encuentra el repetidor para el Canal 2. Además, aquí se realiza un enlace hacia el canal 5. Los equipos instalados son los siguientes.

CANAL 2	REPETIDOR	2 RADIOS PARA TX Y RX	DUPLEXOR	ENLACE CON CH5
	MOTOROLA CDR500	PRO 3100 MOTOROLA VHF 25W	SINCLAIR Q2220E	PRO-5100 MOTOROLA VHF 25W

Tabla XIX.18 Equipos VHF en Cerro Guamaní La Virgen

### 1.3.3.3 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Blanco

EL canal 3 se encuentra ubicado al norte de la ciudad de Quito, en Cerro Blanco provincia de Imbabura, casi en el límite con la provincia de Pichicha. El canal 3 también se encuentra enlazado al canal 5. Se tienen instalados los siguientes equipos.

CANAL 3	REPETIDOR	2 RADIOS PARA TX Y RX	DUPLEXOR	ENLACE CON CH5
	MOTOROLA CDR500	PRO 3100 MOTOROLA VHF 25W	SINCLAIR Q2220E	PRO-5100 MOTOROLA VHF 25W

Tabla XIX.19 Equipos VHF en Cerro Blanco

### 1.3.3.4 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Pichincha

En la estación Cerro Pichincha, con una altura de 3584.9 metros, ubicada al oeste de la ciudad de Quito se encuentra el Canal 4. Este sitio de repetición tiene también equipos de respaldo en caso de fallar el equipamiento principal.

CANAL 4	REPETIDOR		DUPLEXOR
PRINCIPAL	MOTOROLA MICOR 2000 CRISTALIZADA		WACOM WP641
CANAL 4	REPETIDOR	2 RADIOS PARA TX Y RX	DUPLEXOR
AUXILIAR	MOTOROLA CDR500	MOTOROLA GM300 VHF 25W	

Tabla XIX.20 Equipos VHF en Cerro Pichincha



### 1.3.3.5 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Cruz Loma

En la estación Cerro Cruz Loma, ubicada al oeste de la ciudad de Quito, con una altura de 3771.6 metros, se encuentra el canal 5. Este nodo contiene equipos auxiliares en caso de falla. El equipamiento instalado es el siguiente.

<b>CANAL 5</b>	<b>REPETIDOR</b>	<b>2 RADIOS PARA TX Y RX</b>	<b>DUPLEXOR</b>
PRINCIPAL	MOTOROLA CDR500	PRO 3100 MOTOROLA VHF 25W	WACOM WP641
<b>CANAL 5</b>	<b>REPETIDOR</b>		<b>DUPLEXOR</b>
AUXILIAR	MOTOROLA MICOR 2000 CRISTALIZADA		

Tabla XIX.21 Equipos VHF en Cerro Cruz Loma

### 1.3.3.6 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Condorcocha

En el nodo Cerro Condorcocha ubicado al norte de Quito se encuentra el canal 6, contiene los siguientes equipos principales y de respaldo.

<b>CANAL 6</b>	<b>REPETIDOR</b>	<b>2 RADIOS PARA TX Y RX</b>	<b>DUPLEXOR</b>
PRINCIPAL	MOTOROLA CDR500	EM400 MOTOROLA VHF 25W	SINCLAIR Q2220E
<b>CANAL 6</b>	<b>REPETIDOR</b>		<b>DUPLEXOR</b>
AUXILIAR	MOTOROLA MICOR 2000 CRISTALIZADA		WACOM WP641

Tabla XIX.22 Equipos VHF en Cerro Condorcocha

### 1.3.3.7 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Cruz Loma

El canal 7 se encuentra en el nodo Cerro Cruz Loma al oeste de la ciudad de Quito, no se encuentra enlazado a ningún otro canal. Los equipos instalados son los siguientes.

CANAL 7	REPETIDOR	2 RADIOS PARA TX Y RX	DUPLEXOR
	MOTOROLA CDR500	PRO-5100 MOTOROLA VHF 45W	SINCLAIR Q2220E

Tabla XIX.23 Equipos VHF en Cerro Cruz Loma

### 1.3.3.8 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Alaspungo

En la estación Cerro Alaspungo ubicado al noroeste de la ciudad de Quito, cerca de la población de Nono, se encuentra el canal 8. En éste sitio está instalado el equipamiento para el enlace con el canal 6. Se presentan los equipos siguientes.

CANAL 8	REPETIDOR	2 RADIOS PARA TX Y RX	DUPLEXOR	ENLACE CON CH6
	SIN CARCAZA	EM400 MOTOROLA VHF 25W	SINCLAIR Q2220E	PRO-5100 MOTOROLA VHF 25W

Tabla XIX.24 Equipos VHF en Cerro Alaspungo

### 1.3.3.9 Equipos de Radiocomunicaciones en Cerro Condijua

En la estación Cerro Condijua ubicada al oriente de Quito, en Baeza provincia del Napo, se encuentra el canal 12, el cual no se enlace a ningún otro canal. El equipamiento instalado es el siguiente.

CANAL 12	REPETIDOR	2 RADIOS PARA TX Y RX	DUPLEXOR
	MOTOROLA CDR500	EM400 MOTOROLA VHF 25W	SINCLAIR Q2220E

Tabla XIX.25 Equipos VHF en Cerro Condijua

### 1.3.4 TOTAL DE EQUIPOS REPETIDORES, RADIOS PARA ENLACE Y DUPLEXORES

	REPETIDOR		RADIOS PARA ENLACE				DUPLEXOR		Subtotal Por Canales
	Motorola CDR500	Motorola Micor 2000 Cristalizada	PRO3100 Motorola VHF 25W	GM300 Motorola VHF 25W	EM400 Motorola VHF 25W	PRO5100 Motorola VHF 25W	Sinclair Q220E	Wacom WP641	
CH 1	1		2			1	1		5
CH 2	1		2			1	1		5
CH 3	1		2			1	1		5
CH 4	1	1		2				1	5
CH 5	1	1	2					1	5
CH 6	1	1			2		1	1	6
CH 7	1					2	1		4
CH 8					2	1	1		4
CH 12	1				2		1		4
Subtotal	8	3	8	2	6	6	7	3	
TOTAL	11		22				10		

Tabla XIX.26 Total De Equipos Repetidores, Radio para Enlace Y Duplexores

Con la descripción total de radios portátiles, móviles y bases existentes en la Empresa Eléctrica Quito; además de repetidores, radios para enlaces y duplexores instalados en cada estación, se tiene una visión general del equipamiento que conforma la red actual analógica VHF de la Empresa Eléctrica Quito. Dichos datos serán de gran ayuda para realizar posteriormente el diseño de la nueva red VHF digital.

### 1.4 SOFTWARE DE SIMULACIÓN RADIO MOBILE

A continuación se revisarán algunos conceptos que se manejan en el cálculo de radioenlaces con el software Radio Mobile y su modelo de propagación de Longley – Rice; los cuales son necesarios comprender, para posteriormente realizar la simulación de la red analógica actual VHF de radiocomunicaciones de la Empresa Eléctrica Quito.

Radio Mobile es un software sin licencia, utilizado para el cálculo de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular ITM (Irregular Terrain Model), el programa requiere perfiles geográficos (mapas actualizados) combinados con la información de los equipos de radiocomunicación (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc.) para realizar la simulación de enlaces y cobertura.

La obtención de estos mapas puede realizarse directamente desde una opción del software que permite descargarlos de Internet en formato SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), SRTM es una misión con el objetivo de obtener un modelo digital de elevaciones sobre la zona entre 56 °S a 60 °N, constituyendo una base de perfiles topográficos de alta resolución de la Tierra.

Radio Mobile que fue desarrollado por Roger Coudé<sup>22</sup>, se basa en el modelo de propagación de Longley-Rice<sup>23</sup>, en el cual se permite trabajar con frecuencias entre los 20MHz y 40GHz y trayectorias entre 1 y 2000 Km.

**NOTA:** Los siguientes conceptos hacen referencia al manual de Radio Mobile suscrito a la dirección [http://download.ehas.org/docs/manual\\_radiomobile.doc](http://download.ehas.org/docs/manual_radiomobile.doc).

#### 1.4.1 TIPOS DE ARCHIVOS EN RADIO MOBILE

En Radio Mobile existen tres tipos de archivos que deben guardarse de forma correcta para trabajar continuamente con el mismo proyecto: archivos de red, de imágenes y de mapa.

---

<sup>22</sup> Roger Coudé posee la propiedad intelectual de Radio Mobile, su página web es la siguiente: <http://www.cplus.org/rmw/>

<sup>23</sup> El modelo de Longley-Rice es un modelo de predicción troposférica para transmisión de radio sobre terreno irregular en enlaces de largo-medio alcance

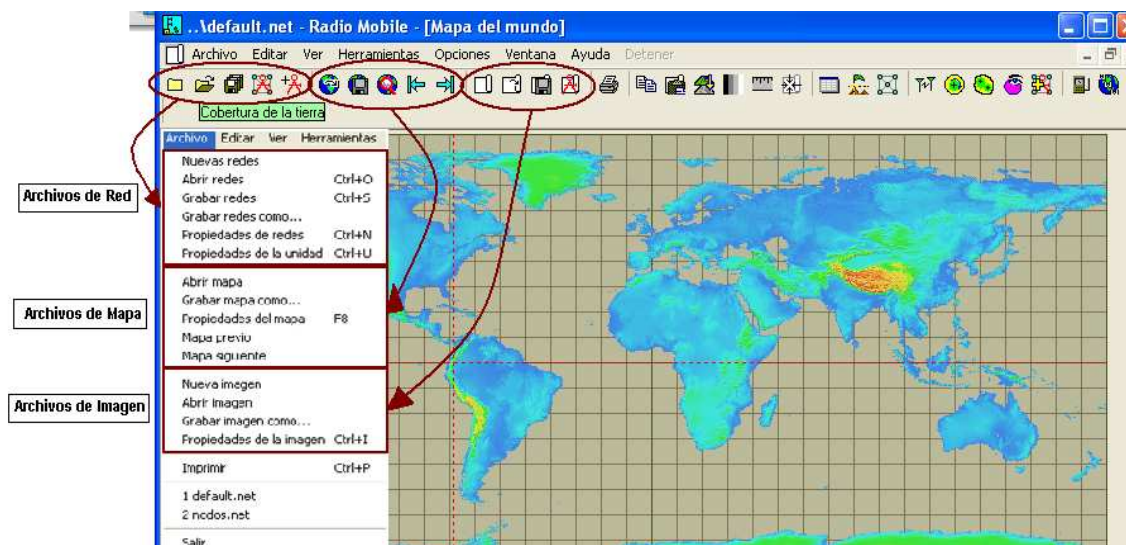


Figura XIX.14 Tipos de Archivos en Radio Mobile.

**Archivos de Red .net:** éste formato de archivos guardan la información de la red diseñada con datos de unidades (antenas), equipos, enlaces establecidos, topología, entre otros.

**Archivo de Imágenes.bmp:** éste formato de archivos contienen imágenes de los mapas relacionados con las elevaciones, y tipos de mapas provenientes de GoogleMap, YahooMap, VirtualEarth, etc.

**Archivos de Mapas .map:** son los archivos que contienen la elevación de los mapas. Son la base para cargar el perfil del terreno.

#### 1.4.2 CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO

Radio Mobile maneja tres parámetros para trabajar en un nuevo proyecto: número de redes, número de unidades y números de sistemas.

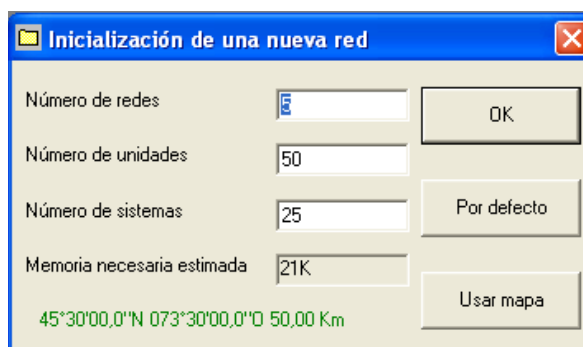


Figura XIX.15 Creación de Nuevo Proyecto en Radio Mobile.

### 1.4.2.1 Unidad

Se refiere a las unidades que contienen las coordenadas y elevación de las antenas o sitios de repetición, entre los que se establecen los enlaces.

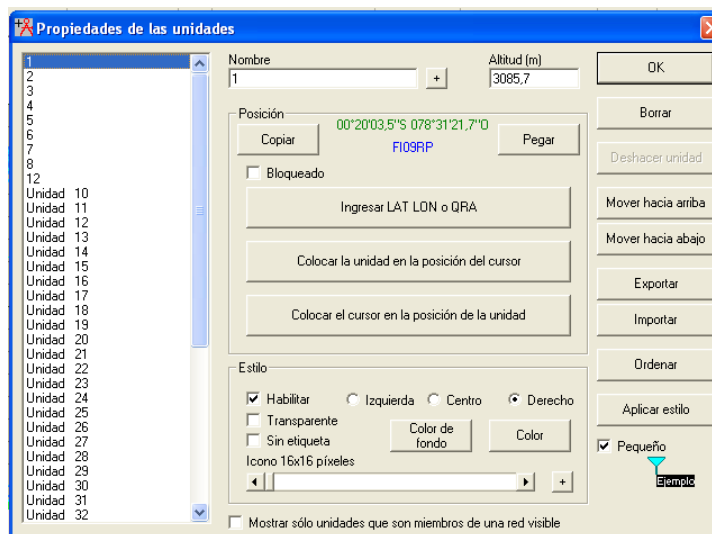


Figura XIX.16 Propiedades de las Unidades en Radio Mobile.

### 1.4.2.2 Red

Se refiere a la información de la red. Se pueden modificar los parámetros como rango de frecuencias, polarización de antenas; la topología de la red, los miembros y sistemas que conforman dicha red.

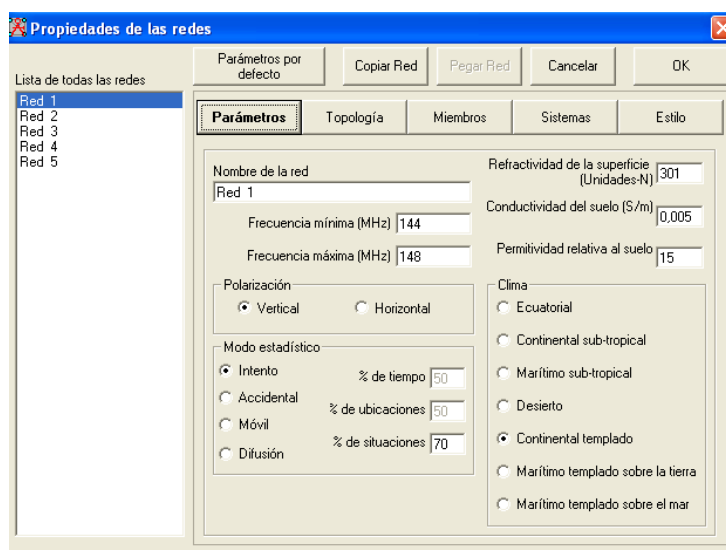


Figura XIX.17 Propiedades de la Redes en Radio Mobile.

### 1.4.2.3 Sistema

Se pueden definir sistemas que guardarán la información de los equipos, como potencia del transmisor, umbral del receptor, pérdidas en el cable, conectores, tipo de antena, entre otros. Cada sistema está asociado a una unidad.

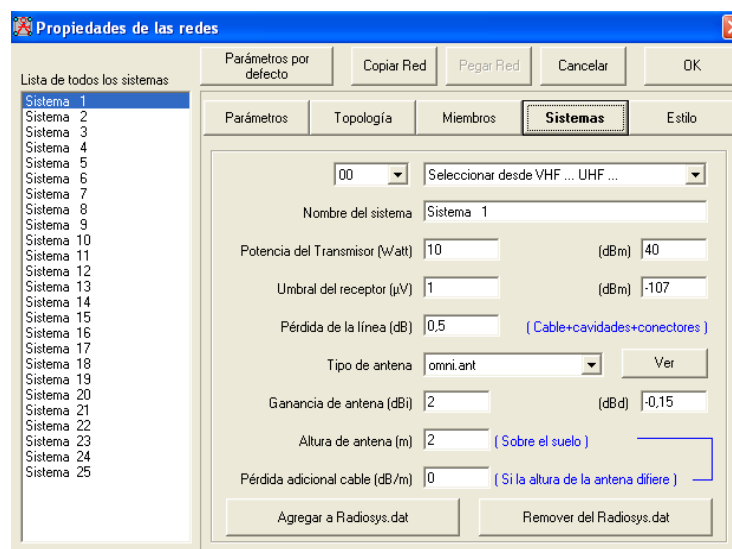


Figura XIX.18 Propiedades de los Sistemas en Radio Mobile.

### 1.4.3 MODELO LONGLEY – RICE

Radio Mobile se basa en el modelo Longley-Rice, el cual predice la propagación a larga y media distancia sobre un terreno irregular. Se trabaja con frecuencias entre los 20MHz y 20GHz, con longitudes de trayectoria entre 1km y 2000 Km.

Para el cálculo de la propagación, el modelo Longley-Rice utiliza los siguientes parámetros:

**Frecuencia mínima y máxima.** Es el rango de frecuencias de trabajo de los equipos de radiocomunicaciones.

**Polarización.** Se refiere al modo de trabajo de la antena, en polarización horizontal o vertical. Radio Mobile no posee la opción para trabajar en polarización dual.

**Refractividad.** La refractividad de la atmósfera determina la cantidad de curvatura que sufrirán las ondas radio. Radio Mobile utiliza una curvatura efectiva de la tierra "k" de 4/3 (1.333) que corresponde a una refractividad de superficie de valor aproximadamente 301 Unidades - N. Para el modelo Longley-Rice se puede



introducir el valor de refractividad de superficie directamente, típicamente en el rango de 250 a 400 Unidades - N (correspondiente a valores de curvatura de la tierra de 1.232 a 1.767). Longley y Rice recomiendan el valor de curvatura efectiva de la tierra de 4/3(301 Unidades - N) para condiciones atmosféricas promedio. La relación entre los parámetros “k” y “N”, viene dada por la siguiente expresión:

**Ecuación XIX.7**

$$N = 179.3 \ln \left[ \frac{1}{0.046665} \left( 1 - \frac{1}{k} \right) \right]$$

**Permitividad relativa y Conductividad del suelo.** La permitividad relativa conocida como constante dieléctrica del medio ( $\epsilon$ ), y la conductividad del suelo medida en siemens por metro(S/m), determinan la forma de propagación de las ondas de superficie por el suelo. Una señal de radio sufre atenuaciones mayores con el aumento de la conductividad del suelo. El modelo de Longley – Rice establece un valor promedio de conductividad 0.005 S/m y un valor de permitividad relativa de 15.

	PERMITIVIDAD	CONDUCTIVIDAD (S/m)
Suelo pobre, árido	4	0.001
Suelo promedio	15	0.005
Suelo rico, fértil	25	0.020
Agua dulce	81	0.010
Agua de mar	81	5.000

**Tabla XIX.27**Permitividad Relativa y Conductividad del Suelo<sup>24</sup>

**Clima.** Longley – Rice presenta 7 modelos de clima: Ecuatorial (Congo); Continental Subtropical (Sudan); Marítimo Subtropical (Costa Oeste de África); Desierto (Sahara); Continental Templado (configurado por defecto en Radio Mobile); Marítimo Templado sobre la tierra (Inglaterra); Marítimo Templado sobre el mar.

<sup>24</sup> Fuente: UIT-R P.527-3

**Variabilidad.** Se definen modos o modelos de variabilidad y tipos de variabilidad. Los modelos de variabilidad se refieren a la transmisión entre unidades o estaciones fijas o móviles. Existen 4 modelos de variabilidad.

MODELOS DE VARIABILIDAD	DESCRIPCIÓN
Intento	Comunicación entre estaciones fijas
Accidental	Determina señales interferentes
Móvil	Comunicación entre estaciones móviles
Difusión	Comunicación a todas las estaciones fijas y móviles

Tabla XIX.28 Modos de Variabilidad en el Modelo de Longley – Rice. Fuente: NTIA<sup>25</sup> Reporte 82-100.<sup>26</sup>

Los tipos de variabilidad descritos en el modelo Longley-Rice son: el porcentaje de tiempo, porcentaje de ubicaciones y porcentaje de situaciones. Los tipos de variabilidad se consideran como la especificación para determinar cierto grado de fiabilidad de los cálculos realizados por el programa, los porcentajes permiten clasificar las fluctuaciones del nivel de la señal medida. Radio Mobile calcula un valor de intensidad de campo en el receptor menor que el valor real; ésta cifra calculada por el programa tiene mayor confiabilidad que el valor medido en campo real.

**Porcentaje de tiempo.** Es el tiempo medio por hora en el cual los cambios atmosféricos determinan que, la intensidad real de campo en el receptor sea mayor o igual que la intensidad calculada por el programa.

**Porcentaje de ubicaciones.** Es el porcentaje de lugares en los cuales las variaciones ambientales determinan que la fuerza real de campo en el receptor sea mayor o igual que la fuerza calculada por el programa.

---

<sup>25</sup> NTIA: Consejo Nacional de Telecomunicaciones y Administración de Información. Es el organismo dentro del Departamento de Comercio EEUU encargado de asesorar al primer mandatario sobre temas relacionados a Telecomunicaciones.

<sup>26</sup> Fuente: Notas sobre Modelo de Longley - Rice. (s.f.). (NTIA Reporte 82-100).

**Porcentaje de situaciones.** Es el porcentaje de variables o errores producidos por la imprecisión de toma de medidas, factores ocultos en las instalaciones y equipos, los cuales determinan que la fuerza real del campo en el receptor, sea mayor o igual que la fuerza calculada por el programa.

## 1.5 DESCRIPCIÓN DE LA RED VHF ACTUAL DE LA EMPRESA ELECTRICA QUITO

### 1.5.1 LOCALIZACIÓN DE LOS NODOS ACTUALES

El sistema actual consta de 9 repetidoras analógicas distribuidas a lo largo del área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito de la siguiente manera.

# canal	Lugar	Latitud	Longitud	Altura (m)	altura de la antena al piso
CANAL 1	TROJE	00°20'03.52"S	78°31'21.73"O	3085,70	50m
CANAL 2	CERRO GUAMANI LA VIRGEN	00°19'12.9"S	78°11'30.8"O	4286,7	7m
CANAL 3	CERRO BLANCO	00°12'34.2"N	78°20'19.0"O	3413,5	25m
CANAL 4	CERRO PICHINCHA	00°10'8.11"S	78°31'25.7"O	3584,9	25m
CANAL 5	CERRO CRUZ LOMA	00°11'14.97"S	78°32'9.67"O	3771,6	15m
CANAL 6	CERRO CONDORCOCHA	00°02'20.1"S	78°30'35.6"O	3501,2	18m
CANAL 7	CERRO CRUZ LOMA	00°11'14.97"S	78°32'9.67"O	3771,6	12m
CANAL 8	CERRO ALASPUNGO	00°00'17.5"S	78°36'31.7"O	3072,8	15m
CANAL 12	CERRO CONDIJUA	00°29'01.6"S	77°54'05.3"O	2351,3	18m

**Tabla XIX.29 Localización de los Nodos Actuales**

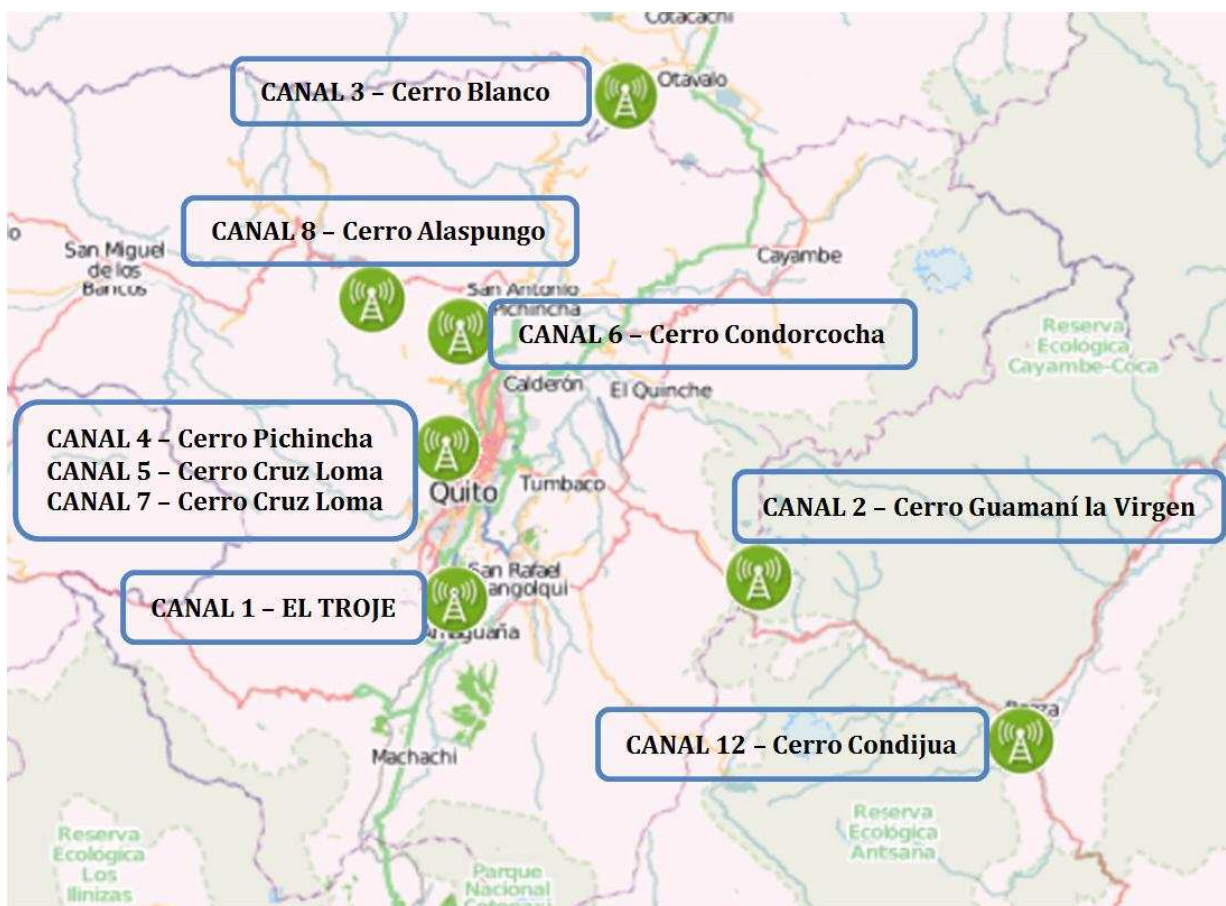


Figura XIX.19 Ubicación de Nodos Actuales.

En la figura 1.20 se puede apreciar la distribución geográfica y orográfica de los sitios de repetición, que abarcan las provincias de Pichincha, Imbabura y Napo.

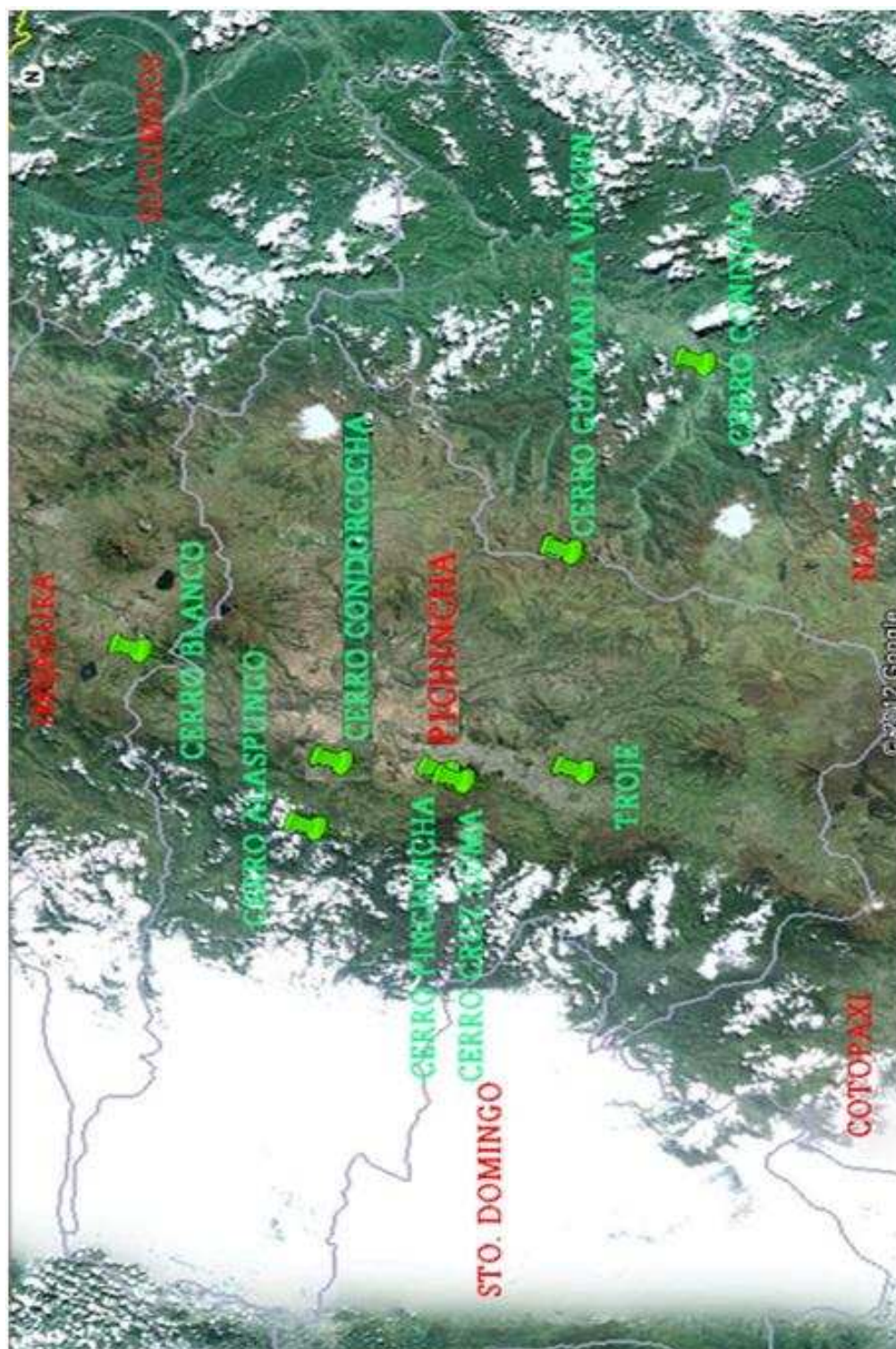


Figura XIX.20 Distribución Geográfica de los Sitios de Repetición.

### 1.5.2 DESCRIPCIÓN DE CANALES Y ENLACES EXISTENTES

El sistema de radiocomunicaciones VHF actual consta de 9 canales. El canal 5 ubicado en el Cerro Cruz Loma se encuentra enlazado con el canal 1 (Troje), canal 2 (Cerro Guamaní La Virgen) y canal 3 (Cerro Blanco), de la siguiente manera.

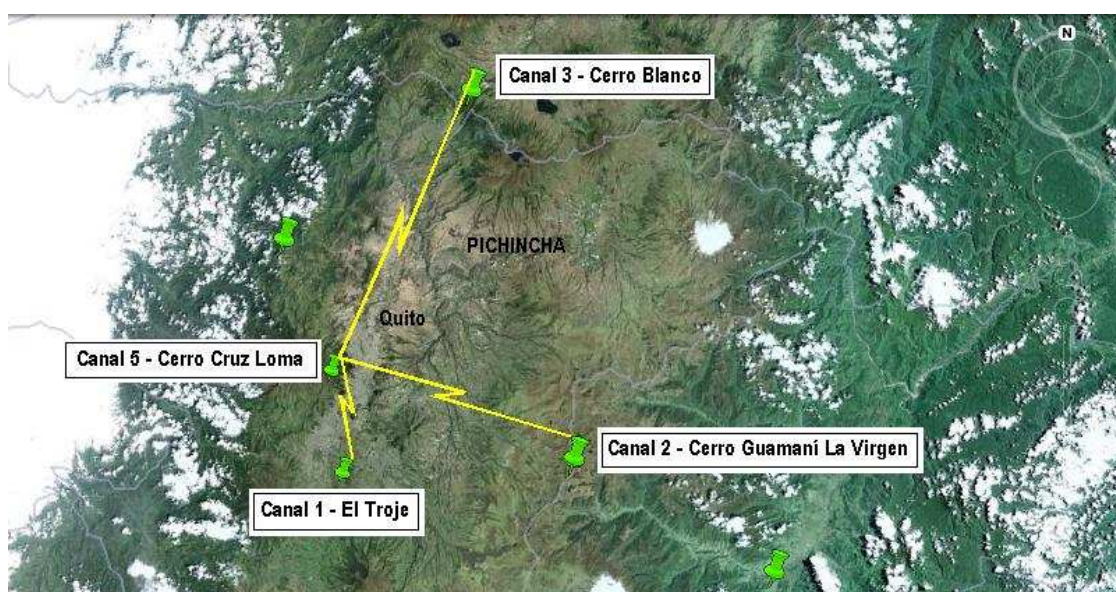


Figura XIX.21 Enlaces entre los canales 5, 1, 2, 3.

El canal 6 ubicado en el Cerro Condorcocha se encuentra enlazado con el canal 8 ubicado en el Cerro Alaspungo. Los nodos siguientes: canal 4 (Cerro Pichincha), canal 7 (Cerro Cruz Loma), y canal 12 (Cerro Condijua), no se encuentran enlazados a ningún otro repetidor, su función es brindar cobertura de manera independiente a los distintos usuarios de la red VHF de la Empresa Eléctrica Quito.

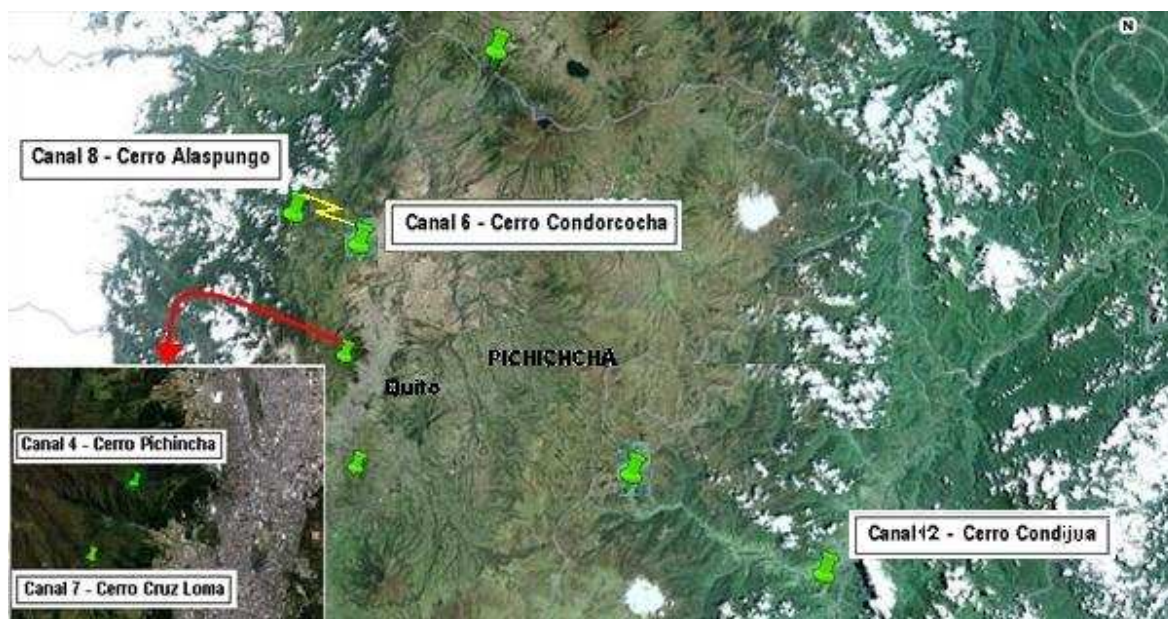


Figura XIX.22 Enlaces entre los canales 8 y 6, Ubicación canales 4, 7 y 12.

El canal 9 no se lo utiliza. El canal 10 toma una frecuencia del canal 6 en transmisión simplex, es utilizado para una comunicación punto a punto entre radios portátiles sin la necesidad de enlazarse con el repetidor, ésta arquitectura es conocida como modo directo. En el canal 11 se realiza el mismo procedimiento tomando una frecuencia del canal 12, el enlace permite comunicación directa simplex entre usuarios que se encuentran cerca obviando el salto de comunicación hacia el repetidor.

### 1.5.3 EJEMPLO DE CONEXIÓN DE EQUIPAMIENTO EN EL NODO ALASPUNGO

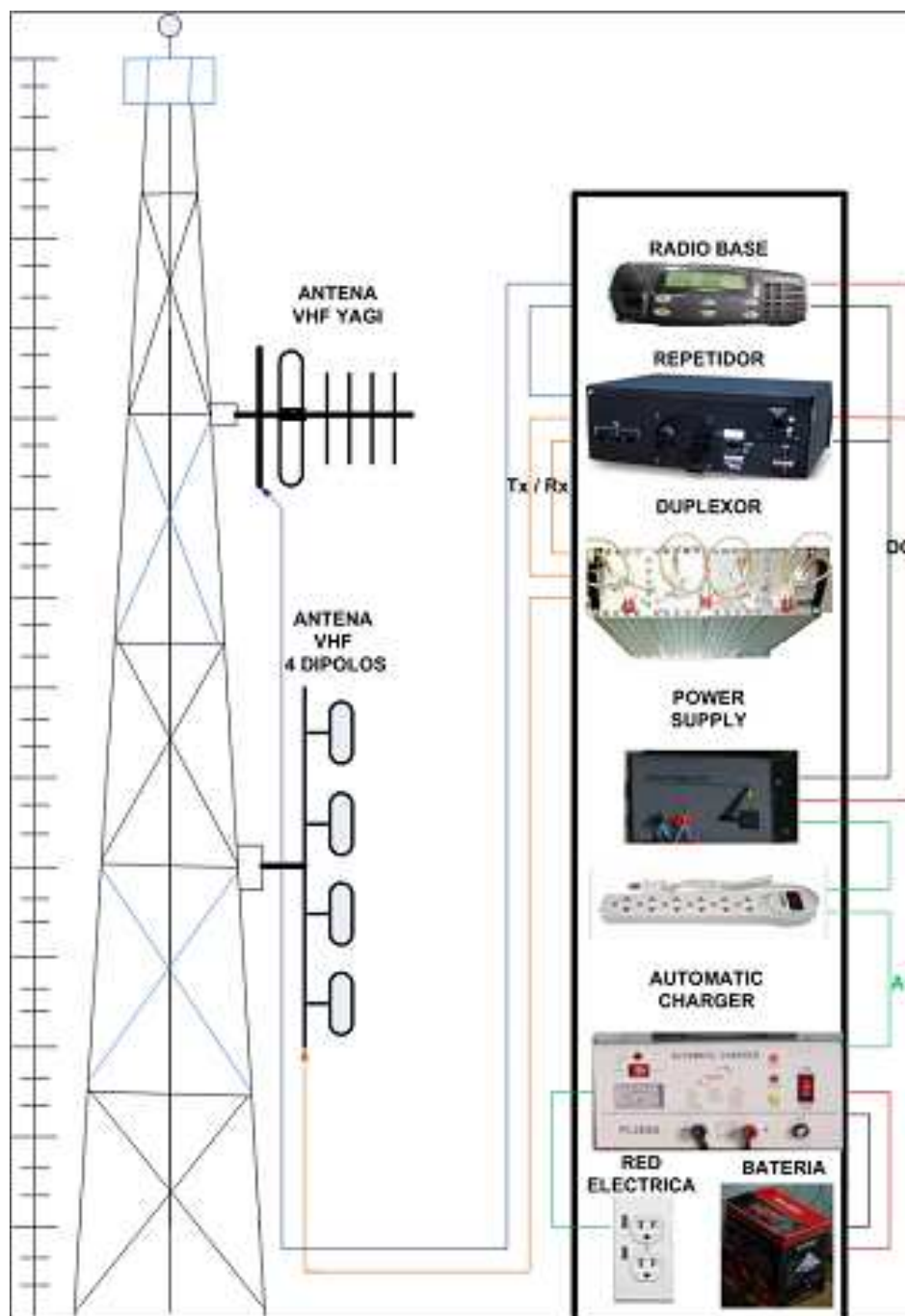


Figura XIX.23 Esquema del Nodo Cerro Alaspungo.



En el Cerro Alaspungo se ubica el canal 8 el cual brinda cobertura a través de una antena de 4 dipolos en orientación offset con polarización vertical ubicada a una altura de 15 metros sobre el nivel del suelo, está antena se conecta a un duplexor Sinclair Q2220E, del duplexor salen dos cables Tx y Rx hacia el repetidor sin carcasa conformado por dos radio bases Motorola EM400. En ésta estación también se tiene implementado un enlace con el canal 6, para lo cual se conecta al repetidor un radiobase Motorola PRO-5100 con su respectiva antena Yagi apuntando hacia el Cerro Condorcocha con línea de vista.

En la figura 1.24 se muestra la foto real del equipamiento instalado sin rack de comunicaciones.

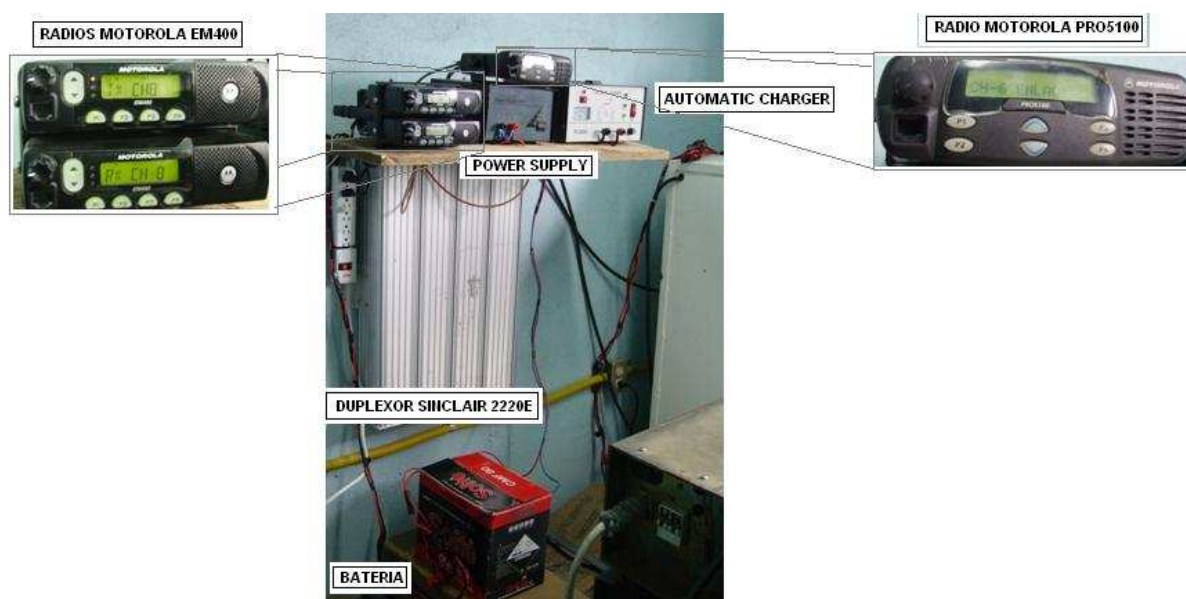
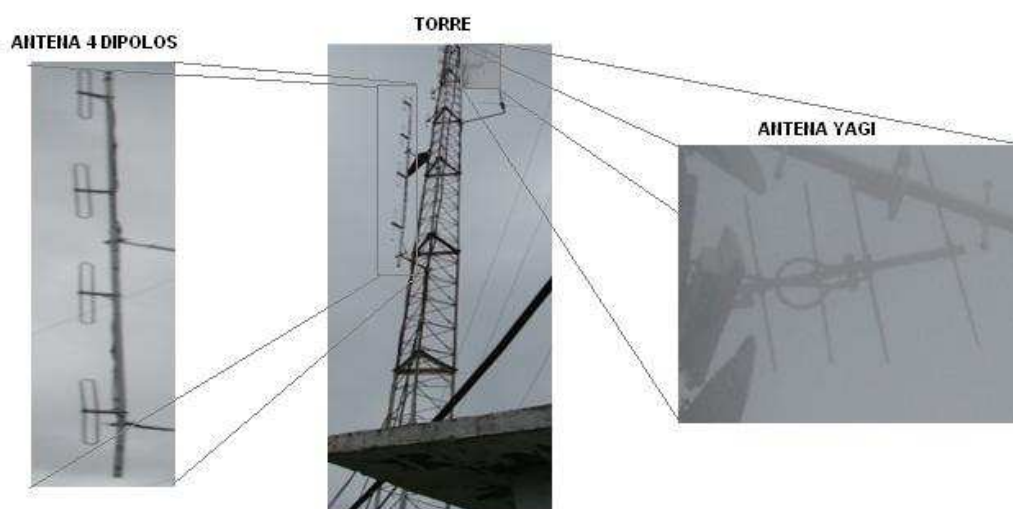


Figura XIX.24 Equipos VHF en el Cerro Alaspungo.

El sistema de respaldo de energía está conformado por una fuente DC (Power Supply), un Cargador/Inversor (Automatic Charger) y un banco de baterías. La entrada AC del Cargador/Inversor está conectada a la red eléctrica y los terminales DC al banco de baterías, de esta manera el Automatic Charger opera como cargador de baterías, y si existe un corte de energía, trabaja como inversor transformando la corriente DC de la baterías en AC para alimentar la Fuente DC, la cual provee de energía al repetidor y a la radiobase.



**Figura XIX.25 Torre de Comunicaciones, Ubicación de Antenas: 4 Dipolos y Yagi.**

En la gráfica podemos observar la torre de comunicaciones con la antena de 4 dipolos que brinda cobertura en el canal 8, y a su vez observamos la antena Yagi con línea de vista para enlazar con el canal 6.

## 1.5.4 SIMULACIÓN DE LA RED ACTUAL ANALÓGICA VHF DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO

### 1.6.4.1 Creación de las Unidades en Radio Mobile

Se trabaja con el software Radio Mobile que fue descrito anteriormente. El primer paso a realizar es descargar el mapa de la ciudad de Quito con la altitud adecuada para ubicar todas las unidades, para ello debemos ingresar la latitud y longitud de cada sitio de repetición, y el programa nos entrega la altura de las coordenadas geográficas, como se puede apreciar en la figura 1.26:

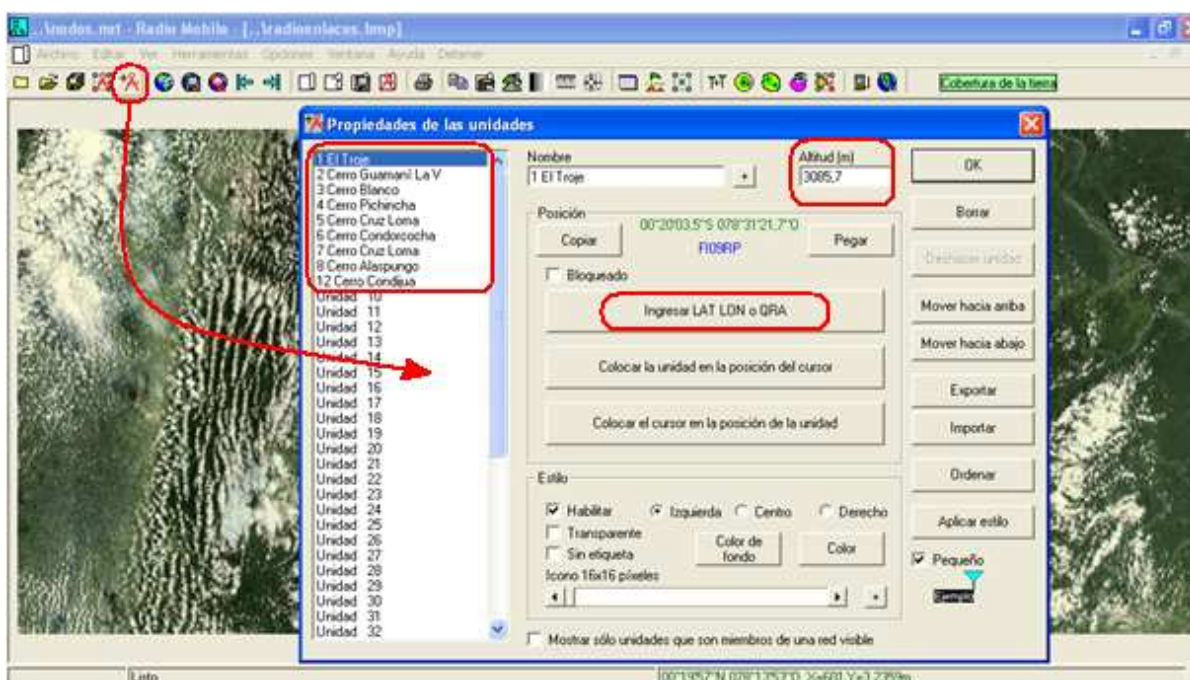


Figura XIX.26 Creación de Estaciones en Radio Mobile.

Obtenemos como resultado la ubicación geográfica de los nueve canales, se debe aclarar que los canales 5 y 7 se encuentran en el mismo sitio en el Cerro Cruz Loma con la diferencia que sus antenas se ubican 15m y 12m respectivamente sobre el nivel del suelo.



Figura XIX.27 Ubicación de los Nodos en Radio Mobile.

#### 1.5.4.2 Creación de Redes en Radio Mobile

Luego de crear todas las unidades, se deben configurar las redes y sus parámetros. De acuerdo al Modelo de Longley – Rice se recomienda trabajar con los parámetros por defecto de los Modos de Variabilidad, Refractividad de la Superficie, Conductividad y Permitividad del Suelo y Tipo de Clima.

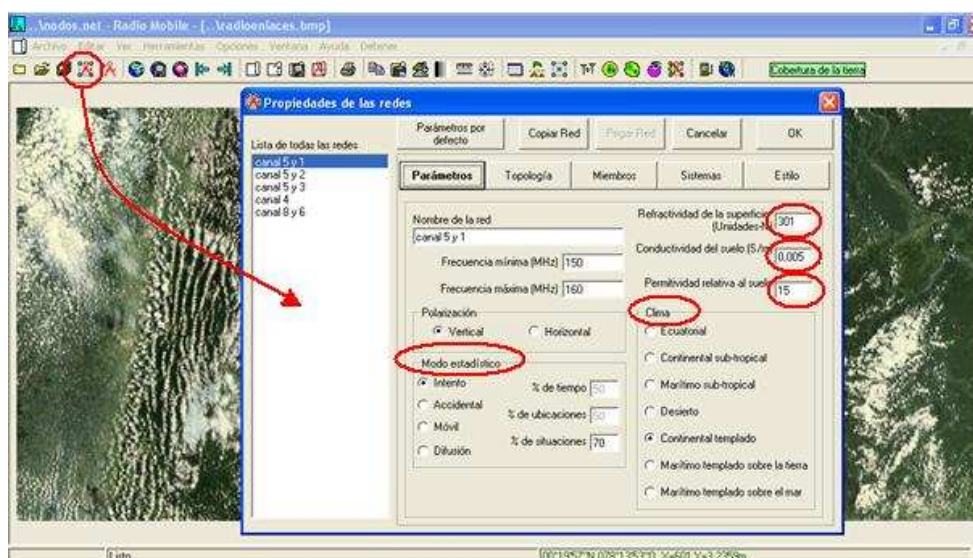


Figura XIX.28 Configuración de las Redes en Radio Mobile.

Se crea una red por cada enlace y por cada canal que trabaja independientemente, con las siguientes características:

NOMBRE DE LA RED	RANGO DE FRECUENCIAS DE LA RED	POLARIZACION	TOPOLOGIA	MIEMBROS (UNIDADES)	Rol de Cada Miembro
Enlace Entre Canal 5 y 1	150-160 MHZ	vertical	Red de Voz	Canal 5 - Cerro Cruz Loma	Repetidor
				Canal 1 - El Troje	Control
Enlace Entre Canal 5 y 2	150-160 MHZ	vertical	Red de Voz	Canal 5 - Cerro Cruz Loma	Repetidor
				Canal 2 - Cerro Guamaní La Virgen	Control
Enlace Entre Canal 5 y 3	150-160 MHZ	vertical	Red de Voz	Canal 5 - Cerro Cruz Loma	Repetidor
				Canal 3 - Cerro Blanco	Control
Enlace Entre Canal 6 y 8	150-160 MHZ	vertical	Red de Voz	Canal 6 - Cerro Condorcocha	Repetidor
				Canal 8 - Cerro Alaspungo	Control
Canal 4	165-174MHZ	vertical	Red de Voz	Canal 4 - Cerro Pichincha	Independiente
Canal 7	150-160MHZ	vertical	Red de Voz	Canal 7 - Cerro Cruz Loma	Independiente
Canal 12	150-160 MHZ	vertical	Red de Voz	Canal 12 - Cerro Condiujua	Independiente

Tabla XIX.30 Características de cada Red en Radio Mobile

### 1.5.4.3 Creación de Sistemas en Radio Mobile

Dentro de las propiedades de las redes que fueron creadas anteriormente, se debe configurar los sistemas para cada una de las antenas en los sitios de repetición.

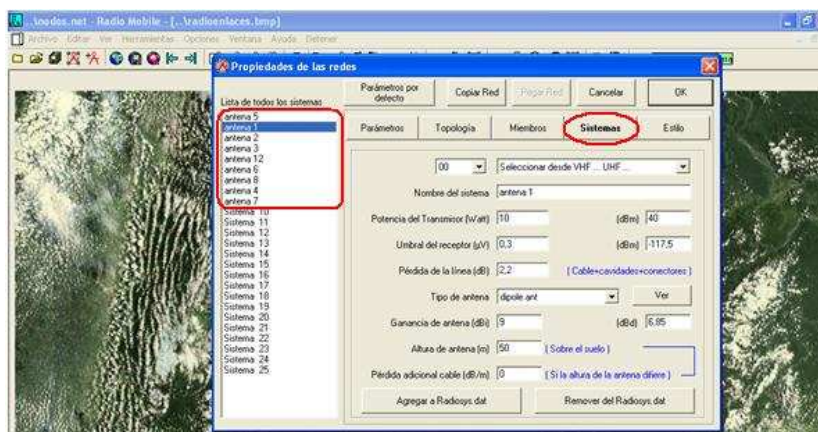


Figura XIX.29 Configuración de los Sistemas en Radio Mobile.

Se crearon 9 sistemas, en los cuales se asignan los datos de los equipos y antenas ubicadas en cada nodo de la siguiente manera:

Nombre Del Sistema	Lugar	Rango de frecuencia (MHz)	Potencia a la salida del duplexor (Watt)	Umbral del receptor (uV)	Pérdida de Línea (dB)	ANTENA			Pérdida Adicional del cable (dB/m)
						Arreglo 4 Dipolos - Orientación	Altura (m)	Ganancia (dBi)	
antena 1	Troje	150-160	10	0,3	3,25	OMNIDIR	50	6	0,6
antena 2	Cerro Guamaní	150-160	12	0,3	2,83	OMNIDIR	7	6	0,6
antena 3	Cerro Blanco	150-160	12	0,3	3,77	OFFSET	25	9	0,6
antena 4	Cerro Pichincha	165-174	10	0,3	3,77	OFFSET	25	9	0,6
antena 5	Cerro Cruz Loma	165-174	10	0,3	3,14	180 GRADOS	15	6	0,6
antena 6	Cerro Condorcocha	165-174	12	0,3	3,51	180 GRADOS	18	6	0,6
antena 7	Cerro Cruz Loma	150-160	10	0,3	2,98	180 GRADOS	12	6	0,6
antena 8	Cerro Alaspungo	150-160	10	0,3	3,25	OFFSET	15	9	0,6
antena 12	Cerro Condijua	150-160	12	0,3	3,51	OFFSET	18	9	0,6

Tabla XIX.31 Características de los Sistemas en Radio Mobile

#### 1.5.4.4 Cálculo de las Pérdidas de Línea.

En Radio Mobile debe considerarse el cálculo de las pérdidas de línea, que abarcan pérdidas en el cable, pérdidas en cavidades y pérdidas en conectores. Las instalaciones en las antenas y repetidoras ocupan el cable coaxial RG8U Belden 9913<sup>27</sup>, el cual tiene una atenuación de 1,6dB / 100pies. Con éste dato de atenuación por distancia, y con la longitud del cable coaxial, se calcula las pérdidas en el cable. Para las pérdidas totales en la línea se consiguen sumando la atenuación en el duplexor y conectores, con la pérdida en el cable; de la siguiente manera:

Longitud del Cable coaxial RG8U Belden 9913	Atenuación en el Cable	Pérdida en el Cable (dB)	Atenuación en conectores (dB)	Atenuación en duplexor (dB)	Pérdida total de la línea (dB)
20m	1.6 dB/30.4 m	1,05	1	1,2	3,25
12m	1.6 dB/30.4 m	0,63	1	1,2	2,83
30m	1.6 dB/30.4 m	1,57	1	1,2	3,77
30m	1.6 dB/30.4 m	1,57	1	1,2	3,77
18m	1.6 dB/30.4 m	0,94	1	1,2	3,14
25m	1.6 dB/30.4 m	1,31	1	1,2	3,51
15m	1.6 dB/30.4 m	0,78	1	1,2	2,98
20m	1.6 dB/30.4 m	1,05	1	1,2	3,25
25m	1.6 dB/30.4 m	1,31	1	1,2	3,51

Tabla XIX.32 Cálculo de las Pérdidas de Línea

#### 1.5.4.5 Estilo de configuración del Radio Enlace.

Para dibujar el enlace de radio, el software de simulación utiliza una línea de color verde si la señal relativa en recepción es mayor o igual a 3 dB; dibuja una línea amarilla si señal es mayor o igual a -3 dB; y si la señal se encuentra por debajo del nivel -3dB dibuja una línea roja, lo cual indica que la señal en el receptor es muy

<sup>27</sup> Las características técnicas del cable coaxial RG8U Belden 9913 se encuentran en la siguiente dirección web: <http://www.frodex.com/KC0URX/9913/>

débil o nula y el radioenlace no funciona. La figura 1.30 muestra el estilo de configuración para el radioenlace:

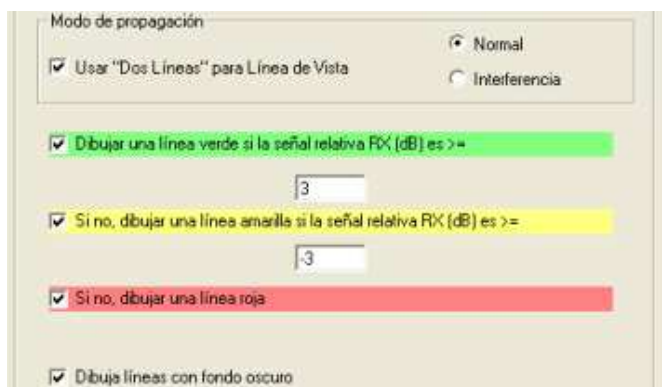


Figura XIX.30 Estilo de Configuración del Radio Enlace.

#### 1.5.4.6 Presentación de Enlaces de Radio Simulados

Al finalizar con la introducción de todos los datos necesarios para la simulación del sistema VHF se obtiene como resultado los radioenlaces existentes en la Empresa Eléctrica Quito, dibujados con línea de color verde que representan un nivel de señal en recepción adecuado para la comunicación entre las estaciones.



Figura XIX.31 Radio Enlaces Simulados.



### 1.5.4.6.1 Descripción del Enlace y Cobertura entre Canal 5 – Canal 1

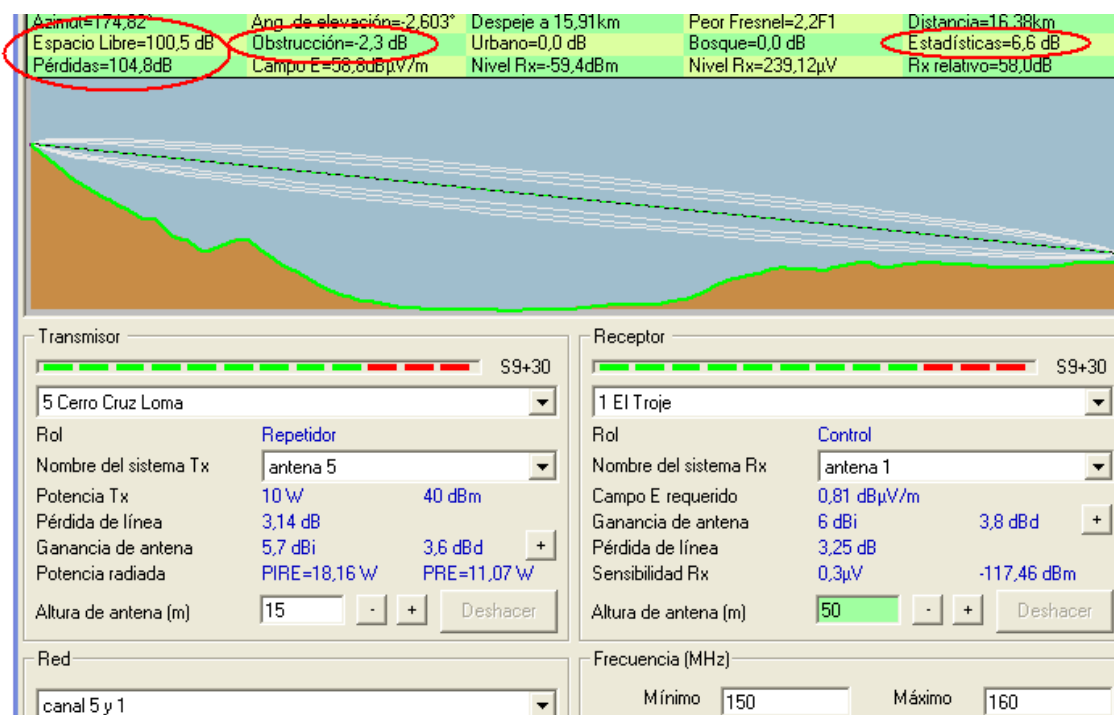


Figura XIX.32 Enlace Canal 5 - Canal 1.

En la gráfica se observa los datos de entrada del sistema y también los valores que calcula el software Radio Mobile.

Datos del sistema	Valor
Distancia del enlace	16.38 Km
Frecuencia de trabajo	155 MHz
Obstrucción	-2.3 dB
Estadísticas	6.6 dB
Potencia de Tx en Cerro Cruz Loma	10 W = 40dBm = 10dBW
Ganancia antena de Tx	5.7dBi ó 3.55dBd
Pérdidas de línea Tx	3.14 dB
Ganancia antena de Rx	6 dBi
Pérdidas de línea Rx	3.25 dB
Sensibilidad Rx	0.3 uV ó -117.46dBm
Campo E requerido	0.81 dBuV/m

Tabla XIX.33 Datos proporcionados por Radio Mobile

- **Sensibilidad del Receptor**

La sensibilidad del receptor o umbral de recepción se puede expresar dBm o uV de acuerdo con la siguiente ecuación.

**Ecuación XIX.8**

$$U(dBm) = 10\log\left(\frac{U^2}{R \times P_o}\right)$$

Donde,

U = Sensibilidad del equipo igual 0.3 uV

R= Impedancia Característica 50 Ω

P<sub>o</sub>= Potencia de referencia 1 mW

$$U(dBm) = 10\log\left(\frac{0.0003mV^2}{50000m\Omega \times 1mW}\right)$$

$$U = -117.44(dBm)$$

- **Campo E requerido**

La sensibilidad del equipo receptor también puede ser expresada como la intensidad de campo eléctrico requerida en el receptor, para lo cual empleamos la siguiente ecuación.<sup>28</sup>

**Ecuación XIX.9**

$$E\left(\frac{dBuV}{m}\right) = 20\log U + k\left(\frac{dB}{m}\right) + C_A(dB)$$

Donde,

---

<sup>28</sup> TDK RF Solutions Inc. (13 de Abril de 2012). Interpreting Antenna Performance Parameters for EMC Applications.

U = Sensibilidad del equipo en uV

K = Factor de la antena

$C_A$  = Perdidas de Linea

- **Factor de la antena**

Se define como la relación de la intensidad del campo eléctrico incidente sobre el voltaje. Para un sistema de  $50\Omega$ , el factor de la antena se relaciona a la ganancia de la antena y a la frecuencia de trabajo mediante la siguiente ecuación:<sup>29</sup>

Ecuación XIX.10

$$K \left( \frac{dB}{m} \right) = -29.78dB + 20 \log f - G$$

Donde,

f = Frecuencia de trabajo en MHz

G = Ganancia de la antena en dB con respecto a una antena isotrópica

$$K \left( \frac{dB}{m} \right) = -29.78dB + 20 \log 155 - 6dB$$

$$K \left( \frac{dB}{m} \right) = 8.02$$

Reemplazando en la ecuación 1.9

$$E \left( \frac{dBuV}{m} \right) = 20 \log 0.3uV + 8.02 \left( \frac{dB}{m} \right) + 3.25(dB)$$

---

<sup>29</sup> ROHNER, C. (2006). Antenna Basics. ROHDE&SCHWARZ.

$$E = 0.81 \left( \frac{dBuV}{m} \right)$$

Radio Mobile calcula los siguientes parámetros para detallar el enlace de radio entre Cerro Cruz Loma y El Troje, los cuales deben ser descritos a continuación.

PARAMETROS CALCULADOS POR RADIO MAOBILE	VALOR
PÉRDIDAS EN ESPACIO LIBRE	100.5 dB
PÉRDIDAS TOTALES	104.8 dB
POTENCIA DE RECEPCIÓN	-59.4dBm
MARGEN DE DESVANECIMIENTO	58.0 dB
PIRE EN CERRO CRUZ LOMA	18.16 W
PRA EN CERRO CRUZ LOMA	11.07 W

Tabla XIX.34 Parámetros Calculados por Radio Mobile

- **Pérdidas en Espacio Libre**

Utilizamos la ecuación 1.1

$$L = 32.44 + 20 \log f + 20 \log d$$

$$L = 32.44 + 20 \log 155 + 20 \log 16.38km$$

$$L = 100.5dB$$

- **Pérdidas Totales.**

Para éste cálculo Radio Mobile suma las pérdidas en espacio libre más pérdidas adicionales causadas por otros factores climáticos que el software Radio Mobile los nombra como Obstrucción y Estadísticas, dichos valores pueden observarse resaltados en rojo en la gráfica 1.32. Para este enlace, Radio Mobile presenta el parámetro Obstrucción en -2.3 dB el cual depende de la topografía del terreno del

mapa descargado de internet; y el parámetro Estadísticas en 6.6 dB el cual depende del clima utilizado, para nuestro caso es Continental Templado.

$$Pérdidas Totales = Peridas en Espacio Libre + Obstrucción + Estadísticas$$

$$Pérdidas Totales = 100.5dB - 2.3dB + 6.6dB$$

$$Pérdidas Totales = 104.8dB$$

- **Potencia de Recepción.**

Utilizamos la ecuación 1.6 para calcular la potencia de recepción. Radio Mobile presenta éste parámetro con el nombre de Nivel de Rx.

$$Potencia Rx = Potencia de Tx + Ganancia Antena Tx - Pérdidas de Línea TX + Ganancia Antena Rx - Peridas de Línea Rx - Peridas Totales$$

$$Potencia Rx = 40dBm + 5.7dB - 3.14dB + 6dB - 3.25dB - 104.8dB$$

$$Potencia Rx = -59.49dBm$$

- **Margen de Desvanecimiento**

Se define como la diferencia entre el valor de potencia de la señal recibida y la sensibilidad en el equipo receptor Radio Mobile presenta éste parámetro con el nombre de Rx Relativo.

Ecuación XIX.11

$$Margen Desvanecimiento(dB) = PotenciaRx(dBm) - SensibilidadRx(dBm)$$

$$Margen Desvanecimiento(dB) = -59.49dBm - (-117.46dBm)$$

$$Margen Desvanecimiento = 58dB$$

- **PIRE en Cerro Cruz Loma**

Utilizamos la ecuación 1.5

$$PIRE = [Potencia\ de\ entrada\ a\ la\ antena\ Tx(dBW)] \\ + [Gantena\ de\ antena\ Tx(dBi)]dBW$$

*Potencia de entrada a la antena* = Potencia de Tx – Pérdidas de línea Tx

$$Potencia\ de\ entrada\ a\ la\ antena = 10dBW - 3.14dB = 6.86dBW$$

$$PIRE = 6.86dBW + 5.7dBi$$

$$PIRE = 12.56dBW$$

$$PIRE = 18.03W$$

- **Potencia Radiada Aparente (PRA)**

Es el producto de la potencia suministrada a la antena por la ganancia de la antena, en una dirección dada relativa a un dipolo de media onda. Radio Mobile describe éste parámetro con las siglas PRE.<sup>30</sup>

$$PRA = [Potencia\ de\ entrada\ a\ la\ antena\ Tx(dBW)] \\ + [Gantena\ de\ antena\ Tx(dBd)]dBW$$

$$PRA = 6.86dBW + 3.55dBd$$

---

<sup>30</sup> UIT. (2007). Recomendación UIT-R V.573-5\*. Obtenido de Vocabulario de Radiocomunicaciones.

$$PRA = 10.41dBW$$

$$PRA = 11W$$

La información del radio enlace es exportada a RMpath, el cual es un programa externo que proporciona funciones adicionales a Radio Móvil para analizar el enlace entre un emisor y un receptor. En la figura 1.33 se muestra la información entre en el Cerro Cruz Loma y EL Troje:

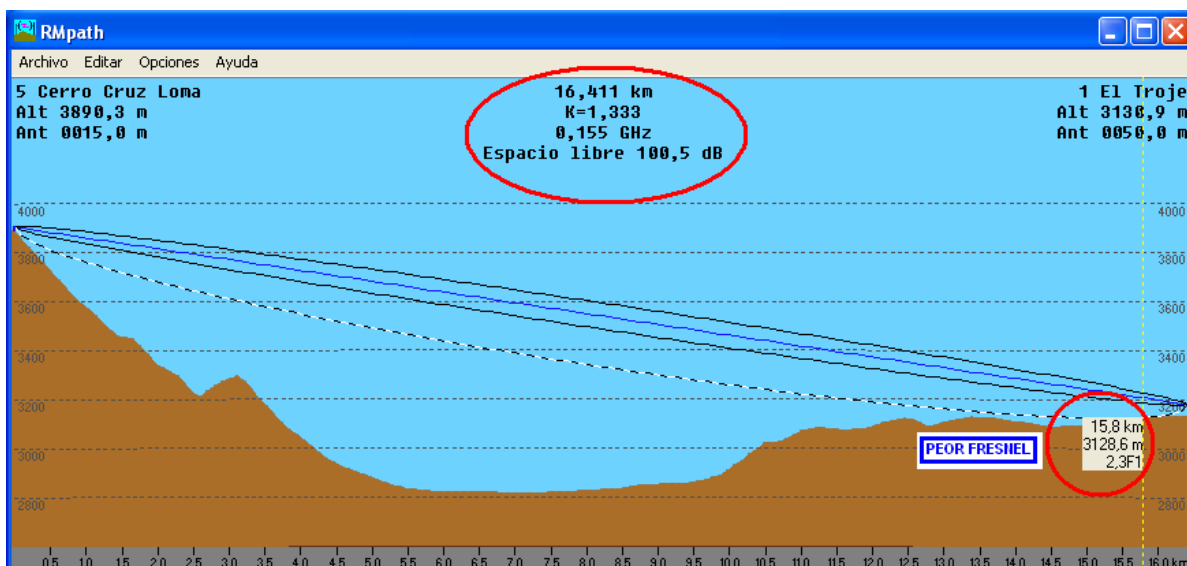


Figura XIX.33 Enlace Canal 5 – Canal 1 en RMpath.

- **Altura de despeje<sup>31</sup>**

Es la separación formada entre el haz del enlace y el obstáculo más prominente, éste parámetro viene dado en metros y se calcula según la siguiente ecuación:

<sup>31</sup> MEDIAVILLA, D., & TALAVERA, D. (2011). Estudio de la migración del Sistema VHF Analógico a Digital de Petrocomercial Distrito Norte. Quito.

## Ecuación XIX.12

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

Donde:

$h_{des}$  = Altura de despeje

$h_1$  = Altura del punto 1

$h_2$  = Altura del punto 2

$d_1$  = Distancia desde el punto 1 al obstáculo

$d_2$  = Distancia desde el punto 2 al obstáculo

$H$  = Altura del obstáculo

$k$  = Coeficiente del radio efectivo de la Tierra, el valor estándar es igual a 4/3

$a$  = Radio de la Tierra 6370 Km

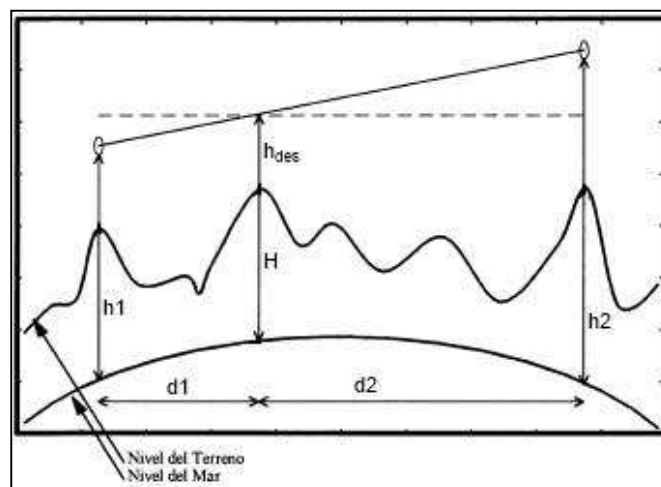


Figura XIX.34 Determinación de la Altura de Despeje.

$$h_{des} = 3905,3 + \frac{15800}{16411} (3180,9 - 3905,3) - \left( 3128,6 + \frac{15800 \times 611}{2(4/3) \times 6370000} \right)$$

$$h_{des} = 78.70m$$



- **Radio de la Primera Zona de Fresnel**

Para éste parámetro utilizamos la ecuación 1.4 y calculamos el radio de la primera zona de Fresnel.

$$R_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{3 \times 10^8 \text{ m}}{155000000 \text{ Hz}} \frac{15800 \text{ m} \times 611 \text{ m}}{16411 \text{ m}}}$$

$$R_1 = 33.74 \text{ m}$$

- **Margen de Despeje**

Para obtener el margen de despeje se compara la altura de despeje en el punto donde existe el obstáculo más prominente, con el radio de la primera zona de Fresnel. Este parámetro se expresa de forma porcentual, si existe un margen despeje mayor al 60% se considera un enlace libre de obstáculos.

**Ecuación XIX.13**

$$\text{Margen de Despeje} = \frac{h_{des}}{R_1} \times 100$$

$$\text{Margen de Despeje} = \frac{78.70 \text{ m}}{33.74 \text{ m}} \times 100$$

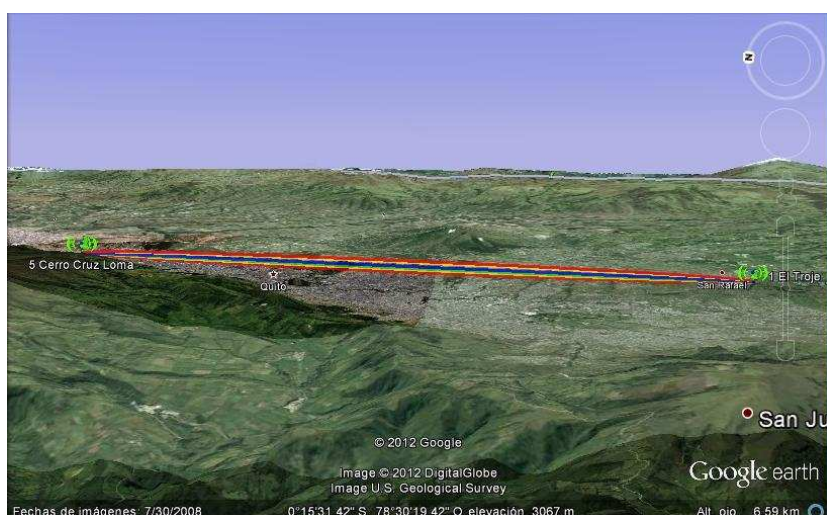
$$\text{Margen de Despeje} = 2.3 \times 100$$

$$\text{Margen de Despeje} = 230\%$$

El margen de despeje tiene un valor de 230% lo que significa que la primera zona de Fresnel se encuentra despejada y por lo tanto existe un enlace de radio adecuado entre los dos puntos.

**Nota:** Para los siguientes enlaces se presentarán únicamente los detalles expuestos en las gráficas desplegadas por el software Radio Mobile.

Dentro de las propiedades del enlace de radio es posible exportar el archivo a Google Earth, lo cual nos permitirá observar dicho enlace en tres dimensiones de la siguiente manera:



**Figura XIX.35 Cerro Cruz Loma – El Troje en Google Earth 3D.**

Se debe realizar la simulación de la cobertura del enlace. El rango de la señal a dibujar es de 0.3  $\mu$ V (sensibilidad de receptor) a 100  $\mu$ V. Las zonas de diferente color representan el área de recepción para los distintos tipos de radio.

A continuación se presenta el área de cobertura de cada canal. La máxima resolución que permite el software Radio Mobile para las diferentes graficas se presenta en el anexo 1.

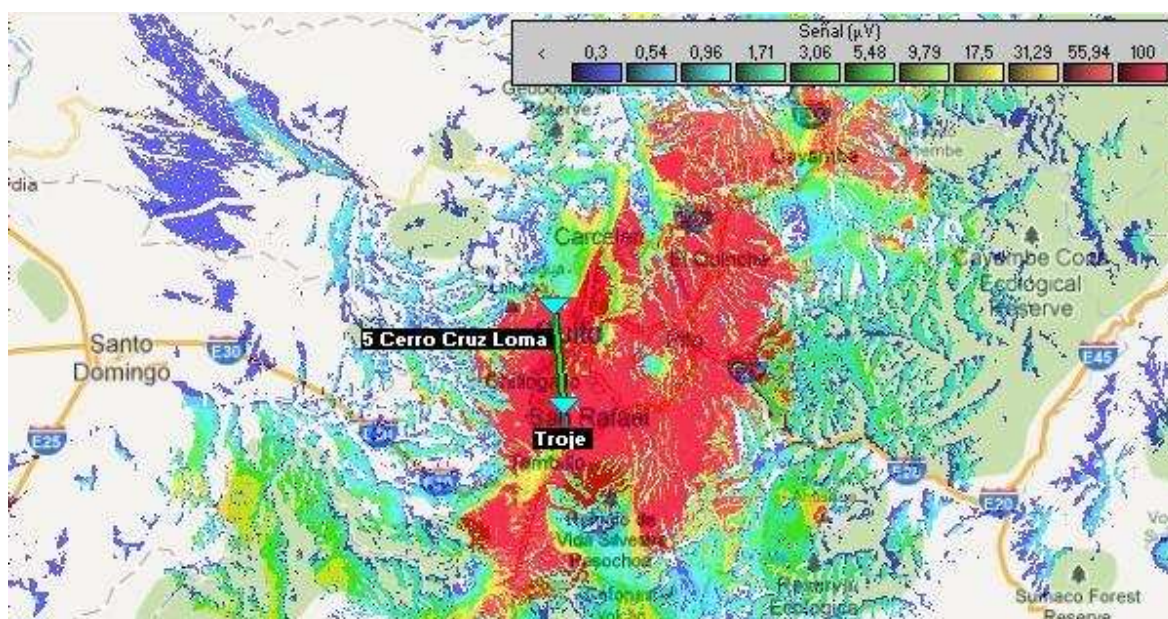


Figura XIX.36 Cobertura del Enlace Canal 5 – Canal 1.

### 1.5.4.6.2 Descripción del Enlace Canal 5 – Canal 2

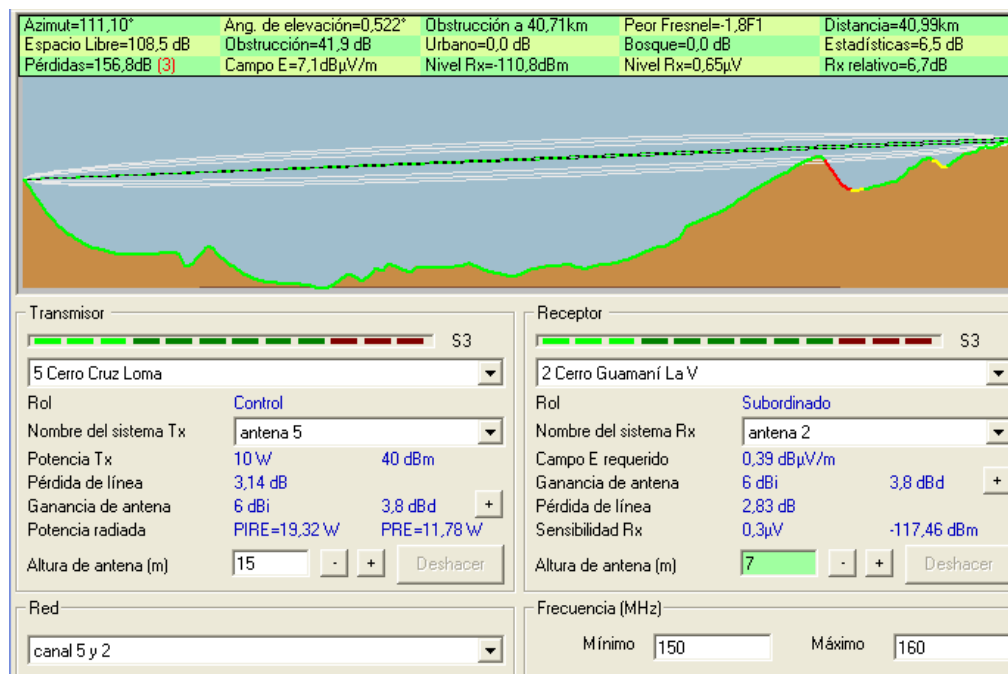


Figura XIX.37 Enlace Canal 5 – Canal 2.

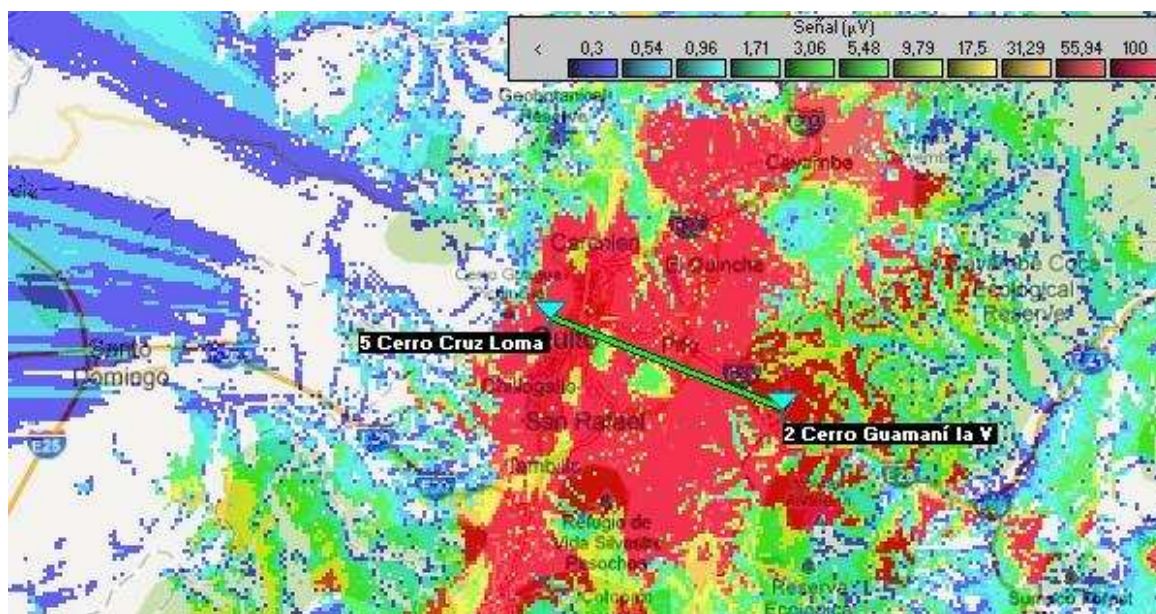


Figura XIX.38 Cobertura del Enlace Canal 5 – Canal 2.

1.5.4.6.3 Descripción del Enlace Canal 5 – Canal 3

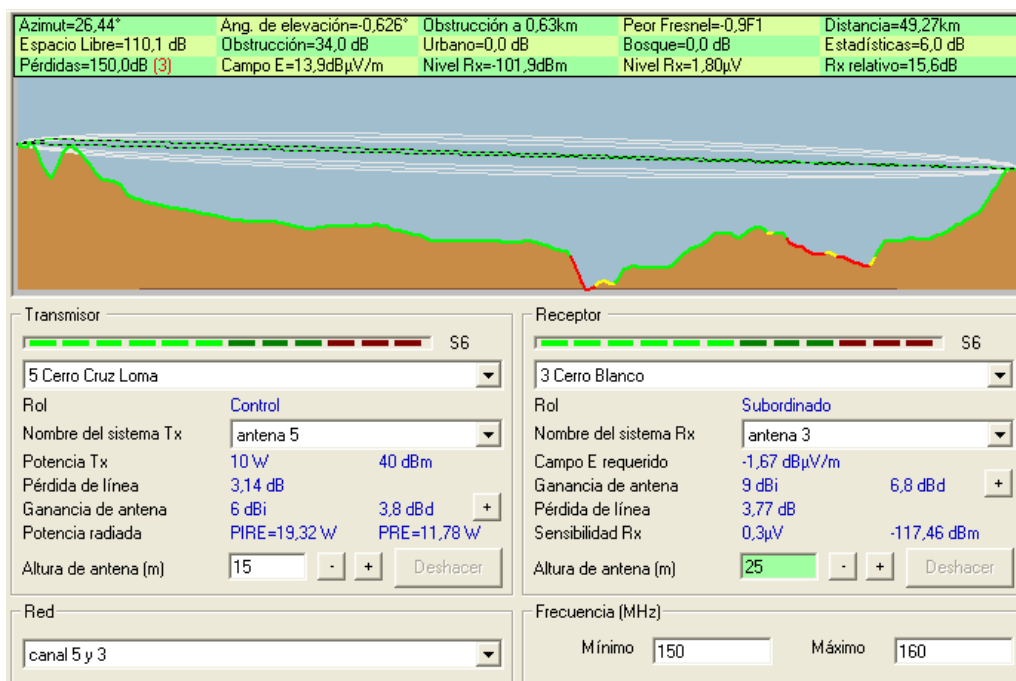


Figura XIX.39 Enlace Canal 5 – Canal 3.

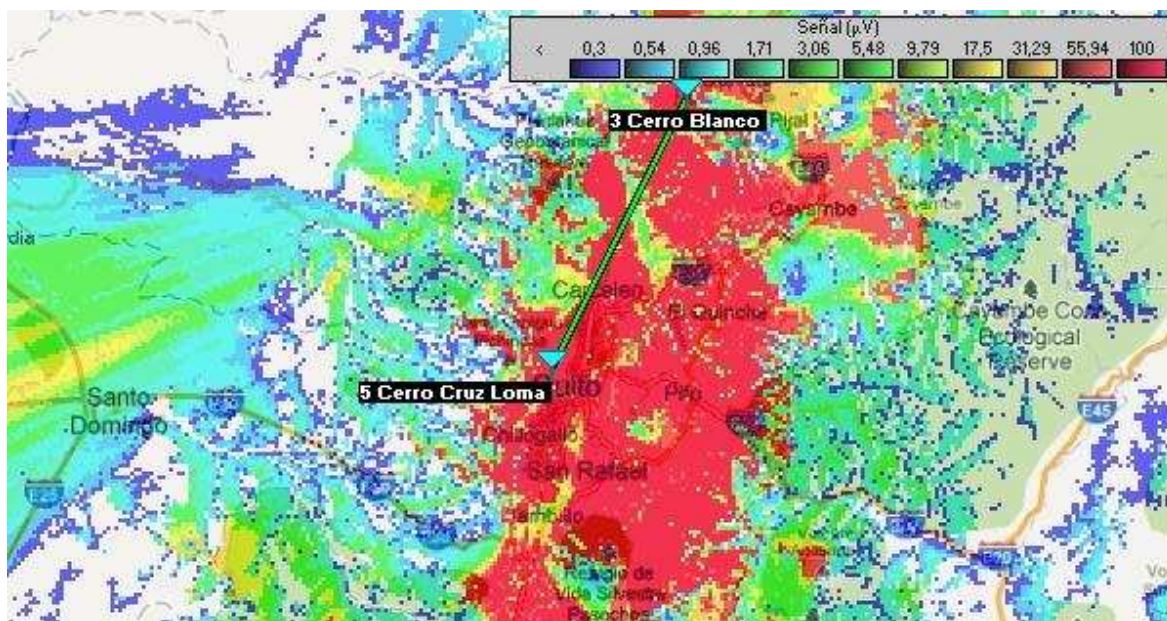


Figura XIX.40 Cobertura del Enlace Canal 5 – Canal 3.

#### 1.5.4.6.4 Descripción de la Cobertura Total Canales 5-1-2-3

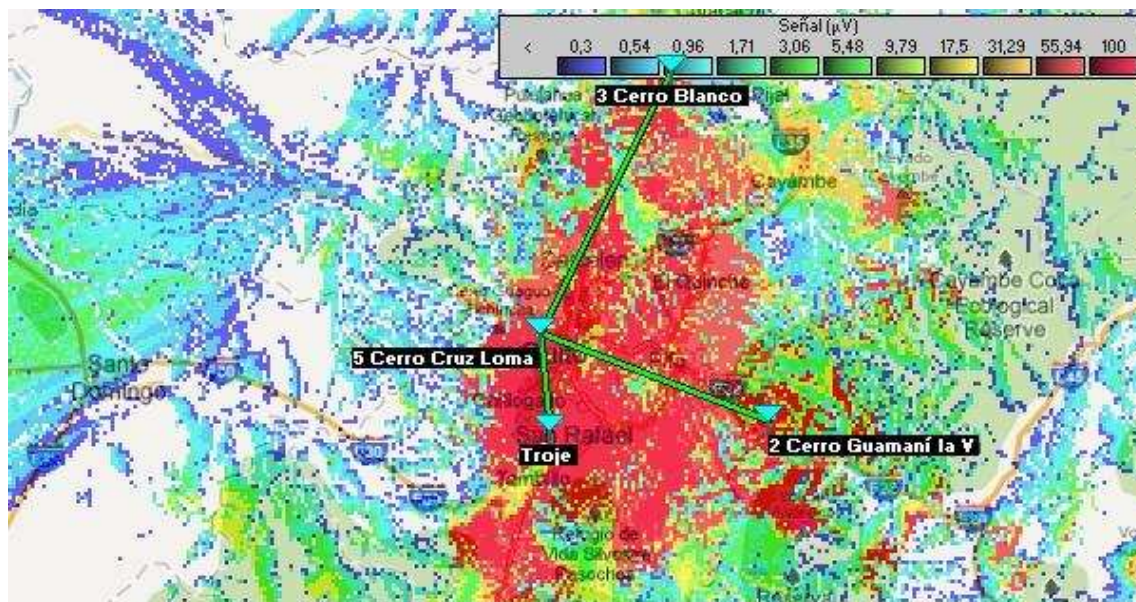


Figura XIX.41 Cobertura Total de Canales 5, 1, 2, 3.

#### 1.5.4.6.5 Descripción del Canal 4

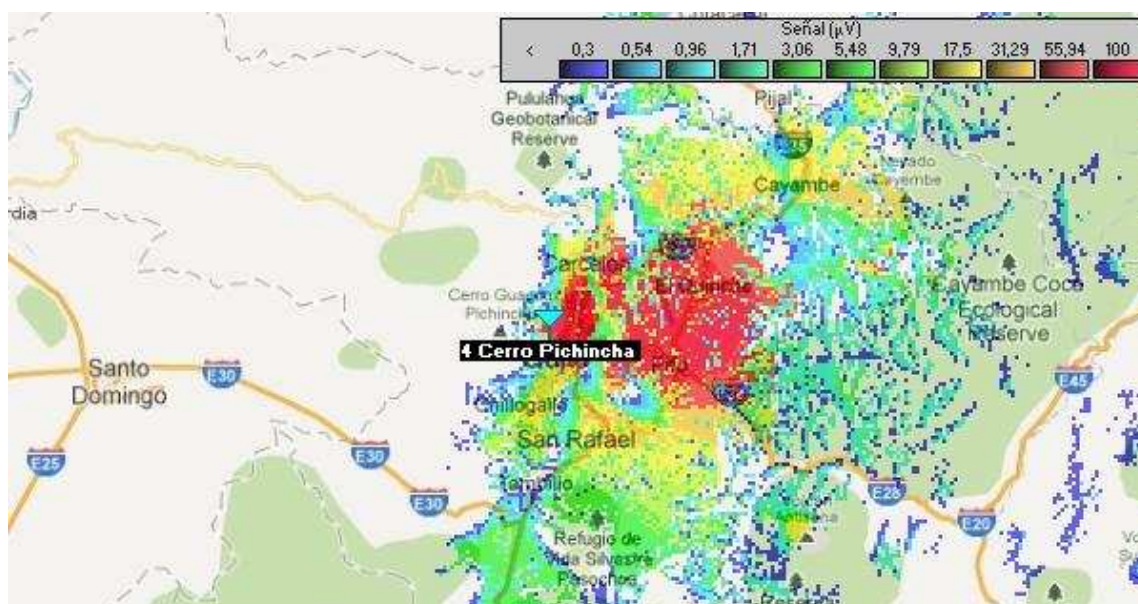


Figura XIX.42 Cobertura del Canal 4.

### 1.5.4.6.6 Descripción del Enlace Canal 6 – Canal 8

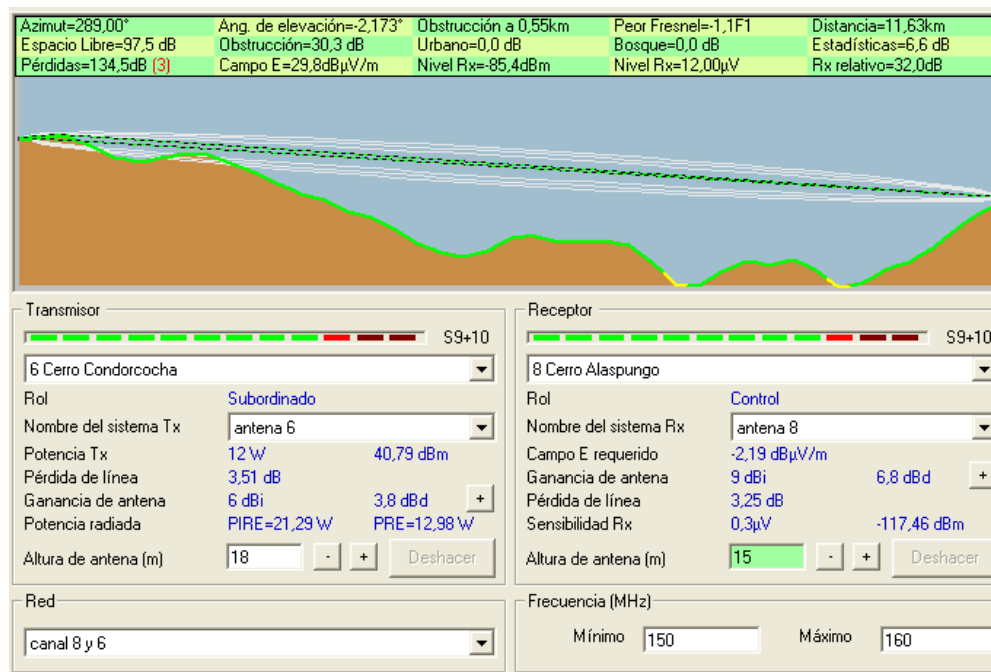


Figura XIX.43 Enlace Canal 6 – Canal 8.

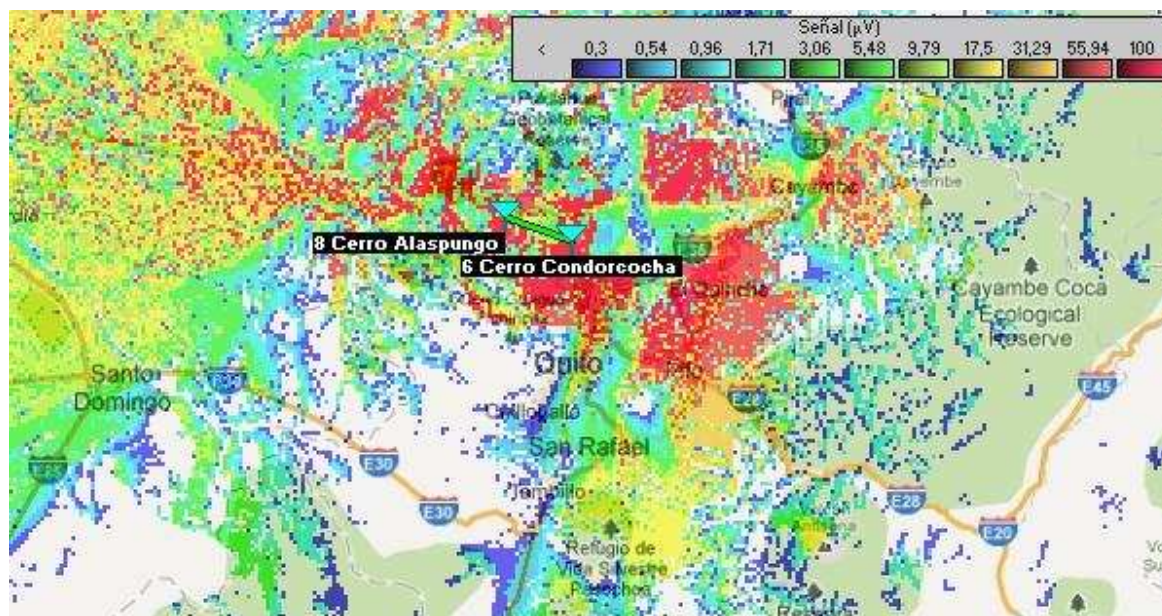


Figura XIX.44 Cobertura del Enlace Canal 6 – Canal 8.

#### 1.5.4.6.7 Descripción del Canal 7

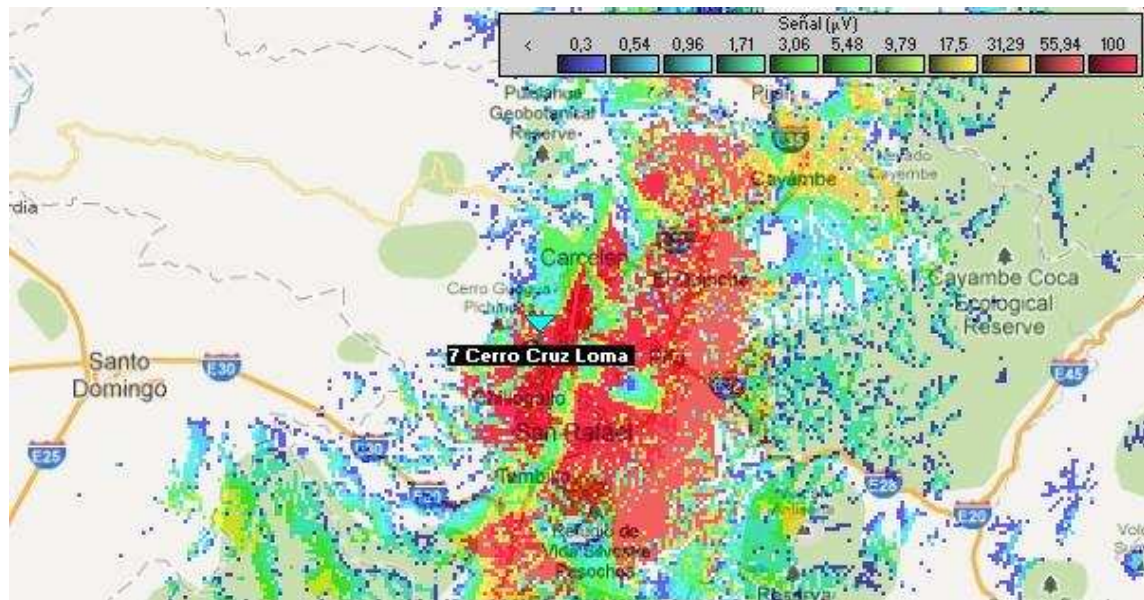


Figura XIX.45 Cobertura del Canal 7.

#### 1.5.4.6.8 Descripción del Canal 12

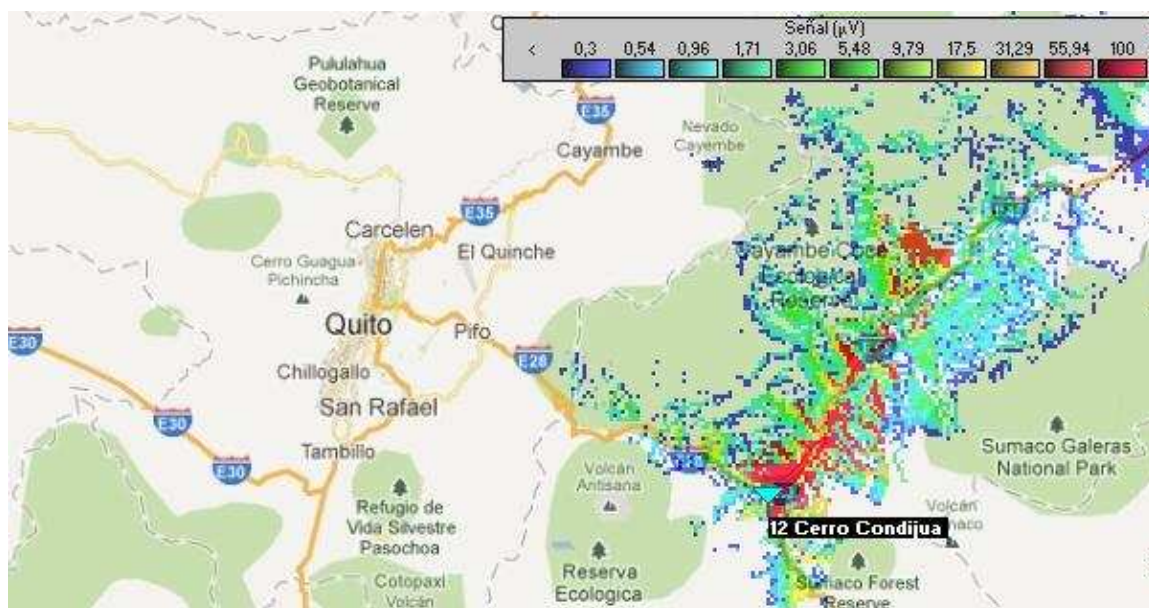


Figura XIX.46 Cobertura del Canal 12.



## **1.6 DIAGNOSTICO DE LA RED ACTUAL ANALÓGICA VHF**

Luego del estudio de la red VHF actual de la Empresa Eléctrica Quito se deben describir sus fortalezas y debilidades a continuación.

### **1.6.1 FORTALEZAS**

- La red de radiocomunicaciones VHF de la Empresa Eléctrica Quito está conformada por equipos de la marca comercial Motorola, lo que facilita su operación y mantenimiento.
- La forma de conexión entre los nodos de los canales 5, 1, 2 y 3 constituyen una red Simulcast, la cual permite una redundancia de cobertura sobre los usuarios que se encuentran en la ciudad de Quito; los radios portátiles, móviles y bases reciben la misma información de la estación más cercana dependiendo de la configuración de su canal.
- Los sitios de repetición con los canales 4, 7 y 12 se consideran como redes en nodo simple, las cuales proveen cobertura a un área relativamente pequeña, con este sistema se logra conectar usuarios a un bajo costo, provee un mayor alcance de comunicación que el modo directo (radio a radio), permite compartir el espectro entre varios usuarios y constituye un estándar simple de conexión utilizado en todo el mundo.
- Los canales 10 y 11 son utilizados para una comunicación en modo directo entre usuarios a corta distancia sin pasar por un sitio de repetición, este tipo de arquitectura no implica costo de infraestructura y es simple de operar, permite un despliegue rápido de información, el corto rango de comunicaciones entre usuarios es útil para prevenir la detección e interferencia de señales adversas.
- En la mayoría de sitios de repetición existe buena calidad de señal, es decir comunicaciones claras y comprensibles, cabe aclarar que en el sitio de repetición El Troje existe cobertura de señal de radio a un área relativamente pequeña, debido a su ubicación geográfica y altura del repetidor.

- La red de radiocomunicaciones de la Empresa Eléctrica Quito, al contar con áreas de cobertura solapadas permite gran versatilidad a los usuarios, sobre todo en el área del distrito metropolitano, brinda la opción de comunicarse a través de varios canales, en el caso que exista saturación de tráfico en un solo canal.

### **1.6.2 DEBILIDADES**

- Actualmente la red VHF de la EEQ es totalmente analógica, con lo cual no permite aprovechar ciertos beneficios de la infraestructura digital, que serán descritos en el capítulo siguiente.
- El equipamiento de radiocomunicación VHF instalado en cada uno de los sitios de repetición no se encuentra implementado en su respectivo rack de comunicaciones, lo que complica dificultad en el mantenimiento del mismo
- Debido al crecimiento de la red eléctrica en el área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito, existe zonas en las cuales no existe cobertura adecuada para todos los usuarios de la red.
- Actualmente el sistema VHF de la EEQ no tiene ningún mecanismo de seguridad, por lo que la información que es transportada por la red se encuentra vulnerable y puede ser interceptada por usuarios no autorizados.
- En la red VHF actual específicamente en el canal 5, existe la dificultad para conseguir un canal de tráfico debido al gran número de usuarios pertenecientes a éste canal.
- El equipamiento analógico implica que los usuarios de la red deban configurar el canal de comunicación en sus radios portátiles o móviles manualmente dependiendo de su ubicación geográfica. Es decir, que los usuarios que desconocen la ubicación de los repetidores podrían mantenerse en un canal erróneo sin cobertura perdiendo conexión con la red VHF.
- La red VHF actual se encuentra totalmente aislada del resto de servicios de comunicaciones, como es la red de telefonía actual que posee la Empresa Eléctrica Quito.

## **CAPITULO II: DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES VHF DIGITAL**

### **INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se realiza el diseño del nuevo sistema de Radiocomunicaciones VHF Digital; para lo cual, en primera instancia se toman en cuenta los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito, y se revisan conceptos básicos de un sistema VHF digital.

Es necesario describir el tipo de técnica de acceso al medio que emplean las diferentes marcas comerciales que existen en el mercado para elegir el sistema digital más adecuado y con el modo de conexión apropiado de acuerdo al funcionamiento de la Empresa Eléctrica Quito.

Dentro del diseño del Sistema VHF Digital se toman en consideración factores importantes como son ubicación de los sitios de repetición, topología del sistema, consideraciones sobre ancho de banda del canal, capacidad de transmisión para los enlaces microonda, presentación de nuevas áreas de cobertura y simulación en el software adecuado de los enlaces punto a punto microonda.

En la parte final del presente capítulo se describen los beneficios inherentes a la tecnología digital, los sistemas aplicativos de la Empresa Eléctrica Quito los cuales ofrecen el nuevo Sistema VHF Digital, y se detalla las características del equipamiento nuevo.

## **2.1 ANÁLISIS PREVIO AL DISEÑO DEL SISTEMA VHF DIGITAL**

### **2.1.1 REQUERIMIENTOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO**

Para realizar el diseño del nuevo sistema de radiocomunicaciones digital, es necesario conocer los siguientes requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito.

- Migrar el sistema de radiocomunicaciones analógico a un sistema digital, para aprovechar las facilidades y bondades de ésta nueva tecnología de radiocomunicaciones.
- Emplear algún método de seguridad en las transmisiones para bloquear el acceso de personas ajenas a la Empresa Eléctrica Quito.
- Ampliar la cobertura de la red de radiocomunicaciones debido al crecimiento de la red eléctrica dentro del área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito.
- Facilitar la comunicación entre grupos de usuarios de manera que todos los miembros del grupo reciban la misma información.
- Mejorar la calidad en las comunicaciones con transmisiones más nítidas y disminución de ruido.
- Facilidad para selección automática del canal adecuado para el usuario de acuerdo a su ubicación geográfica.
- Converger la información que se envía en transmisiones VHF con la red IP de la Empresa Eléctrica Quito.
- Migrar los canales actuales que ocupan un ancho de banda de 25 KHz a 12.5KHz de acuerdo a la nueva normativa gubernamental.
- Realizar el diseño de los enlaces microonda en banda de frecuencia licenciada.
- Continuar trabajando con equipos de la misma marca comercial, la cual ha brindado resultados adecuados en la red analógica actual VHF de la Empresa Eléctrica Quito.

- Aprovechar la mayor cantidad de infraestructura existente en la red VHF de la Empresa Eléctrica Quito, tal como antenas, sistemas de respaldo de energía, casetas, torres, entre otros.
- Permitir una fácil transición del sistema analógico al digital.

## 2.2 SISTEMAS VHF DIGITALES

Un sistema general de radiocomunicaciones VHF Digital se presenta de la siguiente manera, y se describen brevemente sus componentes.



Figura XX.1 Diagrama Sistema VHF Digital.

### **2.2.1 CONVERSIÓN A/D Y D/A**

Para sistemas VHF con tecnología digital, es necesario una etapa para convertir la voz analógica en un formato digital para su transmisión, y una etapa de conversión digital en analógica para la recepción.

### **2.2.2 CODIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN DE LA FUENTE**

En sistemas VHF la capacidad de transmisión de información digital es limitada, por esta razón se debe manejar la información de manera eficiente para no tener pérdidas de datos en el receptor. La codificación de la fuente controla la rapidez y la comprensión de la información de esta manera:

Para la transmisión el codificador de la fuente elimina la mayor cantidad posible de información redundante e irrelevante de la fuente original (voz, datos, video), consiguiendo una disminución de la cantidad de bits y ahorrando recursos de ancho de banda. En el extremo receptor se deben añadir los bits de redundancia de tal forma que representen la información original y coherente para su recepción.

### **2.2.3 CODIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN DEL CANAL**

En una transmisión a través del medio radioeléctrico se producen errores de la señal detectada en recepción, debido a diversos factores como ruido, interferencia, desvanecimiento, entre otros. En la codificación del canal se desarrollan algoritmos para la protección contra éstos errores por ruido aleatorio.

La técnica de Corrección de Errores hacia Adelante realiza corrección de errores producidos por degradaciones del canal, permite validar la integridad de la información identificando la combinación de bits del mensaje para su recepción adecuada.

#### **2.2.4 FILTRO CONFORMADOR DE PULSO**

En comunicaciones VHF el ancho de banda de la señal es similar ancho de banda del canal, esto produce una interferencia inter-símbolo (ISI, por sus siglas en ingles) considerable. Para contrarrestar este efecto se utiliza un filtro conformador de pulsos (basado en el filtro de Nyquist) que permite minimizar la ISI a partir de las restricciones de ancho de banda del canal.

#### **2.2.5 ECUALIZADOR**

Al transmitir un pulso de determinada duración a través de un canal limitado en ancho de banda se produce un fenómeno conocido como interferencia inter-símbolo. Se utiliza un ecualizador que permita compensar éstas variaciones de la señal en el tiempo y por lo tanto disminuir el ISI. Un ecualizador puede basarse en circuitos complicados o constituir un simple filtro.

#### **2.2.6 MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN DIGITAL**

Para realizar una comunicación a larga distancia es necesario enviar la información utilizando alguna técnica de modulación; existen tres modulaciones básicas ASK, FSK y PSK. En sistemas VHF digitales la técnica más utilizada es 4FSK que permite gran capacidad de transmisión de datos.

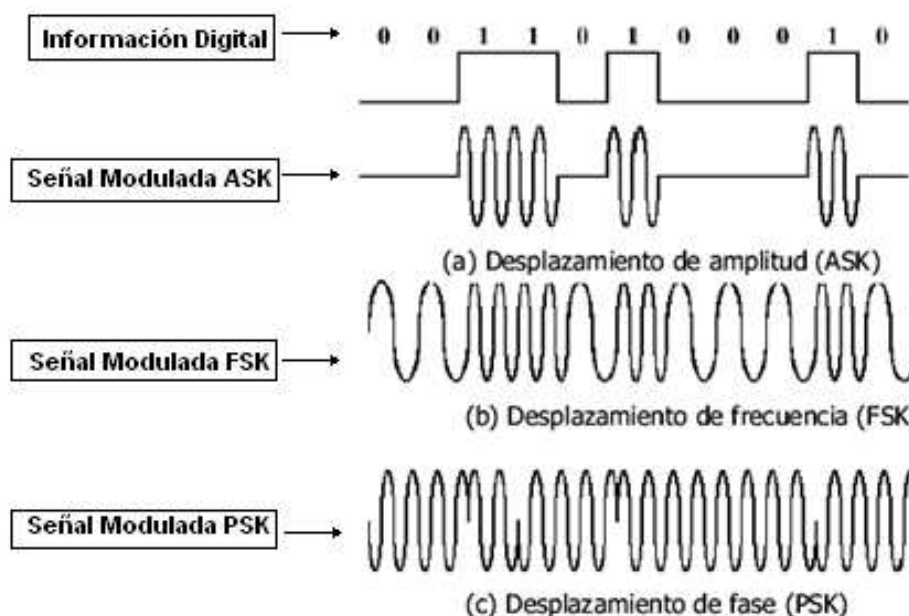


Figura XX.2 Diagrama Modulación Digital.

## 2.2.7 TECNICAS DE ACCESO AL MEDIO<sup>32</sup>

En los sistemas de comunicaciones se presenta el inconveniente del limitado recurso de frecuencias en el espectro electromagnético, sin ser la excepción en los sistemas VHF de radiocomunicaciones. Para trabajar de manera eficiente con el espectro, en radiocomunicaciones se manejan básicamente dos técnicas de acceso al medio: FDMA desarrollada por marcas como Kenwood e Icom, y TDMA desarrollada por Motorola.

### 2.2.7.1 TDMA (Time Division Multiple Access)

El Acceso Múltiple por División de Tiempo preserva el ancho total del canal, pero lo divide en secciones de tiempo intercalado, donde cada uno puede recibir una

<sup>32</sup> DMR. (s.f.). Digital Mobile Radio Association.



transmisión individual. Por ejemplo un sistema con un ancho de canal de 12.5 kHz basadas en TDMA, provee equivalencia de dos canales virtuales de 6.25 kHz.

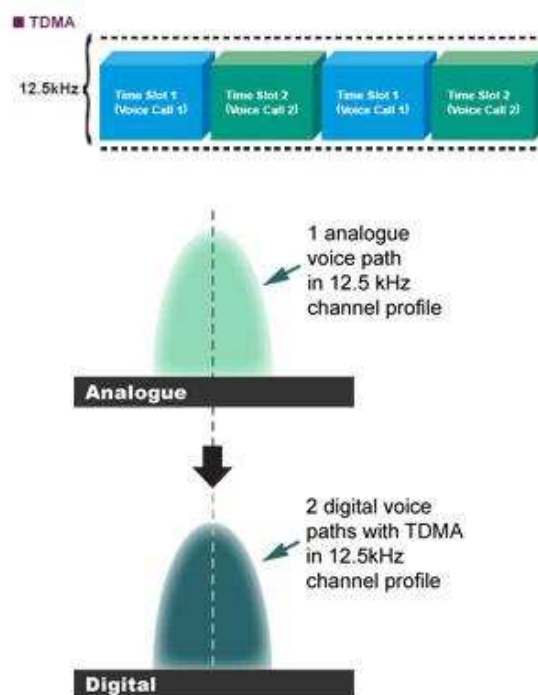


Figura XX.3 Migración de Analógico a Digital con TDMA.

### 2.2.7.2 FDMA (Frequency Division Multiple Access)

En el Acceso Múltiple por División de Frecuencia, un canal de frecuencia es dividido en canales con un menor ancho de banda, permitiendo comunicaciones individuales para cada uno. Por ejemplo, a un canal de 25KHz se lo puede dividir en dos subcanales de 12.5 KHz.

La misma técnica puede ser usada para subdividir canales en otros aún más pequeños, pero se debe tomar en cuenta problemas de interferencia y distorsión de la señal; para lograr esto, la desviación de señal (representada por la amplitud y anchura de los lóbulos en la ilustración) debe ser necesariamente más pequeña. Esta desviación más pequeña significa una sensibilidad reducida, disminuyendo el

rango de señal efectiva y exigiendo muy poca tolerancia de errores con equipos con diseños más exactos. En la gráfica se muestran dos señales de 6.25 kHz provenientes de un canal de 12.5 KHz, casi sin una separación o banda de guarda, que provocaría interferencia entre canales, esto se traduce en una calidad de servicio reducida en las condiciones del mundo real.

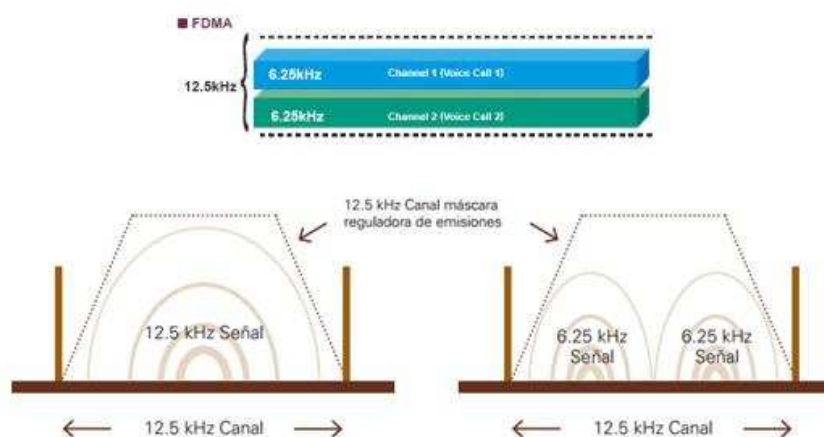


Figura XX.4 Introducción de 2 canales de 6.25KHz en uno de 12.5KHz con FDMA.<sup>33</sup>

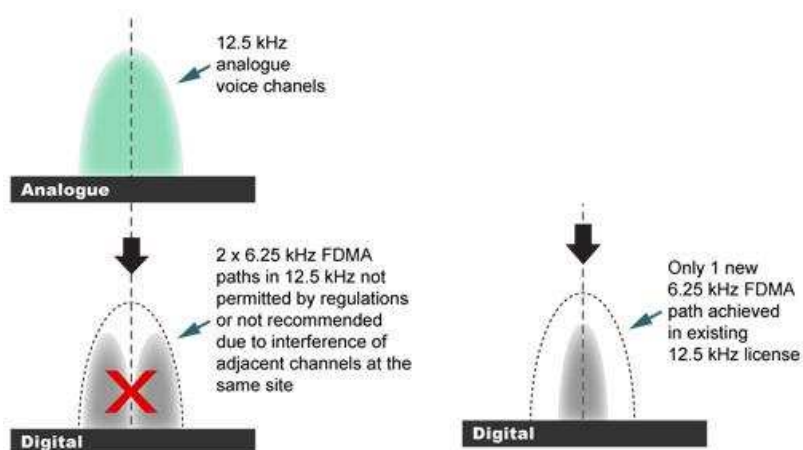


Figura XX.5 Migración de analógico a digital con FDMA de 6,25 kHz.

<sup>33</sup> Fuente: MOTOROLA. (2006). Tecnología TDMA.

### 2.2.7.3 TDMA VS FDMA

Dentro de los criterios para realizar la migración de un sistema analógico a uno digital, es necesario diferenciar las técnicas de acceso al medio TDMA o FDMA que utiliza la tecnología digital para aprovechar de forma más eficiente el espectro electromagnético

Con una sola licencia de un canal analógico de 12.5 KHz puede utilizarse para dos canales virtuales de 6.25 KHz con la técnica de TDMA; mientras que en FDMA existe limitaciones, ya que no se debe subdividir un canal en canales adyacentes más pequeños debido a la presencia de las bandas de guarda recomendadas para reducir interferencias. En muchos países, no existen licencias específicas para 6,25 kHz y el régimen reglamentario no permite que una persona con una licencia para 12,5 kHz opere dos canales de 6,25 kHz.

A continuación se presenta un cuadro de ventajas y desventajas de un sistema VHF digital con tecnología TDMA comparando con un sistema FDMA.

TDMA	FDMA
Permite duplicar la capacidad de los canales autorizados existentes de 12,5Khz(Migración en el Ecuador el 2013)	No permite duplicar la capacidad de los canales autorizados existentes(12,5Khz en el 2013) debido a la necesidad de bandas de guarda
Compatibilidad con el espectro de los antiguos sistemas analógicos	No es compatible con el espectro de los sistemas analógicos debido a que los canales son de 12,5Khz y no de 6,25Khz
Uso eficaz de la infraestructura, permitiendo dos canales virtuales con un solo repetidor(en un canal de 12,5Khz)	Permite un canal de 6,25Khz con un repetidor.(dos canales de 6,25Khz con un repetidor mas accesorios adicionales)
Batería de mayor duración y rendimiento	Batería de mayor duración y rendimiento

superior de la potencia	superior de la potencia
Aplicaciones de datos: facilidad de uso y creación	Aplicaciones de datos menos desarrollada que en TDMA
Flexibilidad del sistema a través del uso simultáneo de dos canales virtuales en un mismo repetidor. (uno para voz y otro para datos)	Permite flexibilidad del sistema a través del uso simultáneo de canales pero con equipamiento adicional.
Avanzadas funciones de control	Avanzadas funciones de control
Mayor rendimiento del sonido	Mayor rendimiento del sonido
Abastecimiento seguro mediante una norma totalmente abierta, correctamente establecida y respaldada mundialmente.	Norma no tan establecida mundialmente como la TDMA

Tabla XX.1 TDMA vs. FDMA

En la tabla anterior se observa las ventajas de los sistemas digitales TDMA y FDMA sobre los sistemas analógicos, resaltando también cual de los dos sistemas es superior al otro. De esta manera se puede concluir que la técnica TDMA es la más adecuada para trabajar con sistemas digitales de radiocomunicación.

De acuerdo con la descripción sobre técnicas de acceso al medio y basándonos en los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito se recomienda realizar la migración del Sistema VHF Analógico a un Sistema VHF Digital utilizando dispositivos de la marca comercial Motorola, la cual trabaja con tecnología TDMA.

### 2.3 SISTEMA MOTOTRBO

MOTOTRBO es una plataforma digital de radiocomunicación desarrollada por Motorola. En este sistema se combina la funcionalidad de los radios de dos vías con la mayor capacidad y eficiencia de la tecnología digital con técnica de acceso al medio TDMA. Provee capacidad para voz y datos con transmisiones en VHF o UHF.

Cada radio posee un PTT-ID (identificador Push to Talk) la cual identifica a la radio como única; ésta facilidad permite funciones avanzadas como llamadas grupales o selectivas. MOTOTRBO permite el servicio de mensajes de texto redactados desde los terminales con teclado hacia cualquier terminal con pantalla, también es posible enviar mensajes desde una PC hacia cualquier radio conectado en la red MOTOTRBO. La aplicación de un servicio de localización es factible ya que los radios MOTOTRBO integran consigo una antena GPS, la información del Sistema de Posicionamiento Global se envía hacia un software central que permite ubicar las unidades de radio dentro de la zona de su cobertura. El sistema MOTOTRBO trabaja con una modulación digital 4FSK y Vocoder Digital AMBE++; posee repetidores digitales que pueden trabajar en modo Analógico o Digital. En general la compañía Motorola y su sistema propietario MOTOTRBO ofrecen una serie de aplicaciones que facilitan la migración de tecnología y permiten aprovechar las facilidades de un sistema de radiocomunicación digital.<sup>34</sup>

A continuación se describirán los modos de conexión para un Sistema VHF Digital que ofrece el sistema MOTOTRBO.

### **2.3.1 TOPOLOGÍAS DEL SISTEMA**

#### **2.3.1.1 Modo directo digital**

Es un sistema que no requiere infraestructura adicional (repetidor) para comunicarse adecuadamente con los demás radios del sistema en campo. De esta manera un usuario puede comunicarse directamente con otros usuarios del sistema con tan sólo la potencia de salida del transmisor de su radio portátil o móvil. Cada uno de los radios en campo debe estar dentro del alcance de los demás radios en cualquier momento.

---

<sup>34</sup> MGTRADING (s.f.) Soluciones Inalámbricas.

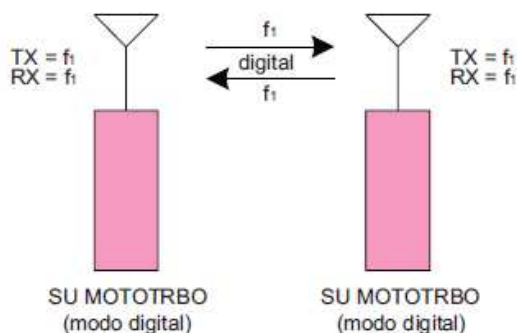


Figura XX.6 Radios MOTOTRBO digitales en Modo Directo.<sup>35</sup>

En este sistema se asigna una sola frecuencia a todos los radios en campo para usarse como canal half-duplex. Debido a que no hay un repetidor que designe una estructura de intervalos de tiempo, no se tiene una sincronización que permita dos transacciones de datos o conversaciones de voz a la vez por ese canal.

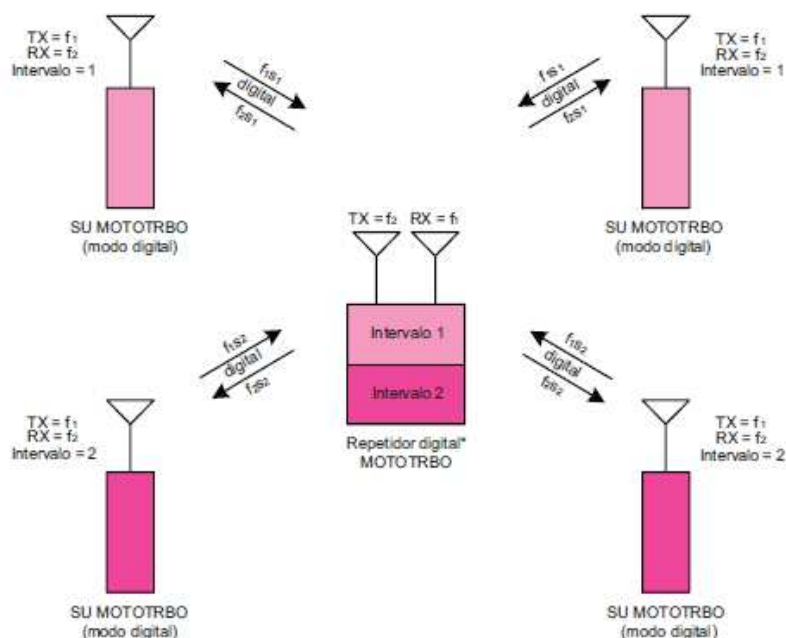
En modo directo digital, los radios admiten los tres métodos de transmisión de voz: llamadas de grupo, llamadas privadas y llamadas a todos. También pueden admitir toda la mensajería de comando y control como alerta de llamada, verificación del radio, habilitación/inhabilitación del radio, monitoreo remoto y emergencia.

### 2.3.1.2 Modo de repetidor digital

Este modo se emplea para cubrir una mayor área de cobertura o incluso si el área de cobertura requerida fuera pequeña, por razones de limitaciones geográficas u otras obstrucciones, se necesitarán múltiples repetidores de alta potencia para alcanzar todas las áreas de cobertura. También puede ser necesario el ancho de banda adicional que ofrece un repetidor.

---

<sup>35</sup> MOTOROLA. (2009). Manual del planificador del sistema. En Motorola, MOTOTRBO. EEUU.



**Figura XX.7 Radios MOTOTRBO digitales en Modo de Repetidor.**

El repetidor digital funciona en modo de acceso múltiple por división del tiempo (TDMA), el cual esencialmente divide un canal en dos canales virtuales en modo digital. Sin el repetidor, no es posible la sincronización del protocolo TDMA.

Otra ventaja del funcionamiento digital es la detección y corrección de errores. Mientras más lejos se desplaza una transmisión, mayor será la interferencia y el número de errores. El radio y el repetidor MOTOTRBO en modo digital trabajan con algoritmos incorporados de detección y corrección de errores, los cuales corrigen estos problemas. De esta manera el repetidor repara los errores que pueda haber ocurrido en el enlace ascendente; seguidamente transmite la señal reparada por el enlace descendente, incrementando considerablemente la confiabilidad y la calidad del audio en el sistema dentro de su área de cobertura.

En este modo el repetidor únicamente retransmite señales digitales de radios configurados con la misma identificación de sistema. De este modo se ayuda a prevenir la interferencia entre sistemas.

### 2.3.1.3 Múltiples repetidores digitales en modo autónomo

Para proporcionar la cobertura necesaria de radio frecuencia es posible que se necesiten múltiples repetidores digitales. Las técnicas descritas en las siguientes secciones también pueden usarse para resolver problemas asociados con señales de interferencia de RF provenientes de sistemas de radiocomunicación adyacentes.

#### 2.3.1.3.1 Área de cobertura solapada

Si los sistemas de radiocomunicación digitales están separados por frecuencias o por distancia, no será necesario considerar la posibilidad de interacciones negativas que puedan afectar a los sistemas.

La figura 2.8 muestra dos sistemas que funcionan con un par de frecuencias común pero que se encuentran separados físicamente, de modo que no exista interacción negativa entre los sistemas.

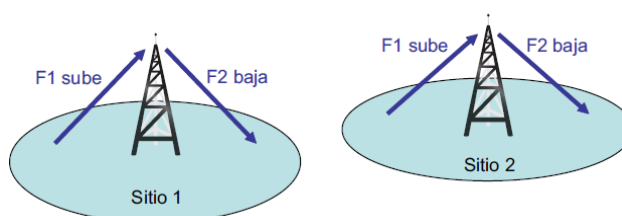
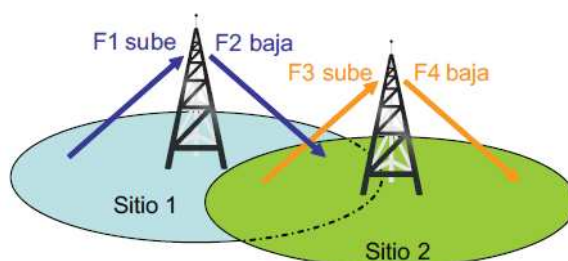


Figura XX.8 Múltiples Repetidores sin Solapamiento.

Por otra parte, se puede evitar interacciones negativas entre dos sistemas cuyas coberturas se solapan en el espacio, si funcionan en pares de frecuencias diferentes.



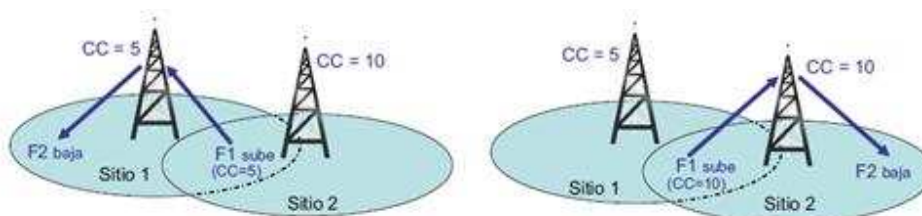


**Figura XX.9 Múltiples Repetidores con Solapamiento.**

Los problemas se presentan cuando los repetidores tienen regiones que se solapan y funcionan en frecuencias comunes.

### 2.3.1.3.1 Códigos de colores (CC)

Definidos en la norma de DMR (Radio Móvil Digital), pueden usarse para separar dos o más sistemas de radiocomunicación digital MOTOTRBO que funcionen con frecuencias comunes.



**Figura XX.10 Múltiples repetidores digitales con códigos de colores diferentes.**

La figura 2.10 muestra dos sistemas de radiocomunicación MOTOTRBO que funcionan con frecuencias comunes y se solapan sus coberturas, pero emplean códigos de colores diferentes.

Varios repetidores que funcionen en los mismos pares de frecuencias y grandes áreas de solapamiento, podrían configurarse con códigos de colores únicos. Esto permitiría a ambos repetidores funcionar con cierto grado de independencia. Sin

embargo debemos tomar en cuenta que el tráfico de RF de esta región sería la suma de las transmisiones provenientes de ambos repetidores.

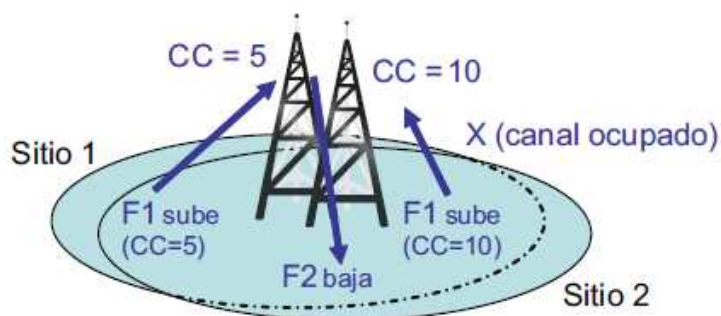


Figura XX.11 Código de colores en sitio congestionado.

Cabe resaltar que los usuarios con un determinado código de colores recibirán únicamente la transmisión dirigida a ellos.

#### 2.3.1.4 Múltiples Repetidores Digitales En Modo De Conexión IP De Sitio (IP SITE CONNECT)

En la configuración de conexión IP (Internet Protocol) de sitio, el sistema MOTOTRBO acepta un máximo de 15 repetidores de conexión IP de sitio. El principal problema con la configuración anterior en modo autónomo de múltiples repetidores digitales es que un radio que esté en un sitio puede participar únicamente en las llamadas que se originen en ese sitio. La configuración de conexión IP de sitio elimina esta restricción y permite que los radios participen en las llamadas sin importar el sitio (repetidor) donde se originen. En la configuración de conexión IP de sitio, los repetidores se comunican entre ellos a través de una red auxiliar. Una llamada que se origine en un repetidor será transmitida por todos los repetidores en el sistema de conexión IP de sitio. Se debe tener presente que una configuración de conexión IP de sitio aumenta el área de cobertura pero no la capacidad de llamadas con respecto a una configuración de un solo sitio.

En este modo los repetidores distribuidos a lo largo de sitios dispersos intercambian paquetes de voz, datos y control a través de una red auxiliar basada en IPv4. Las posibles aplicaciones de este modo incluyen:

- Conexión de dos o más ubicaciones dispersas para facilitar las comunicaciones cotidianas, obteniendo un área de cobertura de RF más amplia y eficaz.
- Radiodifusión de anuncios a todos los sitios, que puede ser empleada en casos de emergencia o en situaciones especiales.
- Conexión de repetidores que operen en bandas de RF diferentes (p. ej., combinar repetidores en UHF o en VHF).
- Conexión a aplicaciones basadas en IP.

El modo de conexión IP de sitio permite a los clientes conectarse a consolas de despacho de otros fabricantes basadas en IP o a aplicaciones de registro y grabación de llamadas, o bien enrutar llamadas desde/hacia teléfonos basados en IP.

#### *2.3.1.4.1 Consideraciones acerca de las frecuencias y códigos de colores*

La figura 2.12 muestra un ejemplo de dos sistemas de conexión IP de sitio con áreas de cobertura solapadas. Las frecuencias y el código de colores de los repetidores deben estar de acuerdo con las siguientes reglas:

- Los repetidores adyacentes desde el punto de vista geográfico de un sistema de conexión IP de sitio debe usar frecuencias diferentes. Sus códigos de colores pueden ser iguales o diferentes.
- Si las frecuencias de los repetidores adyacentes desde el punto de vista geográfico de dos sistemas de conexión IP son iguales, sus códigos de colores deben ser diferentes. No es aconsejable mantener las mismas frecuencias ya que en áreas de solapamiento existirá una interferencia destructiva.
- Si los dos sistemas trabajan con las mismas frecuencias y códigos de colores. Se puede producir el inconveniente que un equipo comparta los canales con el otro

sistema al que no pertenece a través de múltiples sitios. Una manera de evitar esta situación es asegurarse de que todos los pares (de frecuencias y código de colores) de todos los sistemas que se solapen sean únicos.

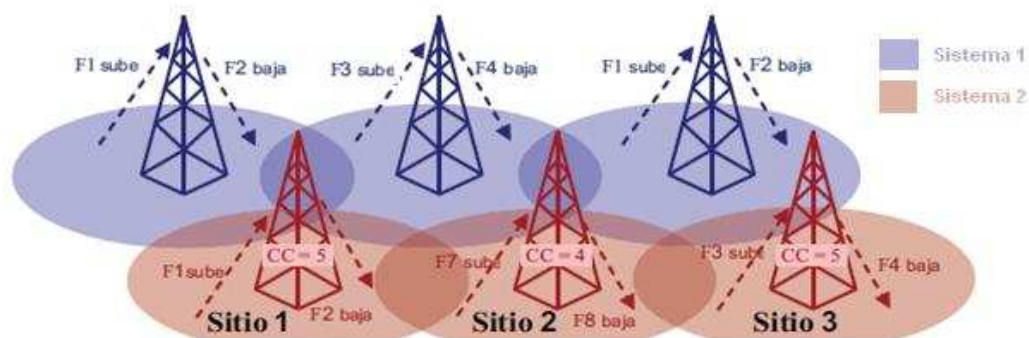


Figura XX.12 Ejemplo de dos sistemas de conexión IP de sitio con áreas de cobertura solapadas.

#### 2.3.1.4.2 Consideraciones acerca de la red auxiliar

Los repetidores en modo de conexión de sitio se comunican entre ellos a través de una red auxiliar, la cual puede ser una red dedicada o una conexión a Internet proporcionada por un proveedor de servicio Internet (ISP). Los ISP ofrecen una diversa gama de tecnologías, entre las cuales la red auxiliar no puede estar basada en una conexión por línea conmutada (debido al poco ancho de banda) ni en una conexión de acceso a Internet por satélite (debido al gran retardo).

Un repetidor tiene tres interfaces de red: Ethernet y USB para comunicarse entre repetidores mediante Protocolo de Internet IPv4; y el interfaz aérea para comunicarse con los equipos terminales (radios portátiles, móviles y bases).

No es necesario obtener direcciones IPv4 estáticas para dispositivos repetidores de conexión IP de sitio (excepto para el repetidor maestro o intermediario). Las

direcciones IPv4 de dispositivos de conexión IP de sitio pueden ser dinámicas asignadas por un servidor DHCP<sup>36</sup>.

### **2.3.1.5 Modo Troncalizado (Capacity Plus)**

En este modo de conexión para redes digitales de radiocomunicación, todos los radios comparten los canales de todos los repetidores troncalizados. Debido a que la probabilidad de que todos los canales estén ocupados en el mismo instante es baja, el radio sufre menos bloqueos de llamadas que cuando sólo existe un canal disponible para el radio. La compartición de canales permite más llamadas y, por lo tanto, se incrementa la capacidad de los canales.

#### *2.3.1.5.1 Capacity Plus Single-Site*

En este tipo de sistema existe un solo sitio troncalizado, el cual amplía la capacidad permitiendo hasta 12 canales de voz y además, hasta 24 canales de datos dedicados sin la necesidad de actualizar el hardware.

La figura 2.13 muestra un ejemplo para un solo sitio que posee cuatro repetidores en modo de conexión troncalizado, el usuario A al realizar una llamada es asignado a la primera ranura del primer repetidor, el usuario B se comunica por la ranura dos del mismo repetidor. Si existen más llamadas se utilizan las respectivas ranuras del siguiente repetidor y el proceso continúa de manera repetitiva.

---

<sup>36</sup>DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

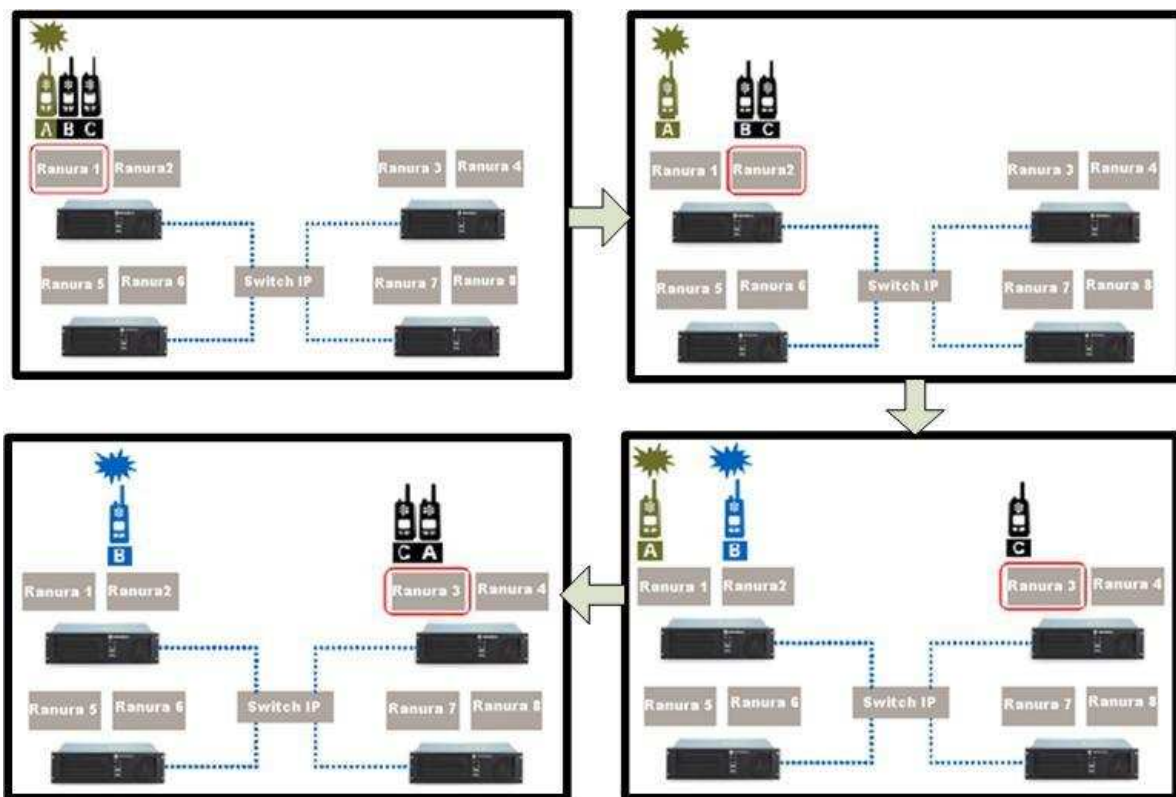


Figura XX.13 Ejemplo Repetidores en Modo Troncalizado un solo sitio.<sup>37</sup>

### 2.3.1.5.2 LinkedCapacity Plus Multi-Site

Este modo proporciona administración de canales a través de los dos mecanismos: Capacity Plus (sistema troncalizado) y modo de conexión IP de sitio.

Permite la comunicación a través de una amplia zona mediante el enlace de sitios adyacentes individuales a través de una red IP. El resultado es una cobertura continua e ininterrumpida con la capacidad que proporciona el sistema troncalizado Capacity Plus.

<sup>37</sup> Fuente: MOTOTRBO. (2001). Presentación de Aplicaciones. Motorola. Rusia.

Permite tener un máximo de 15 sitios. Un sitio permite hasta 6 repetidores de voz más 5 de los datos, sin la necesidad de tener el mismo número de estaciones repetidoras en todos los sitios.

La figura 2.14 muestra un ejemplo con tres sitios, cada uno de ellos con repetidores conectados de manera troncalizada.

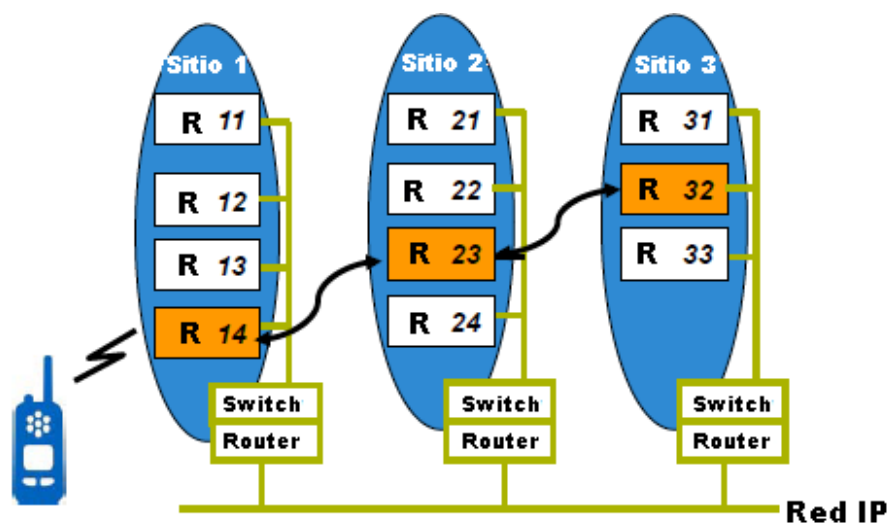


Figura XX.14 Ejemplo Repetidores en Modo Troncalizado Múltiples Sitios.

## 2.4 DISEÑO DE LA RED VHF DIGITAL DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO

### 2.4.1 ELECCIÓN DEL MODO DE CONFIGURACIÓN DE LA RED VHF DIGITAL DE LA EMPRESA ELÉCTRICA QUITO

Dentro del diseño de la nueva red es importante describir si el sistema se mantendrá trabajando con canales individuales o con canales compartidos. Por lo tanto es necesario referir las características de un modo de conexión troncalizado y monocanal.

#### **2.4.1.1 Modo Troncalizado**

La forma de operación de la red de radiocomunicaciones de la Empresa Eléctrica Quito requiere que al realizarse una transmisión, todos los usuarios pertenecientes a un determinado grupo de trabajo, deben escuchar siempre esa comunicación. En el modo de conexión troncalizado todos los radios comparten los canales de todos los repetidores troncalizados, y en éste caso no es conveniente para el modo de funcionamiento en la Empresa Eléctrica Quito.

De acuerdo con el reglamento y norma técnica para los sistemas troncalizados especificado por CONATEL, el Plan De Canalización De Bandas establece en el artículo 4 que las bandas de frecuencias asignadas para los Sistemas Troncalizados están en el rango de 800 – 900 MHz; mientras que la Empresa Eléctrica Quito actualmente trabaja en la banda VHF (30 – 300MHz).

#### **2.4.1.2 Modo Monocanal**

La configuración de conexión IP de sitio desarrollada por Motorola revoluciona el concepto de un sistema monocanal al permitir dos comunicaciones en un solo canal de 12.5 kHz con licencia ya que utiliza TDMA. Para la nueva red de radiocomunicaciones de la Empresa Eléctrica Quito utilizaremos éste modo de conexión IP SITE CONNECT, con éste sistema se permite que los radios participen en las llamadas sin importar el sitio (repetidor) donde se originen. En la configuración de conexión IP de sitio, los repetidores se comunican entre ellos a través de una red auxiliar basada en IP con enlaces de microonda.

### **2.4.2 UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE REPETICIÓN**

De acuerdo con el estudio presentado en el capítulo uno sobre la descripción de la red VHF analógica actual de la Empresa Eléctrica Quito y tomando en cuenta los



requerimientos de la misma, se decide diseñar la nueva la red digital manteniendo los mismos sitios o nodos de repetición. Exceptuando en el repetidor de El Troje que se recomienda reubicarlo hacia el Cerro Atacazo, el cual posee mayor altura y basado en su ubicación geográfica puede brindar cobertura hacia la parte sur del Distrito Metropolitano de Quito.

Considerando el crecimiento de la red eléctrica de la Empresa Eléctrica Quito, y basados en requerimientos de expandir el área de cobertura hacia la parte oriente de su área de concesión, se recomienda expandir el área de cobertura de la nueva red de radiocomunicación digital hacia los cerros Tres Cruces y Reventador ubicados en la provincia de Napo y Sucumbíos respectivamente brindando servicio a empleados de esa zona de la Empresa Eléctrica Quito.

Nombre	Latitud	Longitud	Provincia	Cantón	Altura(m)
Cerro Atacazo	00°19'05.10"S	78°36'08.10"W	Pichincha	Quito	3893
Cerro Tres Cruces	00°16'22.60"S	77°45'53.80"W	Napo	El Chaco	1980
Cerro Reventador	00°02'33.90"S	77°31'44.10"W	Sucumbíos	Gonzalo Pizarro	1600

**Tabla XX.2 Ubicación de los Nuevos Sitios de Repetición<sup>38</sup>**

En la figura 2.15 se muestra la ubicación de todos los sitios que formarían parte de la nueva red VHF digital.

---

<sup>38</sup> Fuente: CONATEL. (2012). Coordenadas de Referencia.



Figura XX.15 Ubicación Sitios de Repetición Nueva Red VHF.

### 2.4.3 DISEÑO DE LA TOPOLOGÍA FÍSICA DEL SISTEMA VHF DIGITAL

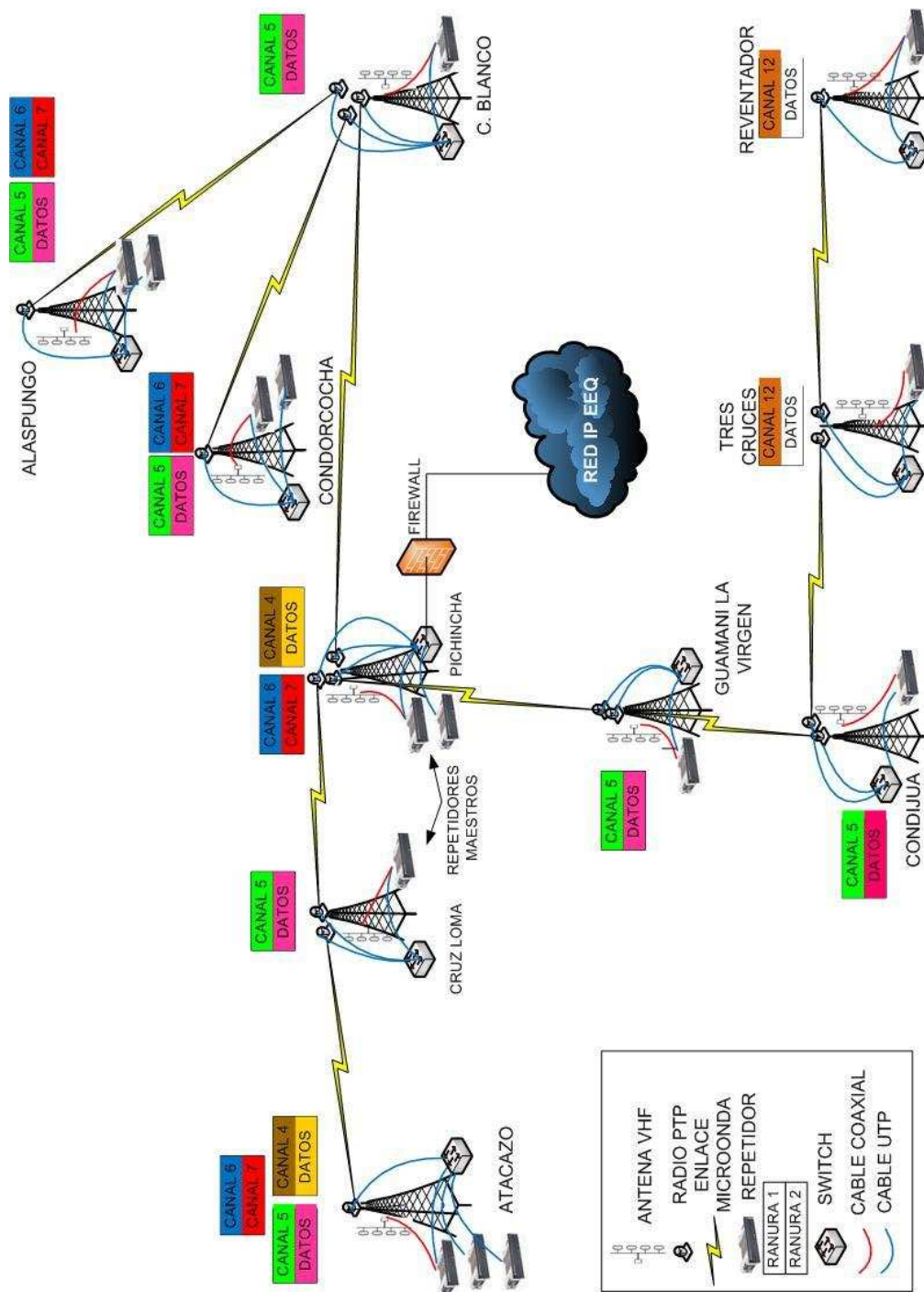


Figura XX.16 Diseño Topología Física del Sistema VHF Digital.

Para el diseño de la nueva red de radiocomunicaciones digital de la Empresa Eléctrica Quito, utilizamos el modo de conexión IP de Sitio que ofrece el sistema Mototrbo de Motorola.

La topología física del sistema digital está diseñada de manera que todos los sitios se comuniquen entre sí con enlaces microonda punto a punto. La configuración es en forma de estrella, tomando como punto central el repetidor ubicado en el Cerro Pichincha. Se justifica éste modo de conexión ya que la red de datos actual de la Empresa Eléctrica Quito llega con fibra óptica hasta el Cerro Pichincha, de éste modo se consigue converger información con la nueva red digital VHF de radiocomunicación.

El nuevo sistema de radiocomunicación digital, con tecnología TDMA permite duplicar el número de llamadas por repetidor. Ésta gran ventaja nos permite ubicar el canal adecuado para ser transmitido por la ranura 1 o 2 del repetidor digital.

En la gráfica anterior se observa la nueva distribución de los repetidores digitales. Ya que el modo de operación actual de la Empresa Eléctrica Quito señala que los canales requieren una zona más amplia que brinde servicio de radiocomunicación, y basándonos en los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito, se recomienda ampliar el área de cobertura de los canales existentes.

#### 2.4.4 TOPOLOGÍA LÓGICA DEL SISTEMA VHF DIGITAL

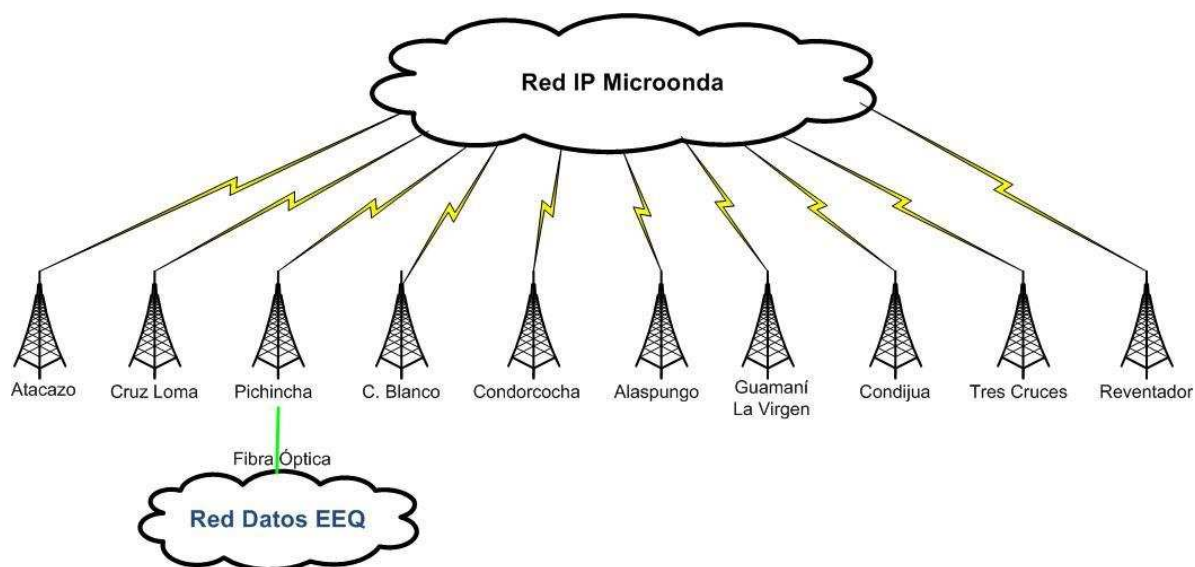


Figura XX.17 Topología Lógica del Sistema VHF Digital

La nueva red de radiocomunicaciones VHF digital permite comunicación entre todos los sitios de repetición a través de enlaces microonda que permiten interconexión IP. En Cerro Pichincha se realiza la convergencia de información entre los dispositivos de radiocomunicación con la red IP de la Empresa Eléctrica Quito.

#### 2.4.5 TIPO DE TRÁFICO

El tipo de información que se enviará a través de los enlaces microonda será en su mayoría tráfico de voz, y ya que el sistema MOTOTRBO ofrece varias aplicaciones digitales como mensajería de texto, sistema de posicionamiento global, entre otros, también se enviará tráfico de datos.

#### 2.4.6 CONSIDERACIONES SOBRE ANCHO DE BANDA

La red actual de la Empresa Eléctrica Quito trabaja con canales con licencias de 25 KHz. El proceso de conversión del ancho de banda del canal de 25 KHz a 12.5 KHz,

se realiza en el respectivo organismo regulador. Normalmente se permite transmitir en un ancho de banda de señal de 12.5 KHz en la misma frecuencia central que la licencia original de 25 KHz. Se debe tomar en cuenta que por lo general, no se permite a los usuarios dividir sus canales de 25 KHz en dos subcanales de 12.5 KHz funcionando de manera descentrada con respecto a la licencia original y adyacentes entre sí. En el Ecuador, el proceso de migración de canales hacia un ancho de banda de 12.5 KHz comienza en el año 2013.

#### **2.4.7 CONSIDERACIONES DE VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN PARA ENLACES MICROONDA**

La velocidad de transmisión de bits es la cantidad de datos transferida desde y hacia un dispositivo de red, comúnmente es llamada como ancho de banda de una red. Cuando se diseña un sistema de conexión IP de sitio, es importante entender las necesidades de cada dispositivo de conexión IP de sitio a fin de poder identificar la capacidad de la conexión de red apropiada para cada sitio. Si no se cuenta con la mínima cantidad de ancho de banda necesaria, es posible que los usuarios finales experimenten baches de audio e incluso caída de llamadas. Los comandos de RDAC<sup>39</sup> y la mensajería de datos entre radio y radio podrían no recibirse en el primer intento, o incluso podrían no recibirse en lo absoluto. En general, la calidad del servicio puede verse afectada si no se cuenta con un ancho de banda considerable.

El factor más importante para el cálculo del ancho de banda requerido de un dispositivo (repetidor) es el número de dispositivos (repetidores) que este tenga en un sistema de conexión IP. También es importante tener en cuenta el tipo de dispositivo, por ejemplo un repetidor al poseer dos intervalos o ranuras (con tecnología TDMA), puede configurarse con los dos intervalos para comunicación en

---

<sup>39</sup>RDAC: Repeater Diagnostics and Control. Es una aplicación de Motorola que permite al operador de la red Mototrbo diagnosticar y controlar los repetidores Mototrbo. Fuente: MOTOROLA. (2009). Manual del planificador del sistema. En Motorola, MOTOTRBO. EEUU.

área extensa, solo un intervalo en área extensa o ningún intervalo en área extensa; entendiéndose como área extensa cuando un repetidor transmite su información a uno o más repetidores dentro de la red.

La siguiente ecuación debe usarse para calcular el ancho de banda de cada uno de los dispositivos del sistema de conexión IP de sitio.<sup>40</sup>

Número de repetidores en el canal de área extensa para el intervalo 1. *	X	BWVC Kbps	=	Kbps
Número de repetidores en el canal de área extensa para el intervalo 2. *	X	BWVC Kbps	=	Kbps
Número total de repetidores en conexión IP de sitio. *	X	BWLM Kbps	=	Kbps
Si el repetidor es maestro, número total de repetidores de conexión IP de sitio.*	X	BWIR Kbps	=	Kbps
Tráfico introducido por RDAC			=	BWRD Kbps
<b>Ancho de banda requerido en enlaces ascendente/descendente</b>			=	<b>Kbps</b>

\*El propio dispositivo no se cuenta.

Donde:

*BWVC = 15kbps = Ancho de banda requerido para aceptar voz o datos de área extensa (para un intervalo).*

*BWLM = 6kbps = Ancho de banda requerido para aceptar gestión de enlaces.*

*BWIR = 3kbps = Ancho de banda requerido para aceptar mensajería de repetidores intermediarios.*

*BWRD = 55kbps = Ancho de banda requerido para aceptar comandos RDAC (no depende del numero de repetidores).*

A continuación se presenta la gráfica representativa del diseño de la red VHF digital de la Empresa Eléctrica Quito con los respectivos cálculos de la cantidad de información que se transmitiría de un dispositivo a otro.

---

<sup>40</sup>Fuente: MOTOROLA. (2009). Manual del planificador del sistema. En Motorola, MOTOTRBO. EEUU.

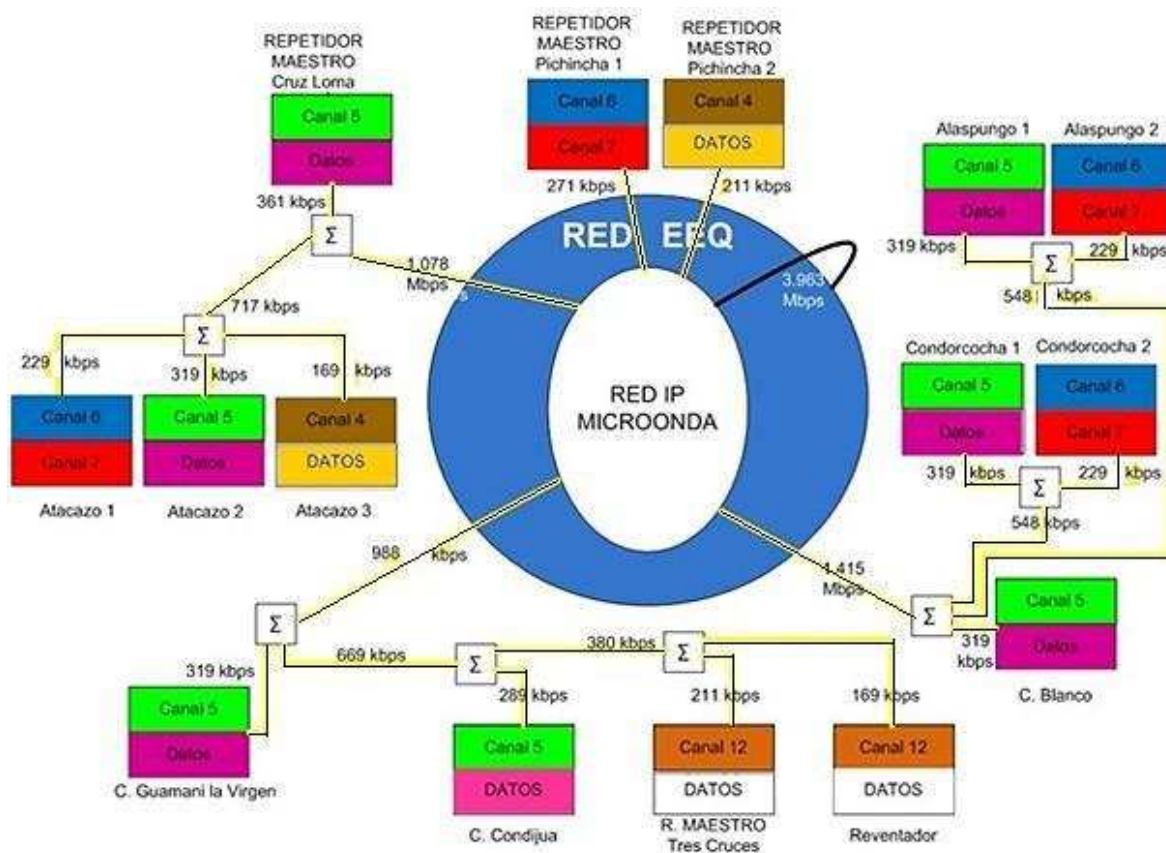


Figura XX.18 Cantidad de información en enlaces microonda para la nueva red VHF.

El siguiente cálculo se realiza para el repetidor ubicado en el Cerro Cruz Loma:

DESCRIPCIÓN	Numero de repetidores	Kbps requeridos por repetidor	Kbps totales requeridos
En Canal de área extensa para el intervalo 1*	6	x 15 Kbps	= 90 Kbps
En Canal de área extensa para el intervalo 2*	6	x 15 Kbps	= 90 Kbps
En conexión IP de sitio*	14	x 6 Kbps	= 84 Kbps
En conexión IP de sitio*(si el repetidor es maestro)	14	x 3Kbps	= 42 Kbps
Tráfico de RDAC			= 55 Kbps
<b>Ancho de banda requerido en enlaces ascendente/descendente</b>			<b>= 361 Kbps</b>



La siguiente tabla resume los cálculos de cantidad de información transmitida para todos los repetidores ubicados en cada uno de los Cerros.

	C. Cruz Loma	C. Pichincha 1	C. Pichincha 2	C. Alaspungo 1	C. Alaspungo 2	C. Condorcocha 1	C. Condorcocha 2	C. Blanco	C. Atacazo 1	C. Atacazo 2	C. Atacazo 3	C. Guamani	C. Condijua	C. Tres Cruces	C. Reventador
Número de repetidores en canales de área extensa para el intervalo 1*	6 x15	3 x15	1 x15	6 x15	3 x15	6 x15	3 x15	6 x15	3 x15	6 x15	1 x15	6 x15	6 x15	1 x15	1 x15
Número de repetidores en canales de área extensa para el intervalo 2*	6 x15	3 x15	1 x15	6 x15	3 x15	6 x15	3 x15	6 x15	3 x15	6 x15	1 x15	6 x15	6 x15	1 x15	1 x15
Número total de repetidores de conexión IP de sitio*	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6	14 x6
Si es maestro, número total de repetidores de conexión IP de sitio*	14 x3	14 x3	14 x3	0 x3	0 x3	0 x3	0 x3	0 x3	0 x3	0 x3	0 x3	0 x3	0 x3	14 x3	0 x3
Tráfico de RDAC	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
<b>Ancho de banda requerido en enlaces ascendente/descendente (Kbps)</b>	<b>361</b>	<b>271</b>	<b>211</b>	<b>319</b>	<b>229</b>	<b>319</b>	<b>229</b>	<b>319</b>	<b>229</b>	<b>319</b>	<b>169</b>	<b>319</b>	<b>289</b>	<b>211</b>	<b>169</b>

**Tabla XX.3 Cantidad de información en enlaces microonda para la nueva red VHF**

La suma de todo éste tráfico de información da como resultado 3.963 Mbps que serán integrados a la red de datos de la Empresa Eléctrica Quito.

## 2.4.8 EJEMPLO DE NUEVAS INSTALACIONES EN EL CERRO PICHINCHA

A continuación se presenta un ejemplo del equipamiento necesario en el Cerro Pichincha para la nueva red digital VHF de la Empresa Eléctrica Quito.

<b>CERRO PICHINCHA</b>	
<b>Ubicación</b>	
Latitud	00°10'8.11"S
Longitud	78°31'25.7"O
Altura	3584,9 m
<b>Repetidor Motorola DGR6175</b>	
Frecuencias de Trabajo	136-174 MHz
Espaciamiento del canal	12.5 KHz
Sensibilidad Digital	0.3 uV
Sensibilidad Analógica	0.3 uV
<b>Radios PTP Microonda</b>	
Modelo	3 x Motorola PTP07800
Antena	3 x Motorola 2ft HP Antenna 85010089045 –Direct
Ganancia de la Antena	30.46 dB
<b>Switch CISCO</b>	
Modelo	Catalyst Serie 2960-24LT-L
Puertos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 24 x 10/100</li> <li>• 2 puertos SFP de doble uso</li> </ul>
<b>Antena VHF</b>	
Rango de Frecuencias	165-174MHz
Modelo	4 Dipolos Configuración Offset
Altura de la Antena al Piso	25 m
<b>Equipamiento</b>	
Duplexor	Sinclair Q2220e
Cable Antena VHF - Duplexor	Coaxial RG8U Belden 9913 Longitud 30 m
Cables para el enlace PIDU - ODU	Coaxial CNT400
PIDU	3 x CMU PTP 800
Fuente de Poder	Power Supply 2010
Cargador de Baterías	Vmark PC-2420 <sup>a</sup>
Baterías	BOSH S2000 12 V dc
Rack	1.5 m

**Tabla XX.4 Equipamiento en Cerro Pichincha**

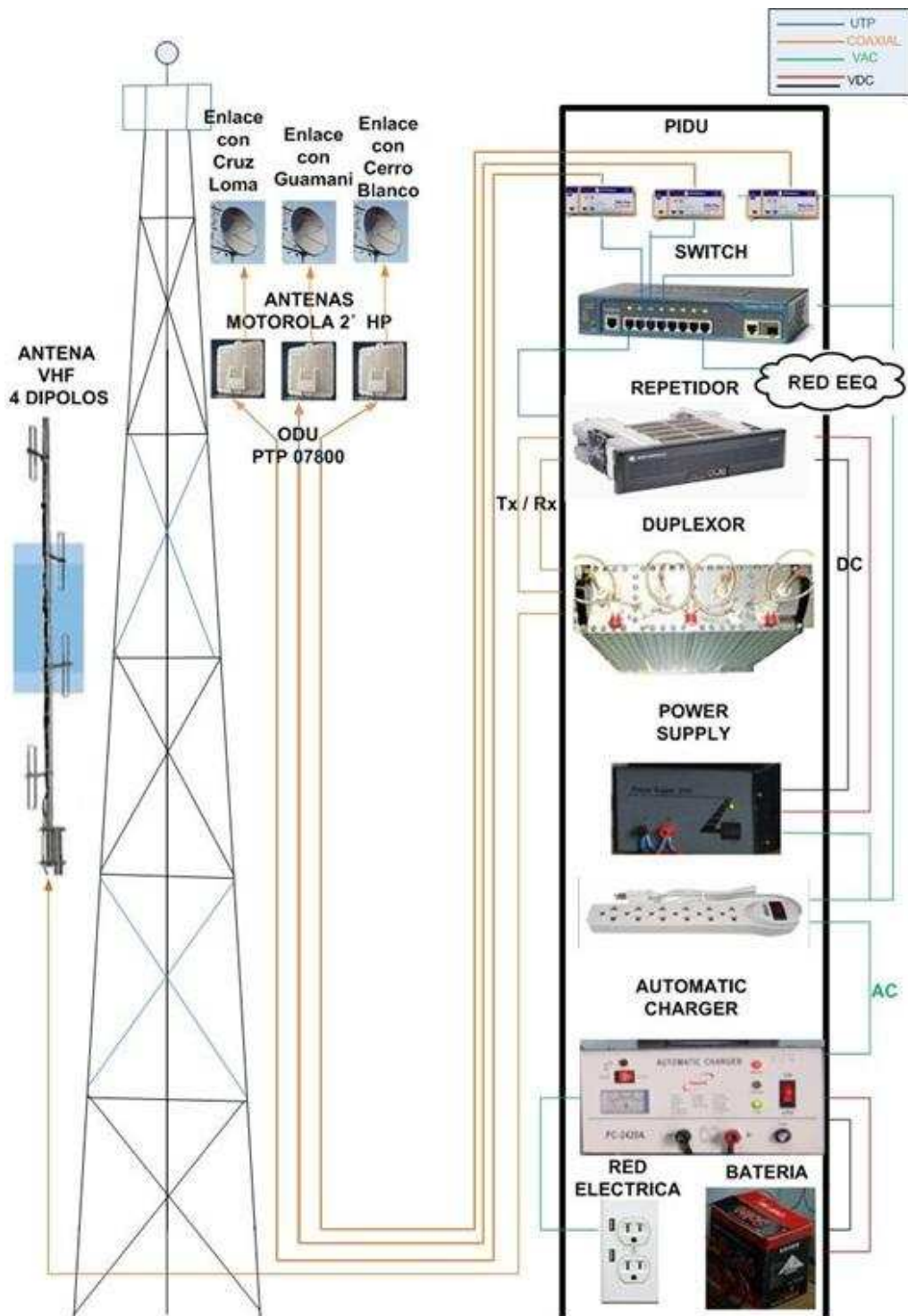


Figura XX.19 Esquema de Conexiones Nuevas en Cerro Pichincha.

En las instalaciones nuevas se mantiene el sistema VHF para brindar cobertura, pero se reemplaza el repetidor analógico por uno digital. En lugar de radio base y una antena yagi VHF se coloca el enlace microonda PTP (Point to Point). También se debe incluir un Switch al que se encuentran conectados el enlace microonda y el repetidor.

El enlace PTP está constituido en cada extremo por una unidad exterior (ODU) y una unidad interior alimentada (PIDU). Cada unidad exterior incluye un transceiver para transmisión y recepción. Las ODUs pueden venir integradas o conectorizadas. La versión integrada incluye antena incorporada, mientras que la versión conectorizada debe ser conectada a una antena externa que le incrementa la ganancia. La unidad interior se conecta a su unidad exterior a través de cable Coaxial. Esta unidad interior se conecta con la red de área local mediante un conector RJ-45 estándar. Cada PIDU transporta datos y energía al ODU.

## **2.5 ÁREAS DE COBERTURA**

A continuación se presenta las respectivas áreas de cobertura para el nuevo sistema de radiocomunicaciones de la Empresa Eléctrica Quito simuladas en el software Radio Mobile.

### 2.5.1 COBERTURA PARA CANAL 5

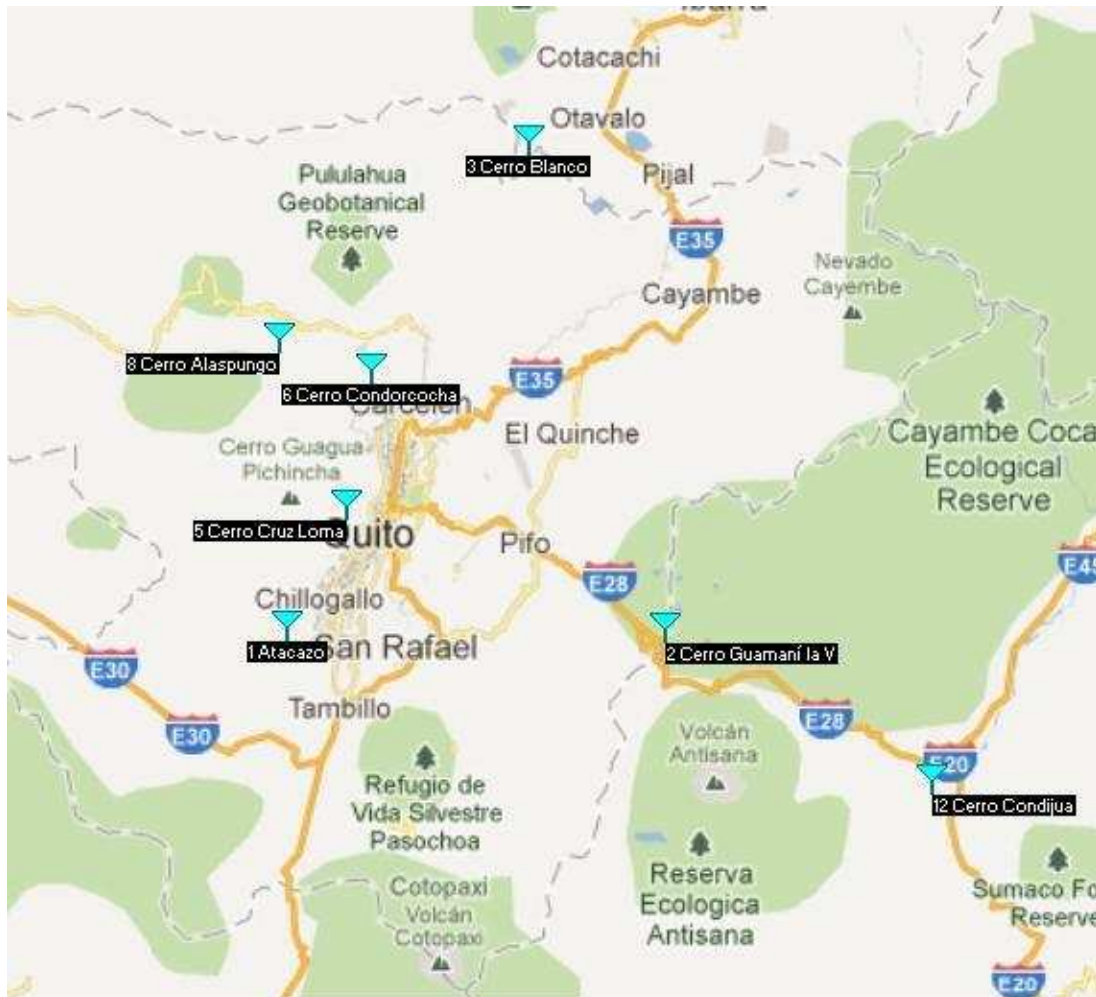


Figura XX.20 Mapa Geográfico del Canal 5.

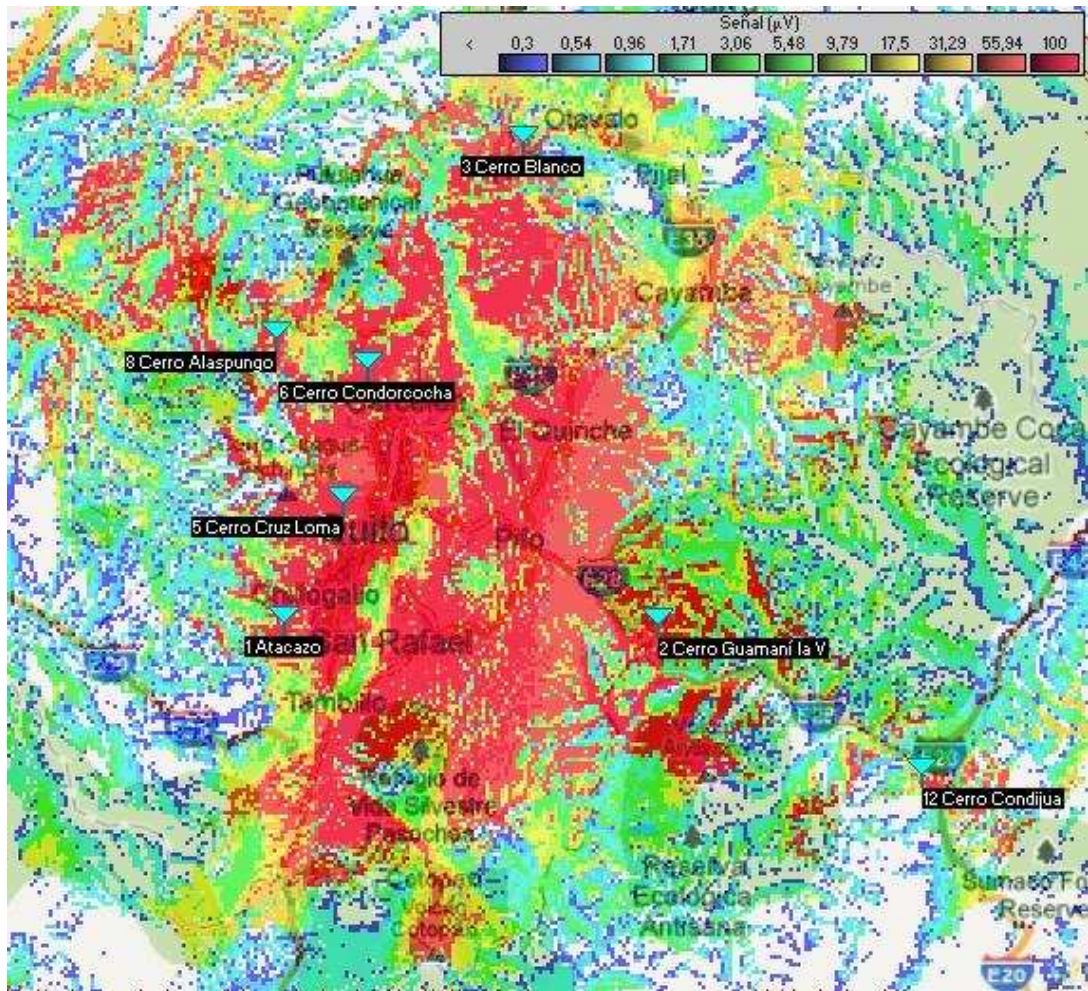


Figura XX.21 Nueva Cobertura para Canal 5.

La cobertura del canal 5 trabaja en área extensa configurado en la primera ranura de los repetidores ubicados en: Cerro Cruz Loma, Cerro Atacazo, Cerro Guamaní La Virgen, Cerro Condijua, Cerro Blanco, Cerro Condorcocha y Cerro Alaspungo.

## 2.5.2 COBERTURA PARA CANAL 6

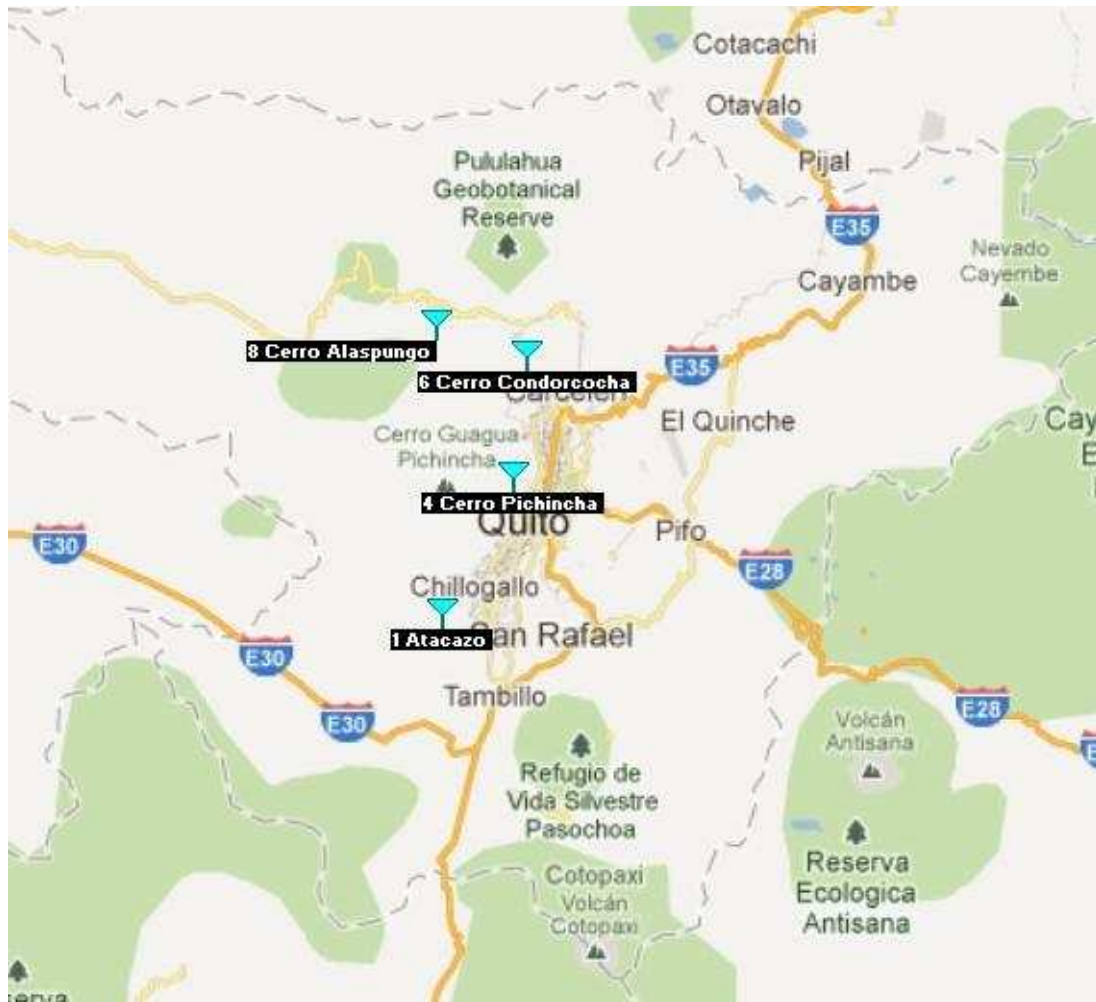


Figura XX.22 Mapa Geográfico del Canal 6.

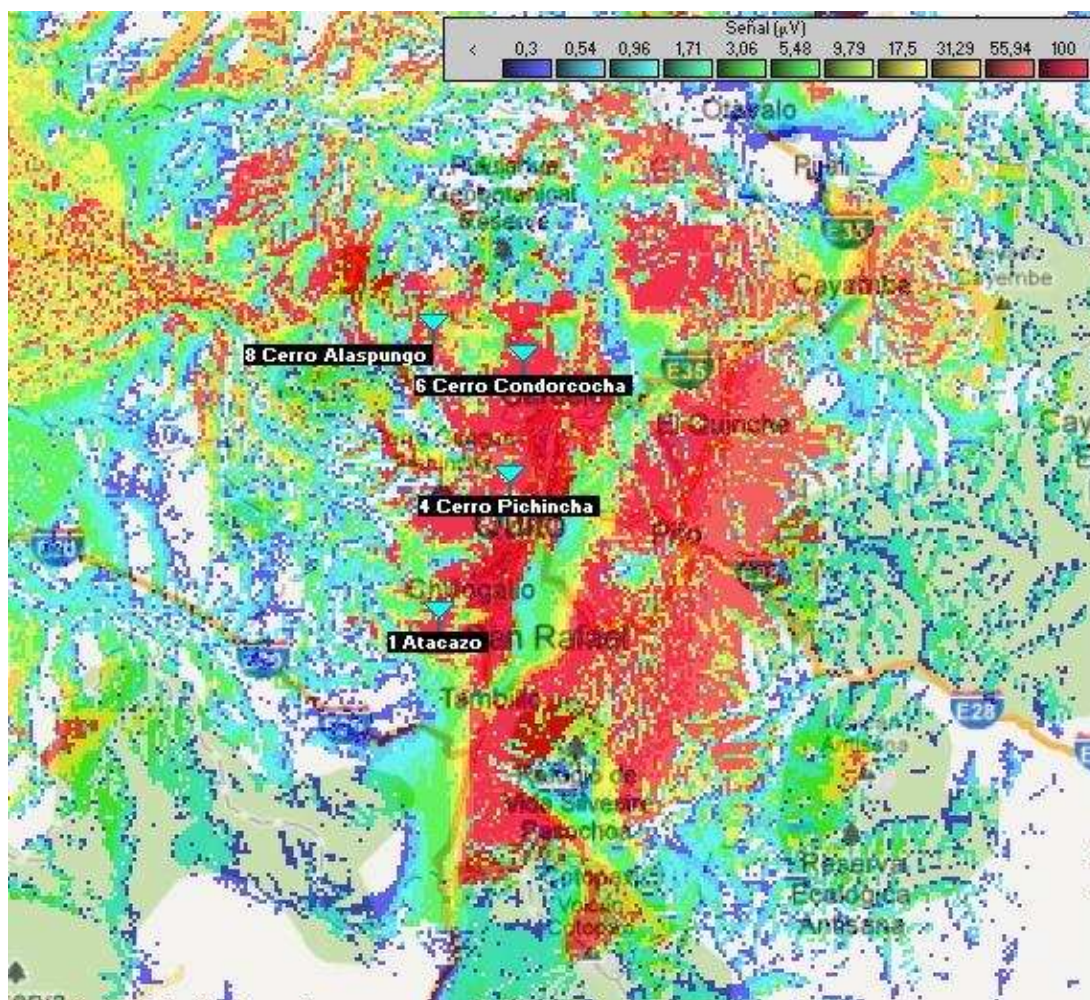


Figura XX.23 Nueva Cobertura para Canal 6.

La cobertura del canal 6 trabaja en área extensa configurado en la primera ranura de los repetidores ubicados en: Cerro Atacazo, Cerro Pichincha, Cerro Condorcocha y Cerro Alaspungo.



### 2.5.3 COBERTURA PARA CANAL 4



Figura XX.24 Mapa Geográfico del Canal 4.

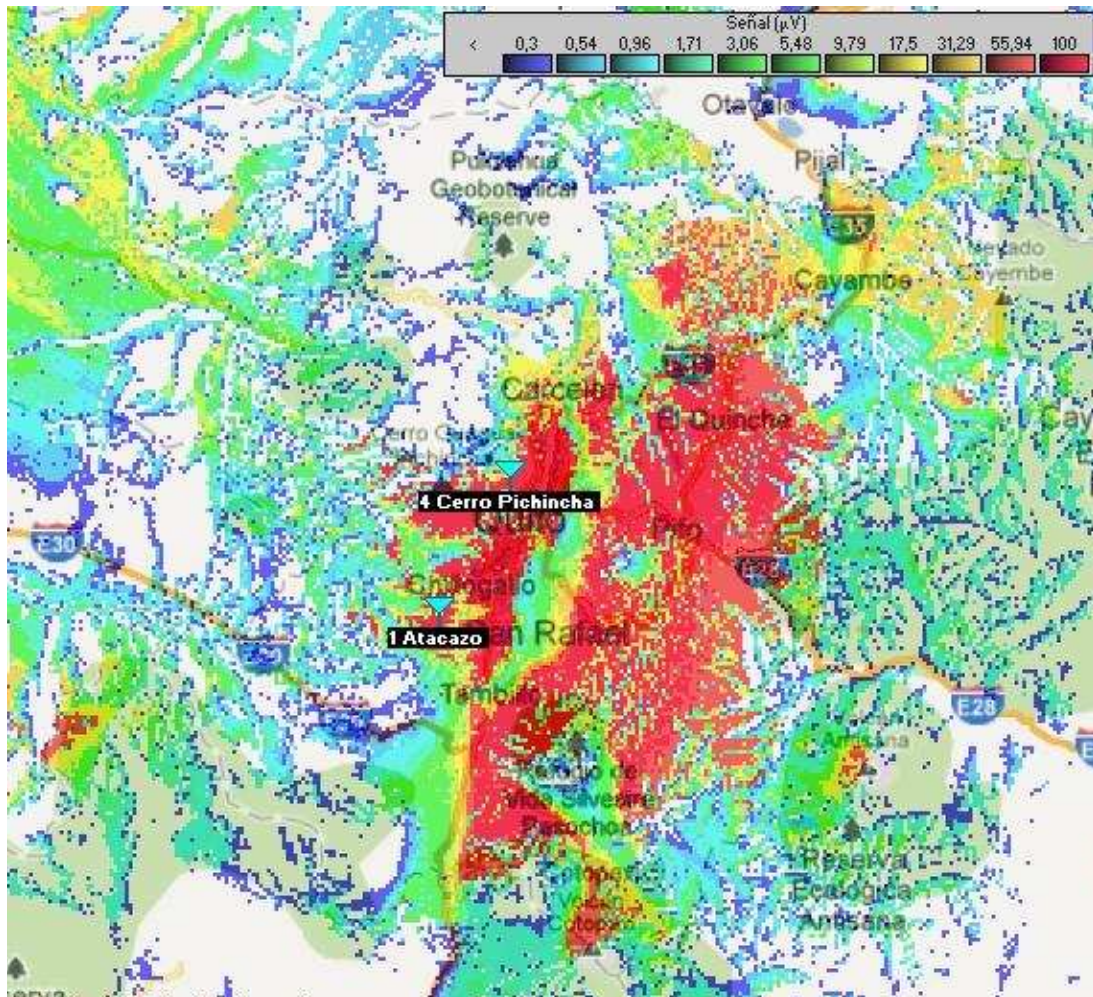


Figura XX.25 Nueva Cobertura para Canal 4.

La cobertura del canal 4 trabaja en área extensa configurado en la primera ranura de los repetidores ubicados en: Cerro Atacazo y Cerro Pichincha.

## 2.5.4 COBERTURA PARA CANAL 7



Figura XX.26 Mapa Geográfico del Canal 7.

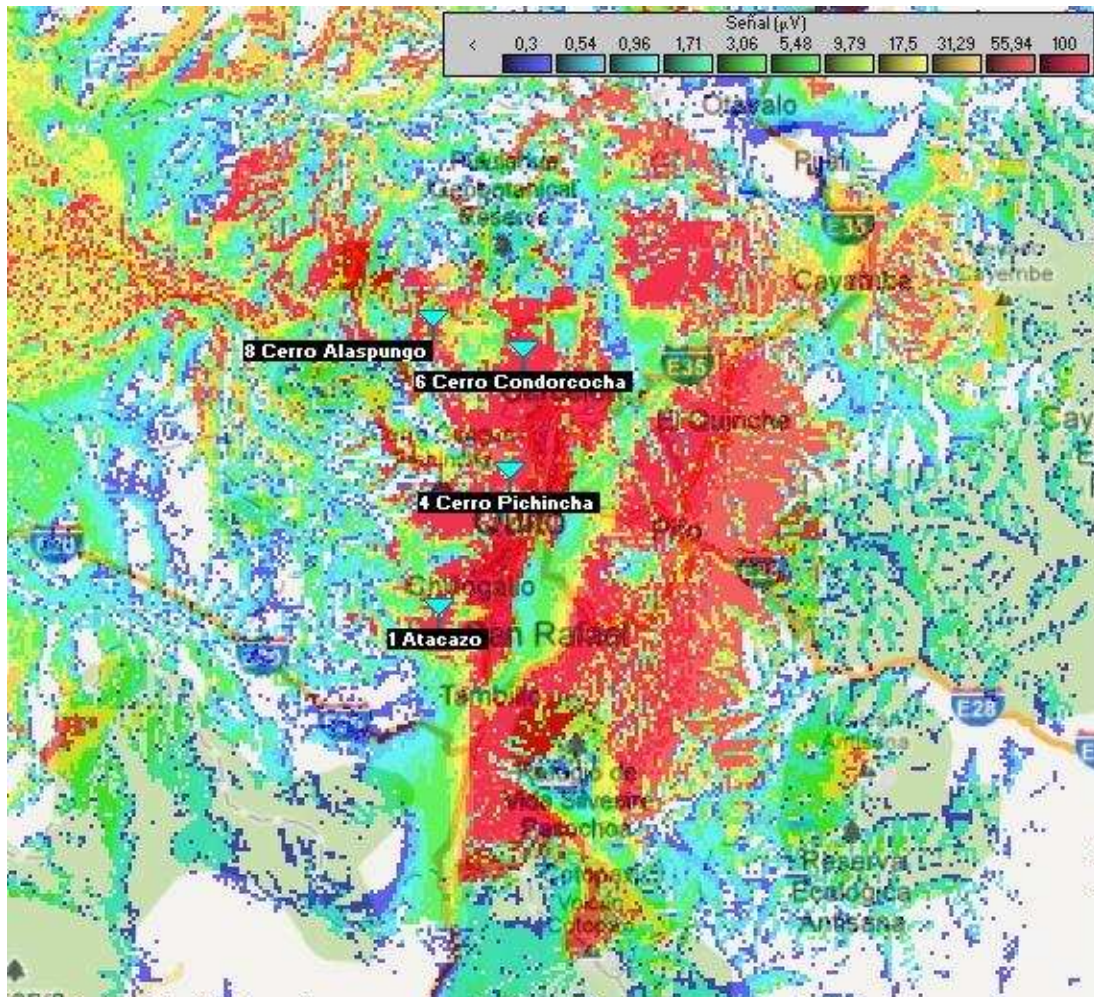


Figura XX.27 Nueva Cobertura para Canal 7.

La cobertura del canal 7 trabaja en área extensa configurado en la segunda ranura de los repetidores ubicados en: Cerro Atacazo, Cerro Pichincha, Cerro Condorcocha y Cerro Alaspungo.

## 2.5.5 COBERTURA PARA CANAL 12

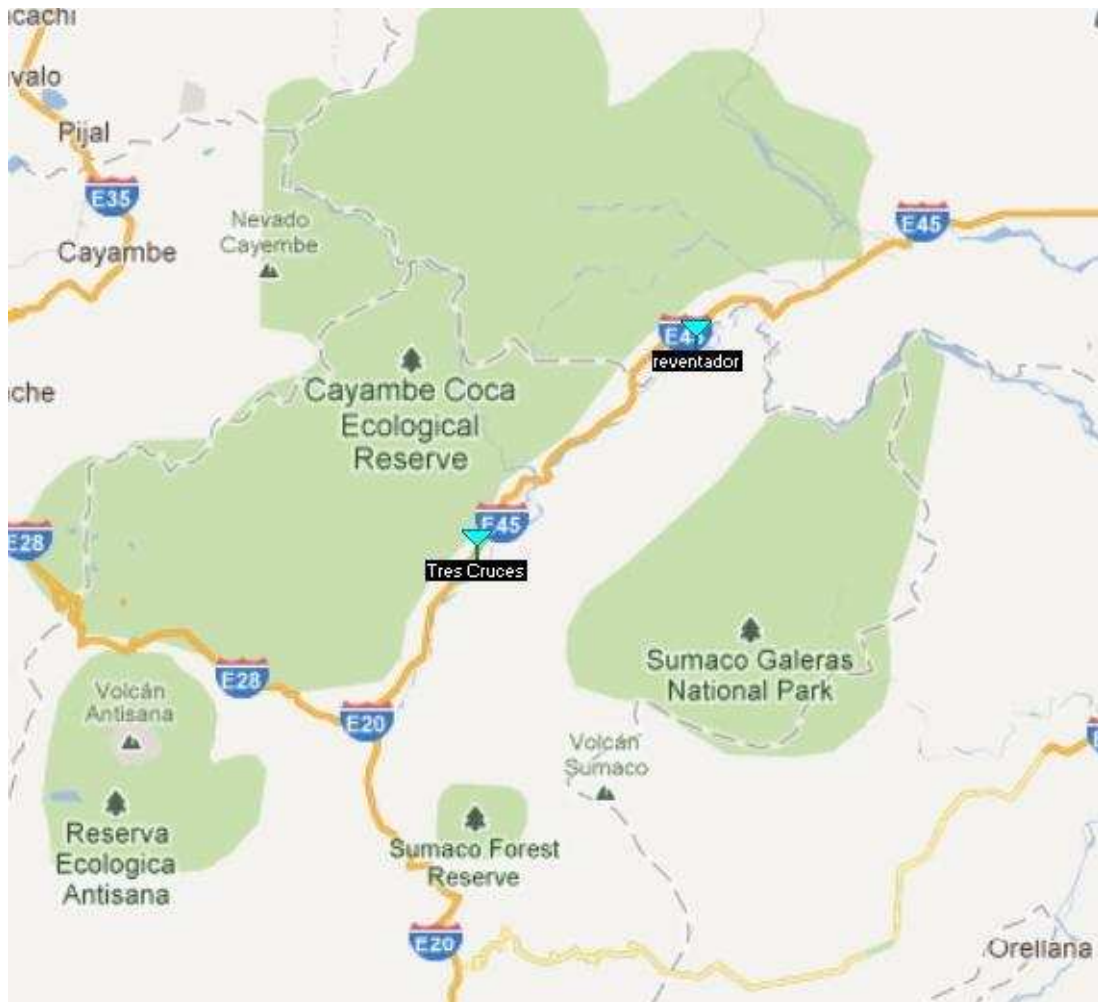


Figura XX.28 Mapa Geográfico del Canal 12.

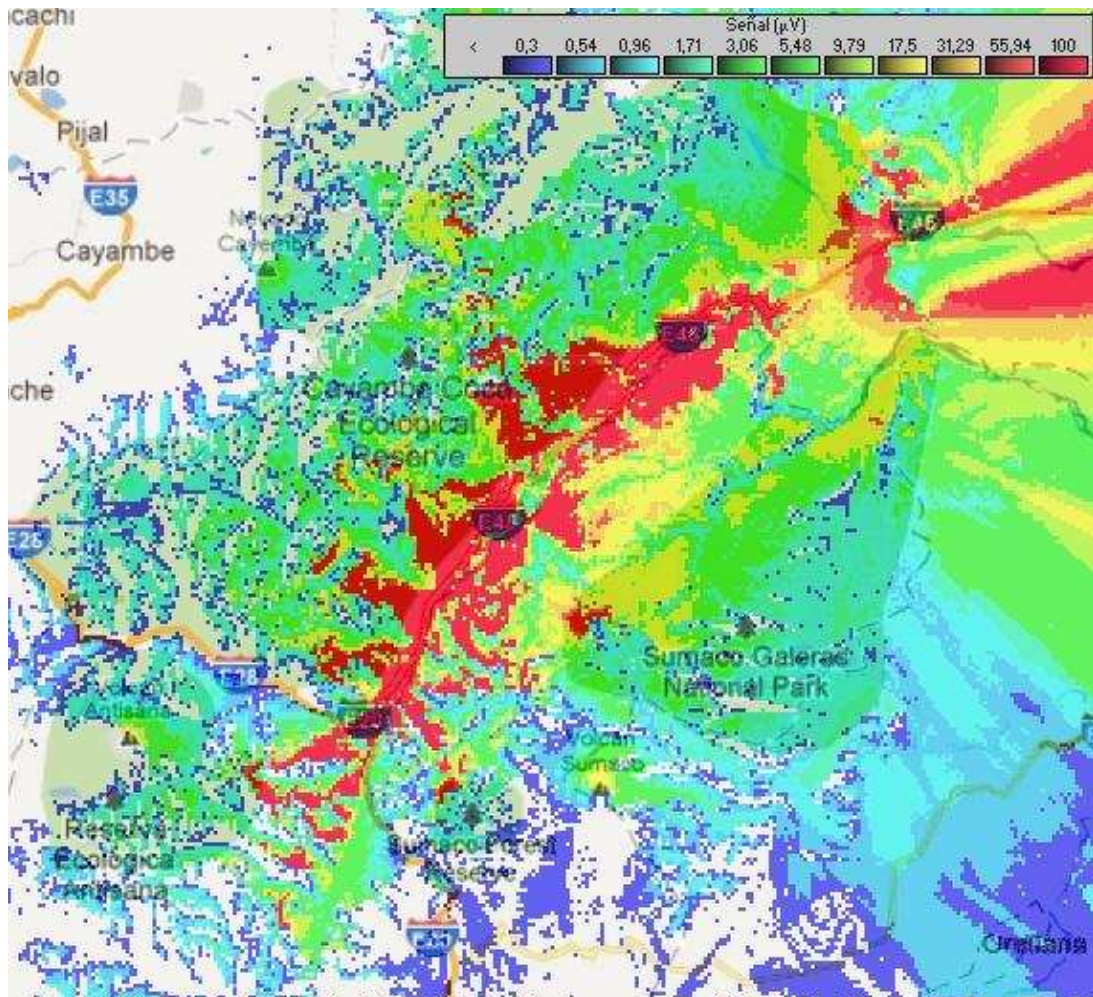


Figura XX.29 Nueva Cobertura para Canal 12.

La cobertura del canal 12 se configura en la primera ranura de los repetidores ubicados en el Cerro Tres Cruces y Cerro Reventador.

## **2.6 SOFTWARE PTP LINKPLANNER<sup>41</sup>**

Para simular los enlaces de microonda utilizaremos el software de simulación PTPLinkPlanner desarrollado por la compañía Motorola. Éste software nos permite recrear situaciones hipotéticas del enlace, tales como geografía del lugar, altura de la antena, potencia de transmisión; además ofrece la opción de escoger entre los diferentes modelos de radios PTP para simular el ambiente más próximo a la realidad. El modelo LinkPlanner permite planificar los enlaces de manera eficiente constituyendo una función que ahorra tiempo y optimiza el rendimiento de un sistema antes de adquirirlo.

En LinkPlanner se manejan tres conceptos básicos: Con/Sin Línea de Vista, Arquitectura y Datos de Entrada/Salida.

### **2.6.1 LOS Y NLOS**

En el ambiente de trabajo de la serie PTP (Point to Point) de Motorola se señala si el enlace tiene línea de vista (LOS line of sight), o no tiene línea de vista (NLOS none line of sight). Mediante el ajuste de la altura de antena y potencia de transmisión, PTP LinkPlanner utiliza la información de la trayectoria del perfil topográfico para predecir la fiabilidad del enlace y la velocidad de transmisión de los datos.

### **2.6.2 ARQUITECTURA**

PTP LinkPlanner puede predecir enlaces establecidos en cualquier parte del mundo, ya que cumple con las recomendaciones respectivas de la ITU<sup>42</sup>: ITU-R P.526-10 y

---

<sup>41</sup>Nota: Los siguientes conceptos son recopilados de la Guía de Usuario de PTP LinkPlanner, Versión 2.7.0, 2008 -2011 Motorola Solutions.

ITU-R P.530-12. Para obtener los datos del perfil de la trayectoria se pueden descargar los mapas de varias aplicaciones, entre ellas Google Earth. Dependiendo de la precisión de los mapas, las obstrucciones como árboles o edificios pueden afectar al perfil de la trayectoria, en tal caso deberá realizarse una corrección estimada. La arquitectura del software trabaja con cuatro conceptos:

- **Proyecto.** Es el paquete de información relacionada a los sitios y enlaces de una red inalámbrica.
- **Sitio.** Es la localización del radio PTP que constituye la ODU (Out Door Unit), con su respectiva antena.
- **Enlace.** Es la conexión inalámbrica entre dos sitios.
- **Ruta.** Es un enlace inalámbrico alternativo entre dos unidades de diferentes de sitios, cuando cada sitio posee múltiples unidades.

### 2.6.3 DATOS DE ENTRADA / SALIDA

Los principales datos de entrada usados en PTP LinkPlanner son los siguientes:

- Nombre del sitio, posición y máxima altura de la antena
- Detalles del equipo PTP
- Requerimientos mínimos del desempeño de cada enlace
- Perfil de terreno sobre toda la trayectoria del enlace
- Información sobre obstrucciones o puntos de reflexión que puedan afectar al enlace.

En base a los datos de entrada, PTP LinkPlanner presenta un informe en el cual se resume los datos de salida del sistema que detallan el desempeño de cada enlace.

---

<sup>42</sup>ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones: Organismo de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones entre las distintas administraciones y empresas operadoras.



## **2.7 SIMULACIÓN DE ENLACES MICROONDAS DE LA RED VHF DIGITAL**

Los enlaces microonda permiten el funcionamiento de los canales que se comunican en área extensa dentro del nuevo sistema VHF de la Empresa Eléctrica Quito.

De acuerdo con los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito, los enlaces microonda deben trabajar en una banda licenciada. Para lo cual se recomienda trabajar en la banda de los 7GHz, esta banda actualmente se encuentra disponible para trabajar en los 10 cerros distribuidos a lo largo del área de concesión. Los respectivos trámites de legalización y asignación de frecuencias que no corresponden el presente proyecto de titulación deben realizarse en el organismo regulador CONATEL.

El diseño de los enlaces microonda entre los diferentes sitios de repetición se realiza con el software de simulación PTP LinkPlanner de Motorola. El equipamiento a utilizar son los radios microonda PTP07800 que funcionan en la banda de los 7 GHz, y tienen capacidad de transmisión de 10 Mbps con un ancho de banda de canal de 7 MHz y modulación QPSK.

A continuación se detallan los pasos a seguir para obtener la simulación de cada uno de los enlaces microonda.

- Se ingresan los datos de los sitios de repetición, tales como coordenadas geográficas y altura de la antena al suelo.

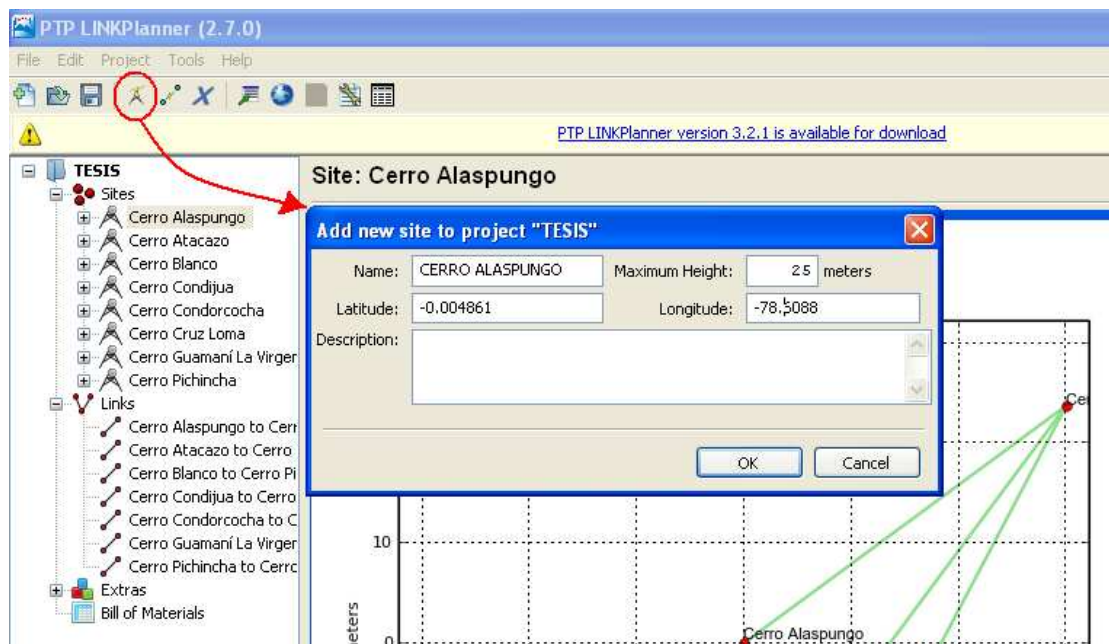


Figura XX.30 Creación de Sitios en PTPLinkPlanner.

- Se realiza la configuración de los enlaces, donde se escoge la frecuencia de trabajo (7GHz), tipo de radio (PTP07800) y antena (Motorola 2 ft HP 85010089045) con una ganancia de 30.46 dB.



Figura XX.31 Creación de Enlaces en PTPLinkPlanner.

- Los datos del sistema son enviados vía e-mail a Motorola. Al descargar la respuesta del correo electrónico se obtiene el perfil topográfico de cada enlace.

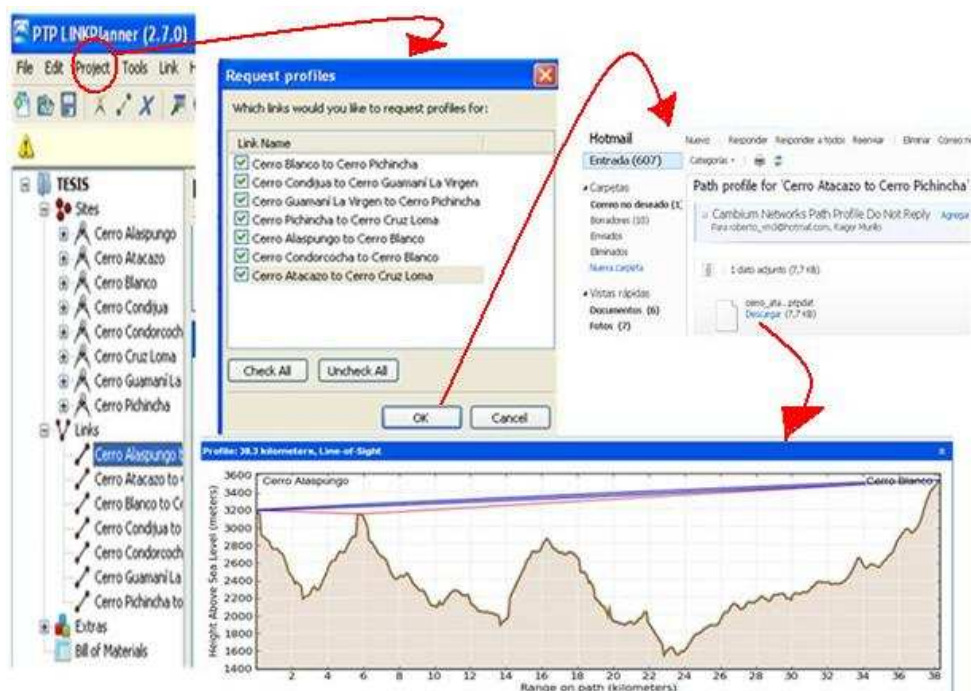


Figura XX.32 Obtención de Perfil Topográfico vía email en PTP LinkPlanner.

- PTP Link Planner permite exportar el proyecto a Google Earth donde podemos observar todos los enlaces de microonda configurados.

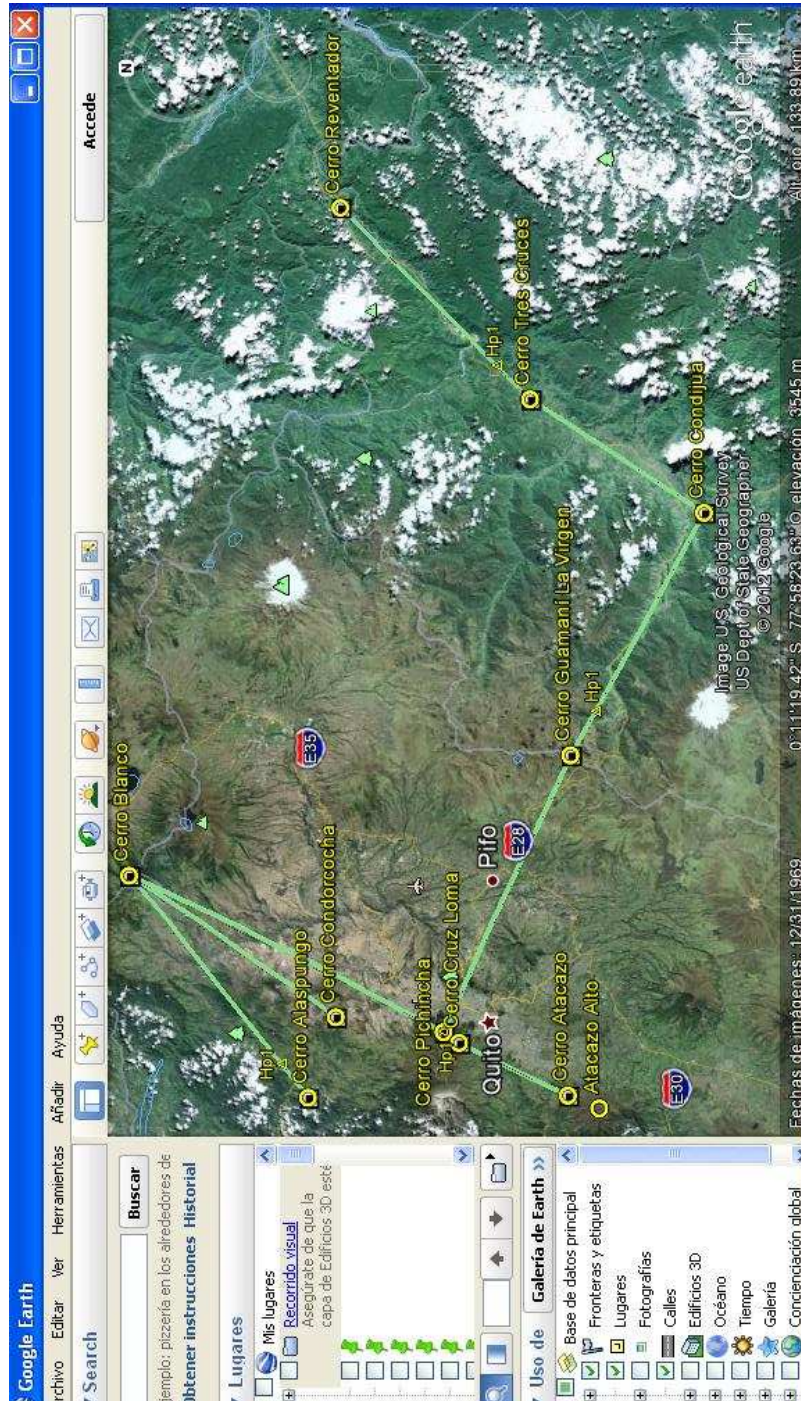


Figura XX.33 Enlaces Microonda en Google Earth.

- En la siguiente gráfica podemos observar en 3 dimensiones el enlace entre Cerro Cruz Loma y Cerro Pichincha.

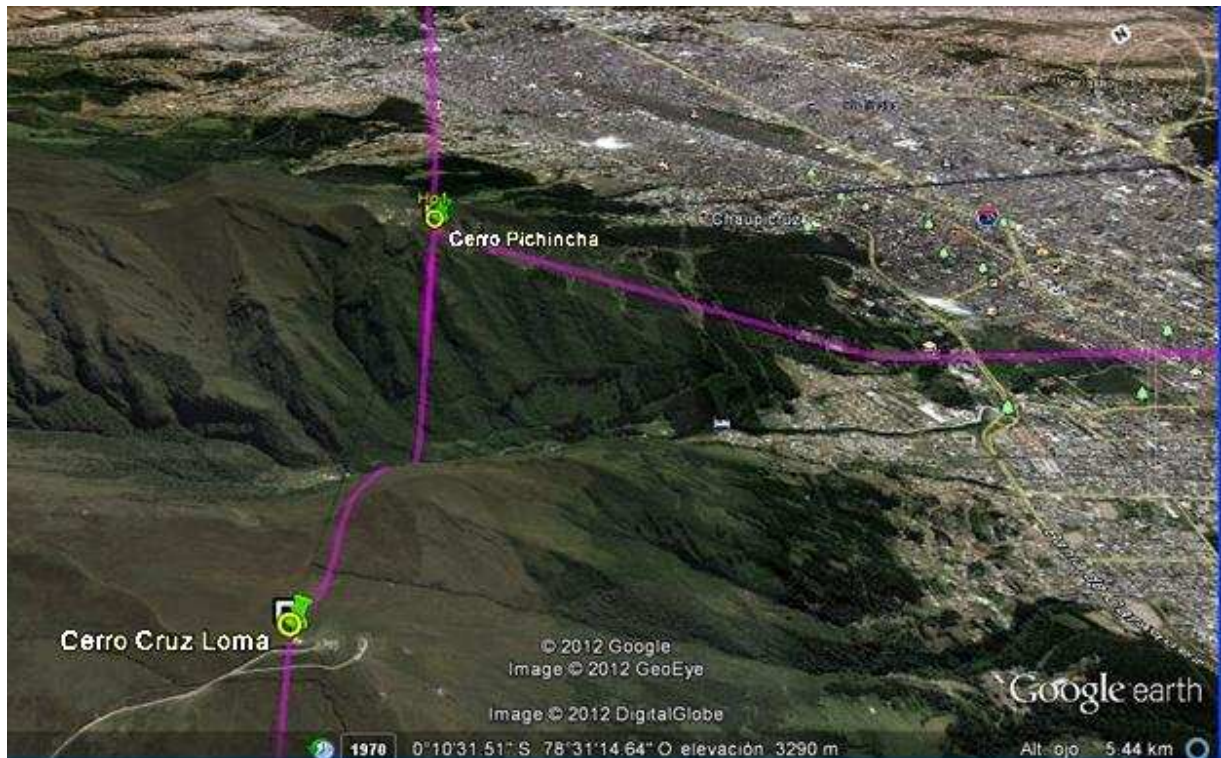


Figura XX.34 Enlace Cerro Cruz Loma - Cerro Pichincha en 3D.

En la parte final de la simulación se presenta el reporte sobre el rendimiento de cada uno de los enlaces microonda, teniendo en cuenta que encada uno de ellos existe línea de vista.

Project TESIS - 1, Project Summary

Link name	Product	Local antenna	Remote antenna	Max aggregate IP throughput (Mbps)
Cerro Blanco to Cerro Pichincha	PTP07800 with ODU-A	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	20.10
Cerro Condiujua to Cerro Guamaní La Virgen	PTP07800 with ODU-A	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	20.10
Cerro Guamaní La Virgen to Cerro Pichincha	PTP07800 with ODU-A	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	20.10
Cerro Pichincha to Cerro Cruz Loma	PTP07800 with ODU-A	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	20.10
Cerro Alaspungo to Cerro Blanco	PTP07800 with ODU-A	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	20.10
Cerro Condrococha to Cerro Blanco	PTP07800 with ODU-A	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	20.10
Cerro Atacazo to Cerro Cruz Loma	PTP07800 with ODU-A	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	20.10
Cerro Condiujua to Cerro Tres Cruces	PTP07800 with ODU-A	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	20.10
Cerro Tres Cruces to Cerro Reventador	PTP07800 with ODU-A	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	Cambium Networks 2R HP Antenna 85010089045 - Direct	20.10



# Project TESIS

## PTP LINKPlanner Proposal Report

12 May 2012

Roberto Villalba  
 Organisation: EPN  
 Phone: 098022832  
 Email: roberto\_vm3@hotmail.com

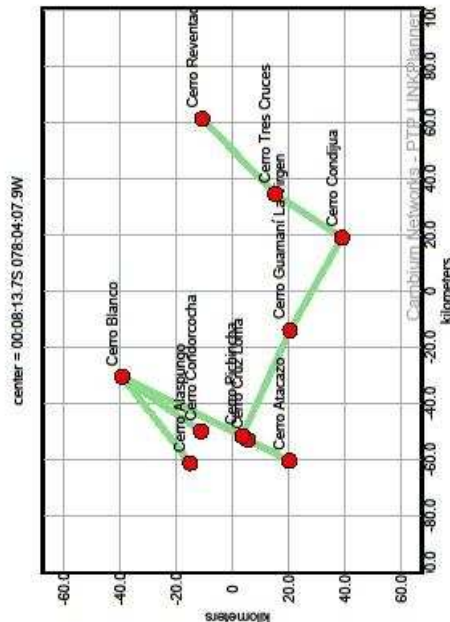
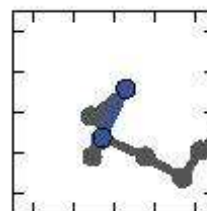


Figura XX.35 Sumario del Proyecto en PTP LinkPlanner

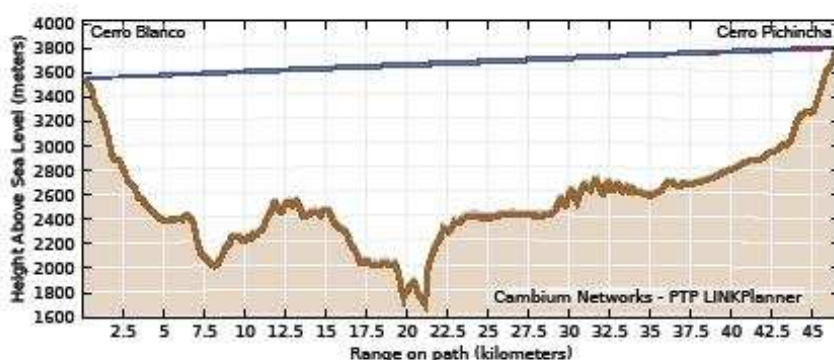


### Cerro Blanco to Cerro Pichincha



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m



	Performance to Cerro Blanco	Performance to Cerro Pichincha	
Mean IP	10.0 Mbps	10.0 Mbps	
IP Availability	99.99995 % for 1.0 Mbps	99.99995 % for 1.0 Mbps	
Link Summary			
Link Length	46.646 km	System Gain	181.87 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	38.33 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	20.1 Mbps
Modulation	QPSK 0.88 (10.05Mbps)	Annual Link Availability	99.99995 %
Bandwidth	7 MHz	Annual Link Unavailability	16 secs/year
Total Path Loss	143.54 dB	Prediction Model	ITU-R
Performance Charts			

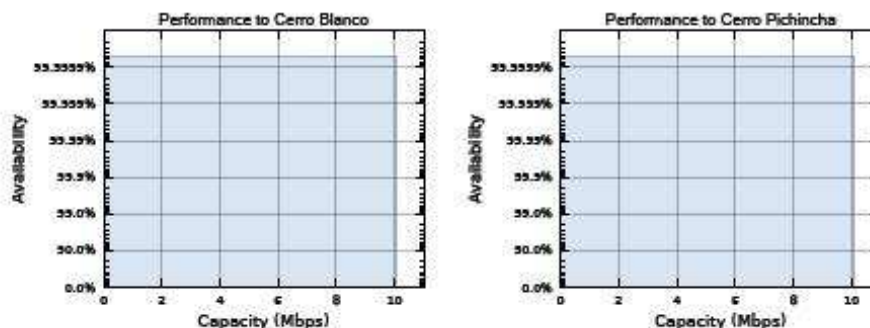


Figura XX.36 Enlace Cerro Blanco – Cerro Pichincha en PTP LinkPlanner.

## 2.7.1 DESCRIPCIÓN DEL ENLACE CERRO BLANCO – CERRO PICHINCHA

A continuación se realiza los cálculos respectivos para obtener los resultados mostrados por el software PTPLinkPlanner.

### 2.7.1.1 Datos del sistema

DATOS DEL SISTEMA	VALOR
Distancia del enlace	46.646 Km
Frecuencia de trabajo	7 GHz
Potencia de Tx	1 W = 30 dBm
Ganancia antena de Tx	30.46 dB
Ganancia antena de Rx	30.46 dB
Sensibilidad Rx	6.75 uV ó -90.4 dBm
Modulación	QPSK
Ancho de Banda del Canal	7 MHz
Throughput	10.05 Mbps

Tabla XX.5 Datos del Sistema – Software PTPLinkPlanner

### 2.7.1.2 Potencia de Transmisión

Modulation	Transmit Power													
	Maximum Transmit Power – ETSI (dBm)								Maximum Transmit Power – FCC (dBm)					
	Frequency (GHz)													
	6, 7, 8	11	13, 15	18	23, 26	28	32	38	16	11	18	23, 26	38	
QPSK	30.0	28.0	26.0	26.0	25.0	25.0	23.0	23.0	22.0	19.0	23.0	23.0	20.0	
8PSK	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	22.0	19.0	22.0	22.0	19.0	
16 QAM	28.0	26.0	23.0	22.0	22.0	22.0	21.0	20.0	22.0	19.0	22.0	22.0	19.0	
32 QAM	28.0	26.0	23.0	22.0	22.0	20.0	19.0	20.0	22.0	19.0	22.0	22.0	19.0	
64 QAM	24.0	21.0	18.0	17.0	17.0	17.0	16.0	16.0	22.0	19.0	17.0	17.0	15.0	
128 QAM	24.0	21.0	18.0	17.0	17.0	17.0	16.0	16.0	22.0	19.0	17.0	17.0	15.0	
256 QAM	22.0	19.0	16.0	15.0	15.0	15.0	14.0	14.0	22.0	19.0	15.0	15.0	13.0	

Tabla XX.6 Datos del Sistema – Potencia de Transmisión del Equipo PTP07800.<sup>43</sup>

<sup>43</sup> Fuente: MOTOROLA. (2011). Motorola PTP800 Licensed Ethernet Microwave.



La tabla 2.6 muestra las diferentes potencias de transmisión de los equipos para enlaces punto a punto de Motorola PTP07800. Para nuestro caso trabajamos en la banda de los 7GHz y utilizando modulación QPSK, que corresponden a una potencia de transmisión de 30 dBm.

### 2.7.1.3 Sensibilidad del Receptor

La siguiente tabla muestra la sensibilidad del receptor de -90.4 dBm trabajando en la banda de los 7 GHz y modulación QPSK.

Receive Sensitivity									
BER – 1e-6	Modulation	Frequency (GHz)							
		6, 7, 8	11	13, 15	18	23, 26	28	32	38
Receive Sensitivity @ 7 MHz channel (dBm)	128 QAM	-76.5	N/A	-77.0	-77.0	-76.5	-76.0	-75.5	-74.5
	64 QAM	-78.8	N/A	-79.3	-79.3	-78.8	-78.3	-77.8	-76.8
	32 QAM	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	16 QAM	-83.7	N/A	-84.2	-84.2	-83.7	-83.2	-82.7	-81.7
	8PSK	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	QPSK	-90.4	N/A	-90.9	-90.9	-90.4	-89.9	-89.4	-88.4

Tabla XX.7 Datos del Sistema – Sensibilidad del Receptor

### 2.7.1.4 Throughput

Se define como el volumen de información que fluye en las redes de datos. Para los enlaces de microonda el valor del throughput depende de la configuración del ancho de banda del canal y del tipo de modulación utilizada. La siguiente tabla muestra la variación del valor de throughput (Mbps) en función del ancho de banda del canal y modulación del sistema.

User Ethernet Data Throughput												
Modulation	Maximum Throughput – Mbps (1518 Bytes/Frame)											
	Channel Bandwidth (MHz)											
	7	13.75	14	27.5	28/ 29.65	55	56/60	10	20	30	40	50
256 QAM-H	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	364.9	368.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
256 QAM-L	N/A	N/A	N/A	166.9	170.4	343.6	347.1	N/A	113.6	177.4	236.5	301.6
128 QAM	34.4	69.8	71.0	148.0	151.1	300.4	303.5	50.7	102.2	155.1	206.8	258.6
64 QAM	30.0	60.7	61.8	122.7	125.3	252.6	255.2	42.2	84.9	130.4 / 135.5 <sup>a</sup>	181.8	217.4
32 QAM	24.6	49.9	50.7	99.1	101.2	200.7	202.7	34.7	67.8	103.6	150.7	178.6
16 QAM	20.0	40.6	41.3	73.3	74.8	150.9	152.4	28.2	56.5	77.9	103.8	150.5
8PSK	14.7	29.9	30.4	55.7	56.8	114.6	115.8	20.8	40.3	59.1	78.9	103.7
QPSK	10.05	20.0	20.3	37.0	37.8	76.3	77.1	13.9	28.5	39.4	52.5	65.7

Tabla XX.8 Variación del Throughput en función del Ancho de Banda del canal y Tipo de Modulación

## 2.7.2 RESULTADOS DEL ENLACE

El software de simulación PTP LinkPlanner presenta los siguientes resultados del sistema que detallan el desempeño para el enlace Cerro Blanco – Cerro Pichincha.

RESULTADOS DEL SISTEMA	VALOR
Pérdidas en el espacio libre	143.54 dB
Margen de desvanecimiento	38.33 dB
Ganancia del Sistema	181.87 dB
Confiabilidad del Enlace	99.99995 %
Tasa de datos globales	20.1 Mbps

Tabla XX.9 Resultados del Enlace C. Pichincha – C. Blanco en PTP LinkPlanner.

### 2.7.2.1 Perdidas en el espacio libre

Utilizamos la ecuación 1.1 para calcular las pérdidas por espacio libre.

$$L = (32.44 + 20 \log f + 20 \log d)$$

$$L = (32.44 + 20 \log 7000 + 20 \log 46.646)$$

$$L = 142.72 \text{ dB}$$

### 2.7.2.2 Potencia de entrada al receptor

Utilizamos la ecuación 1.6 para calcular la potencia en el receptor.

$$Pin(dBm) = Ptx(dBm) + Ganancia\ de\ las\ antenas(Tx\ y\ Rx)(dB) - Perdidas(dB)$$

$$Pin(dBm) = 30(dBm) + 30.46(dB) + 30.46(dB) - 142.72(dB)$$

$$Pin(dBm) = -51.8(dBm)$$

### 2.7.2.3 Margen de desvanecimiento

En el software PTP LinkPlanner el margen de desvanecimiento se describe con el nombre de margen de ganancia del sistema. Para determinarlo se emplea la ecuación 1.11.

$$MD(dB) = Pin(dBm) - U(dB)$$

Donde,

*MD* = Margen de Desvanecimiento

*Pin* = Potencia de entrada

*U* = Sensibilidad del receptor

$$MD(dB) = -51.8(dBm) - (-90.4)(dBm)$$

$$MD(dB) = 38.6\ dB$$

### 2.7.2.4 Confiabilidad del Enlace

Representa el grado en que el enlace se encuentra en condiciones de proporcionar el servicio para el que fue diseñado, se expresa en forma porcentual y se refiere al período de tiempo de un año durante el cual no se producen interrupciones en el enlace, es decir no existen pérdidas parciales o completas de la señal.

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

Margen de Desvanecimiento (dB)	Confiabilidad (%)	Tiempo de Indisponibilidad
8	90	36.5 días
18	99	3.65 días
28	99.9	8.76 horas
38	99.99	52.56 minutos
48	99.999	5.25 minutos

Tabla XX.10 Margen de Desvanecimiento – Confiabilidad del Enlace<sup>44</sup>

Para el enlace entre Cerro Blanco y Cerro Pichincha tenemos un margen de desvanecimiento de 38.6 dB que corresponde a un grado de confiabilidad de 99.990%.

#### 2.7.2.5 Ganancia del Sistema

El software de simulación PTP LinkPlanner define la ganancia del sistema como la suma de potencia del transmisor más las ganancias de las antenas de transmisión y recepción menos la sensibilidad del equipo receptor.

$$\text{Ganancia del sistema} = P_{tx}(\text{dBm}) - U(\text{dBm}) + G_{tx}(\text{dB}) + G_{rx}(\text{dB})$$

$$\text{Ganancia del sistema} = 30(\text{dBm}) + 90.4(\text{dBm}) + 30.46(\text{dB}) + 30.46(\text{dB})$$

$$\text{Ganancia del sistema} = 181.32(\text{dB})$$

---

<sup>44</sup> FREEMAN, R. L. (1999). Fundamentals of Telecommunications. Toronto: JOHN WILEY & SONS, INC.

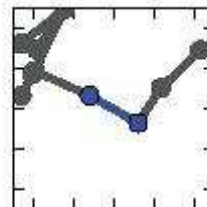
### **2.7.2.6 Tasa de datos globales**

Se refiere a la capacidad total de transmisión a través del enlace, y se obtiene de la suma de la tasa de datos en ambos sentidos (transmisión y recepción). Tomando en cuenta que en un ancho de banda del canal de 7MHz y utilizando modulación QPSK se tiene un volumen de información de 10.05 Mbps, se obtiene una tasa de datos globales de 20.1 Mbps.

**Nota:** Para los siguientes enlaces se presentan únicamente los resultados del software de simulación Motorola PTP Link Planner.

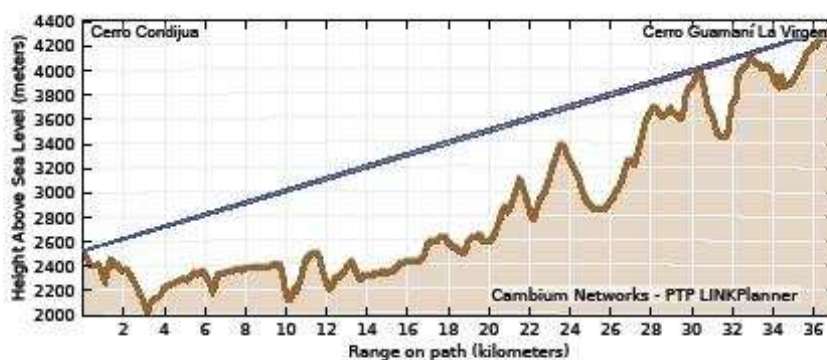


### Cerro Condijua to Cerro Guamaní La Virgen



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m      Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 10 m



	Performance to Cerro Condijua	Performance to Cerro Guamaní La Virgen	
Mean IP	10.0 Mbps	10.0 Mbps	
IP Availability	99.99996 % for 1.0 Mbps	99.99996 % for 1.0 Mbps	
Link Summary			
Link Length	37.042 km	System Gain	181.87 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	40.37 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	20.1 Mbps
Modulation	QPSK 0.88 (10.05Mbps)	Annual Link Availability	99.99996 %
Bandwidth	7 MHz	Annual Link Unavailability	13 secs/year
Total Path Loss	141.51 dB	Prediction Model	ITU-R
Performance Charts			

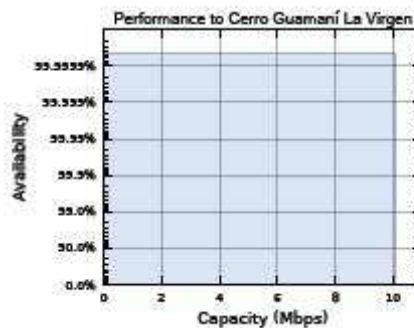
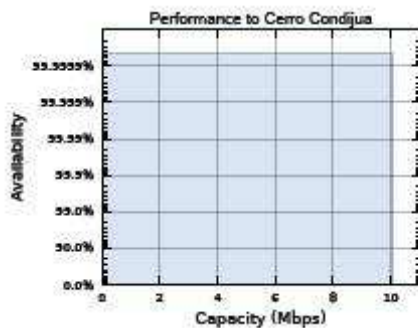
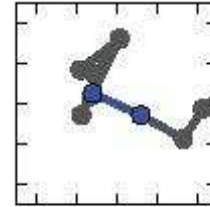


Figura XX.37 Enlace Cerro Condijua – Cerro La Virgen en PTP LinkPlanner.



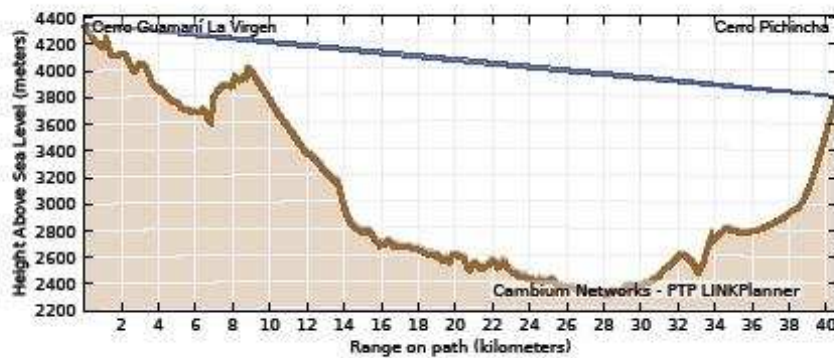
### Cerro Guamaní La Virgen to Cerro Pichincha



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 10 m

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m



	Performance to Cerro Guamaní La Virgen	Performance to Cerro Pichincha	
Mean IP	10.0 Mbps	10.0 Mbps	
IP Availability	99.99996 % for 1.0 Mbps	99.99996 % for 1.0 Mbps	
Link Summary			
Link Length	40.561 km	System Gain	181.87 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	39.60 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	20.1 Mbps
Modulation	QPSK 0.88 (10.05Mbps)	Annual Link Availability	99.99996 %
Bandwidth	7 MHz	Annual Link Unavailability	12 secs/year
Total Path Loss	142.28 dB	Prediction Model	ITU-R
Performance Charts			

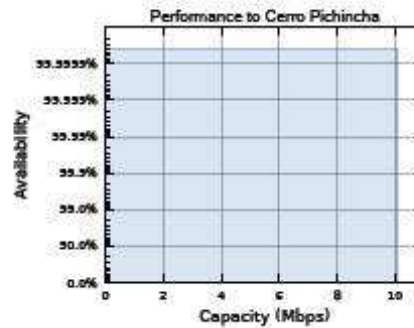
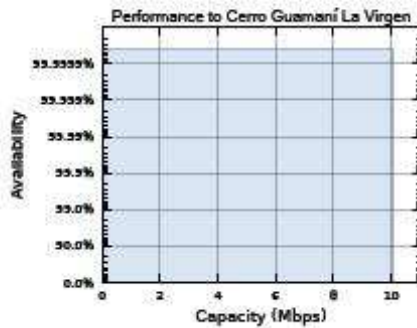
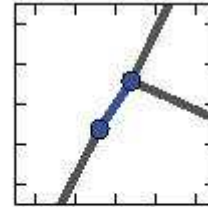


Figura XX.38 Enlace Cerro La Virgen – Cerro Pichincha en PTP LinkPlanner.

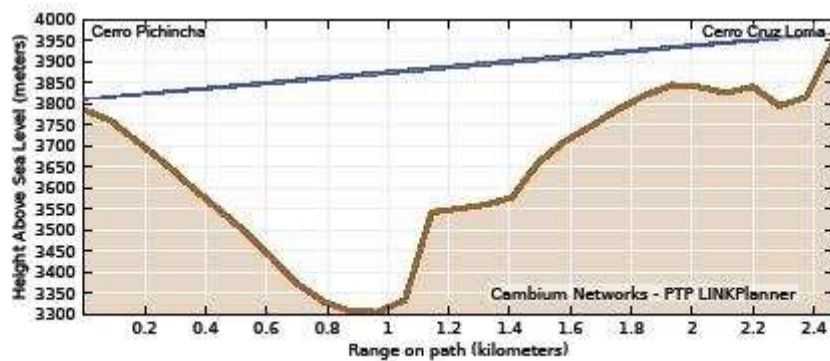


### Cerro Pichincha to Cerro Cruz Loma



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m      Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m



	Performance to Cerro Pichincha	Performance to Cerro Cruz Loma	
Mean IP	10.0 Mbps	10.0 Mbps	
IP Availability	100.00000 % for 1.0 Mbps	100.00000 % for 1.0 Mbps	
Link Summary			
Link Length	2.462 km	System Gain	181.87 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	64.08 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	20.1 Mbps
Modulation	QPSK 0.88 (10.05Mbps)	Annual Link Availability	100.00000 %
Bandwidth	7 MHz	Annual Link Unavailability	0 secs/year
Total Path Loss	117.79 dB	Prediction Model	ITU-R
Performance Charts			

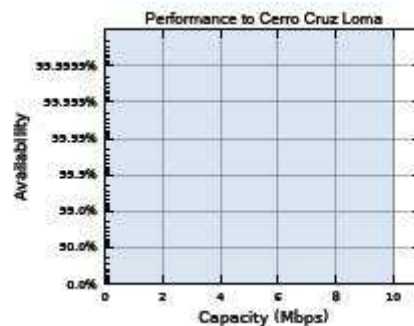
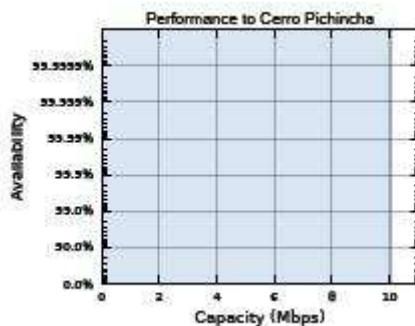
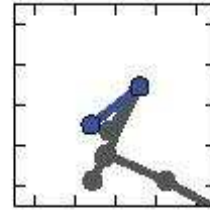


Figura XX.39 Enlace Cerro Pichincha – Cerro Cruz Loma en PTP LinkPlanner.



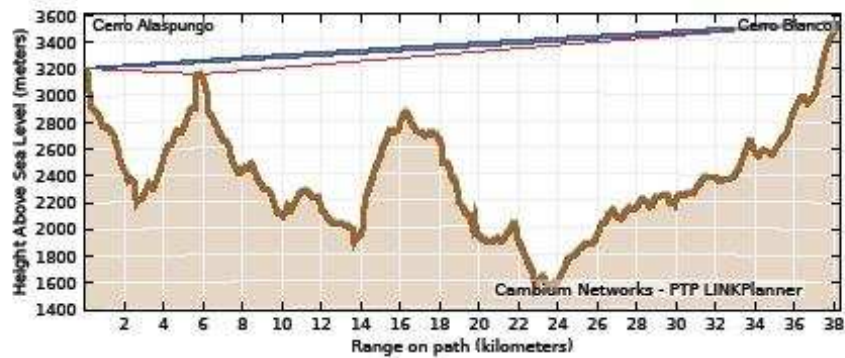


## Cerro Alaspungo to Cerro Blanco



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m



	Performance to Cerro Alaspungo	Performance to Cerro Blanco	
Mean IP	10.0 Mbps	10.0 Mbps	
IP Availability	99.99997 % for 1.0 Mbps	99.99997 % for 1.0 Mbps	
Link Summary			
Link Length	38.294 km	System Gain	181.87 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	40.07 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	20.1 Mbps
Modulation	QPSK 0.88 (10.05Mbps)	Annual Link Availability	99.99997 %
Bandwidth	7 MHz	Annual Link Unavailability	9 secs/year
Total Path Loss	141.81 dB	Prediction Model	ITU-R
Performance Charts			

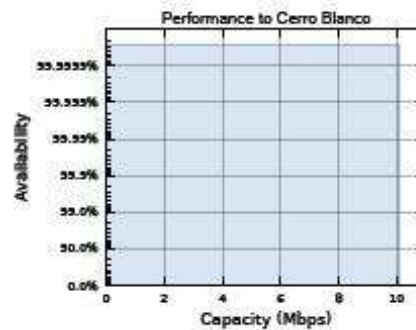
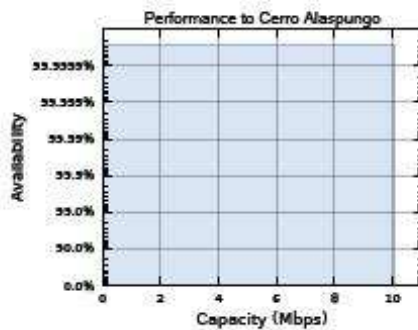
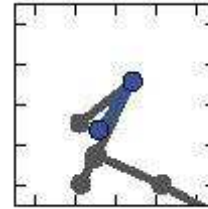


Figura XX.40 Enlace Cerro Alaspungo – Cerro Blanco en PTP LinkPlanner.

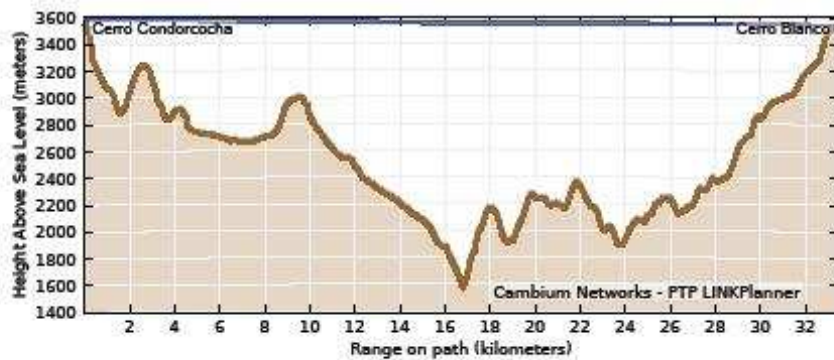


## Cerro Condorcocha to Cerro Blanco



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m      Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m



	Performance to Cerro Condorcocha	Performance to Cerro Blanco
Mean IP	10.0 Mbps	10.0 Mbps
IP Availability	99.99998 % for 1.0 Mbps	99.99998 % for 1.0 Mbps
Link Summary		
Link Length	33.437 km	System Gain      181.87 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin      41.28 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate      20.1 Mbps
Modulation	QPSK 0.88 (10.05Mbps)	Annual Link Availability      99.99998 %
Bandwidth	7 MHz	Annual Link Unavailability      6 secs/year
Total Path Loss	140.59 dB	Prediction Model      ITU-R
Performance Charts		

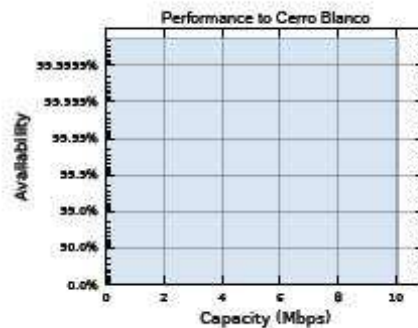
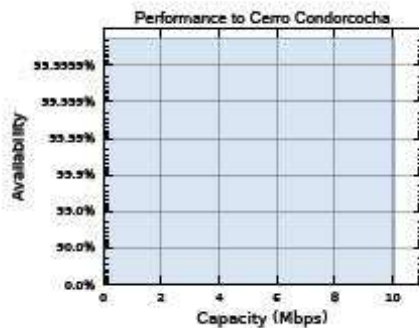
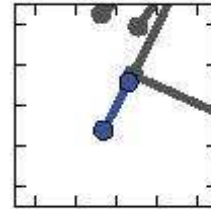


Figura XX.41 Enlace Cerro Condorcocha– Cerro Blanco en PTP LinkPlanner.

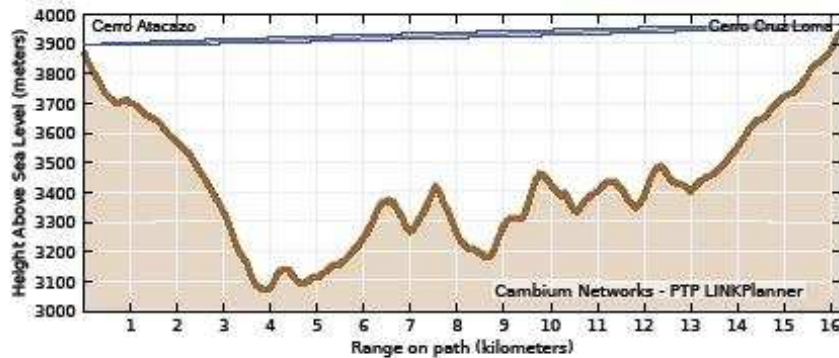


### Cerro Atacazo to Cerro Cruz Loma



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m      Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m



	Performance to Cerro Atacazo	Performance to Cerro Cruz Loma	
Mean IP	10.0 Mbps	10.0 Mbps	
IP Availability	100.00000 % for 1.0 Mbps	100.00000 % for 1.0 Mbps	
Link Summary			
Link Length	16.213 km	System Gain	181.87 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	47.66 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	20.1 Mbps
Modulation	QPSK 0.88 (10.05Mbps)	Annual Link Availability	100.00000 %
Bandwidth	7 MHz	Annual Link Unavailability	0 secs/year
Total Path Loss	134.22 dB	Prediction Model	ITU-R

Performance Charts

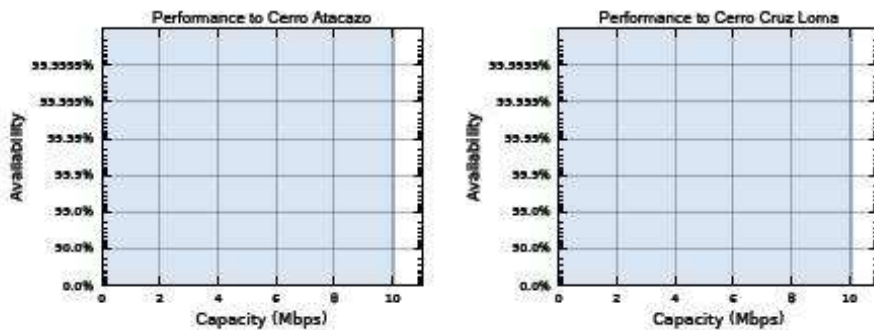
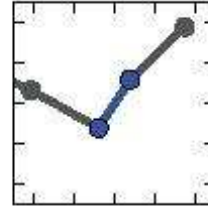


Figura XX.42 Enlace Cerro Atacazo– Cerro Cruz Loma en PTP LinkPlanner.

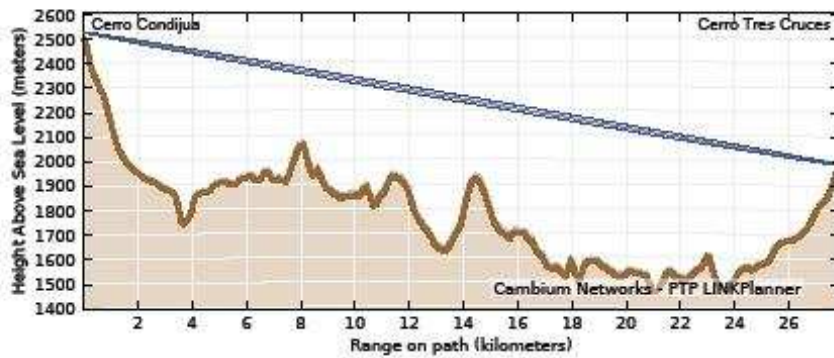


### Cerro Condijua to Cerro Tres Cruces



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m



	Performance to Cerro Condijua	Performance to Cerro Tres Cruces	
Mean IP	10.0 Mbps	10.0 Mbps	
IP Availability	99.99998 % for 1.0 Mbps	99.99998 % for 1.0 Mbps	
Link Summary			
Link Length	27.829 km	System Gain	181.87 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	42.82 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	20.1 Mbps
Modulation	QPSK 0.88 (10.05Mbps)	Annual Link Availability	99.99998 %
Bandwidth	7 MHz	Annual Link Unavailability	7 secs/year
Total Path Loss	139.05 dB	Prediction Model	ITU-R
Performance Charts			

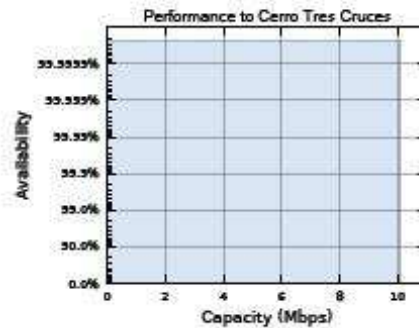
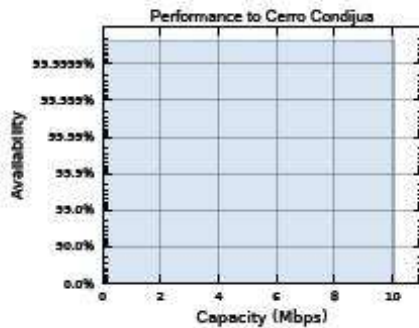
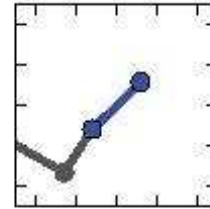


Figura XX.43 Enlace Cerro Condijua– Cerro Tres Cruces en PTP LinkPlanner.

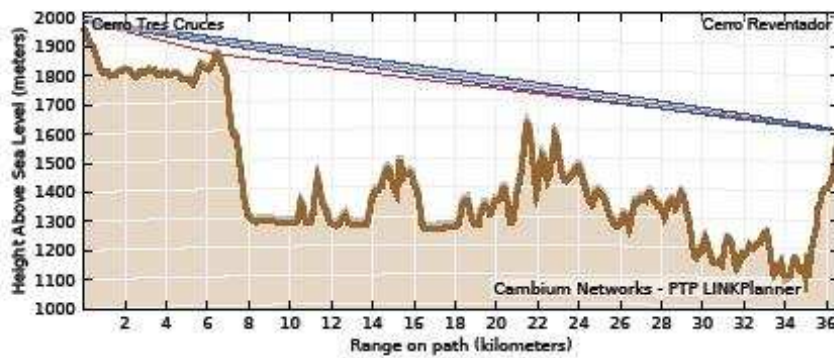


### Cerro Tres Cruces to Cerro Reventador



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m      Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 25 m



	Performance to Cerro Tres Cruces	Performance to Cerro Reventador	
Mean IP	10.0 Mbps	10.0 Mbps	
IP Availability	99.99994 % for 1.0 Mbps	99.99994 % for 1.0 Mbps	
Link Summary			
Link Length	36.582 km	System Gain	181.87 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	40.33 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	20.1 Mbps
Modulation	QPSK 0.88 (10.05Mbps)	Annual Link Availability	99.99994 %
Bandwidth	7 MHz	Annual Link Unavailability	18 secs/year
Total Path Loss	141.54 dB	Prediction Model	ITU-R

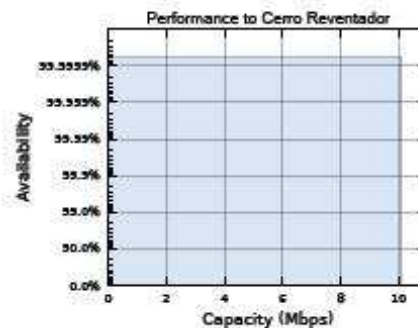
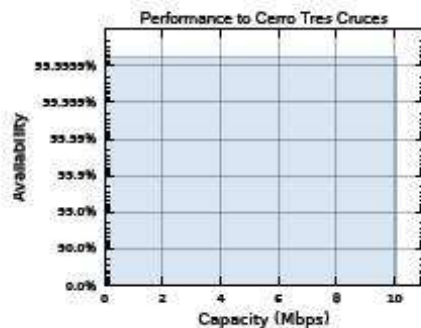


Figura XX.44 Enlace Cerro Tres Cruces– Cerro Reventador en PTP LinkPlanner.

Como conclusión del trabajo realizado se destaca el gran porcentaje de disponibilidad que presentan todos los enlaces, tomando en cuenta que el enlace que tendría mayor grado de indisponibilidad al año con 99.99994% sería Cerro Tres Cruces – Cerro Reventador que equivale a 18 segundos al año de indisponibilidad del enlace. Éstos resultados satisfacen los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito que necesita alta confiabilidad en todos los enlaces de la nueva red digital de radiocomunicaciones.

## **2.8 DESCRIPCIÓN DE BENEFICIOS INHERENTES A LA TECNOLOGÍA DIGITAL**

El nuevo sistema de radiocomunicación digital VHF permite grandes facilidades que deben ser descritas a continuación.

### **2.8.1 ITINERANCIA DE SITIOS (ROAMING)**

MOTOTRBO permite movilidad por toda la zona de cobertura de un sistema de área de extensa sin la necesidad de trasladarse a otro canal (repetidor) manualmente.

Los radios portátiles y móviles se pueden configurar con una lista de itinerancia de canales, cada uno de los cuales corresponda a un sitio (un repetidor) de un sistema de conexión IP de sitios (sistema de área extensa). El radio busca a través de la lista de canales, selecciona el que tenga la señal más fuerte e identifica este sitio como su sitio predeterminado. El radio permanece en este sitio predeterminado hasta que la intensidad de la señal caiga por debajo de un umbral programable o cuando pierda comunicación con el sitio predeterminado, momento en el que intentará encontrar un mejor sitio predeterminado. De no encontrar un mejor sitio predeterminado, permanecerá en el sitio predeterminado actual y seguirá buscando.

El usuario del radio también tiene la capacidad, mediante el bloqueo/desbloqueo de itinerancia (Site Lock On/Off), de fijar el radio a un sitio determinado o permitiendo

que el radio elija el sitio apropiado. Otra opción que tiene el usuario es iniciar la facilidad de itinerancia de sitio manual (Manual Site Roam) y hacer que el radio encuentre el próximo sitio disponible (solo cuando el usuario lo desee).

## **2.8.2 PRIVACIDAD DE VOZ Y DATOS**

MOTOTRBO brinda la capacidad de mantener la privacidad de las comunicaciones (tanto de voz como de datos) en un canal digital. La privacidad protege la información impidiendo que usuarios ajenos al sistema puedan oír la comunicación de voz o leer los datos enviados.

### **2.8.2.1 Tipos de privacidad**

El sistema MOTOTRBO nos brinda la opción de escoger entre dos mecanismos de privacidad: el básico y el avanzado. La principal diferencia entre la privacidad básica y la avanzada radica en que la privacidad avanzada brinda un mayor grado de protección y es compatible con múltiples claves en un radio, mientras que la privacidad básica sólo cuenta con una clave.

La privacidad básica utiliza una clave fija (de entre 255 claves predefinidas) de 16 bits para proteger la información transmitida (voz o datos) por lo que esto no afecta la calidad de la transmisión.

Mientras la privacidad básica utiliza una clave fija, la privacidad avanzada emplea una clave variable (de un máximo 16 claves almacenables en un radio) de 40 bits más un número aleatorio, por lo que se necesita aumentar la transmisión de parámetros criptográficos (identificación de clave, vector de iniciación) reduciendo un poco la calidad de voz (reducción según Motorola es imperceptible por el usuario).

Ambos tipos emplean mecanismos y algoritmos de encriptación exclusivos de Motorola, por lo que no son compatibles con sistemas de privacidad ofrecidos por terceros.

### **2.8.3 SERVICIO INCORPORADO DE MENSAJERÍA DE TEXTO**

Con el fin de ofrecer al servicio de voz una alternativa útil, el sistema MOTOTRBO permite enviar y recibir información en formato de texto a los usuarios de radios portátiles y móviles. Se puede acceder al servicio incorporado de mensajes de texto desde el sistema de menús en los de radio MOTOTRBO (equipados con teclado y pantalla).

Un radio puede definir un máximo de 10 mensajes de texto predeterminados (éstos pueden ser modificados antes de enviarse) y almacenar hasta 30 mensajes entre enviados y recibidos.

## **2.9 DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS APLICATIVOS PARA LA RED VHF DIGITAL DE LA EEQ**

A continuación se describirán tres aplicaciones principales que son interconexión con telefonía (PBX), servicio de GPS y mensajería de texto (correo electrónico), las cuales ofrece el nuevo sistema de radiocomunicación digital.

Para la descripción de dichas aplicaciones, se realizará el estudio de dos opciones: aplicaciones mediante servidores MOTOTRBO y aplicaciones desarrolladas por un proveedor independiente (SmartPTT).

### **2.9.1 APLICACIONES UTILIZANDO SERVIDORES MOTOTRBO**

La Empresa Eléctrica Quito posee una red de datos que actualmente llega con cable de fibra óptica hasta un switch de administración ubicado en el Cerro Pichincha, en éste sitio se debe realizar la interconexión con la nueva red digital de radiocomunicaciones VHF. Del switch de administración existente se conecta con cable UTP hacia un firewall para controlar el tráfico de información, y a su vez se conecta con un Router al que llegan todos los enlaces microonda del nuevo sistema digital de radiocomunicaciones.



La siguiente gráfica muestra un esquema de conexión de la nueva red digital VHF (IP SITE CONNECT) y la red IP de la Empresa Eléctrica Quito para integrar sistemas aplicativos con servidores Mototrbo.

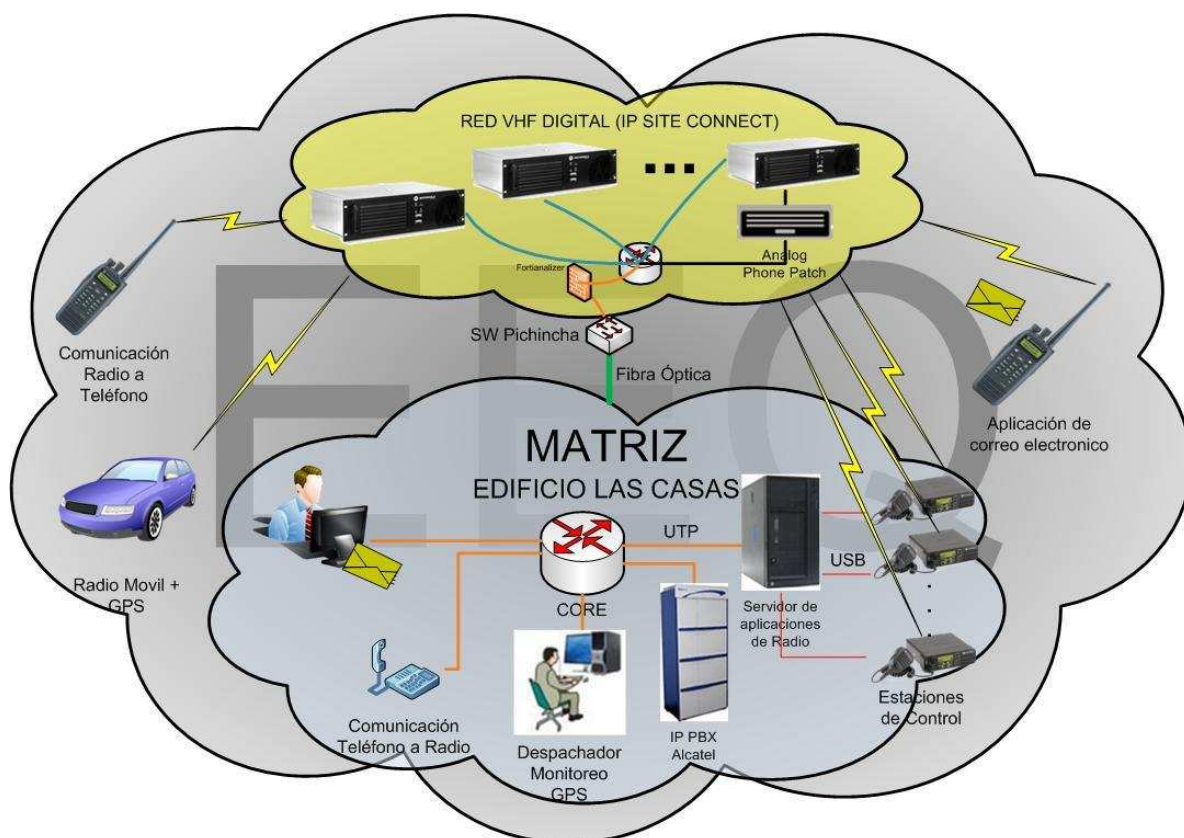


Figura XX.45 Esquema de conexión de aplicaciones con servidores MOTOTRBO.

### 2.9.1.1 Interconexión con Telefonía mediante el Sistema Mototrbo (DTP<sup>45</sup>)

Esta funcionalidad permite conectar los radios MOTOTRBO con el Sistema Telefónico Privado (PBX) o con la Red de Telefonía Pública Conmutada (PSTN). Se

<sup>45</sup>DTP: Digital Telephone Patch

utiliza un Puente Telefónico Analógico (APP) conectada con el repetidor MOTOTRBO, el cual se comunica con los radios de dos vías.



Figura XX.46 Esquema conexión del APP.

El DPT es una característica de Motorola que soporta dos tipos de llamadas de conexión telefónica:

- Llamada telefónica individual: Esto permite una comunicación de voz semi-dúplex entre un usuario de radio y un usuario del teléfono. Esta comunicación se puede iniciar desde cualquiera de las partes.
- Llamada telefónica de grupo: Esto permite una comunicación de voz semi-dúplex entre un usuario de un teléfono y un grupo de usuarios de la radio. Este tipo de comunicación puede ser iniciado por el usuario del teléfono.

Esta función es compatible con configuraciones de un solo repetidor, canales de área local, canales de área extensa, y Capacity Plus (modo troncalizado). La función de DTP es compatible con cualquier APP basado en DTMF<sup>46</sup> que admita la interfaz de 4 hilos y pueda comunicarse en modo half-duplex. El Zetron 30 (Worldpatch) y PL 1877A (MRTI2000) son dos ejemplos de puentes telefónicos analógicos. La mayoría de los APP en el mercado soportan los siguientes servicios de telefonía:

---

<sup>46</sup>DTMF: Dual Tone MultiFrequency: en telefonía es el sistema de marcación por tonos también llamado sistema multifrecuencia.

- Códigos de acceso/des-acceso: El código de acceso se utiliza para activar el APP, y evitar que el usuario de radio o usuario de un teléfono haga llamadas de interconexión telefónica no autorizadas. El código des-acceso se utiliza para terminar la llamada de interconexión telefónica. Diferentes códigos de acceso/des-acceso pueden ser configurados con diferentes privilegios, por lo que pueden ser utilizados para bloquear/permitir que el radio realice un tipo de llamada.
- Uso de Tiempo de Transmisión.- La caja de APP termina la llamada una vez que el tiempo de transmisión se agota.
- Un tono de luz verde se emite al usuario del teléfono cuando el usuario de la radio deja de transmitir. Esto proporciona una indicación para el usuario del teléfono para comenzar a hablar.
- Conexión directa a la central o a la línea PBX

El DTP requiere de un APP por canal que se desee interconectar, ya sean estos en modo de un solo repetidor, canales de área local o extendida IPSC<sup>47</sup>, o en Capacity plus.

La figura 2.47 muestra la conexión de APP en modo de un solo repetidor, en el que solo se puede hacer una sola llamada de interconexión a la vez debido a que solo existe un APP.

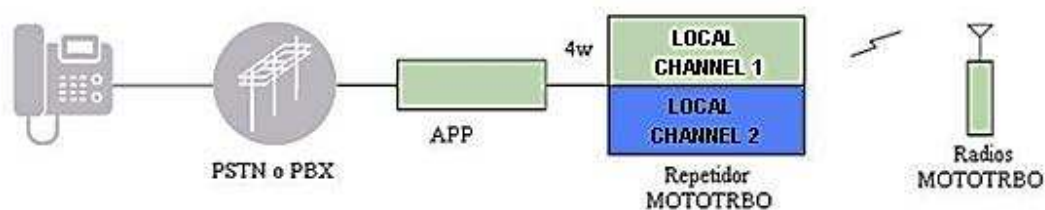


Figura XX.47 Esquema conexión del APP con un solo canal del Repetidor.

<sup>47</sup>IPSC: IP Site Connect.



Figura XX.48 Tipos de conexión de APPs en modo IPSC.

En los gráficos a continuación se describe los diferentes tipos de conexiones en un

modo de conexión IP de sitio.

### **2.9.1.2 Servidor de Aplicaciones**

Un servidor de aplicaciones es un equipo similar a una PC en el que se ejecutan uno o más programas de aplicación (servidor de localización, servidor de mensajes de texto, etc.). El servidor de aplicaciones utilizado por MOTOTRBO se conecta a una o más estaciones de control (radio bases) con cable USB, y estas estaciones de control se conectan por el aire a un repetidor. Si la configuración tiene más de una estación de control, el servidor de aplicaciones debe tener instalado el software MCDD<sup>48</sup>.

### **2.9.1.3 Modo de conexión de un servidor de aplicaciones de datos en un sistema IP Site Connect**

La topología básica consta de múltiples sistemas de repetidores individuales que operan en modo digital, opcionalmente acompañados de uno o más servidores de aplicaciones conectados a través de una red auxiliar compatible con IPv4.

El servidor se puede conectar de forma centralizada para brindar servicio a varios canales de área extensa, o de forma independiente si en la red existen canales de área locales.

La figura 2.49 muestra el esquema de conexión del servidor de aplicaciones de datos en un sistema de radiocomunicación IP SITE CONNECT.

---

<sup>48</sup>MCDD. Multichannel Device Driver: Permite al servidor conectarse con varios canales a la vez (una radio base por canal), identificando que información pertenece a cada canal y enviándola por el canal correspondiente.

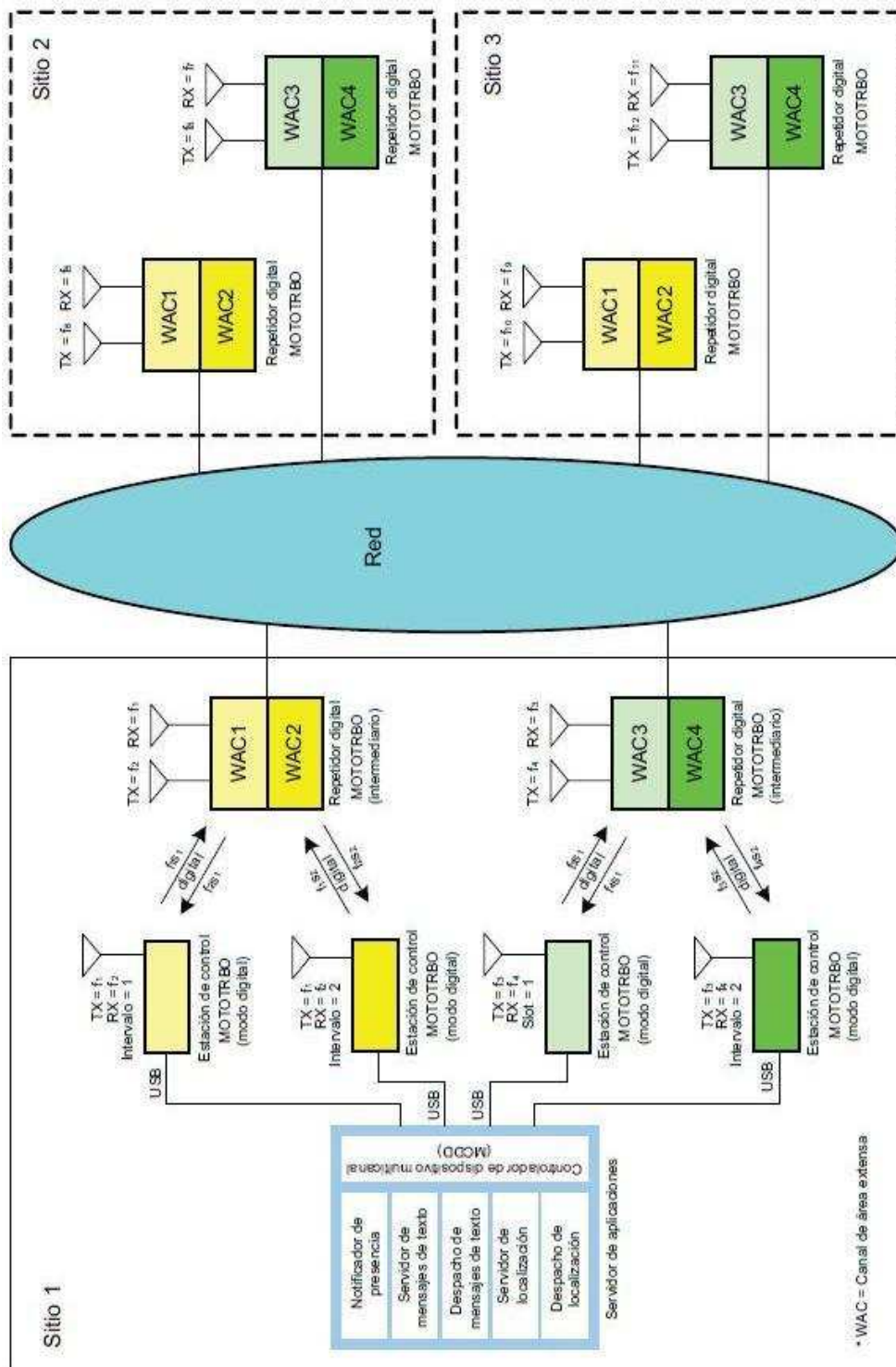


Figura XX.49 Esquema de conexión de Servidor de Aplicaciones MOTOTRBO.

## **2.9.2 DESCRIPCIÓN DE APLICACIONES DESARROLLADAS POR UN PROVEEDOR INDEPENDIENTE (SMARTPTT).<sup>49</sup>**

MOTOTRBO es lo suficientemente completo y sólido para satisfacer diversas necesidades, pero también ha puesto a disposición un poderoso conjunto de capacidades para facilitar el desarrollo de aplicaciones por parte de proveedores independientes.

El concesionario puede vender el MOTOTRBO original a sus clientes, o el sistema puede ser modificado por un desarrollador independiente miembro del ADP (Programa para Desarrolladores de Aplicaciones) para satisfacer una gama más amplia de necesidades y aplicaciones del cliente.

Una opción para satisfacer las necesidades de la Empresa Eléctrica Quito es utilizar el servidor de aplicaciones SmartPTT Dispatcher System Software.

### **2.9.2.1 SERVIDOR DE APLICACIONES SMARTPTT DISPATCHER SYSTEM SOFTWARE**

SmartPTT es una solución que implementa todas las capacidades de la plataforma MOTOTRBO. SmartPTT se utiliza para crear sistemas despachadores distribuidos formados por numerosas consolas de despacho y estaciones base.

La arquitectura SmartPTT permite controlar las redes de los clientes de cualquier tamaño y estructura. SmartPTT permite el uso de cualquiera de las funciones digitales de los radios MOTOTRBO o su modo analógico para facilitar la migración paso a paso del sistema de radiocomunicaciones. Existe también una opción

---

<sup>49</sup> Nota: esta sección contiene información recopilada de la página oficial de SmartPTT <http://www.smartptt.com/en/>

"híbrida" de modo de que algunos sitios operen en modo analógico y otros en modo digital.

### **2.9.2.2 CONFORMACIÓN DEL SISTEMA SMARTPTT**

SmartPTT está conformado con un número ilimitado de consolas de despacho, servidores de aplicaciones y dos maneras de conexión de la interfaz de radio VHF.

#### *2.9.2.2.1 Consola de Despacho*

La consola de despacho es un software que permite operar con toda la funcionalidad del sistema y control de la red de radio. Permite éstas funciones:

- Despacho sobre redes mediante radioservers
- Conexión de radioservers a través de Internet o a través de canales dedicados de IP.
- Puede estar localizada a cualquier distancia de las redes controladas (red de radios, red telefónica).
- Soporta de forma simultánea conexiones a servidores de radio múltiples

#### *2.9.2.2.2 Servidor de Aplicaciones (RadioServer)*

Radioserver proporciona una interfaz entre los usuarios de radio y las consolas de despacho, y también implementa algunas funcionalidades dentro del sistema.

- Interfaz de la red de radio a través de radio bases o, a través de conexión IP a los repetidores.
- Interconexión con Telefonía PBX
- E-mail Gateway.
- Perfiles configurables del operador para limitar su acceso al sistema.
- Cada Radioserver puede contribuir simultáneamente a múltiples consolas de despacho.



### 2.9.2.2.3 Interfaz de la red de radio VHF

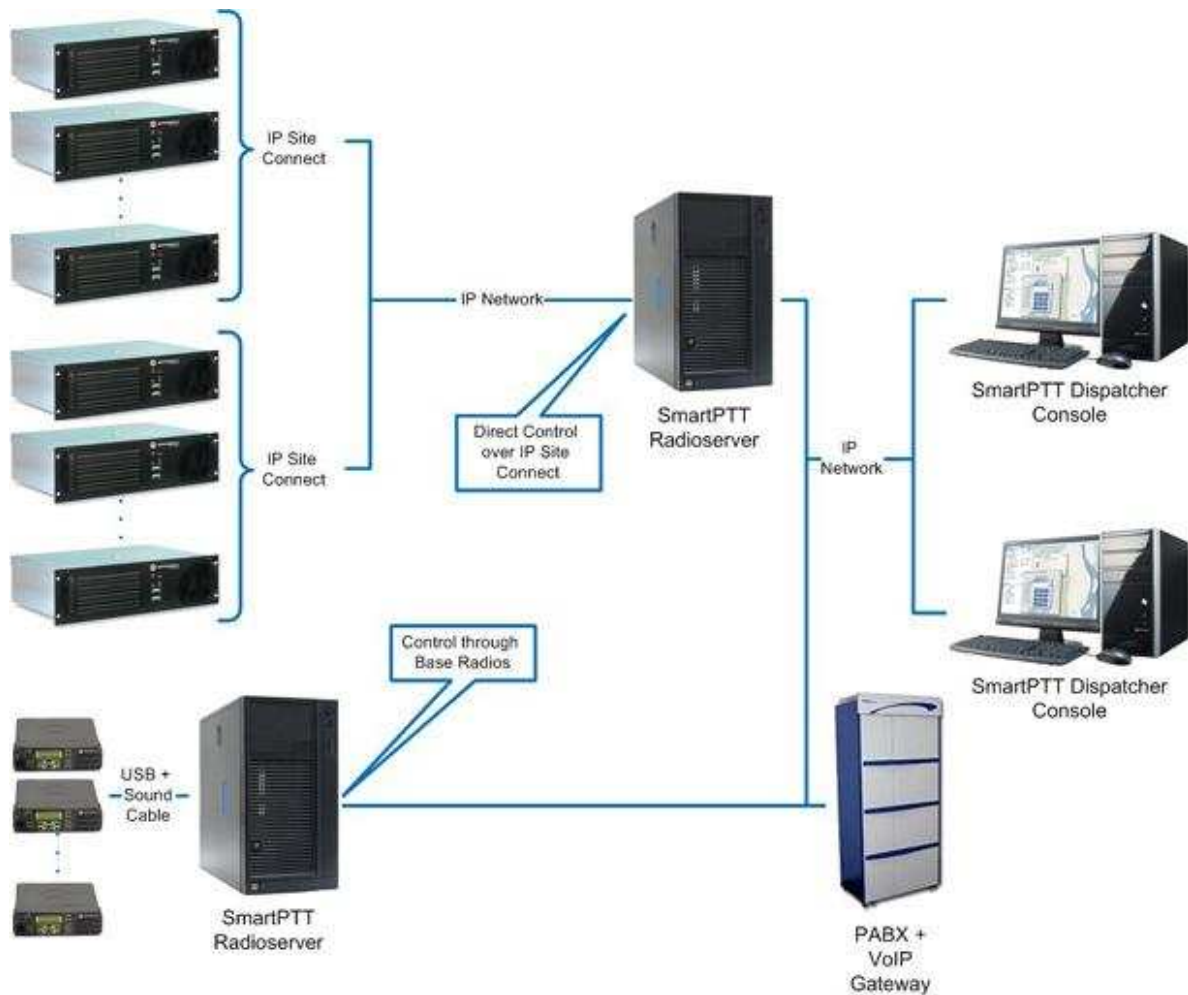


Figura XX.50 Tipos de Conexión del Servidor SMARTPTT.

La interfaz de la red de radio se puede implementar de dos maneras:

- De la forma "Clásica" basado en radios base de control: uno o más (hasta 15) radios base están conectados al radioserver a través de cables (USB + Cable de sonido). Las llamadas de voz y comandos de transferencia de datos se procesan a través de éstos radios.

- Conexión directa de los repetidores MOTOTRBO a través de canales IP: Radioserver puede estar a cualquier distancia de las redes de radio, no hay estaciones bases de control adicionales que se requieren, simplificando la instalación y reduciendo el costo del sistema. Un Radioserver se puede conectar a un gran número de repetidores.

### 2.9.2.3 ESQUEMA DE CONEXIÓN

La siguiente gráfica muestra un esquema de conexión de la nueva red digital VHF (IP SITE CONNECT) y la red IP de la Empresa Eléctrica Quito, utilizando el servidor de aplicaciones SmartPTT.

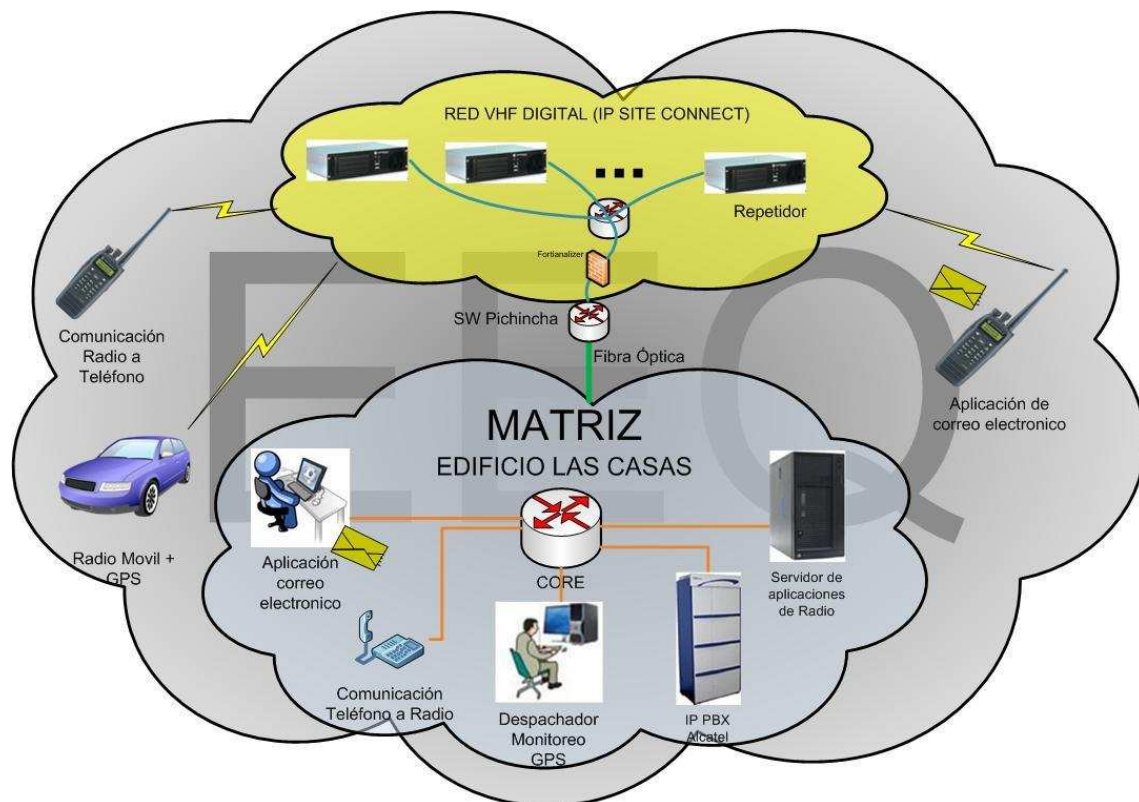


Figura XX.51 Esquema de conexión de aplicaciones con servidor SMARTPTT.

La figura 2.51 muestra el modo de conexión del servidor de aplicaciones de radio y la consola de despacho con la red de datos de la Empresa Eléctrica Quito que posee su core (equipo central o núcleo) en el edificio Las Casas. La Empresa Eléctrica Quito a su vez posee una Central Telefónica Privada Alcatel (PBX) conectada al core de la red.

A continuación se describirán las características de interacción con sistemas aplicativos de la Empresa Eléctrica Quito como la interconexión del nuevo Sistema VHF Digital con la telefonía, aplicaciones de GPS e interacción con mensajería, utilizando el servidor SmartPTT.

#### **2.9.2.4 Interconexión con la telefonía mediante SMARTPTT**

El software SmartPTT implementa un Gateway de interconexión telefónica en el radioserver para realizar llamadas entre abonados telefónicos y radios MOTOTRBO o radios analógicos.

Funciones de interconexión telefónica.

- Múltiples canales de radio concurrentes a la red telefónica
- Grabaciones de llamada en formato MP3
- Posibilidad de limitar la lista de suscriptores de radio autorizados
- Llamadas privadas y de grupo desde teléfonos.
- Comunicación full-dúplex entre teléfonos y despachadores.



Figura XX.52 Esquema de interconexión con la telefonía mediante SmartPTT.

Las llamadas pueden ser iniciadas de diferentes maneras:

- Marcando desde el teléfono el ID (identificador) del usuario o del grupo de usuarios de radio.
- Marcando el número de teléfono desde el radio.
- Mediante la consola de Despacho interconectar un teléfono con uno o varios radios.

La interconexión telefónica es el servicio incluido en SmartPTT Radioserver para establecer interconexión entre usuarios de radio y de teléfono.

Para la comunicación con usuarios telefónicos, el servicio de interconexión telefónica se conecta al Gateway VoIP (voz sobre IP) utilizando el protocolo SIP (Session Initiation Protocol) para iniciación, mantenimiento y finalización de una sesión de comunicación. El Gateway VoIP debe ser ya sea incorporado en el sistema PBX o, conectado por medio de canales digitales o analógicos.

Para la comunicación con usuarios de radio, el servicio de interconexión telefónica utiliza estaciones de control o repetidores conectados a Radioserver.

Para habilitar la funcionalidad de la interconexión telefónica se requiere obtener una licencia de interconexión telefónica para cada Radioserver.

#### **2.9.2.5 Aplicación de servicios de localización**

Este servicio permite al despachador determinar la posición actual de un radio en un mapa de visualización. Se puede obtener sólo la posición del radio (latitud/longitud) o la posición combinada con información extra (velocidad horizontal, dirección, etc.) que permita servicios como por ejemplo, el seguimiento de recursos.

Los servicios de localización requieren modelos de radios móviles y portátiles MOTOTRBO con receptor de GPS incorporado, y una aplicación receptora que presente en un mapa de alta resolución las posiciones geográficas de los radios.

El receptor de GPS ubicado dentro del radio recibe señales precisas de los satélites del sistema mundial de determinación de posición (GPS) que orbitan alrededor de la Tierra. Sin embargo, este receptor puede no operar correctamente en ambientes interiores o donde el cielo se encuentre considerablemente oscurecido.

La aplicación consiste en un servidor y un conjunto de clientes de localización. El servidor solicita, recibe y almacena los datos de posición de los radios. Los clientes de localización obtienen los datos de posición del servidor y presentan las posiciones de los radios en un mapa.

Los servicios ofrecidos por el servidor son los siguientes:

- Administración del seguimiento de la posición de los radios: posibilidad de editar (insertar y eliminar) la lista de los radios a los cuales se les hace actualmente un seguimiento. Permite además modificar los atributos de dichos radios (p. ej., identificación única y nombre del radio) y los parámetros vinculados con el seguimiento de un radio (p. ej., tiempo transcurrido o distancia después de los cuales el radio envía la posición y el contenido de los datos de posición).

- Almacenamiento de los datos de posición y administración de grupos de radios y de recursos.
- Visualización de los datos de posición: permite una interfaz de usuario que permite ver los datos de posición actuales o históricos de un radio.
- Administración de capacidades de despachador: este servicio permite la configuración de los grupos de radios a los cuales un despachador puede hacer seguimiento.

Los servicios que ofrece el despachador de localización son:

- Presentación visual en un mapa del objetivo (radio/grupo/recurso), incluidos los datos de interrogación secuencial y datos históricos.
- Operaciones del mapa: esta facilidad permite efectuar acercamientos, panorámicas y desplazamientos sobre el mapa en pantalla. Asimismo, permite agregar y editar los puntos de interés y seleccionar las capas del mapa para su presentación.
- Preparación de los datos del mapa: esta facilidad permite cambiar la configuración de un mapa al facilitar la selección de las capas del mapa, así como la personalización de la búsqueda.
- Búsqueda: permite efectuar búsquedas en un mapa con base en una dirección o lugar público o un punto de interés.
- Enrutamiento: permite encontrar en un mapa el trayecto más corto entre dos puntos.

#### **2.9.2.6 Servicios de mensajería de texto**

MOTOTRBO incluye las capacidades incorporadas de mensajería de texto de los radios y la aplicación de servicios de mensajería de texto. A su vez, la aplicación de servicios de mensajería de texto tiene varios componentes, incluido el cliente de mensajería de texto móvil de MOTOTRBO usado con radios en el campo, el cliente de mensajería de texto MOTOTRBO usado con posiciones orientadas a despacho y el servidor de mensajería de texto MOTOTRBO.

La mensajería de texto es una aplicación para computadoras equipadas con Windows. Permite ampliar los servicios de mensajería de texto del sistema para usuarios de PC de despacho central, móviles, y proporcionando la capacidad a los usuarios de radio de mensajería por correo electrónico.

La aplicación de mensajería de texto MOTOTRBO consiste en el servidor de mensajería de texto, el cliente de mensajería de texto de despacho y el cliente de mensajería de texto móvil.

La aplicación de mensajería permite envía mensajes de texto a destinos de correo electrónico con una longitud de 137 caracteres.

## **2.10 PROTOCOLOS UTILIZADOS EN LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN**

El sistema Mototrbo utiliza el interfaz aire CAI (Common Air Interface) para comunicación inalámbrica, y el interfaz USB (Universal Serial Bus) para conectar los equipos hacia un PC, constituyendo los medios físicos de conexión. Para comunicación en capa 2 se emplean los protocolos NDIS (Network Driver Interface Specification) y RNDIS (Remote Network Driver Interface Specification), los cuales permiten aplicaciones de programación en la tarjeta de red NIC. La transmisión de información en capa 3 se realiza con el protocolo IP (Internet Protocol) y para el transporte de datos se utiliza el protocolo UDP (User Datagram Protocol) en capa 4.

De acuerdo al tipo de aplicación utilizada se emplean distintos protocolos para capas superiores (varios son propietarios de Motorola).

### 2.10.1 APLICACIÓN DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

Las funciones de localización proveen latitud, longitud, altitud, velocidad y datos de rumbo de los radios. Los mensajes de petición y respuesta para datos de localización son manejados por el protocolo LRRP (Location Request and Response Protocol). Este protocolo, que reporta datos de localización, está optimizado para trabajar con redes de radio MOTOTRBO.

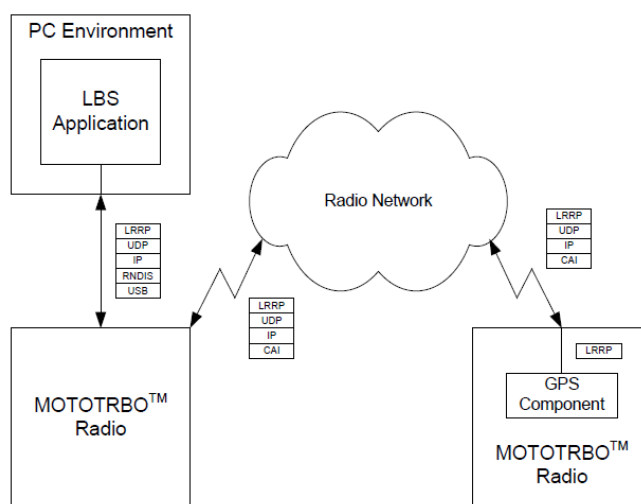


Figura XX.53 Arquitectura del Servicio de Localización.

### 2.10.2 SERVICIOS DE MENSAJERÍA DE TEXTO

Los mensajes de texto son enrutados por la red de radios a través de paquetes UDP/IP que son transportados sobre el sistema MOTOTRBO. En la capa aplicación se emplea el protocolo TMP (Text Message Protocol) basado en texto que permite enviar y recibir mensajes cortos desde una PC (conectada con interfaz USB a un radio) hacia otro radio.



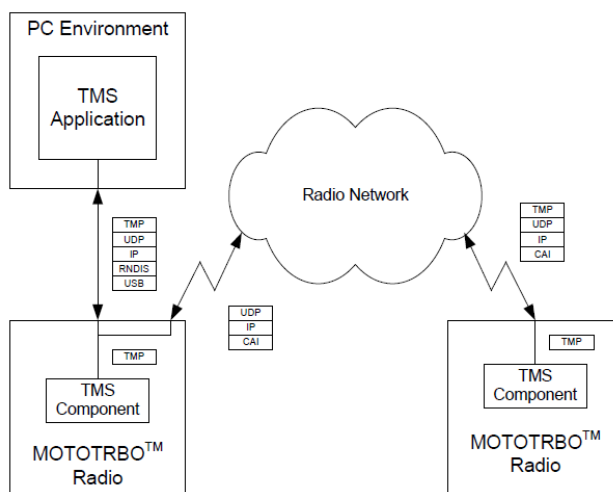


Figura XX.54 Arquitectura del Servicio de Mensajería de Texto.

### 2.10.3 TRANSMISIÓN DE VOZ

Las transmisiones de voz emplean el protocolo RTP (Real-time Transport Protocol), es un protocolo utilizado para la transmisión de información en tiempo real. Está desarrollado por el grupo de trabajo de transporte de audio y video del IETF (Internet Engineering Task Force).

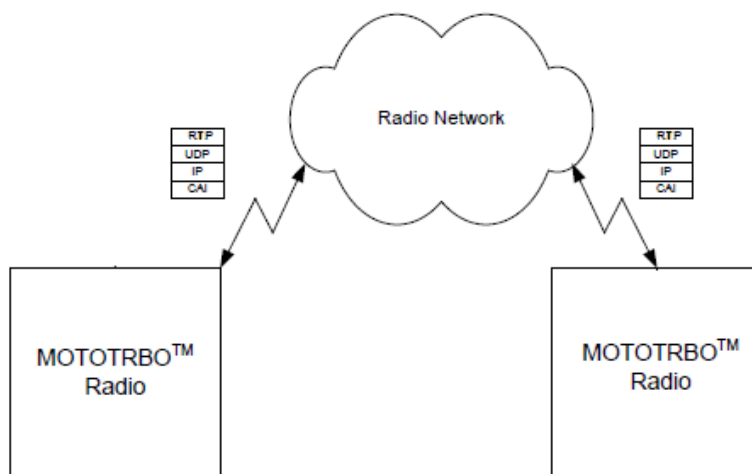


Figura XX.55 Arquitectura de Transmisiones de Voz.

## **2.11 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DIGITAL**

De acuerdo al estudio realizado sobre las tecnologías que utilizan los equipos de radiocomunicaciones se recomienda utilizar equipamiento de la marca Motorola que utiliza tecnología digital de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), con la cual se consigue duplicar el número de llamadas con un solo canal de 12.5 kHz con licencia.

A continuación se describirán las características más representativas de los equipos portátiles, móviles y repetidores de la marca Motorola con su sistema propietario MOTOTRBO.

### **2.11.1 RADIOS PORTÁTILES DIGITALES**

- **DGP 6150 / DGP 6150+**

Estos radios portátiles ofrecen modelos con pantalla con GPS y sin GPS. Integran voz y datos para aumentar la eficiencia operativa. Permite aplicaciones de datos incluyendo Servicios de mensajes de texto MOTOTRBO y Servicios de localización MOTOTRBO. Permite una fácil migración de analógico a digital gracias a su capacidad para funcionar en ambos modos. Funciones mejoradas de administración de llamadas incluyendo alerta de llamada, llamada de emergencia, monitoreo remoto, identificación de llamada (PTT-ID), verificación de radio, llamada privada e inhabilitación de radio.

CARACTERISTICAS		
Número de canales	1000 canales	
Dimensiones	131.5mm x 63.5mm x 35.2mm	
Peso	330g	
Duración de la batería de litio en un ciclo de 5/5/90	8 horas en analógico 13 horas en digital	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Frecuencias	136 - 174 MHz	403-470 MHz / 450-512 MHz
Espaciamiento del canal	6.25 kHz / 12.5 kHz	
Estabilidad de frecuencia	+/- 1.5 ppm (sin GPS) +/- 0.5 ppm (con GPS)	
	<b>Receptor</b>	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Sensibilidad Analógica	0.35 uV	0.3 uV
Sensibilidad Digital	5% BER: 0.3 uV	
Intermodulación	70dB	
Selectividad del canal adyacente	60 dB a 12.5 kHz / 70 dB a 25 kHz	
Distorsión de audio	3%	
	<b>Transmisor</b>	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Potencia de Salida	1-5 W	1-4 W
Limitación de modulación	+/- 2.5 kHz a 12.5 kHz +/- 5.0 kHz a 25 kHz	
Distorsión de audio	3%	

Tabla XX.11 Especificaciones Técnicas del Radio Portátil Digital DGP 6150.<sup>50</sup>

- **DGP-4150**

Son radios digitales portátiles de alto rendimiento con voz y datos integrados. Este radio forma parte de la serie MOTOTRBO. Dispone de botón de emergencia y funciones mejoradas de administración de llamadas, incluyendo recepción de alerta, monitoreo remoto, y envío de llamada de emergencia. Permite una fácil integración con el funcionamiento en modo analógico y digital.

<sup>50</sup> Fuente: MOTOROLA. (2008). Hoja de Especificaciones DGP 6150.



<b>CARACTERISTICAS</b>		
Número de canales	32 canales	
Dimensiones	131.5mm x 63.5mm x 35.2mm	
Peso	330g	
Duración de la batería de litio en un ciclo de 5/5/90	8 horas en analógico 13 horas en digital	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Frecuencias	136-174 MHz	403-470MHz / 450-512 MHz
Espaciamiento del canal	12.5 KHz / 25 KHz	
Estabilidad de frecuencia	±1.5 ppm (sin GPS) ±0.5 ppm (sin GPS)	
<b>Receptor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Sensibilidad Analógica	0.35 uV 0.22 uV (típica)	0.3 uV 0.22 uV (típica)
Sensibilidad Digital	5% BER: 0.3 uV	
Intermodulación	70dB	
Selectividad del canal adyacente	60 dB a 12.5 kHz, 70 dB a 25 kHz	
Distorsión de audio	3% (típica)	
<b>Transmisor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Potencia de Salida	1-5 W	1-4 W
Limitación de modulación	+/- 2.5 kHz a 12.5 kHz +/- 5.0 kHz a 25 kHz	
Distorsión de audio	3%	

Tabla XX.12 Especificaciones Técnicas del Radio Digital Portátil DGP4150.<sup>51</sup>

## 2.11.2 RADIOS MÓVILES DIGITALES

- **DGM 6100 / DGM 6100+**

Radios móviles disponibles en modelos con pantalla alfanumérica, con GPS y sin GPS. Integra voz y datos para aumentar la eficiencia operativa. Permite aplicaciones

<sup>51</sup> Fuente: MOTOROLA. (2008). MOTOTRBO™. Obtenido de Radios portátiles DGP™4150 / DGP™4150+:

como Servicios de mensajes de texto MOTOTRBO y Servicios de localización MOTOTRBO. Botón de emergencia para alertar al supervisor o despachador en una situación de emergencia. Indicadores LEDs multicolor para ofrecer información clara y visible sobre las funciones de llamadas, rastreo y monitoreo. Facilita la migración de analógico a digital gracias a su capacidad para funcionar en ambos modos.


<b>CARACTERISTICAS</b>			
Número de canales	160 canales		
Dimensiones	251mm x175mm x206mm		
Peso	1.8kg		
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>	
Frecuencias	136 - 174 MHz	403-470 MHz / 450-527 MHz	
Espaciamiento del canal	6.25 kHz / 12.5 kHz		
Estabilidad de frecuencia	+/- 1.5 ppm (sin GPS) +/- 0.5 ppm (con GPS)		
	<b>Receptor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Sensibilidad Analógica	0.35 uV	0.3 uV	
Sensibilidad Digital	5% BER: 0.3 uV		
Intermodulación	78dB	75dB	
Selectividad del canal adyacente	65 dB a 12.5 kHz, 80 dB a 25 kHz		
Distorsión de audio	3%		
	<b>Transmisor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Potencia de Salida	Baja 1-25 W Alta 25-45 W	<b>BANDA I</b> 1-25 W 25-40 W	<b>BANDA I</b> 1-40 W (1-25 W a 512 MHz)
Limitación de modulación	+/- 2.5 kHz a 12.5 kHz +/- 5.0 kHz a 25 kHz		
Distorsión de audio	3%		

**Tabla XX.13 Especificaciones Técnicas del Radio Móvil Digital DGM 6100<sup>52</sup>**

<sup>52</sup> Fuente: MOTOROLA. (2008). Hoja de Especificaciones DGM 6100.

- **DGM-4100**

Estos radios móviles digitales móviles de alto rendimiento y productividad con voz y datos integrados, con capacidad de envío de mensajes de texto, están disponibles en modelos con pantalla alfanumérica, con y sin GPS. Dispone de botón de emergencia, recepción de alerta de llamada y de monitoreo remoto, envío de identificación de llamada (PTT-ID), y recepción de llamada privada, entre otras.



CARACTERISTICAS		
Número de canales	32 canales	
Dimensiones	51mm x 175mm x 206mm	
Peso	1.8 kg	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Frecuencias	136 - 174 MHz	<b>BANDA I BANDA II</b> 403-470 MHz 450-527 MHz
Espaciamiento del canal	12.5 kHz / 25 kHz	
Estabilidad de frecuencia	±1.5 ppm (sin GPS) ±0.5 ppm (sin GPS)	
	<b>Receptor</b>	<b>VHF</b> <b>UHF</b>
Sensibilidad Analógica	0.3 uV 0.22 uV (típica)	
Sensibilidad Digital	5% BER: 0.3 uV	
Intermodulación	78 dB	
Selectividad del canal adyacente	65 dB a 12.5 kHz, 80 dB a 25 kHz	
Distorsión de audio	3% (típica)	
	<b>Transmisor</b>	<b>VHF</b> <b>UHF</b>
Potencia de Salida	Baja 1-25 W Alta 25-45 W	<b>BANDA I</b> <b>BANDA II</b> 1-25 W 1-40 W 25-40 W      1-25 W a 512 MHz
Limitación de modulación	+/- 2.5 kHz a 12.5 kHz +/- 5.0 kHz a 25 kHz	
Distorsión de audio	3%	

Tabla XX.14 Especificaciones Técnicas del Radio Digital Portátil DGM4100.<sup>53</sup>

<sup>53</sup> Fuente: MOTOROLA. (2008). MOTOTRBO™. Obtenido de Radios móviles DGM™ 4100 / DGM™ 4100+:

### 2.11.3 REPETIDORES DIGITALES

- **DGR 6175**

Permite dos vías simultáneas de voz o datos. Integra voz y datos para aumentar la eficiencia operativa. Ciclo de servicio total continuo de 100% hasta 45W en VHF y 40W en UHF. Fuente de alimentación integrada. Instalación estándar en rack o para montaje en pared. Respaldo automatizado de batería disponible. Permite aplicaciones incluyendo Servicios de mensajes de texto MOTOTRBO y Servicios de localización MOTOTRBO (Localización y rastreo mediante GPS).


			
CARACTERISTICAS			
Número de canales	1000 canales		
Dimensiones	132.6 x 482.6 x 296.5 mm		
Peso	14 kg		
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>	
Frecuencias	136 - 174 MHz 136-174 MHz	<b>BANDA I</b> 403-470 MHz	<b>BANDA II</b> 450-527 MHz
Espaciamiento del canal	6.25 kHz / 12.5 kHz		
Estabilidad de frecuencia	+/- 0.5 ppm		
<b>Receptor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>	
Sensibilidad Analógica	0.3 uV 0.22 uV (típica)		
Sensibilidad Digital	5% BER: 0.3 uV		
Intermodulación	78dB	75dB	
Selectividad del canal adyacente	65 dB a 12.5 kHz, 80 dB a 25 kHz		
Distorsión de audio	3%		
<b>Transmisor</b>	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>	
Potencia de Salida	Baja 1-25 W Alta 25-45 W	<b>BANDA I</b> 1-25 W 25-40 W	<b>BANDA I</b> 1-40 W (1-25 W a 512 MHz)
Limitación de modulación	+/- 2.5 kHz a 12.5 kHz +/- 5.0 kHz a 25 kHz		
Distorsión de audio	3%		

Tabla XX.15 Especificaciones Técnicas del Repetidor Digital DGR 6175.<sup>54</sup>

<sup>54</sup> Fuente: MOTOROLA. (2008). Hoja de Especificaciones DGR6175.

- **MTR-3000**

El MTR3000 es un repetidor MOTOTRBO™ integrado de voz y datos, especialmente diseñado para empresas de servicios públicos. Funciona en modo digital con todas las configuraciones del sistema MOTOTRBO, proporcionando mayor capacidad, eficiencia espectral, aplicaciones de datos integrados y comunicaciones de voz mejoradas. También funciona en modo analógico para sistemas convencionales ofreciendo una estación base/repetidor flexible y de alta potencia.

		
<b>CARACTERISTICAS</b>		
Número de frecuencias	16	
Dimensiones	133mm x 483mm x 419mm	
Peso	19 kg	
	<b>VHF</b>	<b>UHF</b>
Frecuencias	136-174 MHz	403-470, 470-524 MHz
Espaciamiento del canal	Analógico 12.5 kHz, 25 kHz, 30 kHz Digital 12.5 kHz (cumple con 6.25e)	
Estabilidad de frecuencia	1.5 PPM/Ref. externa (opcional)	
	<b>Receptor</b>	<b>VHF</b>
Sensibilidad Analógica	0.30 uV (0.22 uV típica)	
Sensibilidad Digital	0.30 uV (0.20 uV típica)	
Intermodulación	85 dB	
Selectividad del canal adyacente	80 dB (90 dB típica) a 25 kHz/ 75 dB (82 dB típica) a 12.5 kHz	
Distorsión de audio	3% (típica)	
	<b>Transmisor</b>	<b>VHF</b>
Potencia de Salida	8-100 W	
Limitación de modulación	+/- 2.5 kHz a 12.5 kHz +/- 5.0 kHz a 25 kHz	
Distorsión de audio	Inferior a 3% (1% típica)	

**Tabla XX.16 Especificaciones Técnicas del Repetidor Digital MTR 3000.**<sup>55</sup>

<sup>55</sup> Fuente: MOTOROLA. (2010). MOTOTRBO.



## **CAPITULO III: ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LA MIGRACIÓN AL SISTEMA VHF DIGITAL**

### **INTRODUCCIÓN**

En la parte final del presente proyecto se determina la factibilidad económica de la migración de tecnología analógica a digital, para lo cual se realiza el costeo del sistema VHF digital en base a un listado de equipos con los correspondientes precios referenciales actualizados al año 2012.

En ésta etapa del proyecto es necesario describir los costos de equipamiento, instalación y mantenimiento del sistema VHF digital. Permite tomar decisiones económicas y establecer la viabilidad para implementar el nuevo sistema digital.

Se debe concluir si la migración del sistema analógico al sistema digital es factible tomando en cuenta las ventajas y desventajas del proyecto. Proponiendo un cronograma de planificación con etapas de implementación, dimensionamiento y costeo del nuevo sistema, todo esto para facilitar una migración paulatina en base a requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito.

### **3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA**

Se deben considerar todos los costos de equipamiento de hardware y software necesarios para la nueva red VHF digital. A continuación se especifican las características de cada ítem.

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
<b>Frecuencias</b>		
Sistema VHF - 15pares de frecuencias (9 existentes y 6 adicionales)	6	concesión por cinco años
Enlaces microonda banda 7GHz	9	concesión por cinco años
<b>Red VHF Digital</b>		
Radios Portátiles	247	242 operativos y 5 de repuesto
Radios Móviles	129	126 operativos y 3 de repuesto
Radios Bases	26	24 operativos y 2 de repuesto
Repetidores	17	15 operativas y 2 de repuesto
Enlaces microonda PTP07800	9	En banda de frecuencia licenciada
<b>Sistemas Aplicativos</b>		
Servidor de Aplicaciones (incluye GPS y Mensajería)	1	software con licencia
Interconexión con Telefonía	1	software con licencia

Tabla XXI.1 Dimensionamiento para el Sistema de Radiocomunicaciones VHF Digital

### 3.2 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN

El proyecto está planificado para implementarse en 3 etapas: la primera constituye la adquisición e instalación de repetidores MOTOTRBO y configurarlos en modo analógico, de éste modo la red VHF de la Empresa Eléctrica Quito puede continuar funcionando con los radios móviles, bases y portátiles actuales. La segunda etapa se basa en la instalación de los enlaces microonda con equipos PTP07800 necesarios para funcionar en sistema digital. Para la tercera y última etapa se debe adquirir los radios portátiles, móviles y bases digitales, y reprogramar los repetidores en modo digital. De ésta manera se facilita una migración paulatina consiguiendo en la parte final una red de radiocomunicaciones VHF totalmente digitalizada.

		CRONOGRAMA																												
		enero				febrero				marzo				abril				mayo				junio				julio				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
ETAPA 1	Tramites legales																													
	Adquisición de equipos																													
	Programación de equipos																													
	Instalación de equipos																													
ETAPA 2	Tramites legales																													
	Adquisición de equipos																													
	Programación de equipos																													
	Instalación de equipos																													
ETAPA 3	Renovación y Adquisición de frecuencias VHF																													
	Repetidores digitales Mototrbo																													
	Repetidores Mototrbo en modo analógico																													
	Reemplazo de repetidores actuales por Mototrbo																													
	Adquisición de banda microonda 7GHz																													
	Sistemas de enlace PTP07800 microonda																													
	Programación y calibración de los equipos PTP07800																													
	Instalación de enlaces microonda PTP07800																													
	Radios portátiles y móviles Digitales Mototrbo																													
	Programación de los radios portátiles y móviles																													
	Radios portátiles y móviles en el canal 4																													
	Radios portátiles y móviles en el canal 12																													
Radios portátiles y móviles en el canal 6																														
Radios portátiles y móviles en el canal 7																														
Radios portátiles y móviles en el canal 5																														
Adquisición de licencias																														
Programación de equipos																														
IP site connect, servidor de aplicaciones y despachadores																														
Programación y pruebas del servidor de aplicaciones																														
Reprogramación de repetidores para operar en modo digital																														

Figura XXI.1 Cronograma de Implementación del Proyecto.

### 3.3 COSTOS PARA EL SISTEMA VHF DIGITAL

Para realizar el presupuesto del nuevo sistema, se deben considerar los costos que implican la adquisición de frecuencias necesarias y el pago de su tarifa mensual, las cuales se describen a continuación.

#### 3.3.1 TARIFACIÓN POR USO DE FRECUENCIAS Y DERECHOS DE CONCESIÓN

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones CONATEL es el ente Regulador, el cual administra y regula los servicios de telecomunicaciones; aprueba el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones, el Plan de Frecuencias, normas de uso del espectro, regulación y control de equipos, tarifación de servicios de telecomunicación.

En la página web del CONATEL <http://conatel.gob.ec> podemos encontrar los valores a pagar tanto de las tarifas como del derecho de concesión de frecuencias, para el sistema VHF y también para los enlaces punto a punto.



Figura XXI.2 Descripción de Servicios – Tarifas en la página WEB del Conatel.

La tarifa mensual en dólares por frecuencia asignada para VHF es

**Ecuación XXI.1**

$$T(US\$) = k_a \times a_n \times \beta_n \times A \times Fp$$

y para enlaces punto a punto es

**Ecuación XXI.2**

$$T(US\$) = k_a \times a_n \times \beta_n \times A \times D^2.$$

La ecuación que se emplea para el cálculo de los derechos de concesión de frecuencia para ambos sistemas es:

**Ecuación XXI.3**

$$Dc = T(US\$) \times Tc \times Fcf$$

A continuación se describe las consideraciones de cada factor para el cálculo de las tarifas correspondientes:

- **T (US\$).** Tarifa mensual por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico en dólares de los Estados Unidos de América correspondiente al Servicio y al Sistema en consideración.
- **Ka Factor de ajuste por inflación.** De acuerdo con la inflación actual descrita por el Banco Central del Ecuador, Conatel aprueba el valor de  $Ka=1$ .
- **$a_n$  Coeficiente de valoración del espectro.** Este valor lo fija el Conatel, se lo puede ubicar en los respectivos anexos descritos en la página web del Conatel.

Para el sistema VHF  $a_2 = 0.736521808$  en la banda de  $30 < f \leq 300$  MHz según la Tabla 1 del Anexo 2 del Reglamento de Derechos de Concesión de Tarifas (RDCT<sup>56</sup>).

Para los enlaces microonda punto a punto  $a_3=0.0237509$  según la Tabla 2 del Anexo 3 del RDCT.

- **$\beta_n$  Coeficiente de corrección.** Su valor se encuentra entre 0 y 1. Tiene que ver con el Coeficiente Socioeconómico y de Radiocomunicaciones, Conatel fija el valor de  $\beta_n=1$  para la provincia de Pichincha.
  
- **A Anchura de banda de la frecuencia asignada.**  
 Para el sistema VHF se expresa en KHz y toma el valor de  $A=12.5$   
 Para los enlaces microonda se expresa en MHz y toma el valor de  $A=7$ .
  
- **Fp Factor de propagación.** Factor utilizado en el sistema VHF. Se toman en cuenta los siguientes parámetros: altura efectiva (m), potencia de transmisión (W), banda de frecuencia de trabajo (MHz) y ganancia de la antena.
  - ◆ **Altura de la Antena.** Todos los sitios de repetición poseen una altura  $H>800$ m según la Tabla 2 del Anexo 2 de RDCT.
  - ◆ **Potencia de transmisión.** Escogemos una potencia de salida de 15 W que es con la que han estado trabajando los repetidores.
  - ◆ **Banda de frecuencia de trabajo.** Escogemos la banda 30 – 300 MHz.
  - ◆ **Ganancia de la antena.** Se debe escoger entre  $G\leq 6$ dBd ó  $G>6$ dBd. Las ganancias de las antenas VHF son de 6.85dBd.

---

<sup>56</sup>RDCT: Reglamento De Derechos Por Concesión Y Tarifas Por Uso De Frecuencias Del Espectro Radioeléctrico. Fuente: CONATEL. (Enero de 2009). REGLAMENTO DE DERECHOS POR CONCESIÓN Y TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.

Entonces el valor del factor de propagación se fija en  $F_p = 1.989562$  según las tablas 2 hasta 5 del Anexo 2 del RDCT.

- **D Distancia en kilómetros entre las estaciones fijas.** Este parámetro se utiliza en los enlaces microonda. De acuerdo al rango de frecuencias correspondiente ( $5 \text{ GHz} < f \leq 10 \text{ GHz}$ ), y cuando el caso lo amerite, para fines del cálculo de tarifas, se usarán los valores de distancia máxima y mínima aplicable contemplados en la Tabla 1, Anexo 3 del RDCT.
- **Dc.** Es el valor de derecho de concesión.
- **Tc Tiempo de concesión.** Valor en meses de la concesión a otorgarse al respectivo servicio y sistema. La concesión por 5 años será  $T_c = 60 \text{ meses}$ .
- **Fcf Factor de concesión de frecuencias.** Para el sistema VHF que corresponde al servicio Fijo y Móvil sobre los 30 MHz (30-300 MHz)  $F_{cf} = 0.022120$ . Para el sistema de enlaces microonda que corresponde el servicio Fijo de Enlaces punto-punto ( $5 < f \leq 10 \text{ GHz}$ )  $F_{cf} = 0.0312929$  de acuerdo a la Tabla 1 del Anexo 7 del RDCT.

### 3.3.1.1 Tarifación De Frecuencias Para el Sistema VHF

#### 3.3.1.1.1 Tarifa Mensual

$$T(\text{US\$}) = k_a \times a_n \times \beta_n \times A \times F_p$$

$$T(\text{US\$}) = 1 \times 0.736521808 \times 1 \times 12.5 \times 1.989562$$

$$T(\text{US\$}) = (\$ 18.32 / \text{par de frecuencias}) \text{ Mensuales}$$

### 3.3.1.1.2 Derecho de Concesión

$$Dc = T(US\$) \times Tc \times Fcf$$

$$Dc = 18.32 \times 60 \times 0.022120$$

$$Dc = 24.31\$/par \text{ de frecuencias}$$

Por 6 pares de frecuencias adicionales por 5 años:

$$Dc = \left( \frac{24.31\$}{par \text{ de frecuencias}} \right) \times (6 \text{ pares de frecuencias})$$

$$Dc = \$145.86$$

### 3.3.1.2 Tarifación de Frecuencias para Enlaces Microonda

El Reglamento De Derechos Por Concesión Y Tarifas Por Uso De Frecuencias Del Espectro Radioeléctrico, presenta una distancia equivalente del enlace máxima de 30 km y mínima 12 km. Esto se realiza solo para efectos de cálculo de tarifas.

Enlace	Distancia Real	Distancia equivalente para fines de cálculo de tarifas de acuerdo con la Tabla 1, Anexo 3 del RDCT.
Atacazo – Cruz Loma	20.48km	20.48 km
Cruz Loma – Pichincha	2.47km	12 km
Pichincha – Guamaní La Virgen	40.54km	30 km
Guamaní La Virgen –Condijua	37.04km	30 km
Condijua –Tres Cruces	27.91km	27.91 Km
Tres Cruces – Reventador	36.64km	30 km
Pichincha – Cerro Blanco	46.82km	30 km
Cerro Blanco - Condorcocha	33.53km	30 km
Cerro Blanco – Alaspungo	38.33km	30 km

**Tabla XXI.2 Enlaces Microonda – Distancias Equivalentes para Cálculo de Tarifas**



### 3.3.1.2.1 Tarifa Mensual

$$T(\text{US\$}) = k_a \times a_n \times \beta_n \times A \times D^2$$

Enlace	Cálculo de la tarifa mensual
Atacazo – Cruz Loma	$T(\text{US \$})=1* 0.0237509*1*7\text{MHz}*(20.48\text{km})^2=69.73 \text{ \$/mes}$
Cruz Loma – Pichincha	$T(\text{US \$})=1* 0.0237509*1*7\text{MHz}*(12\text{km})^2= 23.94 \text{ \$/mes}$
Pichincha – Guamaní La Virgen	$T(\text{US \$})=1* 0.0237509*1*7\text{MHz}*(30\text{km})^2= 149.63 \text{ \$/mes}$
Guamaní La Virgen - Condijua	$T(\text{US \$})=1* 0.0237509*1*7\text{MHz}*(30\text{km})^2= 149.63 \text{ \$/mes}$
Condijua –Tres Cruces	$T(\text{US \$})=1* 0.0237509*1*7\text{MHz}*(27.91\text{km})^2=129.5 \text{ \$/mes}$
Tres Cruces – Reventador	$T(\text{US \$})=1* 0.0237509*1*7\text{MHz}*(30\text{km})^2= 149.63 \text{ \$/mes}$
Pichincha – Cerro Blanco	$T(\text{US \$})=1* 0.0237509*1*7\text{MHz}*(30\text{km})^2= 149.63 \text{ \$/mes}$
Cerro Blanco - Condorcocha	$T(\text{US \$})=1* 0.0237509*1*7\text{MHz}*(30\text{km})^2= 149.63 \text{ \$/mes}$
Cerro Blanco –Alaspungo	$T(\text{US \$})=1* 0.0237509*1*7\text{MHz}*(38.33\text{km})^2= 149.63 \text{ \$/mes}$
<b>Total por todos los Enlaces Microonda</b>	<b>T(US \$)=1120.95 \$ mensuales</b>

Tabla XXI.3 Cálculo de Tarifas Mensuales por Enlaces Microonda

### 3.3.1.2.2 Derecho de concesión

$$Dc = T(\text{US\$}) \times Tc \times Fcf$$

Enlace	Cálculo del Derecho de concesión
Atacazo – Cruz Loma	$Dc=69.73*60*0.0312929= 130.92 \text{ \$}$
Cruz Loma - Pichincha	$Dc= 23.94*60*0.0312929 = 44.94 \text{ \$}$
Pichincha – Guamaní La Virgen	$Dc =149.63*60*0.0312929 = 280.94 \text{ \$}$
Guamaní La Virgen - Condijua	$Dc =149.63*60*0.0312929 = 280.94 \text{ \$}$
Condijua –Tres Cruces	$Dc =129.5*60*0.0312929 = 243.14 \text{ \$}$
Tres Cruces - Reventador	$Dc =149.63*60*0.0312929 = 280.94 \text{ \$}$
Pichincha – Cerro Blanco	$Dc =149.63*60*0.0312929 = 280.94 \text{ \$}$
Cerro Blanco –Condorcocha	$Dc =149.63*60*0.0312929 = 280.94 \text{ \$}$
Cerro Blanco –Alaspungo	$Dc =149.63*60*0.0312929 = 280.94 \text{ \$}$
<b>Total por todos los Enlaces Microonda</b>	<b>Dc = 2104.64 \$</b>

Tabla XXI.4 Cálculo de Derechos de Concesión para Enlaces Microonda

### 3.3.2 COSTOS DE EQUIPAMIENTO RED RADIOCOMUNICACIONES VHF DIGITAL

Para realizar el presupuesto del equipamiento necesario, se realizó una cotización de precios en una Empresa Eléctrica Quito proveedora de comunicaciones inalámbricas certificada por Motorola, por razones de confidencialidad no se especifica su nombre propio.

#### 3.3.2.1 Costos Equipamiento VHF

A continuación se detallan los costos de los equipos de radiocomunicación con sus respectivas especificaciones.

TIPO	Descripción	Costo
Repetidor	Motorola MTR 3000	\$11,000.00
	Motorola DGR 6175	\$2,728.00
Radios móviles/bases	DGM 6100 sin GPS de alta potencia	\$857.00
	DGM 6100 con GPS de alta potencia	\$913.00
	DGM 4100 sin GPS de alta potencia	\$726.00
	DGM 4100 con GPS de alta potencia	\$777.00
Radios portátiles	DGP 6150 sin GPS de alta potencia	\$770.00
	DGP 6150 con GPS de alta potencia	\$838.00
	DGP 4150 sin GPS de alta potencia	\$683.00
	DGP 4150 con GPS de alta potencia	\$735.00
Duplexor	Sinclair 2220e	\$1,570.19
Cable Antena VHF - Duplexor	Cable Coaxial HELIAX Longitud 30 m., juego de conectores y cable de bajada a duplexor	\$600.00
Antena VHF	Nacional fabricada a frecuencias de trabajo, incluye dos soportes (fijo basculantes).	\$650.00
Cable Duplexor – Repetidor	Cable arnés duplexor-repetidor RG 142B/U y juego de Conectores	\$90.00

Tabla XXI.5 Costos de los Equipos de Radiocomunicaciones

La siguiente tabla muestra el listado con el equipamiento VHF requerido para implementar el nuevo sistema de radiocomunicaciones.

EQUIPO	Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Subtotal
Repetición	Motorola DGR 6175	\$ 2.728,00	17	\$ 46.376,00
Radios Móviles	DGM 6100 sin GPS de alta potencia	\$ 857,00	69	\$ 59.133,00
	DGM 6100 con GPS de alta potencia	\$ 913,00	60	\$ 54.780,00
Radios Bases	DGM 6100 con GPS de alta potencia	\$ 913,00	26	\$ 23.738,00
Radios portátiles	DGP 6150 sin GPS de alta potencia	\$ 770,00	140	\$ 107.800,00
	DGP 6150 con GPS de alta potencia	\$ 838,00	107	\$ 89.666,00
Duplexor	Sinclair 2220e	\$ 1.570,19	6	\$ 9.421,14
Cable Antena VHF - Duplexor	Cable Coaxial HELIAX Longitud 30m., juego de conectores y cable de bajada a duplexor	\$ 600,00	6	\$ 3.600,00
Antena VHF	Nacional fabricada a frecuencias de trabajo, incluye dos soportes (fijo basculantes).	\$ 650,00	6	\$ 3.900,00
Cable Duplexor – Repetidor	Cable arnés duplexor-repetidor RG 142B/U y juego de Conectores	\$ 90,00	6	\$ 540,00
Polyphaser	Supresión de Picos Transitorios de Sobretensión	\$100	6	\$ 600
Barra de cobre	Para instalación de tierra (por sitio nuevo)	\$ 100	2	\$ 200
<b>Total Equipamiento VHF</b>				<b>\$ 399.754,14</b>

Tabla XXI.6 Costo del Equipamiento VHF

### 3.3.2.2 Costos Equipamiento de Enlaces Punto a Punto

El nuevo sistema de radiocomunicaciones consta de 9 enlaces microonda, por lo tanto se deben considerarse el número de equipos en los sitios de transmisión y de recepción.

EQUIPO	Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Subtotal
ODU	Motorola PTP07800	\$ 2.737,80	18	\$ 49.280,40
Antena (Microonda)	Motorola 2ft HP Antenna 85010089045 – Direct Ganancia 30dBi	\$ 1.267,50	18	\$ 22.815,00

CMU (PIDU)	Para PTP07800	\$ 2.866,50	18	\$ 51.597,00
IF CABLE (ODU - PIDU)	Para PTP07800	\$ 468,00	18	\$ 8.424,00
CABLE ASSEMBLY kit	Para PTP07800	\$ 286,00	18	\$ 5.148,00
LPU kit (Unidad de Protección Pararrayos)	Para PTP07800	\$ 366,60	18	\$ 6.598,80
Cables UTP	Switch-Repetidor y Switch- PTP	\$ 20,00	18	\$ 360,00
Switch	Catalyst Serie 2960-24LT-L	\$ 300,00	10	\$ 3.000,00
Rack	2.2 m	\$ 180,00	10	\$ 1.800,00
<b>Total Equipamiento Para Enlaces Microonda</b>				<b>\$ 149.023,20</b>

Tabla XXI.7 Costo del Equipamiento de enlaces Punto a Punto

### 3.3.2.3 Costos Equipamiento de Respaldo de Energía

Para el sistema de respaldo de energía, todas las fuentes de poder, baterías y cargadores existentes pueden ser reutilizados para trabajar con los nuevos equipos VHF digitales.

	EQUIPO	Especificaciones	Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Subtotal
	Regulador de Voltaje/ 1 por sitio	Protección contra picos de voltaje	8 existentes y 2 adicionales	\$ 50,00	2	\$ 100,00
	Regleta/ 1 por sitio	regleta de 6 tomas para 120 VAC/15Amp	8 existentes y 2 adicionales	\$ 10,00	2	\$ 20,00
SISTEMA VHF	Fuente de Poder / 1 por sitio	PYRAMID 14Amp. /12V	8 existentes y 2 adicionales	\$ 100,10	2	\$ 200,20
	Cargador – Inversor / 1 por sitio	EXXEL 12 V/ 10Amp.	8 existentes y 2 adicionales	\$ 150,00	2	\$ 300,00
	Cables para el sistema de alimentación / 1 por repetidor	DC para baterías	9 existentes y 6 adicionales	\$ 100,00	6	\$ 600,00
	Baterías / 2 por repetidor	100 A/H Libre de Mantenimiento	18 existentes y 12 adicionales	\$ 200,00	12	\$ 2.400,00
	Fuente de Poder / 1 por sitio	PYRAMID 14Amp. /48V Para PTP	0 existentes y 10 adicionales	\$ 100,10	10	\$ 1.001,00
SISTEMA MICROONDA	Baterías / 1 por PTP	100 A/H Libre de Mantenimiento	0 existentes y 18 adicionales	\$ 200,00	18	\$ 3.600,00
<b>Total Equipamiento de Respaldo de Energía</b>						<b>\$ 8.221,20</b>

Tabla XXI.8 Costos de Equipamiento de Respaldo de Energía

### 3.3.2.4 Costos de Software para Sistemas Aplicativos

La siguiente tabla muestra los costos detallados del software SmartPTT.

EQUIPO	Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Subtotal
SmartPTT Enterprise + Conexión IP Directa al Repetidor	1 consola de despacho + 1 radioservers + 1 conexión a repetidor + 10 licencias de usuarios (1 año de suscripción)	\$ 2.900,00	1	\$ 2.900,00
Licencia de usuario	entre 301-600 licencias	\$ 55,00	382	\$ 21.010,00
Licencia de conexión a repetidor	entre 6-15 repetidores	\$ 400,00	14	\$ 5.600,00
Licencia de servicio de enrutamiento	Por un radioserver	\$ 1.700,00	1	\$ 1.700,00
Servicio de Monitoreo para SmartPTT Enterprise (por 1 radioserver)	entre 1-3 radioservers	\$ 1.950,00	1	\$ 1.950,00
Servicio de interconexión Telefónica (por 1 radioserver)	entre 1-3 radioservers	\$ 1.088,00	1	\$ 1.088,00
<b>Total Software Sistemas Aplicativos</b>				<b>\$ 34.248,00</b>
<b>1 actualización de suscripción por 1 año</b>	10% del costo del paquete contratado	<b>\$ 3.424,80</b>		

Tabla XXI.9 Costo de Software para Sistemas Aplicativos

### 3.3.2.5 Costos de Instalación

Ítem	Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Subtotal
<b>PROGRAMACIÓN</b>	Repetidor	\$ 100,00	15	\$ 1.500,00
	Radio	\$ 10,00	392	\$ 3.920,00
<b>INSTALACIÓN</b>	Sitios de Repetición	\$ 1.000,00	10	\$ 10.000,00
	Radio Bases	\$ 120,00	24	\$ 2.880,00
	Radio Móviles	\$ 60,00	126	\$ 7.560,00
	Enlace PTP	\$ 1.000,00	9	\$ 9.000,00
<b>ADQUISICIÓN DE FRECUENCIAS VHF</b>	Por 6 pares de frecuencia- Concesión por 5 años	\$ 24,31	6	\$ 145,86
<b>ADQUISICIÓN DE FRECUENCIAS MICROONDA</b>	Por 9 enlaces microonda Concesión por 5 años	\$ 2.104,64	-	\$ 2.104,64
<b>Total Costos de Instalación</b>				<b>\$ 37.110,50</b>

Tabla XXI.10 Costos de Instalación

### 3.3.2.6 Costos de Mantenimiento

Ítem	Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Costo Recurrente (mensual)
Mantenimiento de la red de radiocomunicaciones	Por Contrato	\$ 1500,00	-	\$ 1.500,00
Arrendamiento de Instalaciones	Espacio en torre y cuarto de comunicaciones	\$ 250,00	8	\$ 2.000,00
Arriendo de Frecuencias VHF	Por 15 pares de frecuencia-Concesión por 5 años	\$ 18,32	15	\$ 274,80
Arriendo de Frecuencias Microonda	Por 9 enlaces microonda Concesión por 5 años	\$ 1120.95	-	\$ 1120.95
<b>Total Costos de Mantenimiento mensual</b>				<b>\$ 4.895,75</b>

Tabla XXI.11 Costos de Mantenimiento

### 3.3.2.7 Resumen de Costos del Proyecto

	Sistema VHF	Enlaces Microonda	Respaldo de Energía	Sistemas Aplicativos	SUB-TOTAL	TOTAL
Costos de equipamiento	\$ 399.754,14	\$ 149.023,20	\$ 8.221,20	\$34.248,00	\$591.246,54	<b>\$628.357,04</b>
Costos de instalación	-	-	-	-	\$ 37.110,50	
Costos de mantenimiento	\$ 4.895,75 mensuales x12meses = \$58.749,00 anuales			\$ 3.424,80 anuales	-	<b>\$62.173,80 anuales</b>

Tabla XXI.12 Resumen de Costos

### 3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA RED

#### 3.4.1 VENTAJAS DEL SISTEMA VHF DIGITAL SOBRE EL ANALÓGICO

- El sistema VHF digital Mototrbo permite duplicar la eficiencia espectral, obteniendo dos canales virtuales con un mismo repetidor y en un solo canal (par de frecuencias) de 12.5Khz ya que trabaja en TDMA.

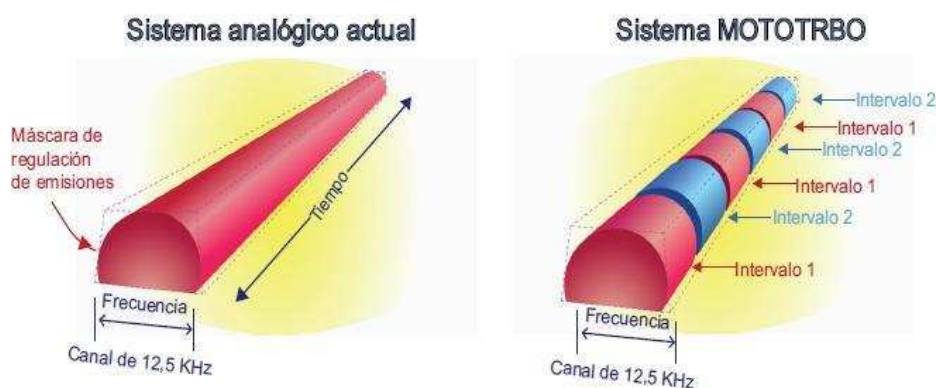


Figura XXI.3 Comparación entre el sistema analógico actual y el sistema MOTOTRBO<sup>57</sup>

- En el sistema VHF digital los radios sólo se activan durante breves ráfagas de tiempo debido a que trabajan en modulación TDMA, lo cual prolonga la vida útil de la batería de los equipos.
- El nuevo sistema VHF digital, ha sido ampliado con más sitios de repetición para llegar a sitios de interés de acuerdo a los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito.
- El sistema de radiocomunicación VHF digital permite mejorar la recepción y transmisión de información a lo largo del área de cobertura. Esto se debe a

<sup>57</sup> Fuente: DMR. (s.f.). Digital Mobile Radio Association.

que posee un codificador de voz avanzado y sobre todo a su corrección de errores adelantada que mantiene uniforme la calidad de voz que se propaga a lo largo de la zona de cobertura.



**Figura XXI.4 Comparación entre el desempeño del audio analógico y el digital**

- Los accesorios (como son antenas, duplexor, claves, fuente de energía, etc.) requeridos por los repetidores y radios bases MOTOTRBO para su correcto funcionamiento son los mismos que emplean los equipos analógicos, por lo tanto pueden ser reutilizados al momento de migrar al sistema digital.
- El sistema VHF digital permite roaming, mediante el cual un usuario de un canal de área extendida se encontrará siempre enlazado al sitio de repetición con el que tenga una mejor intensidad de señal. De esta manera el usuario se podrá mover con toda libertad a través del área de cobertura teniendo siempre la mejor calidad de señal posible y sin la necesidad de probar manualmente el nivel de recepción con cada repetidor.
- El sistema VHF digital es más seguro que el analógico ya que brinda privacidad de voz y datos mediante la encriptación de la información.



- Los equipos digitales también permiten bloqueo, con lo cual un usuario debe primero ingresar la contraseña antes de poder utilizar un radio, disminuyendo la posibilidad de que un usuario no autorizado acceda a la información que se difunde por la red VHF digital.
- El nuevo sistema VHF digital permite servidor de aplicaciones. El servidor de aplicaciones constituye un computador que contiene todas las aplicaciones de software basadas en servidor que usa el sistema MOTOTRBO. Las aplicaciones más comunes son: servidor y cliente de mensajes de texto, servidor y cliente de localización e interconexión con telefonía.
- La mensajería de texto es una aplicación para PC, extiende los servicios de mensajería de texto incorporados al radio para que puedan ser usados por usuarios de PC tanto de despacho central como móviles. Además brinda acceso a un importante servicio adicional: mensajería de correo electrónico para los usuarios de radio. Este es un servicio adicional que no posee el sistema actual, que permite enviar y recibir información en forma de mensajes cortos a través de los radios MOTOTRBO, sin la necesidad de utilizar dispositivos adicionales.
- El servidor de localización es un software que puede solicitar, recibir y almacenar datos de posición geográfica que los radios MOTOTRBO extraen del conjunto de chips de GPS incorporados. Esta información se mantiene en una base de datos y puede ser extraída por el software de seguimiento mediante mapas para una sencilla visualización. Este servicio le permite a la Empresa Eléctrica Quito prescindir de terceros para monitorear la ubicación de los usuarios (AVL Localización Automática de Vehículos) alrededor del área de cobertura de la red VHF, reduciendo así el costo adicional de contratar empresas para que realicen este procedimiento.

- El diseño del sistema de radiocomunicación digital permite la interconexión del sistema VHF con la telefonía, logrando de esta manera una mayor integración de la red VHF con el resto de sistemas de la Empresa Eléctrica Quito. De esta manera un usuario con un radio MOTOTRBO puede comunicarse con usuarios conectados a la central telefónica de la Empresa Eléctrica Quito.

### **3.4.2 DESVENTAJAS DEL SISTEMA VHF DIGITAL CON RESPECTO AL ANALÓGICO**

- El sistema VHF requiere de un sistema de backhaul (enlaces microonda punto a punto) para interconectar los sitios de repetición. Esto implica un costo en el arrendamiento de frecuencias, adquisición de equipos, e incremento del mantenimiento en general.
- Se requiere la compra de licencias de software adicionales para poder usar las facilidades que permiten los equipos digitales.
- Es necesario personal adicional para realizar funciones de despacho para el servicio de GPS, monitoreo del estado y operación de la red VHF.

### **3.5 VIABILIDAD DEL PROYECTO**

El estudio realizado en anteriores capítulos determina, que la migración de la red VHF analógica actual de la Empresa Eléctrica Quito a un sistema digital es técnicamente viable. Además la tecnología digital permite grandes ventajas sobre el sistema analógico. La tecnología digital brinda una capacidad de comunicaciones que los sistemas analógicos solo lograrían duplicando la cantidad de pares de frecuencias y número de repetidores.

El nuevo sistema trabajará en el mismo rango de frecuencias VHF que se ha venido utilizando, el equipamiento digital permite funcionamiento en modo analógico o

digital. De ésta manera se puede implementar el sistema VHF digital de forma paulatina facilitando el procedimiento de migración de tecnología.

El procedimiento de migración de los canales VHF analógicos actuales, de un ancho de banda de 25 KHz a 12.5 KHz se debe realizar en el año 2013, según el ente regulador de Telecomunicaciones CONATEL. También, la necesidad inmediata de la Empresa Eléctrica Quito en expandir su área de cobertura hacia zonas de interés en las provincias de Napo y Sucumbíos, determinan que el proyecto de migración de tecnología se realice próximamente.

De acuerdo con el listado de costos presentado, tanto del equipamiento del sistema como de los costos de instalación y mantenimiento de la nueva red VHF digital, la migración del sistema es técnica y económicamente factible, y se refuerza con los beneficios inherentes descritos anteriormente del nuevo sistema digital.

## **CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES**

- La tecnología digital del sistema VHF permite utilizar el espectro radioeléctrico de una manera eficiente, obteniendo dos canales virtuales con un mismo repetidor y en un solo par de frecuencias.
- La realización del presente proyecto de titulación, permitió aplicar conocimientos adquiridos en nuestra carrera de ingeniería; constituyendo un gran aporte en el ámbito de telecomunicaciones para la red VHF de la Empresa Eléctrica Quito.
- El equipamiento nuevo digital utilizado en el diseño, fue escogido en base a un estudio comparativo entre técnicas de acceso al medio. Estos equipos permiten una fácil migración de tecnología, ya que puede trabajar en modo analógico o digital, causando menor impacto para todos los usuarios de la red VHF en general.
- La descripción del modo de operación actual del sistema VHF analógico de la Empresa Eléctrica Quito, nos permitió realizar el diseño manteniendo el mismo número de canales, pero expandiendo el área de cobertura de cada uno de ellos hacia zonas de interés para brindar servicio de radiocomunicación de acuerdo a los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito.
- Dentro del diseño de la red microonda, se realizó el cálculo de cantidad de información transmitida de cada enlace, de ésta manera se consigue dimensionar el sistema para escoger el equipamiento adecuado, y asegurar un grado aceptable de rendimiento del enlace para trabajar en una banda de frecuencia licenciada.

- El nuevo Sistema VHF Digital permitirá escalabilidad, ya que ninguno de los canales de área extensa definidos en el diseño superan el máximo de sitios aceptado por el modo de conexión empleado.
- El nivel de seguridad que ofrece el sistema MOTOTRBO es mucho mejor que el de un sistema análogo, en virtud de que esta tecnología no puede ser fácilmente escuchada por un scanner sintonizado en una frecuencia. El tipo de modulación, acceso al medio y sus niveles de encriptación la hace mucho más segura.
- La Empresa Eléctrica Quito posee un Departamento de Comunicaciones y Soporte con profesionales capacitados para realizar configuraciones respectivas en la red de datos de la Empresa Eléctrica Quito, con el fin de asignar nuevas direcciones IP para la red VHF digital.
- Las aplicaciones de mensajería de texto y localización automática de vehículos permitirán optimizar los recursos del sistema, disminuir el tráfico de voz y tener el control más eficiente de vehículos o grupos de trabajo.
- La migración del sistema de radiocomunicaciones VHF analógico a un sistema digital permitirá interactuar con los sistemas aplicativos de la Empresa Eléctrica Quito. Aprovechar las grandes facilidades de la tecnología digital para comunicación entre usuarios de radio y de teléfono.
- El audio de los sistemas digitales de radiocomunicaciones de dos vías presenta mejores condiciones al límite de la cobertura, porque sus señales pueden ser corregidas mediante mecanismos de corrección de errores, y es menos susceptible a problemas de intermodulación y ruido.

- El desarrollo de tecnología actual permite utilizar distintos software de simulación, con los cuales se permite recrear la ubicación geográfica de los sitios de repetición, simular el área de cobertura del sistema y predecir el comportamiento de enlaces inalámbricos.
- La banda de frecuencia licenciada de 7.2 GHz de los equipos PTP07800 implica un costo adicional de mantenimiento de la red de radiocomunicaciones. Sin embargo, de esta manera se consigue un grado alto de disponibilidad de los enlaces de microonda, satisfaciendo los requerimientos de la Empresa Eléctrica Quito.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar la implementación del Sistema VHF Digital de manera paulatina, de acuerdo al cronograma de implementación presentado, de éste modo no se afectará la continuidad de trabajo de la Empresa Eléctrica Quito.
- Para seleccionar una aplicación de datos adecuada es necesario saber claramente los requerimientos de los usuarios, a fin de poder ofrecer un servicio de calidad y sin problemas.
- Se recomienda utilizar el software de aplicaciones Smart PTT descrito en el capítulo dos, con el cual se consigue facilidades de interconexión con telefonía, mensajería y datos GPS; por medio de una red basada en IP.
- La capacidad de transmisión de los enlaces microonda con banda de frecuencia licenciada, es muy alta. Éstos equipos punto a punto pueden soportar desde 10 Mbps a 34.5 Mbps dependiendo de la modulación utilizada; por tal motivo es recomendable investigar la rentabilidad de arrendar parte de la capacidad de transmisión de éstos enlaces a instituciones interesadas.

- Para implementar el nuevo Sistema VHF Digital se recomienda calibrar la potencia de transmisión de los equipos, realizar pruebas de campo para orientar antenas, y verificar el funcionamiento y calidad del servicio.
- Es recomendable realizar pruebas de los sistemas de respaldo de energía, tales como medición del tiempo en el cual los equipos continúan en funcionamiento en el caso de producirse caída de la red eléctrica. De esta manera se puede prever inconvenientes y no dejar sin servicio a los usuarios.
- Se recomienda buscar alternativas para reducir costos, por ejemplo revisar el cálculo del arrendamiento de frecuencias, donde el factor de la potencia de transmisión de los equipos influye en el costo final de la tarificación mensual.
- Se recomienda que todos los repetidores estén actualizados con la misma versión de firmware, y que esta sea "R01.07.00" ó mayor, para el correcto funcionamiento de la Conexión IP de sitio y para el funcionamiento apropiado del servidor de aplicaciones.
- Es recomendable analizar la posibilidad de desarrollar interfaces que se puedan adaptar a los equipos MOTOTRBO, para permitir la integración con otros sistemas aplicativos como por ejemplo la telemetría.
- El modelo de propagación de ondas de Longley-Rice en el cual se basa Radio Mobile indica que la simulaciones de cobertura realizadas son muy cercanas a la realidad, sin embargo se recomienda realizar pruebas de campo en sitios muy poblados, ya que este modelo no toma en cuenta lugares de sombra producidos por edificios.

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS Y MANUALES:

- FREEMAN, R. L. (1999). Fundamentals of Telecommunications. Toronto: JOHN WILEY & SONS, INC.
- ROHNER, C. (2006). Antenna Basics. ROHDE&SCHWARZ.
- BALANIS, C. A. (2008). MODERN ANTENNA HANDBOOK. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- MOTOROLA. (2009). Manual del planificador del sistema. EEUU: MOTOROLA INC.

### TESIS:

- MEDIAVILLA, D., & TALAVERA, D. (2011). Estudio de la migración del Sistema VHF Analógico a Digital de Petrocomercial Distrito Norte. Quito.
- CONTRERAS, J. (2009). Diseño e implementación de un simulador para analizar el funcionamiento de un Sistema de Antenas Inteligentes. Quito.

### ARTICULOS:

- MOTOTRBO. (2001). Presentación de Aplicaciones. Motorola. Rusia. Obtenido de Motorola.
- MOTOROLA. (2008). Guía de Usuario PTP LinkPlanner. EEUU: MOTOROLA INC.

### PAGINAS WEB:

- ÁLVAREZ, J. A. (s.f.). BANDAS DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO. Obtenido de [http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_frec\\_radio/ke\\_frec\\_radio\\_2.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_frec_radio/ke_frec_radio_2.htm)
- BLOG INFORMATICO. (s.f.). Antenas y sus Características. Obtenido de <http://www.blogsvip.com/antenas-y-sus-caracteristicas/>



- CONATEL. (Enero de 2009). REGLAMENTO DE DERECHOS POR CONCESIÓN Y TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO. Obtenido de CONSEJO NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES:  
[http://conatel.gob.ec/site\\_conatel/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=2092&Itemid=](http://conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=2092&Itemid=)
- CONATEL. (2012). Coordenadas de Referencia. Obtenido de [http://www.conatel.gob.ec/site\\_conatel/index.php?option=com\\_content&view=article&catid=39%3Afrecuencias&id=420%3Acoordenadas-de-referencia&Itemid=164](http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&catid=39%3Afrecuencias&id=420%3Acoordenadas-de-referencia&Itemid=164)
- DE LA CRUZ, J. M. (s.f.). Introducción a la difracción de ondas. Obtenido de <http://mecfunnet.faii.etsii.upm.es/difraccion/dif0.html>
- DMR. (s.f.). Digital Mobile Radio Association. Obtenido de Beneficios Principales: [http://dmrassociation.org/?page\\_id=710&lang=es](http://dmrassociation.org/?page_id=710&lang=es)
- INELE. (s.f.). Tipos de Propagación de Ondas. Obtenido de [http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Redes\\_de\\_computadores/clase\\_redes\\_inalambricas2.pdf](http://www.inele.ufro.cl/apuntes/Redes_de_computadores/clase_redes_inalambricas2.pdf)
- MEISTER, R. W. (06 de octubre de 2011). Motorola GM300. Obtenido de Information page: <http://www.repeater-builder.com/maxtrac/gm300-info.html>
- MGTRADING Soluciones Inalámbricas. (s.f.). Obtenido de <http://www.mg.com.pe/descargas/motorola/MG%20MotoTrbo%20v1.pdf>
- MORRIS, M. (s.f.). Information and Modifications for the MSR2000 station. Obtenido de <http://www.repeater-builder.com/msr2000/msr2000-index.html>
- MOTOROLA. (Agosto de 1996). GP350 PORTABLE RADIOS Service Manual. Obtenido de [http://www.hollywoodstudiorrentals.com/uploads/082908\\_gp350.pdf](http://www.hollywoodstudiorrentals.com/uploads/082908_gp350.pdf)
- MOTOROLA. (2002). PRO 5150 RADIO PORTATIL. Obtenido de Hoja de Especificaciones: <http://www.aka.cl/sitio/descargas/EquiposMotorola/Motorola%20PRO%205150/Brochure%20portatil%20Pro5150.pdf>
- MOTOROLA. (2005). EP450 RADIO PORTATIL. Obtenido de Hoja de Especificaciones: <http://www.motorola.com/web/Business/Products/Two->

Way%20Radios%20and%20Pagers%20-%20Business/Latin%20America%20-%20Portable%20Radios/Wide%20Area%20Large%20Business/\_Documents/StaticFile/LS-P450-PS-LR\_low.pdf

- MOTOROLA. (2006). Tecnología TDMA. Obtenido de [http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/\\_Documents/Spanish/StaticFiles/MOTOTRBO.pdf](http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/_Documents/Spanish/StaticFiles/MOTOTRBO.pdf)
- MOTOROLA. (2008). Hoja de Especificaciones DGM 6100. Obtenido de [http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/\\_Documents/Spanish/StaticFiles/DGR-%20MOTOTRBO%20DGM%206100%20&%20DGM%206100.pdf](http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/_Documents/Spanish/StaticFiles/DGR-%20MOTOTRBO%20DGM%206100%20&%20DGM%206100.pdf)
- MOTOROLA. (2008). Hoja de Especificaciones DGP 6150. Obtenido de [http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/\\_Documents/Spanish/StaticFiles/DGR-%20MOTOTRBO%20RadiosDGP%206150%20&%20DGP%206150+.pdf](http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/_Documents/Spanish/StaticFiles/DGR-%20MOTOTRBO%20RadiosDGP%206150%20&%20DGP%206150+.pdf)
- MOTOROLA. (2008). Hoja de Especificaciones DGR6175. Obtenido de [http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/\\_Documents/Spanish/StaticFiles/DGR-%20MOTOTRBO%20Radios%20Repetidor%20DGR%206175.pdf](http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/_Documents/Spanish/StaticFiles/DGR-%20MOTOTRBO%20Radios%20Repetidor%20DGR%206175.pdf)
- MOTOROLA. (2008). MOTOTRBO. Obtenido de RDAC: [http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/\\_Documents/Spanish/StaticFiles/RDAC.pdf](http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/_Documents/Spanish/StaticFiles/RDAC.pdf)
- MOTOROLA. (2008). MOTOTRBO™. Obtenido de Radios portátiles DGP™4150 / DGP™4150+: [http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/\\_Documents/Spanish/StaticFiles/DGR-%20MOTOTRBO%20DGP%204150%20&%20DGP%204150.pdf](http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/_Documents/Spanish/StaticFiles/DGR-%20MOTOTRBO%20DGP%204150%20&%20DGP%204150.pdf)
- MOTOROLA. (2008). MOTOTRBO™. Obtenido de Radios móviles DGM™4100 / DGM™4100+: [http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/\\_Documents/Spanish/StaticFiles/DGR-%20MOTOTRBO%204100.pdf](http://www.motorola.com/web/Business/Product%20Lines/MOTOTrbo/Mobiles/_Documents/Spanish/StaticFiles/DGR-%20MOTOTRBO%204100.pdf)
- MOTOROLA. (2009). EM400 RADIO MOVIL. Obtenido de Hoja Especificaciones: <http://www.futurodigitalcolombia.com:81/radios/EM400.pdf>

- MOTOROLA. (2009). PRO5100 RADIO MOVIL PROFESIONAL. Obtenido de Hoja de Especificaciones: <http://www.futurodigitalcolombia.com:81/radios/pro5100.pdf>
- MOTOROLA. (2010). MOTOTRBO. Obtenido de MTR 3000 ESTACIÓN BASE / REPETIDOR: [http://www.motorola.com/web/Business/Products/Two-Way%20Radios%20-%20Public%20Safety/Base%20Stations/MTR3000/Documents/staticfiles/MOT\\_MTR\\_3000\\_VHF\\_Spec\\_sheet\\_ES\\_051611.pdf](http://www.motorola.com/web/Business/Products/Two-Way%20Radios%20-%20Public%20Safety/Base%20Stations/MTR3000/Documents/staticfiles/MOT_MTR_3000_VHF_Spec_sheet_ES_051611.pdf)
- MOTOROLA. (2011). Motorola PTP800 Licensed Ethernet Microwave. Obtenido de [http://wirelessnetworkchannel-asia.motorola.com/pdf/ptp/ptp800/wns\\_ptp\\_800\\_04-00\\_odu-ab\\_ss\\_073011\\_final.pdf](http://wirelessnetworkchannel-asia.motorola.com/pdf/ptp/ptp800/wns_ptp_800_04-00_odu-ab_ss_073011_final.pdf)
- MOTOROLA. (s.f.). Especificaciones CDR - 500. Obtenido de [http://teknikkom.com/pdf/Motorola/Analogue/Repeater/Motorola\\_CDR500\\_&\\_CDR700.pdf](http://teknikkom.com/pdf/Motorola/Analogue/Repeater/Motorola_CDR500_&_CDR700.pdf)
- MOTOROLA. (s.f.). Especificaciones PRO3100. Obtenido de <http://www.proexcom.com/am/pro3100.pdf>
- Notas sobre Modelo de Longley - Rice. (s.f.). (NTIA Reporte 82-100) Obtenido de [http://www.softwright.com/faq/engineering/prop\\_longley\\_rice.html](http://www.softwright.com/faq/engineering/prop_longley_rice.html)
- SINCLAIR. (s.f.). Low Band, Aviation, and VHF Duplexores. Obtenido de Q2220 Series: <http://www.sinctech.com/catalog/resources/pdf/Q2220-DM.pdf>
- TDK RF Solutions Inc. (13 de Abril de 2012). Interpreting Antenna Performance Parameters for EMC Applications. Obtenido de Part 3: Antenna Factor: [http://www.tdkrfsolutions.com/DataPDFs/antenna\\_paper\\_part3.pdf](http://www.tdkrfsolutions.com/DataPDFs/antenna_paper_part3.pdf)
- UIT. (2007). Recomendación UIT-R V.573-5\*. Obtenido de Vocabulario de Radiocomunicaciones: [http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.573-5-200709-!!!PDF-S.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/R-REC-V.573-5-200709-!!!PDF-S.pdf)
- Universidad Politécnica de Valencia. (s.f.). Antenas. Obtenido de [http://www.upv.es/antenas/Documentos\\_PDF/transparencias/parametros\\_antenas.pdf](http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/transparencias/parametros_antenas.pdf)
- VILLENA, R. (s.f.). Antenas Para Todos. Obtenido de <http://antenasparatodos.blogspot.com/2008/05/polarizacin.html>

- WACOM. (s.f.). DUPLEXER. Obtenido de WP-641: <http://www.repeater-builder.com/wacom/wp641.pdf>
- WIKIPEDIA. (s.f.). Frecuencia Intermedia. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia\\_intermedia](http://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia_intermedia)

## GLOSARIO

<b>ADP</b>	Programa para Desarrolladores de Aplicaciones
<b>AMBE</b>	Advanced Multiband Excitation
<b>APP</b>	Puente Telefónico Analógico
<b>ASK</b>	Amplitud Shift Keying
<b>AVL</b>	Localización Automática de Vehículos
<b>BER</b>	Tasa de Bits Erróneos
<b>CAI</b>	Common Air Interface
<b>CONATEL</b>	Consejo Nacional de Telecomunicaciones
<b>DHCP</b>	Dynamic Host Configuration Protocol
<b>DMR</b>	Digital Mobile Radio
<b>DTMF</b>	Dual Tone Multi Frequency
<b>DTP</b>	Digital Telephone Patch
<b>EEQ</b>	Empresa Eléctrica Quito
<b>EHF</b>	Extremely High Frequency
<b>EIA</b>	Alianza de Industrias Electrónicas
<b>ELF</b>	Extremely Low Frequency
<b>ETSI</b>	Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo

<b>FDMA</b>	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
<b>FI</b>	Frecuencia Intermedia
<b>FM</b>	Modulación en Frecuencia
<b>FSK</b>	Frequency Shift Keying
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global
<b>HF</b>	High Frequency
<b>IETF</b>	Internet Engineering Task Force
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>IPSC</b>	IP Site Connect
<b>ISP</b>	Proveedor de Servicios de Internet
<b>ITM</b>	Irregular Terrain Model
<b>LF</b>	Low Frequency
<b>LRRP</b>	Location Request and Response Protocol
<b>MCDD</b>	Multi Channel Device Driver
<b>MF</b>	Medium Frequency
<b>NDIS</b>	Network Driver Interface Specification
<b>NIC</b>	Network Interface Card
<b>NTIA</b>	National Telecommunications & Information Administration

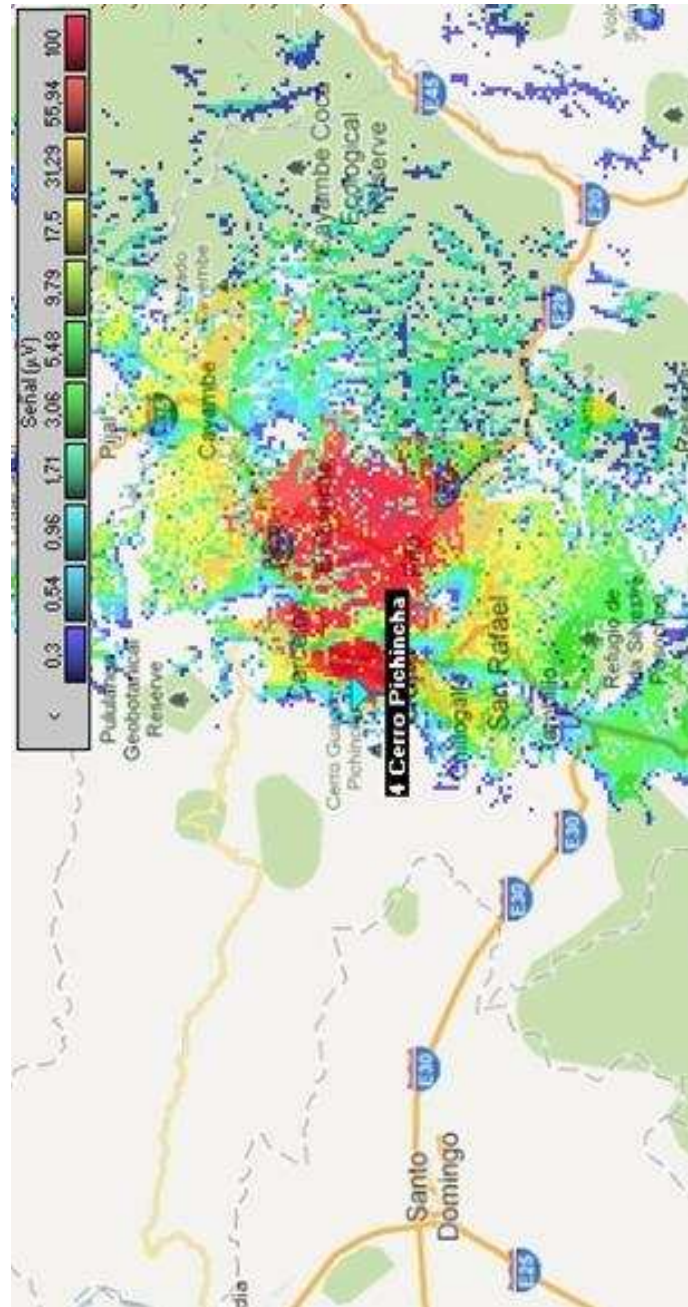
<b>ODU</b>	Out Door Unit
<b>PBX</b>	Central Telefónica Privada
<b>PIDU</b>	Powered Indoor Unit
<b>PIRE</b>	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
<b>PTT</b>	Push to Talk
<b>PRA</b>	Potencia Radiada Aparente
<b>PSK</b>	Phase Shift Keying
<b>PTP</b>	Point to Point
<b>RDAC</b>	Repeater Diagnostics and Control
<b>RDCT</b>	Reglamento de Derechos por Concesión y Tarifas por Uso de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico.
<b>RF</b>	Radio Frecuencia
<b>RNDIS</b>	Remote Network Driver Interface Specification
<b>RTP</b>	Real-Time Transport Protocol
<b>SHF</b>	Super High Frequency
<b>SINAD</b>	Signal to Noise and Distortion Ratio
<b>SIP</b>	Session Initiation Protocol
<b>SRTM</b>	Shuttle Radar Topography Mission

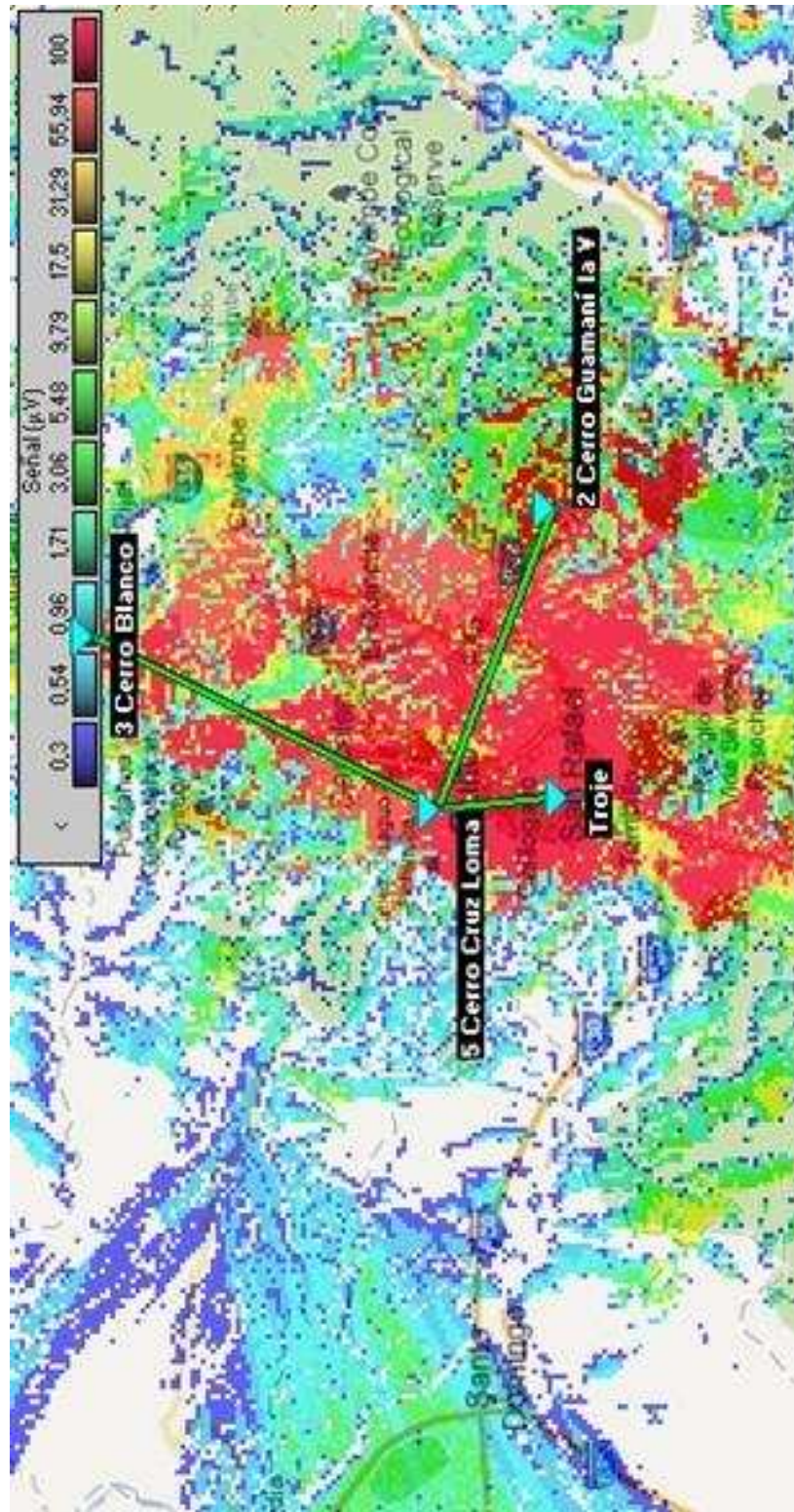
<b>TDMA</b>	Acceso Múltiple por División de Tiempo
<b>TMP</b>	Text Message Protocol
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>UHF</b>	Ultra High Frequency
<b>UIT</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>VHF</b>	Very High Frequency
<b>VLf</b>	Very Low Frequency
<b>VoIP</b>	Voz sobre IP
<b>VOX</b>	Voice Activated Transmission

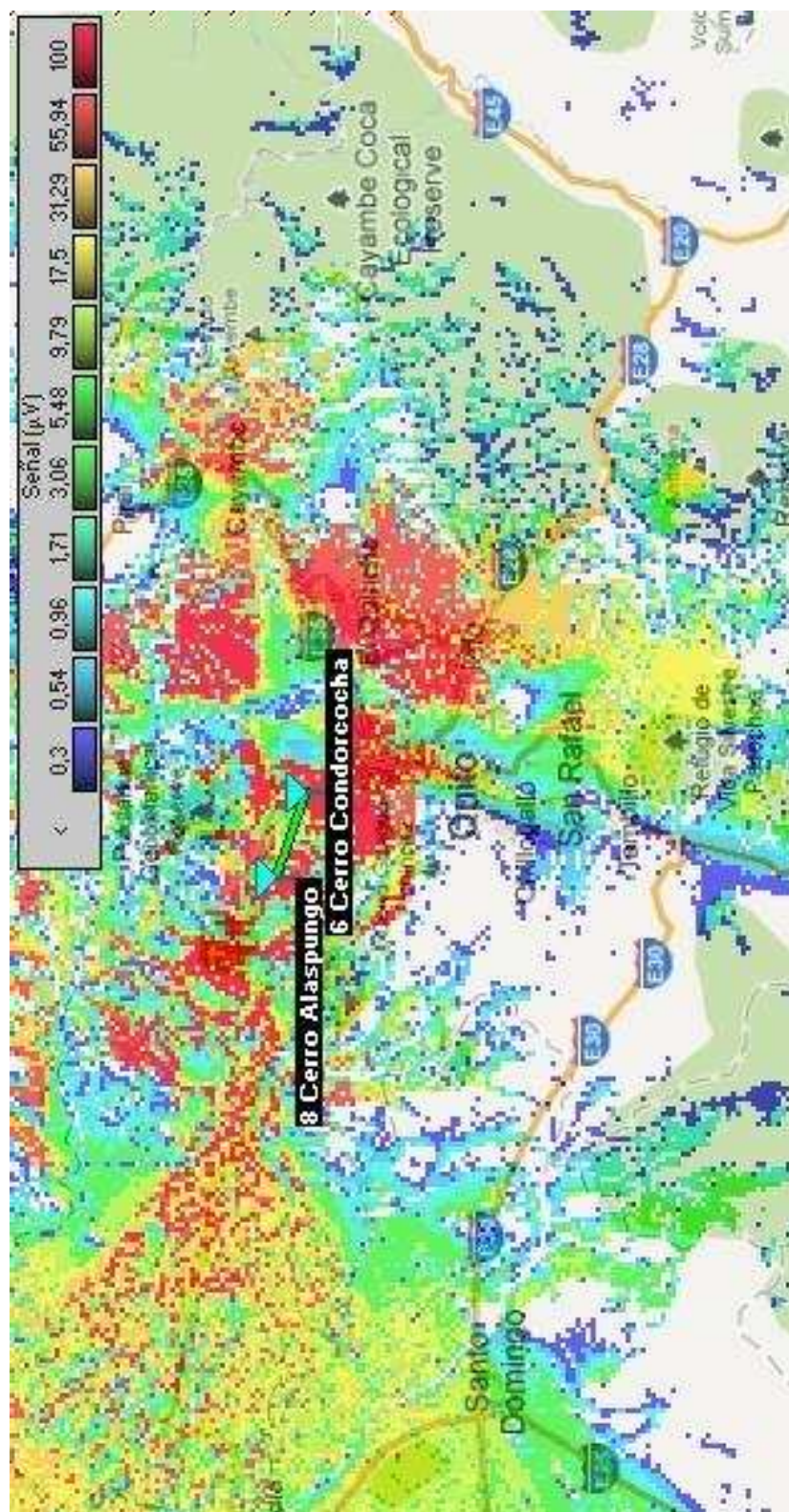


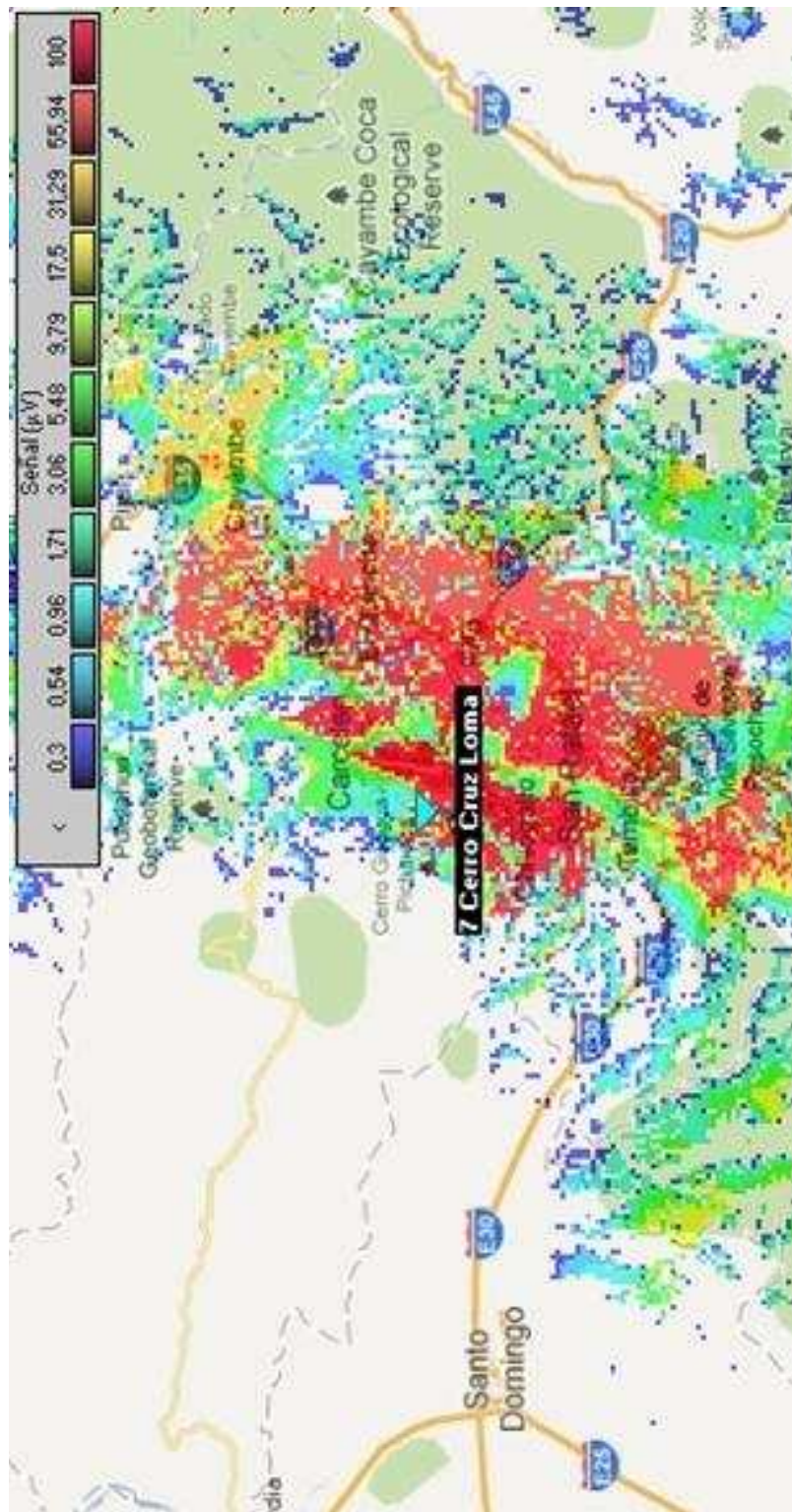
## ANEXO I

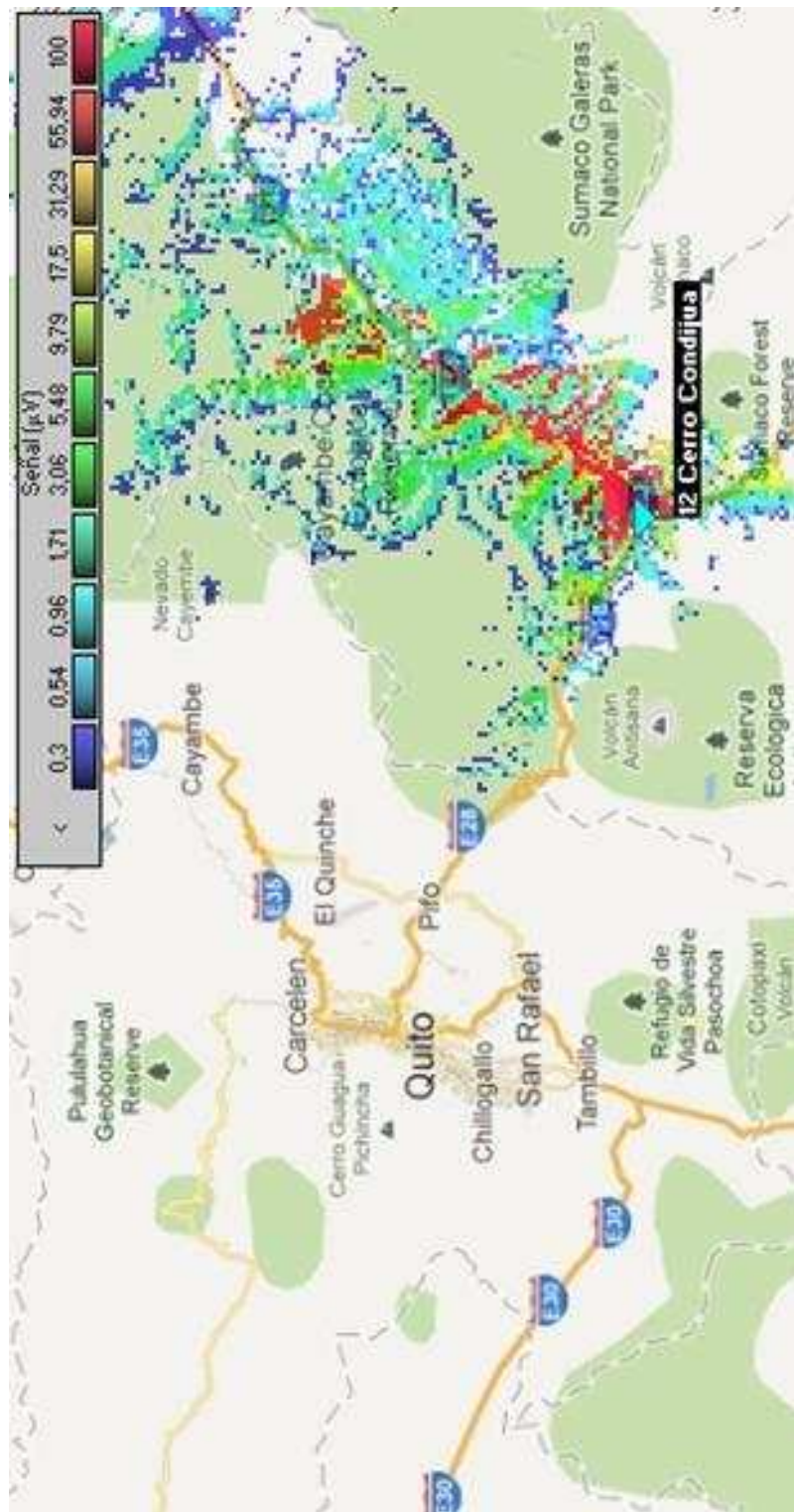
### COBERTURAS DE LOS CANALES VHF ACTUALES













# MOTOTRBO™

## Radios portátiles DGP™ 6150 / DGP™ 6150+



Cambie a digital.

Ya está disponible la siguiente generación de soluciones de comunicación de radios profesionales de dos vías que ofrece mejor rendimiento, mayor productividad y valor superior, gracias a la tecnología digital que ofrece mayor capacidad, mejor eficiencia del espectro, comunicaciones integradas de datos y mejores comunicaciones de voz.

El portafolio MOTOTRBO le ofrece una solución privada, rentable y basada en estándares que puede ser adaptada para satisfacer sus necesidades específicas de funcionalidad y cobertura.

Este versátil portafolio proporciona un sistema completo de radios portátiles, radios móviles, repetidores, accesorios y aplicaciones de datos. Es decir, es una solución completa.

Los modelos con GPS pueden transmitir las coordenadas de su ubicación utilizando la aplicación de Servicios de Localización.

Capacidad de enviar mensajes de texto pequeños y mensajes preprogramados rápidos utilizando botones programables o teclado.

Lista de contactos con capacidad de hasta 256 registros.

Permite una fácil migración de analógico a digital gracias a su capacidad para funcionar en ambos modos.

Cumple con las Normas militares 810 C, D, E y F, la especificación IP57 para sumersión y las pruebas de Motorola para durabilidad y confiabilidad.

El conector de accesorios cumple con las especificaciones IP57 para sumersión e incorpora capacidad para RF, USB y audio mejorado.

Utiliza los sistemas de audio y energía IMPRES para automatizar el mantenimiento de la batería, optimizar su ciclo de vida, maximizar el tiempo de conversación y mejorar la función de audio.

Funciones mejoradas de administración de llamadas incluyendo alerta de llamada, llamada de emergencia, monitoreo remoto, identificación de llamada (PT-ID), verificación de radio, llamada privada e inhabilitación de radio.

### Funciones principales

Radios portátiles disponibles en modelos con pantalla, con GPS y sin GPS.

Utiliza tecnología digital de Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) que duplica el número de usuarios que pueden recibir servicio con un solo canal de 12,5 kHz con licencia.

Integra voz y datos para aumentar la eficiencia operativa.

Permite aplicaciones de datos incluyendo Servicios de mensajes de texto MOTOTRBO y Servicios de localización MOTOTRBO.

Ofrece comunicaciones de voz más nítidas en un rango más amplio de cobertura comparado con radios analógicos similares.

Botón de emergencia para alertar al supervisor o despachador en una situación de emergencia.

### ESPECIFICACIONES DEL RADIO PORTÁTIL MOTOTRBO DGP 6150 / DGP 6150+

GENERAL	VHF	UHF	GPS
Número de canales	1,000		
Frecuencia	136 - 174 MHz	403-470 MHz / 450-512 MHz	
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundidad)	131,5 x 63,5 x 35,2 mm		
Antena	300 mW / 13,8 dBi (con batería EM de Libon)		
Tiempo de conversación (con batería de NIMH)	400 (0 114.9 ver)		< 2 minutos
Puerta de administración	RSV nominal		< 10 segundos
Aprobación FCC	AZ459713R15	AZ459714E37 / AZ459714B4	< 10 minutos

Vida promedio de la batería en un ciclo de trabajo de 50/50 con acelerador de batería incluido en el estancamiento.

Batería IMPRES de Libon	Batería IMPRES de Libon	Batería IMPRES de Libon
De perforación plana	Analógico: 8 horas	
De perforación plana	Digital: 13 horas	
Batería EM IMPRES de Libon	Digital: 12 horas	
Batería de NIMH	Análogo: 8 horas	
	Digital: 11 horas	

### RECEPTOR

Frecuencia	136 - 174 MHz	403-470 MHz / 450-512 MHz
Estancamiento de canal	6,25 MHz / 12,5 kHz	
Estabilidad de frecuencia	+/- 15 ppm (sin GPS)	
Temperatura de funcionamiento	0-36 °C / +7.0 ppm (con GPS)	
Sensibilidad analógica (12 dB SINAD)	0.36 µV	0.3 µV
Sensibilidad digital	0.22 µV (línea)	0.22 µV (línea)
Intermodulación (TIAG050)	5% BER 0.3 µV	
Selectividad de canal adyacente	70 dB	

### TRANSMISOR

Frecuencia	136 - 174 MHz	403-470 MHz / 450-512 MHz
Estancamiento de canal	6,25 MHz / 12,5 kHz	
Estabilidad de frecuencia	+/- 15 ppm (sin GPS)	
Temperatura de funcionamiento	0-36 °C / +7.0 ppm (con GPS)	
Potencia de salida	1W	1W
Potencia baja	5W	4W
Modulación de modulación	+/- 3.5 VVZ +/- 10.2 kHz	
Limitador de ruido FM	+/- 4.0 kHz / 26 kHz	
Emissiones conducidas / irradiadas	-45 dB a 2.5 MHz	
Potencia de canal adyacente	-36 dBm < 1 GHz	
Requisitos de audio	60 dB a 12.5 kHz	
Distribución de audio	-45 dB a 12.5 kHz	
Modulación FM	3% (línea)	
Modulación digital	25 MHz 11K0F3E	

### APROBACIONES DE FACTORY MUTUAL

Los radios portátiles de la serie MOTOTRBO DGP han sido certificados por Factory Mutual, F.M.O. como un dispositivo seguro para uso en las Clases 1, II, III, División I, FM aprobadas de Motorola. También están aprobados para uso en Clases I, División 2, Clase II, C.C.

**Calidad y confiabilidad**  
 Prueba de vida acelerada de Motorola  
 Normas militares MILSPEC 810 C, D, E y F  
 Reaprobado por una garantía estándar de dos años

NORMAS MILITARES	810C	810D	810E	810F
Norma MIL-STD-883C				
Pruebas de shock	500.1	500.2	500.3	500.4
Pruebas de vibración	501.1	501.2	501.3	501.4
Temperatura de almacenamiento	502.1	502.2	502.3	502.4
Temperatura de funcionamiento	503.1	503.2	503.3	503.4
Umbral de humedad	504.1	504.2	504.3	504.4
Pruebas de choque	507.1	507.2	507.3	507.4
Pruebas de choque de choque	510.1	510.2	510.3	510.4
Pruebas de choque de choque	511.1	511.2	511.3	511.4
Pruebas de choque de choque	514.1	514.2	514.3	514.4
Pruebas de choque de choque	518.1	518.2	518.3	518.4

MOTOROLA y el logo de Motorola son marcas registradas de Motorola en los EE.UU. y otros países. Motorola, el logo de Motorola y el nombre de Motorola son marcas registradas de Motorola en otros países. Motorola, el logo de Motorola y el nombre de Motorola son marcas registradas de Motorola en otros países. Motorola, el logo de Motorola y el nombre de Motorola son marcas registradas de Motorola en otros países.





# MOTOTRBO™

## Radios móviles DGM™ 6100 / DGM™ 6100+



Cambie a digital.

Ya está disponible la siguiente generación de soluciones de comunicación de radios profesionales de dos vías que ofrece mejor rendimiento, mayor productividad y valor superior, gracias a la tecnología digital que ofrece mayor capacidad, mejor eficiencia del espectro, comunicaciones integradas de datos y mejores comunicaciones de voz.

El portafolio MOTOTRBO le ofrece una solución privada, rentable y basada en estándares que puede ser adaptada para satisfacer sus necesidades específicas de funcionalidad y cobertura.

Este versátil portafolio proporciona un sistema completo de radios portátiles, radios móviles, repetidores, accesorios y aplicaciones de datos. Es decir, es una solución completa.

Indicadores LEDs multicolor para ofrecer información clara y visible sobre las funciones de llamadas, rastreo y monitoreo. Los modelos con GPS pueden transmitir las coordenadas de su ubicación utilizando la aplicación de Servicios de Localización.

Permite una fácil migración de analógico a digital gracias a su capacidad para funcionar en ambos modos. Cumple con las Normas militares 810 C, D, E, F, y las pruebas de Motorola para durabilidad y confiabilidad.

Utilice el Sistema IMPRES de audio para mejorar la función de audio.

Incluye micrófono compacto y ergonómico.

Funciones mejoradas de administración de llamadas incluyendo alerta de llamada, llamada de emergencia, monitoreo remoto, identificación de llamada (PTT-ID), verificación de radio, llamada privada e inhabilitación de radio.

Capacidad de enviar mensajes de texto pequeños (requiere micrófono con teclado) y mensajes preprogramados rápidos mediante botones programables o menú.

### Funciones principales

Radios móviles disponibles en modelos con pantalla alfanumérica, con GPS y sin GPS.

Utiliza tecnología digital de Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) que duplica el número de usuarios que pueden recibir servicio con un solo canal de 12.5 kHz con licencia.

Integra voz y datos para aumentar la eficiencia operativa.

Permite aplicaciones como Servicios de mensajes de texto MOTOTRBO y Servicios de localización MOTOTRBO.

Cuatro botones programables para fácil acceso a sus funciones favoritas.

Incluye cubiertas personalizables para botón que facilitan la comprensión del usuario.

Botón de emergencia para alertar al supervisor o despachador en una situación de emergencia.

### ESPECIFICACIONES DEL RADIO MÓVIL MOTOTRBO DGM 6100 / DGM 6100+

GENERAL	VHF	BAND I	UHF	BAND II	GPS
Número de canales	180				Las especificaciones de precisión son para seguimiento de largo plazo (hasta 1 hora de operación) y están basadas en una fuerza de señal nominal de -130 dBm.
Salida RF: Pico	1-26 W	1-25 W	1-40 W	1-40 W	TTF (Tiempo para el primer punto fijo) > 5 segundos
Potencia baja	25-45 W	25-40 W	(1-25 W above 512 MHz)		TTF (Tiempo para el primer punto fijo) < 1 minuto
Potencia alta	136-174 MHz	403-470 MHz	450-527 MHz		TTF (Tiempo para el primer punto fijo) < 10 segundos
Frecuencia	25-45 W	25-40 W	403-470 MHz	450-527 MHz	Resolución de posición < 10 metros
Dimensiones Almacenamiento	25-45 W	25-40 W	403-470 MHz	450-527 MHz	
Dimensiones Operación	25-45 W	25-40 W	403-470 MHz	450-527 MHz	
Consumo de corriente	0.81 A max				

RECEPTOR	VHF	BAND I	UHF	BAND II
Frecuencia	136-174 MHz	403-470 MHz	450-527 MHz	
Espectro de canal	12.5 kHz / 25 kHz			
Estabilidad de frecuencia	+/- 1.5 ppm (sin GPS)			
Offset de frecuencia	+/- 0.5 ppm (con GPS)			
Sensibilidad analógica (12dB SINAD)	0.2 µV			
Sensibilidad digital	0.2 µV			
Intermodulación (IM3) (dB)	0.75 dB			
Selectividad de canal adyacente	66 dB a 12.5 kHz, 80 dB a 25 kHz			
TI4603C	50 dB a 12.5 kHz, 80 dB a 25 kHz			
Receptor de espurios (TI4603C)	75 dB			
Auto nominal	75 dB			
Receptor de espurios (TI4603C)	75 dB			
Auto nominal	75 dB			
Receptor de espurios (TI4603C)	75 dB			
Auto nominal	75 dB			
Receptor de espurios (TI4603C)	75 dB			
Auto nominal	75 dB			
Receptor de espurios (TI4603C)	75 dB			
Auto nominal	75 dB			

### Calidad y confiabilidad

- Prueba de vida acelerada de Motorola
- Normas militares MIL-SPEC 810 C, D, E, y F
- Respaldo por una garantía estándar de dos años

TRANSMISOR	VHF	BAND I	UHF	BAND II
Frecuencia	136-174 MHz	403-470 MHz	450-527 MHz	
Espectro de canal	12.5 kHz / 25 kHz			
Estabilidad de frecuencia	+/- 1.5 ppm (sin GPS)			
Offset de frecuencia	+/- 0.5 ppm (con GPS)			
Potencia baja	1-26 W	1-25 W	1-40 W	
Potencia alta	25-45 W	25-40 W	(1-25 W above 512 MHz)	
Límite de modulación	+/- 2.5 VHz a 12.5 kHz			
Zumbido y ruido FM	-40 dB a 12.5 kHz			
Emisiones conducidas / irradiadas	3% (banda)			
Potencia de canal adyacente (TI4603C)	70 dB a 25 kHz			
Respaldo de audio	TI4603C			
Emisión de espurios conducidas (TI4603C)	-57 dBm			

NORMAS MILITARES	VHF	BAND I	UHF	BAND II
Norma MIL-STD Adecuada	810C	810D	810E	810F
Base presión	500	500.2	500.3	500.4
Temperatura alta	501	501.2	501.3	501.4
Temperatura baja	502	502.2	502.3	502.4
Cambios de temperatura	503	503.2	503.3	503.4
Humedad	504	504.2	504.3	504.4
Vibración	505	505.2	505.3	505.4
Choque	506	506.2	506.3	506.4
Salvo Solapado	507	507.2	507.3	507.4
Salvo Soplado	508	508.2	508.3	508.4
Antes de Salvar	509	509.2	509.3	509.4
Impedancia	510	510.2	510.3	510.4
Prueba de Corriente	511	511.2	511.3	511.4
Choque	512	512.2	512.3	512.4



motorola.com/mototrbo6100

MOTOROLA y el logo V están registrados en la oficina de marcas registradas de los Estados Unidos y en otros países. Motorola, Inc. © 2008 Motorola, Inc. Todos los derechos reservados. L241RFG-0100P-3-08

# MOTOTRBO™

## Repetidor DGR™ 6175



### Cambie a digital.

Ya está disponible la siguiente generación de soluciones de comunicación de radios profesionales de dos vías que ofrece mejor rendimiento, mayor productividad y valor superior, gracias a la tecnología digital que ofrece mayor capacidad, mejor eficiencia del espectro, comunicaciones integradas de datos y mejores comunicaciones de voz.

El portafolio MOTOTRBO le ofrece una solución privada, rentable y basada en estándares que puede ser adecuada para satisfacer sus necesidades específicas de funcionalidad y cobertura.

Este versátil portafolio proporciona un sistema completo de radios portátiles, radios móviles, repetidores, accesorios y aplicaciones de datos. Es decir, es una solución completa.

### Funciones principales

- Permite dos vías simultáneas de voz o datos en modo digital de Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).
- Duplica el número de usuarios que pueden recibir servicio con un solo canal de 12.5 kHz con licencia.
- Integra voz y datos para aumentar la eficiencia operativa.
- Ciclo de servicio total continuo de 100% hasta 45W en VHF y 40W en UHF
- Fuente de alimentación integrada.
- Los LEDs indican claramente los modos de transmisión y recepción en ambos segmentos de canal, así como la operación en modo analógico y digital.
- Instalación estándar en bastidor. Kit para montaje en pared también disponible.

### ESPECIFICACIONES DEL REPETIDOR MOTOTRBO DGR 6175

GENERAL	VHF	BAND I	BAND II	UHF
Número de Canales	1,000	1,25 W	1,40 W	1,40 W
Salida RF típica	1,25 W	25-40 W	25-40 W	(1-25 W above 512 MHz)
Frecuencia	136-174 MHz	403-470 MHz	460-527 MHz	460-527 MHz
Dimensiones (Altura/Prof)	132.6 x 462.6 x 396.5 mm			
Peso	6.77 kg (14.91 lb)			
Consumo de corriente: En espera	1.1 A @ 12.5 V DC			
Consumo de corriente: En operación	1.1 A @ 12.5 V DC			
Transmisión	3.8 A @ 11 A DC (típica)			
Rango Operativo de temperatura	-30 C a +60 C			
Ciclo Máximo de trabajo	100%			
Aprobación FCC	AE259F1336B			AE259F14206
	Altizapf1336S			Altizapf1420S

### RECEPTOR

VHF	BAND I	BAND II	UHF
Frecuencia	136-174 MHz	403-470 MHz	460-527 MHz
Esquematismo de canal	6.25 kHz / 12.5 kHz		
Estabilidad de frecuencia	+/- 0.5 ppm		
Sensibilidad analógica (12dB SINAD)	0.3 µV		
Sensibilidad digital (TIA603C)	0.22 µV (típico)		
Selección de canal discreta	5% BER: 0.3 µV		
	70 dB		
	80 dB		
	66 dB a 12.5 MHz, 80 dB a 25 MHz		
	50 dB a 12.5 MHz, 80 dB a 25 MHz		
	3% (típico)		
	-40 dB a 12.5 MHz		
	TIAG03C		
	TIAG03C		
	57 dBm		

### TRANSMISOR

VHF	BAND I	BAND II	UHF
Frecuencia	136-174 MHz	403-470 MHz	460-527 MHz
Esquematismo de canal	6.25 kHz / 12.5 kHz		
Estabilidad de frecuencia	+/- 0.5 ppm		
Potencia de salida	1,25 W	1,25 W	1,40 W
	25-40 W	25-40 W	(1-25 W above 512 MHz)
	+/- 2.5 VHz a 12.5 MHz		
	+/- 5.0 MHz a 25 MHz		
	-40 dB a 12.5 MHz		
	TIAG03C		
	TIAG03C		
	26 MHz, MDRFE		
	12.5 MHz 500 datos: 7680FXD		
	12.5 MHz voz y datos: 7680FXE		
	AMBE+		
	ET3173102-39F11		

### Calidad y confiabilidad

Respaldo por una garantía estándar de dos años

motorola.com/radiosolutions



MOTOTRBO y el logo M son marcas registradas de Motorola Inc. en los Estados Unidos y en muchos otros países. Motorola Inc. es una empresa de tecnología de la información que ofrece productos de comunicación inalámbrica y soluciones de redes de datos. Motorola Inc. es una empresa de tecnología de la información que ofrece productos de comunicación inalámbrica y soluciones de redes de datos. Motorola Inc. es una empresa de tecnología de la información que ofrece productos de comunicación inalámbrica y soluciones de redes de datos.

**HOJA DE ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO**  
ESTACION BASE/REPETIDOR VHF



# MTR 3000

## ESTACION BASE / REPETIDOR

MTR3000 es un repetidor integrado de voz y datos MOTOTRBO™, especialmente diseñado para cumplir con los requerimientos de los operadores de pequeñas organizaciones profesionales, municipalidades y de servicios públicos.

EIMTR3000 funciona con todas las configuraciones del sistema MOTOTRBO, entregando mayor capacidad, eficiencia de espectro, aplicaciones integradas de datos y comunicaciones de voz mejoradas.

El MTR3000 también funciona en modo analógico para sistemas convencionales y LTR, ofreciendo un repetidor flexible y de alta potencia.

Para los sistemas que actualmente utilizan la estación base / el repetidor MTR2000 de alta potencia, existe un simple kit de actualización a MTR3000 que permite que la estación sea compatible con sistemas MOTOTRBO, permitiendo que el usuario aproveche su inversión actual.

### CARACTERISTICAS BASICAS DE MTR3000:

- Funciona tanto en modo analógico como MOTOTRBO digital con LED indicador de modo de funcionamiento
- Confiable funcionamiento de 100W en ciclo de operación continuo
- Espaciamiento de canal programable en 12.5 o 25 kHz
- Tanto el modo de operación analógico como el convencional digital son modos estándar en una estación base y no implica costo de software o hardware adicional
- La fuente de alimentación admite una amplia gama de voltajes
- Cumple con Restricciones de Sustancias Peligrosas (RoHS, por sus siglas en inglés)
- La fuente de alimentación CA/CC y el amplificador de potencia de 100W integrado ayudan a minimizar

el cableado, el espacio en bastidor, los costos y la complejidad en general

- Soporta bandas de frecuencia VHF
- La capacidad de conexión cableada permite las funcionalidades integradas de Control Remoto de Tono y de Control Remoto de DC con audio balanceado

### CARACTERISTICAS DEL MTR3000 PROGRAMADO EN MODO MOTOTRBO:

- Admite dos trayectorias de voz simultáneas en modo TDMA digital de 12.5 kHz (cumple con 6.25e)
- Divide el canal existente en dos intervalos de tiempo, doblando la capacidad entregada con un único repetidor
- Admite MOTOTRBO IP Site Connect para obtener mayor cobertura de área extendida (Requiere Licencia de Software)
- La Suite Transmit Interrupt con funciones de interrupción de voz, dekey remoto de voz, interrupción de voz de emergencia o datos sobre interrupción de voz para ayudar a priorizar comunicaciones críticas exactamente cuando se necesitan
- La capacidad de Dynamic Mixed Mode permite el cambio automático entre los modos analógico y digital

### FACILIDAD DE MANTENIMIENTO DEL MTR3000:

- El software de control y diagnóstico del repetidor (RDAC) ofrece monitoreo de sitio local y remoto
- Componentes fáciles de reemplazar con Unidades Reemplazables en Campo (RU, por sus siglas en inglés) funcionalmente independientes Su diseño basado en software simplifica la actualización de sus funciones
- El acceso simplificado a los puertos de la estación (no es necesario quitar el panel frontal) reduce los tiempos de instalación y mantenimiento
- La estación requiere mínima alineación, lo cual facilita aún más el proceso de instalación
- Garantía mejorada: Respaldada por la Garantía Estándar de 2 Años de Motorola

**HOJA DE ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO**  
ESTACION BASE/REPETIDOR VHF

# ESPECIFICACIONES VHF PARA REPETIDOR/ ESTACION BASE MTR3000

ESPECIFICACIONES GENERALES	
T3000A - MTR3000	T2003A - Kit de actualización para estaciones MTR3000
Número de frecuencias	Hasta 16
Modulación	FM & 4FSK
Generación de frecuencia	Sintetizada
Espaciamiento de canal	12.5 MHz, 25 kHz, 30 kHz / 12.5 MHz (cumple con 6.25e)
Análogo/Digital	Simplex/ Semi-Duplex / Duplex
Modo de funcionamiento	-30°C a +60°C
Rango de temperatura	
Conectores de antena	Hembra tipo "N": transmisión y recepción
Funcionamiento en CA	85-264 VCA, 47-63 Hz
Funcionamiento en CC	28.8 VCC (Potencia de salida nominal: 27-307 VCC)
Dimensiones	Peso
Repetidor	133 x 483 x 419 mm
Estación Base	(5.25 x 19 x 16.5")
	19 kg (40 lbs)

### CORRIENTE DE ENTRADA VHF (T3000A)

Batería C/C 28 VCC	Linea CA 117
100 W en standby	0.4A @ 0.4A rev., tierra neg.
100 W en Transmisión	3.5A / 9A

### TRANSMISION (VHF)

Frecuencia	136-174 MHz
Salida de potencia (Operación continua)	8-100 vatios
Ancho de banda eléctrico	120-140 vatios, 125-100 vatios
Impedancia de salida	Banda completa
Atenuación de interferencias	50 Ohms
Distorsión de audio	40 dB para estaciones de 40W y 100W / 70 dB para estación de 20W
Distorsión de audio (Operación máxima (RSD))	45 kHz / 42.5 kHz
Sensibilidad de audio	60% RSD @ 60 mV RMS
Atenuación de emisiones espurias	90 dB
Fluido y zumbido en FM	50 dB (50 dB típico) / 45 dB (50 dB típico)
Estabilidad de frecuencia	±0.001% (2000 Hz) / 25 kHz / 12.5 kHz
Estabilidad de temperatura	1.5 PPM/Ref. externa (opcional)
Respuesta acústica	+1/-3 dB desde 8 dB por presión de 300-3000 Hz referenciado a 1000 Hz en entrada de línea

### RECEPTOR (VHF)

Distorsión de audio	Inferior a 3% (1% típico) a 1000 Hz, 60% RSD
Indicadores de emisiones	Modulación FM, 12.5 kHz, 11K6P2E; 25 kHz, 30 kHz; 18K03E; Modulación 4FSK, 12.5 kHz - Solo datos; 7K63P0; 12.5 kHz - Datos y voz; 7K63PXE
MTR3000	T2003A - Kit de actualización para estaciones MTR3000
Frecuencia	136-174 MHz
Selektividad (TIA6003)	80 dB (90 dB típico) / 25 kHz / 12.5 kHz
Selektividad (TIA6000)	80 dB (90 dB típico) / 25 kHz / 12.5 kHz
Stabilidad analógica	0.30 uV (0.22 uV típico)
Sensibilidad digital BEER5%	0.30 uV (0.20 uV típico)
Ancho de banda de desmodulación de señal	2 kHz / 1 kHz
Rechazo de interferencia de señal	25 kHz / 12.5 kHz
Rechazo de interferencia de voz	25 kHz / 12.5 kHz
Rechazo de interferencia de voz impurezas y espurias	85 dB
Respuesta acústica	+1/-3 dB desde 6 dB por presión de 300-3000 Hz referenciado a 1000 Hz en salida de línea
Distorsión de audio	Inferior a 3% (1% típico) a 1000 Hz, 60% RSD
Salida de línea	330 mV (RMS) @ 60% RSD
Ruido y zumbido en FM (desmodulación 750Hz)	50 dB (55 dB típico) / 45 dB (52 dB típico)
Impedancia de entrada RF	50 Ohms

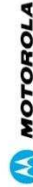
### ACEPTACION FCC

Rango de frecuencia en MHz	Modelo	Tipo	Salida de potencia en vatios	Número de Aceptación US
136-174	T3000A	Transmisor	8-100	AB289FC3793
136-174	T3000A	Receptor	N/A	AB289FR3794
136-174	T2003A	Transmisor	25-100	AB289FC3795
136-174	T2003A	Receptor	N/A	AB289FR3796
136-174	T2003A	Transmisor	1-30 / 40	AB289FC3797

Aprobación Industry Canada: IC ID 10948-C798; IC Modèles T3000-VHF  
Especificaciones según TIA EIA 6030 a menos que se especifique lo contrario  
El producto cumple con ETSI 300-086 & ETSI 300-113  
Pedido de aprobación CE: cumple con CE Mark; Certificación UL  
Procedimiento ETSI 102-2611; 1, 2, 3; "Vociferador AMBE; 12"  
Especificaciones sujetas a cambios sin notificación previa.

Para más información, ingrese a [www.motorola.com/americalatina/mototrbo](http://www.motorola.com/americalatina/mototrbo)

MOTOROLA, MOTO, MOTOROLA SOLUTIONS y el logotipo de la M estilizada son marcas comerciales o marcas comerciales registradas de Motorola. Trademark, Holdings, LLC son utilizadas bajo licencia. Todas las demás marcas comerciales pertenecen a sus respectivos propietarios. © 2010 Motorola, Inc. Todos los derechos reservados.





HIGH-THROUGHPUT COMMUNICATIONS FOR MULTI-SERVICE NETWORKS

# MOTOROLA PTP 800 LICENSED ETHERNET MICROWAVE

PTP 800 solutions can efficiently and affordably transport the data, voice and video that your bandwidth-intensive applications require without having to contend with other communicators in your radio-frequency (RF) band.

### HIGH-PERFORMANCE, SCALABLE

Our Point-to-Point (PTP) 800 Licensed Ethernet Microwave solutions operate in the 6 to 36 GHz<sup>2</sup> licensed bands, at up to 360 Mbps throughput<sup>1</sup> full duplex and with user-configured channel bandwidths from 7 to 56 MHz. With upgradeable capacity from 10 Mbps to full capacity via software key, the systems offer exceptional cost efficiency and scalability. Whether your organization is a corporate enterprise, carrier, service provider, school, hospital, utility

800 radios will provide you with high-performance, ultra-reliable connectivity.

### EXTREME DURABILITY

PTP systems have logged more than two billion field hours. As a result, our radios are proven to withstand the rigors of outdoor use. Radios perform steadfastly in winds up to 150 miles per hour (242 kph) and temperatures from -27° to 131° F (-32° to 55° C).

### WIRELESS NETWORK SOLUTIONS

At Motorola, our unrivaled wireless network solutions include indoor WLAN, outdoor wireless mesh, point-to-multipoint and point-to-point networks as well as voice over WLAN systems, giving you the agility and seamless connectivity you need to grow your business or better protect and serve the public. Combined with powerful software for wireless network design, security and management, our solutions deliver trusted networking and anywhere access to organizations worldwide.



### RADIO TECHNOLOGY

RF band*	6 GHz Band: 5.835 – 6.425 GHz 6 GHz Band: 6.425 – 7.100 GHz 7 GHz Band: 7.105 – 7.9 GHz 8 GHz Band: 7.725 – 8.5 GHz 11 GHz Band: 10.7 – 11.7 GHz 15 GHz Band: 14.7 – 15.25 GHz 18 GHz Band: 17.7 – 18.7 GHz 23 GHz Band: 21.2 – 23.6 GHz 28 GHz Band: 24.25 – 26.5 GHz 28 GHz Band: 27.5 – 28.5 GHz 32 GHz Band: 31.8 – 32.4 GHz 38 GHz Band: 37.0 – 40.0 GHz
Channel size	Configurable from 7 to 56 MHz
Maximum Tx power*	30 dBm
Best Rx sensitivity†	-91.9 dBm
Modulation	QPSK, BPSK, 16-QAM/256-QAM Fixed mode or Adaptive Coding and Modulation (ACM)
Error correction	Low Density Parity Check (LDPC) code
Duplex scheme	FDD
Security and encryption	Optional FIPS-197 compliant 128/256-Bit AES Encryption

### ETHERNET BRIDGING

Protocol	IEEE 802.3 802.1p (QoS) (supported by 8 queues) 802.1ad (S-n-0)
Frame size	Up to 9000 bytes
User data throughput*	10 to 365 Mbps at the Ethernet (full duplex), user PTP LAN processor to determine actual throughput for the deployment.
Latency	< 115 µs @ full capacity with 64 bytes
User traffic interface	100 / 1000 Base T (RJ-45) – auto MDI/MDIX 1000 Base SX and LX optics

### MANAGEMENT & INSTALLATION

Network management	Induced and out-of-band
Protocol	SNMP v1/v2c
EMS	Web GUI management, our One Point Wireless or your existing network management system
Over-the-air interface	10 / 100 Base T (RJ-45)

\* PTP 800 mobile operating in the 6 to 36 GHz band and 38 GHz are available in a series of product releases.  
† 365 Mbps maximum throughput requires a 56 MHz channel and 256 QAM which may not be available in certain regions due to regulatory restrictions.

Installation	ODU – RSSI output assistance for link alignment
Connection	F cable between outdoor unit (ODU) and compact modem unit (CMU), distance up to 1000 ft. (300 meters) using the LMR800 cable; 530 ft. (160 meters) is achievable with the CN1400 F cable available from Motorola

### PHYSICAL

Physical configuration	Split mount – Compact Modem Unit (CMU) and Outdoor Unit (ODU)
Dimensions	ODU: Diameter 10.5 / 26.7 cm, Depth 3.5" / 8.9 cm CMU: Width 7.1" (18.0 cm), Height 1.4" (3.5 cm), Depth 8.7" (22.0 cm)
Weight	ODU: 10.1 lbs (4.6 kg) CMU: 2.4 lbs (1.1 kg)
Wind speed survive†	ODU: 150 mph (242 kph)
Power source	-48V DC, -40.5V DC to -80V DC
Power consumption	Full Configuration (ODU + LCMU) 6 – 11 GHz: 71 Watts maximum 13 – 28 GHz: 62 Watts maximum L1 Configuration (ODU + 2 CMUs) 6 – 11 GHz: 126 Watts maximum 13 – 28 GHz: 110 Watts maximum

### ENVIRONMENTAL & REGULATORY

Operating temperature	Outdoor Unit: -27° to +131° F, -32° to +45° C EN 300 015-1.4 Compact Modem Unit: -27° to +131° F, -32° to +45° C – EN 300 015-1.3
Humidity	Outdoor Unit: Up to 100% Compact Modem Unit: Up to 95%, non-condensing
Safety	UL 60950, IEC 60950, EN 60950, CSA 22.2 No. 60950
EMC	USA: FCC Part 15, Class B Europe: EN 301 489-1 and EN 301 489-4
Radio standard	ETSI Harmonised Standard EN 302 217-2.2 FCC Regulation Title 47 Part 101 Industry Canada Specifications RSS-525 and relevant 2589 Specifications

\* Regulatory conditions for RF bands may vary by geographic location and should be confirmed prior to system purchase.  
† Terminal power depends on frequency, modulation and regulations (ETSI/FCC).  
‡ Receive sensitivity depends on frequency, channel bandwidth and modulation (40.5 dBm is based on an 11 GHz model with 7 MHz channel bandwidth and the DSSS mode).  
§ User throughput depends on the configuration of channel bandwidth, modulation and capacity license key. Radio ship with factory-set 10 Mbps throughput capacity cap; additional capacity may be purchased at time of order or anytime after deployment. Full capacity is not available for all combinations of bands and regulations.

PRODUCT SPEC SHEET  
PTP 800/03-00

**Radio Configuration**

Frequency (GHz)	IS	US	7	8	11	13	15	18	23	25	26	28	32	38
Standard	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC	ETSI / FCC
Frequency Range (GHz)	5.025 - 6.425	6.425 - 7.100	7.25 - 7.9	8.05 - 8.425	8.425 - 11.7	13.25 - 13.8	14.4 - 15.35	17.7 - 18.4	21.2 - 21.7	24.75 - 24.95	26.5 - 26.5	29.5 - 29.5	31.8 - 32.4	37.0 - 40.0
175 Spacing (MHz)	252.04				490	500	1800	1200	900					700
Channel Bandwidth (MHz)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Channel Bandwidth (MHz)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
TR Spacing (MHz)	154	161	168	175	182	189	196	203	210	217	224	231	238	245
Channel Bandwidth (MHz)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Channel Bandwidth (MHz)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Channel Bandwidth (MHz)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Channel Bandwidth (MHz)	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Channel Bandwidth (MHz)	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320

PRODUCT SPEC SHEET  
PTP 800/03-00

**RF Channel Selection**

System Configuration	ATPC Range (dB)	1-0	1+1 HSB and 2+0
Transmit Power Control - Adaptive			
Lower power limit varies with RF band down to 10dbm minimum.			

Via VNA S-LL

**User Ethernet Data Throughput**

Modulation	Maximum Throughput - Mbps (1518 Bytes/Frames)																	
	2W / 20dBm		5W / 24dBm		55		58.80		10		20		30		40		50	
256 QAM-H	N/A	N/A	N/A	N/A	364.9	368.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
256 QAM-L	N/A	N/A	186.9	170.4	343.6	347.1	N/A	113.6	177.4	236.5	280.6							
128 QAM	34.4	69.8	71.0	140.0	181.1	300.4	303.5	62.7	82.2	105.1	200.8	256.6						
64 QAM	30.0	60.7	61.8	122.7	175.3	262.6	265.2	42.2	64.8	130.4 / 126.9	191.8	217.4						
32 QAM	24.6	49.3	50.2	99.1	101.2	200.7	202.7	34.7	67.8	82.6	152.7	178.6						
16 QAM	20.0	40.0	41.2	72.3	74.8	150.9	152.4	26.2	56.5	71.9	132.8	150.5						
8PSK	14.7	29.5	30.4	55.2	56.8	114.6	116.8	20.8	40.2	50.1	95.8	105.7						
DPSK	10.1	20.0	20.3	37.0	37.8	76.3	77.1	12.9	25.5	28.4	52.5	55.7						

**Transmit Power**

Modulation	Maximum Transmit Power - ETSI (dBm)																
	11		13.15		18		20.36		20		26		38		40		50
8PSK	30.0	25.0	26.0	26.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
DPSK	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
16 QAM	28.0	26.0	27.0	27.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
32 QAM	28.0	26.0	27.0	27.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
64 QAM	24.0	21.0	18.0	17.0	17.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
128 QAM	24.0	21.0	18.0	17.0	17.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0
256 QAM	22.0	20.0	16.0	15.0	15.0	15.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0

**Receive Sensitivity**

BER - 1e-6	Modulation	Frequency (GHz)													
		6.7.8	11	13.15	18	20.36	26	38	40	50					
Receive Sensitivity @ 27.5 MHz channel (dBm)	256 QAM	N/A	N/A	-86.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	128 QAM	N/A	N/A	-71.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-74.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	32 QAM	N/A	N/A	-77.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	16 QAM	N/A	N/A	-80.3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	8PSK	N/A	N/A	-86.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	DPSK	N/A	N/A	-70.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	256 QAM	N/A	N/A	-72.6	-72.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Receive Sensitivity @ 27.5 MHz channel (dBm)	128 QAM	N/A	N/A	-75.9	-75.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-78.3	-77.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	32 QAM	N/A	N/A	-81.1	-80.6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	16 QAM	N/A	N/A	-83.6	-83.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	8PSK	N/A	N/A	-87.6	-87.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	DPSK	N/A	N/A	-74.0	-73.5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	128 QAM	N/A	N/A	-76.2	-75.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-79.3	-78.8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Receive Sensitivity @ 14 MHz channel (dBm)	128 QAM	N/A	N/A	-81.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-84.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	32 QAM	N/A	N/A	-87.1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	16 QAM	N/A	N/A	-90.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	8PSK	N/A	N/A	-94.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	DPSK	N/A	N/A	-79.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	128 QAM	N/A	N/A	-81.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-84.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Receive Sensitivity @ 13.75 MHz channel (dBm)	128 QAM	N/A	N/A	-81.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-84.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	32 QAM	N/A	N/A	-87.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	16 QAM	N/A	N/A	-90.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	8PSK	N/A	N/A	-94.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	DPSK	N/A	N/A	-79.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	128 QAM	N/A	N/A	-81.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-84.2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Receive Sensitivity @ 10 MHz channel (dBm)	128 QAM	N/A	N/A	-86.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-89.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	32 QAM	N/A	N/A	-92.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	16 QAM	N/A	N/A	-95.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	8PSK	N/A	N/A	-99.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	DPSK	N/A	N/A	-84.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	128 QAM	N/A	N/A	-88.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-91.0	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Receive Sensitivity @ 7 MHz channel (dBm)	128 QAM	N/A	N/A	-92.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-95.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	32 QAM	N/A	N/A	-98.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	16 QAM	N/A	N/A	-101.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	8PSK	N/A	N/A	-105.7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	DPSK	N/A	N/A	-90.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	128 QAM	N/A	N/A	-94.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
	64 QAM	N/A	N/A	-97.4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

**NOTE:**  
While the information presented herein is, to the best of our knowledge, true and accurate, the information provided in this document is subject to change without notice.

For Upper 6 GHz only, 20 MHz capacity is equal to 135.5 Mbps at available at Lower 6 GHz.

MOTOROLA, MOTOROLA SOLUTIONS and the Stylized M Logo are trademarks or registered trademarks of Motorola Intellectual Property, LLC and are used under license. All other trademarks are the property of their respective owners.  
© 2011 Motorola Solutions, Inc. All rights reserved.  
E121-03-WR/PP/000-02 (02/11)

## ANEXO III

### REGLAMENTO DE DERECHOS POR CONCESIÓN Y TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

#### ANEXO 2 SERVICIO FIJO Y MOVIL EN BANDAS ENTRE 30 Y 960 MHz

Banda de Frecuencias (MHz)	Coficiente $\alpha_2$ Comunales de Explotación, Móviles Privados
$30 < f \leq 300$ MHz	0.736521808
$300 < f \leq 512$ MHz	2.602532416
$614 < f \leq 960$ MHz	-

Tabla 1: Coeficiente de valoración del espectro para la banda entre 30 y 960 MHz

Altura efectiva (m)	$0 < H \leq 400$	$400 < H \leq 600$	$600 < H \leq 800$	$H > 800$
Potencia (W)				
$0 < P \leq 10$	0.307152	0.451022	0.593715	0.664762
$10 < P \leq 15$	0.460728	0.676534	0.890572	0.997143
$15 < P \leq 20$	0.614304	0.902045	1.187429	1.329524
$20 < P \leq 25$	0.767880	1.127556	1.484287	1.661905
$25 < P \leq 30$	0.921456	1.353067	1.781144	1.994286
$P > 30$	1.075032	1.578579	2.078001	2.326667

Tabla 2: Valores de  $F_p$  en la Banda 30 – 300 MHz ( $G \leq 6$  dBd)

Altura efectiva (m)	0<H<=400	400<H<=600	600<H<=800	H>800
Potencia (W)				
0<P<=10	0.612849	0.899908	1.184617	1.326374
10<P<=15	0.919273	1.349862	1.776925	1.989562
15<P<=20	1.225697	1.799816	2.369233	2.652749
20<P<=25	1.532122	2.249770	2.961541	3.315936
25<P<=30	1.838546	2.699724	3.553850	3.979123
P>30	2.144971	3.149679	4.146158	4.642310

**Tabla 3: Valores de Fp en la Banda 30 – 300 MHz (G>6 dBd)**

Altura efectiva (m)	0<H<=400	400<H<=600	600<H<=800	H>800
Potencia (W)				
0<P<=15	0.102656	0.150741	0.198431	0.222177
15<P<=20	0.136875	0.200988	0.264575	0.296236
20<P<=25	0.171094	0.251235	0.330719	0.370295
25<P<=30	0.205313	0.301482	0.396863	0.444354
30<P<=35	0.239531	0.351728	0.463007	0.518412
>35	0.273750	0.401975	0.529150	0.592471

**Tabla 4: Valores de Fp en la Banda 300 – 512 MHz (G<=6 dBd)**

Altura efectiva (m)	0<H<=400	400<H<=600	600<H<=800	H>800
Potencia (W)				
0<P<=15	0.204826	0.300767	0.395923	0.443301
15<P<=20	0.273102	0.401023	0.527897	0.591068
20<P<=25	0.341377	0.501279	0.659871	0.738835
25<P<=30	0.409653	0.601535	0.791845	0.886602
30<P<=35	0.477928	0.701791	0.923820	1.034369
>35	0.546204	0.802046	1.055794	1.182136

**Tabla 5: Valores de Fp en la Banda 300 – 512 MHz (G>6 dBd)**

### ANEXO 3 SERVICIO FIJO ENLACES PUNTO - PUNTO

Rango de frecuencias; f (frecuencia de operación)	Distancia máxima aplicable, Km.	Distancia mínima aplicable, Km.
0 GHz <f<= 1 GHz	70	30
1 GHz <f<= 5 GHz	50	15
5 GHz <f<= 10 GHz	30	12
10 GHz <f<= 15 GHz	25	9
15 GHz <f<= 20 GHz	20	8
20 GHz <f<= 25 GHz	15	6
f > 25 GHz	10	5

Tabla 1: Distancias máximas aplicables para fines de cálculo de las tarifas del Servicio Fijo, enlaces punto- punto.

Rango de frecuencias; f (frecuencia de operación)	Coefficiente de valoración del espectro $\alpha_f$
0 GHz <f<= 1 GHz	0.0815313
1 GHz <f<= 5 GHz	0.0323876
5 GHz <f<= 10 GHz	0.0237509
10 GHz <f<= 15 GHz	0.0215917
15 GHz <f<= 20 GHz	0.0194325
20 GHz <f<= 25 GHz	0.0183529
f > 25 GHz	0.0172734

Tabla 2: Coeficiente de valoración del espectro aplicable para fines de cálculo de las tarifas del Servicio Fijo, enlaces punto- punto.



**ANEXO 7  
VALOR DE CONCESION**

Servicio	Factor de Concesión de Frecuencias
Fijo y Móvil – (Bajo 30 MHz)	0.021024
Fijo y Móvil – (Sobre 30 MHz VHF 30-300 MHz)	0.022120
Fijo y Móvil – (Sobre 30 MHz UHF 300-512 MHz)	0.028500
Fijo y Móvil – (Sistema Buscapersonas Unidireccional VHF 137 – 300 MHz)	0.0070616
Fijo y Móvil – (Sistema Buscapersonas Unidireccional UHF 300 – 512 MHz)	0.00711968
Fijo y Móvil – (Sistema Buscapersonas Unidireccional UHF 614 – 960 MHz)	0.00710696
Fijo y Móvil – (Sistema Buscapersonas Bidireccional UHF 614 – 960 MHz)	0.00710696
Fijo y Móvil – (Sistema Troncalizado UHF 400 MHz)	0.49407115
Fijo y Móvil – (Sistema Troncalizado UHF 400 MHz)	0.50403226
Fijo (Enlaces punto-punto $0 < f \leq 1$ GHz)	0.054194
Fijo (Enlaces punto-punto $1 < f \leq 5$ GHz)	0.0330652
Fijo (Enlaces punto-punto $5 < f \leq 10$ GHz)	0.0312929
Fijo (Enlaces punto-punto $10 < f \leq 15$ GHz)	0.0295017
Fijo (Enlaces punto-punto $15 < f \leq 20$ GHz)	0.0294794
Fijo (Enlaces punto-punto $20 < f \leq 25$ GHz)	0.0290454
Fijo (Enlaces punto-punto $f > 25$ GHz)	0.0290191
Fijo y Móvil por Satélite	0.0555096
Fijo (Enlaces punto-multipunto) (Multiacceso)	0.0477714

**Tabla 1: Factor de Concesión de Frecuencias para los diferentes Servicios en las diferentes Bandas**