



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E S C I E N T I A H O M I N I S S A L U S "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

*Respeto hacia si mismo y hacia los demás.*

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

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

### **DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE DATOS PARA LAS UNIDADES FIJAS Y MÓVILES DE LA POLICÍA NACIONAL EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO USANDO LA TECNOLOGÍA WIMAX**

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

**FREDDY ARMANDO ESCOBAR ZAPATA**

f\_esc@msn.com

**CHRISTIAN JAVIER GONZÁLEZ ENDARA**

chrgon8\_@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. RODRIGO CHANCUSIG**

rodrigch@panchonet.net

**Quito, Enero 2011**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Freddy Armando Escobar Zapata y Christian Javier González Endara, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Freddy Armando Escobar Zapata

Christian Javier González Endara

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los Señores Freddy Armando Escobar Zapata y Christian Javier González Endara, bajo mi supervisión.

**Ing. Rodrigo Chancusig**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

# PRESENTACIÓN

---

Las políticas de seguridad ciudadana cada día se hacen más complejas, debido principalmente al aumento de las actividades ilícitas cometidas por la delincuencia común y el crimen organizado, teniendo como consecuencia la expansión de la violencia. A ello se suman todas aquellas contravenciones de tránsito en las que cualquier ciudadano pudiese incurrir.

Actualmente la Policía Nacional no cuenta con un sistema integral de respuesta inmediata frente a situaciones de inseguridad y emergencia; debido en parte a la falta de tecnología moderna y personal policial, lo que representa un problema grave para el cumplimiento de sus operaciones.

Frente a esta problemática, las Tecnologías de la Información y Comunicación, en especial las redes inalámbricas juegan un papel importante para la mitigación de estos eventos, ya que permiten a los miembros de la institución llevar a cabo sus tareas de forma efectiva al contar con información en tiempo real y de forma inmediata en cualquier lugar e instante.

Con el presente proyecto se busca proporcionarle a la Policía Nacional de una plataforma de transporte de datos moderna en la ciudad de Quito, basada en la tecnología inalámbrica WiMAX, para que sus unidades fijas y móviles puedan realizar consultas a las bases de datos de la Institución, lo que les permitirá una respuesta efectiva e inmediata en su accionar.

Esperamos que este proyecto pueda contribuir con esas políticas de seguridad que hoy demanda la ciudadanía.

## RESUMEN

---

El presente proyecto propone el diseño de una red inalámbrica en el Distrito Metropolitano de Quito que permita brindar un servicio de transporte de datos para las diferentes aplicaciones transaccionales entre las unidades fijas, móviles y el Sistema Centralizado de datos de la Dirección Nacional de Comunicaciones de la Policía Nacional.

En el capítulo I se elabora un marco teórico básico concerniente a las redes inalámbricas, el espectro de radiofrecuencias y en especial a la tecnología WiMAX, describiendo las características técnicas de esta última, así como a los estándares IEEE 802.16 existentes. Además se analiza el impacto de esta tecnología en el Ecuador, y los servicios que se pueden ofrecer a través de ésta.

En el capítulo II se analizan los requerimientos técnicos para la implementación de este proyecto. Se determina el número de usuarios potenciales y simultáneos que puede soportar el sistema. Se toma en cuenta el crecimiento de la demanda en los próximos 5 años de acuerdo a los requerimientos de la institución. También se realiza el dimensionamiento del tráfico, tomando en cuenta para ello el ancho de banda y la velocidad máxima de transmisión por usuario, basándose en las aplicaciones que se implementarán.

Adicionalmente en este capítulo se analizan los requerimientos de seguridad de esta infraestructura de comunicaciones.

En el capítulo III se establecen los sitios donde serán instaladas las radio-bases, basándose en la topografía del DMQ y de la información proporcionada por la Institución Policial, así como las zonas de cobertura de cada radio base con ayuda del software de simulación Radio Mobile v9.5.2.

Se definen las bandas de frecuencia en las que operará este sistema de comunicaciones, así como el respectivo plan de reuso de las mismas. También se diseña el backbone de la red inalámbrica, por medio de enlaces microondas punto a punto redundantes, los cuales enlazan los diferentes nodos con la red principal de la DNC, y que permiten una alta disponibilidad del sistema de comunicaciones.

De acuerdo a los requerimientos de la red y a especificaciones técnicas mínimas, se seleccionan los equipos que deberán ser instalados, previo a un análisis entre soluciones de varios fabricantes. Además se determinan los requerimientos de infraestructura civil necesarios, tales como torres, shelters y sistemas eléctricos.

En el capítulo IV se elabora el presupuesto referencial del proyecto, para un posterior análisis por parte de la Policía Nacional.

En el capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones que se derivan de la realización del presente proyecto.

Finalmente se presenta un conjunto de anexos que complementan este proyecto, y que están relacionados con información de personal, y de unidades fijas y móviles de la Policía Nacional, documentación técnica tanto de equipos de red como de equipos terminales, información técnica del software de gestión de red, y de varios elementos de infraestructura civil necesarios para la implementación del proyecto.

## INSTRUCCIONES PARA MANEJO DE REFERENCIAS

**Texto**<sup>número</sup>: Referencia bibliográfica ubicada en el pie de página. Ejemplo:  
**Plan Nacional de Frecuencias**<sup>4</sup>.

**Texto**<sup>[número]</sup>: Terminología cuyo significado se encuentra en la parte final del proyecto, en la sección Términos. Ejemplo: **ICM**<sup>[1]</sup>

# ÍNDICE GENERAL

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN Y ESTUDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16 (WiMAX)

<b>1.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1.1 DEFINICIÓN DE REDES INALÁMBRICAS</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1.2 ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIAS</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1.2.1 Espectro sin Licencias</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1.2.2 Plan Nacional de Frecuencias</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LA REDES INALÁMBRICAS</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.3.1 Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1.3.2 Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)</b> .....	<b>5</b>
<b>ñ1.1.3.3 Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (WMAN)</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1.3.4 Redes Inalámbricas de Área Extendida (WWAN)</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1.4 ESTÁNDARES IEEE 802</b> .....	<b>8</b>
<b>1.2 ANTECEDENTES DE WiMAX</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2.1 DEFINICIONES</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2.1.1 WiMAX Forum</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2.2 ESTÁNDARES 802.16</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TECNOLOGÍA WiMAX</b> .....	<b>11</b>
<b>1.3.1 ELEMENTOS Y CONFIGURACIONES DE LAS REDES WiMAX</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3.1.1 Configuración Punto-Multipunto (PMP)</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3.2 MODELOS DE PROPAGACIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3.3 ÁREA DE COBERTURA</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3.4 ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO 802.16</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3.5 CAPA FÍSICA</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3.5.1 Técnicas de Duplexación</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3.5.2 Tipos de Modulación en 802.16</b> .....	<b>21</b>
<i>1.3.5.2.1 Modulación OFDM/OFDMA</i> .....	<b>21</b>
<i>1.3.5.2.2 Modulación PSK (Phase Shift Keying)</i> .....	<b>23</b>
<i>1.3.5.2.2.1 Modulación BPSK</i> .....	<b>23</b>

<i>1.3.5.2.2 Modulación QPSK</i> .....	24
<i>1.3.5.2.3 Modulación QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura)</i> .....	25
<i>1.3.5.2.4 Modulación Adaptativa</i> .....	25
<b>1.3.5.3 Características de la Capa Física</b> .....	26
<b>1.3.6 CAPA MAC</b> .....	28
<b>1.3.6.1 Formatos MAC PDU</b> .....	28
<b>1.3.6.2 Ancho de Banda Asignado y Mecanismos de Solicitud</b> .....	29
<i>1.3.6.2.1 Solicitud de Ancho de Banda</i> .....	29
<i>1.3.6.2.2 Ancho de Banda Garantizado</i> .....	30
<i>1.3.6.2.3 Polling</i> .....	30
<b>1.3.6.3 Proceso de Handover</b> .....	30
<b>1.3.7 CALIDAD DE SERVICIO (QoS)</b> .....	31
<b>1.3.8 TÉCNICAS DE CORRECCIÓN DE ERRORES</b> .....	32
<b>1.3.9 MECANISMOS DE SEGURIDAD</b> .....	33
<b>1.3.9.1 Métodos de Encriptación o Cifrado de Datos</b> .....	34
<i>1.3.9.1.1 DES (Data Encryption Standard)</i> .....	34
<i>1.3.9.1.2 Triple DES Encryption</i> .....	34
<i>1.3.9.1.3 AES (Advanced Encryption Standard)</i> .....	35
<i>1.3.9.1.4 RSA</i> .....	36
<b>1.3.9.2 Certificados X.509</b> .....	38
<b>1.4 WiMAX EN EL ECUADOR</b> .....	40
<b>1.5 SERVICIOS QUE SE OFRECEN A TRAVÉS DE WiMAX</b> .....	41

## **CAPÍTULO II**

### **ESTUDIO TÉCNICO DE REQUERIMIENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED**

<b>2.1 INTRODUCCIÓN</b> .....	46
<b>2.2 DETERMINACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	47
<b>2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES EN LA POLICÍA NACIONAL DENTRO DEL DMQ</b> .....	49
<b>2.4 ESTUDIO DE LAS APLICACIONES REQUERIDAS</b> .....	50
<b>2.5 DEFINICIÓN DE LA DEMANDA</b> .....	51

<b>2.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS USUARIOS.....</b>	<b>52</b>
<b>2.5.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS. ....</b>	<b>52</b>
<b>2.5.2.1 Unidades de Policía Comunitaria.....</b>	<b>53</b>
<b>2.5.2.2 Número de Automóviles.....</b>	<b>53</b>
<b>2.5.2.3 Número de Motocicletas.....</b>	<b>54</b>
<b>2.5.2.4 Número de Policías en las Calles.....</b>	<b>55</b>
<b>2.6 CRECIMIENTO DE LA DEMANDA.....</b>	<b>55</b>
<b>2.6.1 CRECIMIENTO DEL PERSONAL POLICIAL A PIE. ....</b>	<b>55</b>
<b>2.6.2 CRECIMIENTO DEL NÚMERO DE PATRULLEROS Y MOTOCICLETAS.</b>	
<b>.....</b>	<b>57</b>
<b>2.7 DISPOSITIVOS DE USUARIO (Usuarios Potenciales).....</b>	<b>58</b>
<b>2.8 REQUERIMIENTOS DE ANCHO DE BANDA. ....</b>	<b>60</b>
<b>2.8.1 CARACTERIZACIÓN DEL VOLUMEN DE DATOS .....</b>	<b>60</b>
<b>2.8.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA .....</b>	<b>62</b>
<b>2.8.2.1 Recopilación de Datos .....</b>	<b>64</b>
<b>2.8.3 REQUERIMIENTO DE CAPACIDAD PARA TRANSMISIÓN DE DATOS..</b>	<b>65</b>
<b>2.8.3.1 Correo Electrónico .....</b>	<b>65</b>
<b>2.8.3.2 Servicio Web .....</b>	<b>66</b>
<b>2.8.3.3 Servicio de Base de Datos.....</b>	<b>68</b>
<b>2.8.3.4 Servicio de Descarga de Datos.....</b>	<b>69</b>
<b>2.8.3.5 Servicio de Transmisión de Video.....</b>	<b>69</b>
<b>2.8.3.5.1 Estimación de la capacidad requerida para el servicio de transmisión de Video</b>	
<b>.....</b>	<b>71</b>
<b>2.8.4 CAPACIDAD TOTAL .....</b>	<b>73</b>
<b>2.9 REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD .....</b>	<b>74</b>

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DE LA TOPOLOGÍA DE RED**

<b>3.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>75</b>
<b>3.2 TOPOGRAFÍA DEL DMQ .....</b>	<b>76</b>
<b>3.3 ESTRUCTURA DE LA RED .....</b>	<b>77</b>

<b>3.4 MÓDELO DE CÁLCULO DE CAPACIDADES.....</b>	<b>79</b>
<b>3.4.1 ESTRUCTURA OFDMA .....</b>	<b>79</b>
<b>3.4.2 OFDMA ESCALABLE (SOFDMA).....</b>	<b>80</b>
<b>3.4.3 MODELO DE CAPACIDAD .....</b>	<b>83</b>
<b>3.4.4 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD.....</b>	<b>84</b>
<b>3.5 NÚMERO DE RADIO BASES .....</b>	<b>86</b>
<b>3.6 UBICACIÓN DE LAS RADIO BASES .....</b>	<b>88</b>
<b>3.7 BANDAS DE FRECUENCIA .....</b>	<b>94</b>
<b>3.7.1 CANALES DE FRECUENCIA.....</b>	<b>94</b>
<b>3.7.1 DISEÑO DE LAS CELDAS .....</b>	<b>97</b>
<b>3.7.2 PLAN DE REUSO DE FRECUENCIAS .....</b>	<b>95</b>
<b>3.8 CÁLCULO DEL RADIO DE PROPAGACIÓN.....</b>	<b>97</b>
<b>3.8.2 PRESUPUESTO DE LOS RADIO ENLACES DE ACCESO .....</b>	<b>99</b>
<b>3.8.2.1 Pérdidas en el cable .....</b>	<b>100</b>
<b>3.8.2.2 Ganancia de la antena .....</b>	<b>100</b>
<b>3.8.2.3 Modelo de Longley-Rice (ITS Irregular Terrain Model) .....</b>	<b>101</b>
<b>3.8.2.3.1 Cálculo del factor urbano del modelo Longley-Rice.....</b>	<b>102</b>
<b>3.8.2.4 Margen de Desvanecimiento.....</b>	<b>103</b>
<b>3.8.2.5 Potencia de Recepción.....</b>	<b>104</b>
<b>3.8.2.5.1 Sensibilidad del Receptor .....</b>	<b>104</b>
<b>3.8.2.6 Potencia de Transmisión.....</b>	<b>106</b>
<b>3.8.3 SIMULACIÓN DE COBERTURA DE LAS RADIO BASES .....</b>	<b>107</b>
<b>3.8.3.1 Área de Cobertura Radio Base Carcelén Alto.....</b>	<b>108</b>
<b>3.8.3.2 Área de Cobertura Radio Base UVN.....</b>	<b>109</b>
<b>3.8.3.3 Área de Cobertura Radio Base DNC.....</b>	<b>110</b>
<b>3.8.3.4 Área de Cobertura Radio Base Simón Bolívar.....</b>	<b>111</b>
<b>3.8.3.5 Área de Cobertura Radio Base Puengasí.....</b>	<b>112</b>
<b>3.8.3.6 Área de Cobertura Radio Base Tarqui .....</b>	<b>113</b>
<b>3.8.3.7 Área de Cobertura Radio Base Guamaní Alto .....</b>	<b>114</b>
<b>3.8.3.8 Cobertura Total .....</b>	<b>115</b>
<b>3.9 BACKBONE DE LA RED.....</b>	<b>116</b>
<b>3.9.1 DISEÑO DE ENLACES PUNTO A PUNTO .....</b>	<b>116</b>
<b>3.9.2 CÁLCULO DE ENLACES.....</b>	<b>118</b>

3.9.2.1 Pérdidas por el espacio libre.....	119
3.9.2.2 Potencia de Recepción.....	120
3.9.2.3 Potencia de Transmisión.....	122
3.9.3 CÁLCULOS DE ZONA DE FRESNEL.....	129
3.9.4 SIMULACIÓN DE LOS ENLACES DE BACKBONE.....	132
3.9.4.1 Enlace Guamaní Alto – Puengasí.....	132
3.9.4.10 Enlace Regimiento Quito - DNC .....	141
3.9.4.2 Enlace Guamaní Alto – Tarqui .....	133
3.9.4.3 Enlace Tarqui – Cruz Loma .....	134
3.9.4.4 Enlace Puengasí – DNC.....	135
3.9.4.5 Enlace Simón Bolívar – DNC .....	136
3.9.4.6 Enlace UVN – Simón Bolívar .....	137
3.9.4.7 Enlace UVN – Carcelén.....	138
3.9.4.8 Enlace DNC - Cruz Loma .....	139
3.9.4.9 Enlace Regimiento Quito - UVN .....	140
3.10 MOVILIDAD Y POTENCIA DE EQUIPOS TERMINALES .....	142
3.11 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS .....	143
3.11.1 EQUIPOS PARA LA RED DE ACCESO .....	144
3.11.1.1 Estaciones Base .....	144
3.11.1.2 Antenas de Acceso .....	146
3.11.1.3 Unidades Suscriptoras.....	146
3.11.1.3.1 Dispositivos Fijos .....	147
3.11.1.3.1 Dispositivos Móviles .....	148
3.11.2 EQUIPOS PARA LA RED DE TRANSPORTE DE DATOS.....	149
3.11.2.1 Antenas y Equipos de Backhaul.....	149
3.11.2.2 Equipos de Enrutamiento de Tráfico .....	150
3.11.2.2.1 Switches de Acceso .....	151
3.11.2.2.2 Router de Borde .....	153
3.11.3 SOLUCIONES DE EQUIPOS DE USUARIO FINAL.....	154
3.11.3.1 Equipos de Escritorio .....	154
3.11.3.2 Equipos Móviles.....	154
3.11.4 DISPOSITIVOS DE GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN .....	158
3.11.4.1 Software de Administración .....	158

3.11.4.2 Hardware de Administración .....	160
3.12 DIAGRAMA GENERAL DE LA RED .....	161
3.13 DETERMINACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	164
3.13.1 TORRES.....	164
3.13.2 SISTEMAS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA .....	166
3.13.3 SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	168
3.13.4 CUARTOS DE EQUIPOS .....	169

## CAPÍTULO IV

### PRESUPUESTO

4.1 INTRODUCCIÓN.....	170
4.2 COSTO DE LA RED.....	172
4.2.1 COSTOS DE HARDWARE .....	172
4.2.1.1 Costos de Nodos .....	172
4.2.1.1.1 Nodo DNC .....	172
4.2.1.1.2 Nodo Puengasí .....	173
4.2.1.1.3 Cruz Loma.....	174
4.2.1.1.4 Nodo Regimiento Quito .....	174
4.2.1.1.5 Nodo UVN .....	175
4.2.1.1.6 Nodo Simón Bolívar .....	176
4.2.1.1.7 Nodo Carcelén Alto.....	177
4.2.1.1.8 Nodo Guamaní Alto .....	178
4.2.1.1.9 Nodo Tarqui .....	179
4.2.1.2 Costos de Equipos Terminales .....	180
4.2.2 COSTOS DE SOFTWARE .....	181
4.2.3 COSTO TOTAL DEL PROYECTO .....	181

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES .....	183
5.2 RECOMENDACIONES .....	185

<b>ANEXOS .....</b>	<b>193</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>187</b>
<b>TÉRMINOS .....</b>	<b>191</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Figura 1.1 Clasificación de las Redes Inalámbricas .....	4
Figura 1.2 Elementos y configuraciones de 802.16.....	14
Figura 1.3 Configuración punto-multipunto (PMP). .....	15
Figura 1.4 Estructura de protocolos de 802.16.....	18
Figura 1.5 Tráfico uplink y downlink. ....	19
Figura 1.6 (FDD) en modo full-duplex .....	20
Figura 1.7 Time Division Duplex (TDD).....	20
Figura 1.8 Asignación de usuarios en OFDM y OFDMA .....	22
Figura 1.9 Ejemplo de Modulación BPSK. ....	23
Figura 1.10 Sistemas de Modulación y su SNR en el receptor.....	26
Figura 1.11 Formato de la PDU MAC. ....	29
Figura 1.12 Esquema de Handover. ....	31
Figura 1.13 Proceso de cifrado de datos en Triple DES.....	35
Figura 1.14 Proceso de Cifrado usando AES.....	36
Figura 1.15 Redes WiMAX existentes en el Ecuador. ....	41
Figura 1.16 Primera generación de las redes WiMAX.....	42
Figura 1.17 Segunda generación de las redes WiMAX.....	42

### CAPÍTULO II

Figura 2.1 Zona metropolitana de la ciudad de San Francisco de Quito. ....	48
Figura 2.2 Crecimiento Poblacional en el periodo 2005-2010 .....	56
Figura 2.4 Encapsulamiento de datos para WiMAX .....	65
Figura 2.5 Tráfico medido en una máquina hacia el servidor de base de datos .....	68
Figura 2.6 Tráfico medido de una descarga en una máquina hacia el servidor FTP .....	69

## CAPÍTULO III

Figura 3.1 Mapa Topográfico del DMQ.....	77
Figura 3.2 Esquema Propuesto de la Estructura de la Red.....	78
Figura 3.3 Capacidad WiMAX.....	85
Figura 3.4 Capacidades máximas para cada permutación.....	86
Figura 3.5 UPC Carcelén Alto.....	89
Figura 3.6 Unidad de Vigilancia Norte (UVN).....	90
Figura 3.7 Dirección Nacional de Comunicaciones.....	90
Figura 3.8 UPC Simón Bolívar.....	91
Figura 3.9 Antenas de Puengasí.....	91
Figura 3.10 UPC Tarqui.....	92
Figura 3.11 UPC Guamaní Alto.....	92
Figura 3.12 Localización de Radio bases.....	93
Figura 3.13 Diseño de las Celdas de Cobertura.....	98
Figura 3.14 Atenuación del cable coaxial en dB/m.....	100
Figura 3.15 Área de Cobertura BTS Carcelén Alto.....	109
Figura 3.16 Área de Cobertura BTS UVN.....	110
Figura 3.17 Área de Cobertura BTS DNC.....	111
Figura 3.18 Área de Cobertura BTS Simón Bolívar.....	112
Figura 3.19 Área de Cobertura BTS Puengasí.....	113
Figura 3.20 Área de Cobertura BTS Tarqui.....	114
Figura 3.21 Área de Cobertura BTS Guamaní Alto.....	115
Figura 3.22 Área de Cobertura BTS Total.....	116
Figura 3.23 Backbone Inalámbrico.....	117
Figura 3.24 Primera Zona de Fresnel.....	129
Figura 3.25 Enlace Punto - Punto entre Guamaní Alto y Puengasí.....	133
Figura 3.26 Enlace Punto - Punto entre Guamaní Alto y Tarqui.....	134
Figura 3.27 Enlace Punto - Punto entre Tarqui y Cruz Loma.....	135
Figura 3.28 Enlace Punto - Punto entre Puengasí y DNC.....	136
Figura 3.29 Enlace Punto - Punto entre Simón Bolívar y DNC.....	137
Figura 3.30 Enlace Punto - Punto entre Simón Bolívar y UVN.....	138
Figura 3.31 Enlace Punto - Punto entre UVN y Carcelén.....	139
Figura 3.32 Enlace Punto - Punto entre DNC y Cruz Loma.....	140
Figura 3.33 Enlace Punto - Punto entre Regimiento Quito y UVN.....	141
Figura 3.34 Enlace Punto - Punto entre Regimiento Quito y DNC.....	142

Figura 3.35 Estación Base Alvarion BREEZEACCESS VL. ....	145
Figura 3.36 Solución de red propuesta por la Marca Alvarion. ....	148
Figura 3.37 Estaciones de trabajo para vehículos Motorola ML910 Notebook. ....	155
Figura 3.38 Dispositivos portables para policías en las calles Motorola MC70. ....	157
Figura 3.39 Esquema de gestión de red de Alvarion. AlvaristarTM. ....	158
Figura 3.40 Funcionamiento de la herramienta AlvaristarTM. ....	160
Figura 3.41 Diagrama General de la Red. ....	163
Figura 3.42 Torre Autosoportada. ....	165
Figura 3.43 Sistema de protección eléctrica para una radiobase. ....	167
Figura 3.44 Sistema de Energía Eléctrica para una Radio Base. ....	168

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I

Tabla 1.1 Rango de frecuencias del espectro de radiofrecuencias. ....	2
Tabla 1.2 Modos de propagación, alcances y capacidades. ....	17

### CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Número de UPC's en el DMQ. ....	53
Tabla 2.2 Total de vehículos en la zona urbana del DMQ. ....	54
Tabla 2.3 Total de motos en la zona urbana del DMQ. ....	54
Tabla 2.4 Total de policías que trabajan en las UPC. ....	55
Tabla 2.5 Población Urbana del DMQ en el periodo 2005-2010. ....	56
Tabla 2.6 Promedio porcentual del crecimiento de la población. ....	56
Tabla 2.7 Estimación del crecimiento policial hasta el año 2015. ....	57
Tabla 2.8 Requerimientos de Vehículos en las UPC. ....	57
Tabla 2.9 Porcentaje de Crecimiento de Vehículos y Motos hasta el año 2015. ....	58
Tabla 2.10 Computadores existentes en las UPC. ....	59
Tabla 2.11 Total de equipos requeridos en el periodo 2010-2015. ....	59
Tabla 2.12 Valores de k más utilizados y sus niveles de confianza. ....	63
Tabla 2.13 Utilización de la red expresada en horas/día. ....	64
Tabla 2.14 Transacciones de correo electrónico y páginas web. ....	65
Tabla 2.15. Tamaño en KBytes de las páginas más importantes de la Policía Nacional. ....	67
Tabla 2.16 Características técnicas de la cámara AXIS 2110. ....	72

Tabla 2.17 Capacidad total de transmisión requerida por cada usuario. ....	74
--	----

### CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Distribución de las portadoras según ancho de banda del canal con la permutación PUSC .....	80
Tabla 3.2 Parámetros SOFDMA .....	81
Tabla 3.3 Modulaciones y tasa de información .....	84
Tabla 3.4 Capacidades para WiMAX 802.16e con permutación PUSC.....	85
Tabla 3.5 Ubicación de las BTS.....	89
Tabla 3.6 Asignación de Frecuencias. ....	95
Tabla 3.7 Reuso de Frecuencias .....	96
Tabla 3.8 Factor Urbano calculado para cada radio-base.....	102
Tabla 3.9 Valores de los factores A y B. ....	103
Tabla 3.10 Margen de Desvanecimiento calculado en cada Radio-Base.....	104
Tabla 3.11 Sensibilidad calculada en el receptor. ....	105
Tabla 3.12 Cálculo de potencia de transmisión de las radio-bases considerando potencia de recepción máxima y mínima en el receptor, con valores típicos de ganancias.....	107
Tabla 3.13 Enlaces Microondas de Backbone .....	118
Tabla 3.14 Pérdidas en el espacio libre para cada radio-enlace .....	120
Tabla 3.15 Margen de Desvanecimiento calculado para cada enlace.....	122
Tabla 3.16 Sensibilidad del Receptor para los enlaces de backhaul.....	122
Tabla 3.17 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Guamaní Alto-Puengasí.....	123
Tabla 3.18 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Guamaní Alto-Tarqui. ....	124
Tabla 3.19 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Tarqui-Cruz Loma. ....	124
Tabla 3.20 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Puengasí-DNC. ....	125
Tabla 3.21 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Simón Bolívar-DNC. ....	125
Tabla 3.22 Potencia de Transmisión calculada para el enlace UVN-Simón Bolívar. ....	126
Tabla 3.23 Potencia de Transmisión calculada para el enlace UVN-Carcelén. ....	127
Tabla 3.24 Potencia de Transmisión calculada para el enlace DNC-Cruz Loma.....	127
Tabla 3.25 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Regimiento-UVN. ....	128
Tabla 3.26 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Regimiento Quito-DNC..	128
Tabla 3.27 Valores para graficar la primera zona de Fresnel.....	132
Tabla 3.28 Requerimientos mínimos de los equipos de la red de acceso .....	143
Tabla 3.29 Requerimientos mínimos de los equipos de la red de Backbone.....	143

Tabla 3.30 Comparación características técnicas de las radio-bases que ofrecen las marcas fabricantes. ....	145
Tabla 3.31 Comparación características técnicas de las antenas que ofrecen las marcas fabricantes. ....	146
Tabla 3.32 Comparación características técnicas de las unidades suscriptoras fijas que ofrecen las marcas fabricantes. ....	147
Tabla 3.33 Comparación características técnicas de las unidades suscriptoras fijas que ofrecen las marcas fabricantes. ....	149
Tabla 3.34 Antenas de Backhaul. ....	150
Tabla 3.35 Comparación características técnicas de los switches de acceso. ....	152
Tabla 3.36 Comparación características técnicas de los routers de borde.....	153
Tabla 3.37 Direccionamiento IP de cada Nodo .....	161
Tabla 3.38 Direccionamiento IP de los Enlaces entre Nodos.....	162

## **CAPÍTULO IV**

Tabla 4.1 Costo del Nodo DNC.....	173
Tabla 4.2 Costo del Nodo Puengasí. ....	173
Tabla 4.3 Costo del Nodo Cruz Loma. ....	174
Tabla 4.4 Costo del Nodo Regimiento Quito. ....	174
Tabla 4.5 Costo del Nodo UVN.....	175
Tabla 4.6 Costo del Nodo Simón Bolívar .....	176
Tabla 4.7 Costo del Nodo Carcelén Alto. ....	177
Tabla 4.8 Costo del Nodo Guamaní Alto.....	178
Tabla 4.9 Costo del Nodo Tarqui .....	179
Tabla 4.10 Costo de Equipos Terminales .....	180
Tabla 4.11 Costo del Software.....	181
Tabla 4.12 Presupuesto del Proyecto .....	182

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN Y ESTUDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16 (WiMAX)**

---

### **1.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS**

Durante los últimos años las redes inalámbricas han ganado mucha popularidad, y esta se ve incrementada conforme sus prestaciones aumentan y se descubren nuevas aplicaciones para éstas. Los usuarios de una red inalámbrica pueden transmitir y recibir voz, datos y vídeo en distancias que cubren decenas de metros e incluso decenas de kilómetros, todo esto a altas velocidades de transmisión, sin necesidad de estar físicamente conectados a un lugar determinado, además de proporcionar a éstos una gran movilidad sin perder la conectividad.

Las nuevas posibilidades que ofrecen las redes inalámbricas permiten una fácil incorporación de nuevos usuarios a la red, además ofrecen a éstos acceso a información y recursos en tiempo real, ya sea dentro de la red local o fuera de ella, a menor costo que los sistemas cableados.

#### **1.1.1 DEFINICIÓN DE REDES INALÁMBRICAS<sup>1</sup>**

Son aquellas redes de comunicaciones en donde la interconexión entre nodos es implementada sin utilizar cables.

Las redes inalámbricas son generalmente implementadas con algún tipo de sistema de transmisión de información que usa ondas electromagnéticas, como las ondas de radio.

---

<sup>1</sup> <http://www.alegsa.com.ar/Dic/red%20inalambrica.php>

### 1.1.2 ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIAS<sup>2</sup>

El espectro de radiofrecuencias es la parte del espectro electromagnético que hace referencia a cómo está dividido todo en el ancho de banda que se puede emplear para transmitir diversos tipos de señales. Existe una reglamentación que asigna determinadas frecuencias a determinados tipos de transmisión de información.

<i>Símbolo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Rango</i>	<i>Dimensional</i>
<i>VLF</i>	<i>Muy Baja Frecuencia</i>	<i>3 a 30</i>	<i>kHz</i>
<i>LF</i>	<i>Baja Frecuencia</i>	<i>30 a 300</i>	<i>kHz</i>
<i>MF</i>	<i>Frecuencias Medias</i>	<i>300 a 3,000</i>	<i>kHz</i>
<i>HF</i>	<i>Alta Frecuencia</i>	<i>3 a 30</i>	<i>MHz</i>
<i>VHF</i>	<i>Muy Alta Frecuencia</i>	<i>30 a 300</i>	<i>MHz</i>
<i>UHF</i>	<i>Ultra Alta Frecuencia</i>	<i>300 a 3,000</i>	<i>MHz</i>
<i>SHF</i>	<i>Súper Alta Frecuencias</i>	<i>3 a 30</i>	<i>GHz</i>
<i>EHF</i>	<i>Extremadamente Alta Frecuencia</i>	<i>30 a 300</i>	<i>GHz</i>
<i>*</i>	<i>---</i>	<i>300 a 3,000</i>	<i>GHz</i>

Tabla 1.1 Rango de frecuencias del espectro de radiofrecuencias

El espectro de radiofrecuencias debe ser utilizado de forma razonable y tratando todo el tiempo de optimizar su uso debido a que es un recurso natural no renovable.

Un país debe gestionar de forma responsable su espectro de radiofrecuencias, ya que podría perder oportunidades para introducir nuevos servicios de telecomunicaciones para sus habitantes.

Existen muchas organizaciones que se encargan de esta actividad, entre las más importantes se tiene: Unión Internacional de Comunicaciones (UIT) y Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL). En el Ecuador el organismo regulador que adjudica el espectro de radiofrecuencias es el Ministerio de Telecomunicaciones.

<sup>2</sup> Revista "Técnico en Redes y Comunicaciones para Computadores", editorial CODESIS, 2000.

### **1.1.2.1 Espectro sin Licencias<sup>3</sup>**

Existen segmentos del espectro de radiofrecuencias, conocidos como ICM<sup>[1]</sup>, que están reservados internacionalmente para uso no comercial en áreas industriales, científicas y médicas, las mismas que se encuentran disponibles para su uso en las frecuencias de 2.4 y 5.8 GHz.

El uso de estas bandas de frecuencia está abierto a todo el mundo sin necesidad de licencia, respetando las regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida. Este hecho fuerza a que este tipo de comunicaciones tengan cierta tolerancia frente a errores y que utilicen mecanismos de protección contra interferencias, como técnicas de espectro ensanchado.

### **1.1.2.2 Plan Nacional de Frecuencias<sup>4</sup>**

El Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador es el documento que expresa la soberanía del Estado Ecuatoriano en materia de administración del espectro radioeléctrico utilizado en los diferentes servicios de radiocomunicaciones dentro del país.

En el anexo Plan Nacional de Frecuencias se puede observar los servicios de radiocomunicaciones que se pueden implementar en cada una de las frecuencias.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta el uso especial que se da al manejo de las frecuencias por parte de las Fuerzas Armadas y la Policía Nacional, como se manifiesta en el ítem EQA.140 de las Notas Nacionales relacionadas al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias del Ecuador del Plan Nacional de Frecuencias, en el que se menciona que:

---

<sup>3</sup> <http://es.wikipedia.org>

<sup>4</sup> Plan Nacional de Frecuencias Ecuador. Marzo 2008

En las bandas 26,175 - 27,5 MHz, 29,7 - 37,5 MHz, 40,02 - 40,98 MHz, 41,015 - 50 MHz, 72 - 73 MHz, 74,6 - 74,8 MHz, 75,2-76 MHz, 138 - 144 MHz, 150,05 - 174 MHz, 248 - 272 MHz, 300 - 328,6 MHz, 387 - 399,9 MHz, 410 - 417,5 MHz, 430 -440 MHz, 460 - 512 MHz, 806 - 824 MHz, 851 - 869 MHz, 2 300 - 2 500 MHz, 4,4 - 5 GHz, 12,75-13,25 GHz existen segmentos de banda para la operación de sistemas de uso reservado conforme al Plan Militar de Frecuencias.

### 1.1.3 CLASIFICACIÓN DE LA REDES INALÁMBRICAS<sup>5</sup>

Por su alcance, las redes inalámbricas se clasifican de la siguiente forma:

- Redes Inalámbricas de Área Personal o WPAN (Wireless Personal Area Network).
- Redes Inalámbricas de Área Local o WLAN (Wireless Local Area Network).
- Redes Inalámbricas de Área Metropolitana o WMAN (Wireless Metropolitan Area Network).
- Redes Inalámbricas de Área Extendida o WWAN (Wireless Wide Area Network).

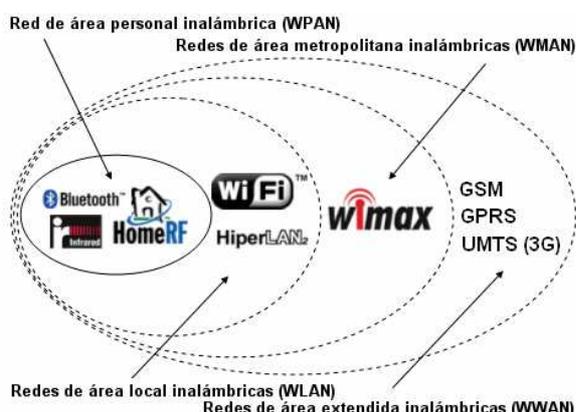


Figura 1.1 Clasificación de las Redes Inalámbricas

<sup>5</sup> Tesis: "Estudio de las redes Metro-Ethernet y su integración con la tecnología WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)", Luis Patricio Chiluisa Armas, 2009

### 1.1.3.1 Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)

Son redes cuya cobertura típica es de unos 10 metros, pero su rendimiento varía dependiendo del estándar empleado.

Utilizadas principalmente para conectar dispositivos periféricos (teléfonos celulares, PDA's, etc.) con un computador sin la utilización de cables. Se utilizan varios tipos de tecnologías para este tipo de redes:

- **Bluetooth** (IEEE 802.15.1), utiliza FHSS<sup>[2]</sup> en la banda de frecuencias de 2.4 GHz, cubriendo distancias de hasta 10 metros. En la versión 2 de esta tecnología ofrece velocidades de transmisión de hasta 2.1 Mbps con un bajo consumo de potencia.
- **ZigBee** (IEEE 802.15.4), estándar para comunicación de datos a corto alcance, utilizando para ello pequeños sensores. Utiliza DSSS<sup>[3]</sup>. Cubre distancias de hasta 75 metros, con velocidades que varían desde los 20 Kbps hasta los 250 Kbps.
- **Infrarrojo (IR)**, Las redes infrarrojas son aquellas que usan el rango infrarrojo del espectro electromagnético para transmitir información mediante ondas por el espacio libre. Los sistemas infrarrojos pueden clasificarse en sistemas de corta apertura, también llamados de rayo dirigido o de línea de vista (LoS) y en sistemas de gran apertura, reflejados o difusos.

### 1.1.3.2 Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)<sup>6</sup>

Son redes inalámbricas cuya cobertura puede tener varios cientos de metros, lo que permite crear un entorno de red local entre computadores o terminales

---

<sup>6</sup> "Visión General de Tecnologías Inalámbricas", Iván Bernal, Ph. D, Escuela Politécnica Nacional, 2008

situados en un mismo edificio o grupo de edificios. Se disponen de varias tecnologías, las mismas que se describen a continuación:

- **Wi-Fi** (*IEEE 802.11*), puede alcanzar velocidades que van desde los 11 hasta los 54 Mbps, cubriendo además distancias de varios cientos de metros. Utiliza las bandas de frecuencia de 2.4 y 5 GHz.
- **HiperLAN2** (*High Performance Radio LAN 2*), Creado por el Instituto Europeo de Normalización en Telecomunicaciones (ETSI). Ofrece velocidades de transmisión de 54 Mbps utilizando OFDM<sup>[4]</sup>, en el rango de frecuencias de 5.25 a 5.725 GHz.
- **HomeRF** (*Home Radio Frequency*), usa el protocolo de acceso compartido inalámbrico (SWAP) que trabaja en la banda de frecuencia de 2.4 GHz y tiene un alcance de 50 metros con una velocidad de transmisión de 10 Mbps. Esta tecnología utiliza FHSS y en futuros desarrollos se alcanzarían velocidades de 100 Mbps.

### 1.1.3.3 Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (WMAN)<sup>7</sup>

Son redes que cubren el área de una ciudad o entorno metropolitano, y que van desde unos cientos de metros hasta varios kilómetros. Las tecnologías más conocidas son:

- **WiMAX** (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), se creó para promover el estándar IEEE 802.16 y desarrollar especificaciones para garantizar interoperabilidad. Está diseñado para proporcionar accesos concurrentes en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 75 Mbps.

---

<sup>7</sup> “Visión General de Tecnologías Inalámbricas”, Iván Bernal, Ph. D, Escuela Politécnica Nacional, 2008

- **HiperMAN**, desarrollado por el ETSI, opera en la banda de 2 a 11 GHz y permite configuraciones punto a punto y en malla.
- **LMDS** (*Local Multipoint Distribution Service*), es una tecnología inalámbrica vía radio para comunicación entre puntos fijos, en donde el rango de frecuencia utilizado varía entre 2 y 40 GHz. Emite señales que alcanzan distancias de hasta 5 kilómetros.
- **WiBro** (*Wireless Broadband*), desarrollada por Corea del Sur, utiliza un sistema basado en TDD<sup>[5]</sup> que opera en un canal de radio de 9 MHz a 2.3 GHz, con OFDMA<sup>[6]</sup> como tecnología de acceso. Soporta usuarios viajando a velocidades de hasta 120 km/h y velocidades máximas de usuario de 3 Mbps en el *downlink* (*uplink*= 1 Mbps) y 18 Mbps de rendimiento máximo en el *downlink* (*uplink* = 6 Mbps).

#### 1.1.3.4 Redes Inalámbricas de Área Extendida (WWAN)<sup>8</sup>

Son redes que tienen una amplia cobertura geográfica, por ejemplo cubren regiones y países. Estos sistemas de comunicación hacen uso de la transmisión por radio frecuencia, empleando modulaciones para la transmisión de datos. Estos hacen uso de un rango de frecuencias del espectro y utilizan tecnologías como:

- **GSM** (*Global System for Mobile Communications*), tecnología de telefonía celular de segunda generación que ofrece transmisión de datos a 9.6 Kbps usando canales dedicados.
- **GPRS<sup>9</sup>** (*General Packet Radio System*), tecnología que añade a las redes GSM la posibilidad de transmitir paquetes de datos. Normalmente alcanza velocidades de 40 Kbps en *downlink* y 14 Kbps en *uplink*.

---

<sup>8</sup> "Visión General de Tecnologías Inalámbricas", Iván Bernal, Ph. D, Escuela Politécnica Nacional, 2008

<sup>9</sup> <http://www.3gpp.org>

- **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunication System*), sistema de comunicación celular de tercera generación que ofrece servicios de voz, fax, mensajes multimedia, así como servicios de datos a velocidades de hasta 2 Mbps.

#### 1.1.4 ESTÁNDARES IEEE 802<sup>10</sup>

En febrero de 1980 el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) creó el comité 802 con el fin de acordar una tecnología idónea para establecer los estándares para las redes de computadoras. De esta manera los productos de diferentes fabricantes podrían interoperar, existiría libre competencia y sus precios disminuirían. A continuación se mencionan algunos de los estándares de este grupo de trabajo:

- IEEE 802.1 Interfaces del nivel superior: Puentes y Gestión.
- IEEE 802.1q Manejo de redes LAN virtuales (VLAN).
- IEEE 802.1p Asignación de prioridades al tráfico.
- IEEE 802.1x Autenticación de usuarios para acceder a redes cableadas e inalámbricas.
- IEEE 802.2 Protocolo de Control de Enlace Lógico (LLC).
- IEEE 802.3 Especificaciones de Ethernet (CSMA/CD)<sup>[7]</sup>.
- IEEE 802.4 Especificaciones de Token Passing.
- IEEE 802.5 Especificaciones de Token Ring.
- IEEE 802.6 Especificaciones de una MAN (DQDB)<sup>[8]</sup>.
- IEEE 802.7 Recomendaciones LAN de Banda Ancha.
- IEEE 802.8 & 8a Comités de redes LAN con fibras ópticas.
- IEEE 802.9 Ethernet en modo isócrono (Iso-Ethernet).
- IEEE 802.10 Comité de seguridad y encriptación.
- IEEE 802.11 Redes LAN inalámbricas.
- IEEE 802.12 Prioridad de demanda.
- IEEE 802.14 Módems para televisión por cable.

---

<sup>10</sup> Redes de Área Local, Ing. Pablo Hidalgo, Escuela Politécnica Nacional, 2008.

- IEEE 802.15           Redes inalámbricas de área personal (WPAN).
- IEEE 802.16           Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN).

## **1.2 ANTECEDENTES DE WiMAX<sup>11</sup>**

### **1.2.1 DEFINICIONES<sup>12</sup>**

WiMAX (World Wide Interoperability for Microwave Access), es una especificación para redes metropolitanas inalámbricas de banda ancha que está asociado a los estándares IEEE 802.16x.

Este estándar puede proporcionar altas tasas de transferencia de datos, telefonía con movilidad y cobertura a grandes distancias. Sus características convierten a WiMAX en una tecnología relevante y prometedora tanto para proveedores, como operadores y usuarios.

La tecnología WiMAX propone solucionar demandas que no están satisfechas, entre otras, la demanda de banda ancha móvil, compitiendo de lleno con tecnologías que hace tiempo intentan ganar ese mercado como la tercera generación de telefonía móvil (3G).

#### **1.2.1.1 WiMAX Forum<sup>13</sup>**

Tras WiMAX está el WiMAX Forum que es una asociación sin fines de lucro, formada por un consorcio de empresas para promover y certificar la compatibilidad e interoperabilidad de los productos inalámbricos de banda ancha basados en el estándar común IEEE 802.16e/ETSI HiperMAN. El objetivo principal del WiMAX Forum es acelerar la introducción de estos sistemas en el

---

<sup>11</sup> Tesis "Diseño de un "Backbone" Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios", Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006

<sup>12</sup> [http://www.ingenieria.cl/tesis/ing\\_%28c%29\\_elec/4%282007%29/1.pdf](http://www.ingenieria.cl/tesis/ing_%28c%29_elec/4%282007%29/1.pdf)

<sup>13</sup> <http://es.wikitel.info/wiki/WiMAX>

mercado, generando economías de escala, mediante equipos económicos y de calidad.

Los productos WiMAX Forum Certified son interoperables y soportan los servicios de banda ancha fijos, nómadas, portátiles y móviles. El Forum se encarga de controlar con la ayuda de los prestadores de servicio y reguladores, que los productos y sistemas certificados satisfagan las necesidades de los clientes y gobiernos, adaptando y ampliando los estándares. Para realizar esta tarea el WIMAX Forum realiza congresos y exhibiciones para mostrar la tecnología WIMAX (WIMAX Forum Congress Events Series).

### 1.2.2 ESTÁNDARES 802.16<sup>14</sup>

A continuación se listan los estándares 802.16 más relevantes:

- 802.16: Utiliza espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz, necesita línea de vista directa, con una capacidad de hasta 134 Mbps. Soporta QoS<sup>[9]</sup>. Publicado en 2001.
- 802.16a: Ampliación del estándar 802.16 hacia bandas de 2 a 11 GHz, con sistemas que necesitan línea de vista directa (LOS) y sin ella (NLOS), y protocolo PTP y PTMP. Publicado en abril de 2003.
- 802.16c: Ampliación del estándar 802.16 para definir las características y especificaciones en la banda de 10-66 GHz. Publicado en enero de 2003.
- 802.16d: Revisión del estándar 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles aprobados por el WiMAX Forum. Aprobado como 802.16-2004 en junio de 2004 (La última versión del estándar).

---

<sup>14</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3582/1/53965-1.pdf>

- 802.16e: Extensión del 802.16 que incluye la conexión de banda ancha para dispositivos móviles. Publicado en diciembre de 2005.

### 1.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TECNOLOGÍA WiMAX

WiMAX busca garantizar la interoperabilidad con estándares para redes de área metropolitana inalámbrica o WMAN, tales como: HiperMAN (High Performance Radio Metropolitan Area Network), LMDS (Local Multipoint Distribution Service), MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) de objetivos muy similares a WiMAX.

Se tienen coberturas tanto con línea de vista entre los puntos a conectar (LOS) como sin línea de vista (NLOS) en bandas de frecuencias de uso común o licenciadas. Esto permite la creación de redes de gran alcance con una topología punto-multipunto y de malla, beneficiando sobre todo a aquellos grupos con mayores dificultades de acceso a la red.

WiMAX ha sido optimizada para ofrecer NLOS.<sup>15</sup> La tecnología NLOS, permite predecir hasta el 95% de la cobertura y la penetración en una determinada celda, lo que lleva a que se precise un menor número de estaciones base, planificación de radio más sencilla, torres más cortas y terminales de usuarios que se instalan más rápido.

Originalmente definida para las frecuencias de hasta 11GHz para conexiones con y sin línea de vista, y entre 10GHz y 66GHz para conexiones con línea de vista.

La conexión puede llegar a alcanzar una distancia cercana a los 48 kilómetros y la velocidad de transferencia de los datos puede llegar a los 75 Mbps por cada canal (entre 1,5-20 MHz de ancho de banda), operando en los rangos de frecuencia de

---

<sup>15</sup><http://www.itu.int/ITU-D/fg7/pdf/Contribution/Angel/D02-SG02SRTCangel.pdf>: **angel**<sup>TM</sup>, UNA TECNOLOGÍA DE ACCESO INALÁMBRICO FIJO DE BANDA ANCHA DE PROBADA EFICACIA EN EL TERRENO Y UNA VÍA EVOLUTIVA HACIA WIMAX.

2-11GHz. En el rango de 10-66 GHz la tasa de transferencia es de 128 Mbps en un canal de ancho de banda de 28 MHz.

Utiliza esquemas de transmisión OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) con 256 y 2048 subportadoras (tratadas de diferente manera según el operador) respectivamente y QAM<sup>[12]</sup> en la banda de 10 a 66GHz; que permiten altas tasas de transferencia incluso en condiciones poco favorables.

Además, incorpora soporte para tecnologías “smart antenna” que mejoran la eficiencia espectral y la cobertura. Estas antenas son usadas por las compañías celulares en las redes de tercera generación (3G).

Incluye mecanismos de modulación adaptativa, mediante los cuales la estación base y el equipo de usuario se conectan utilizando la mejor de las modulaciones posibles, en función de las características del enlace radio. Entre las modulaciones que utiliza se tienen: QPSK<sup>[13]</sup>, 16 QAM, y 64 QAM.

Los perfiles ya disponibles incluyen las bandas licenciadas en 2,5 GHz y la banda de 3,5 GHz, además de la banda no licenciada UNII (Universal National Information Infrastructure) en 5,8 GHz.

Otra característica importante es que WiMAX es independiente de protocolo, es decir, puede transportar IP, Ethernet<sup>16</sup>, ATM<sup>[14]</sup> y otros. Esto hace que complemente a otros estándares como Wi-Fi o Ethernet. Además puede transmitir otros servicios agregados como VoIP, datos o vídeos simultáneamente ofreciendo Calidad de Servicio (QoS) en 802.16e.

En lo que se refiere a seguridad, incluye medidas para la autenticación de usuarios mediante X.509 y la encriptación de los datos mediante los algoritmos Triple DES<sup>[15]</sup> (128 bits), AES<sup>[16]</sup> (192 bits) y RSA<sup>[17]</sup> (1.024 bits).

---

<sup>16</sup> <http://tools.ietf.org/html/rfc5692>

Como principales inconvenientes cabe mencionar la limitación de potencia para prever interferencias con otros sistemas, y el alto consumo de batería que se requiere. Sin embargo, los más recientes avances en los procesadores digitales de señal hacen que señales muy débiles puedan ser recibidas sin errores, un hecho del que se aprovecha WiMAX.

### 1.3.1 ELEMENTOS Y CONFIGURACIONES DE LAS REDES WiMAX<sup>17</sup>

Los siguientes elementos forman parte de las redes 802.16:

- El equipo de usuario o CPE (*Customer Premises Equipment*). Incorpora las funciones de las SS (*Subscriber Station*) identificadas en el funcionamiento de las redes *Broadband Wireless Access* (BWA). Este equipo proporciona la conectividad vía radio con la estación base (BS).
- La estación base con las funciones de BS (*Base Station*). Además de proporcionar conectividad con las SS, también proporciona los mecanismos de control y gestión de los equipos SS. La estación base tiene los elementos necesarios para conectarse con el sistema de distribución.
- Red de acceso. Esta es la red donde están todos los sistemas que permiten llegar al usuario final, aquí se reflejan las ventajas de WiMAX, sus técnicas de propagación y modulación. En este bloque se encuentran las estaciones base WiMAX
- Edge. Es la interfaz entre el núcleo y la red de acceso. Este segmento está compuesto por los *gateway* del sistema. Los *gateway* son conocidos, en WiMAX, como ASN – GW (*Access Service Network Gateway*). Estos pueden estar conectados a varias estaciones base, su función es hacer el papel de traductor hacia la red exterior de la información que viene del *core*.

---

<sup>17</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3582/1/53965-1.pdf>

- **Core** o núcleo de red. El núcleo es donde se localizan los equipos de alta capacidad de transmisión. En este bloque se encuentran los elementos centrales de red, los cuales son capaces de administrar y gestionar. La tecnología WiMAX es principalmente de acceso, no se necesita un núcleo de red exclusivo. El núcleo se puede interconectar con núcleos de otras redes, inclusive con otras redes de acceso (redes celulares o PSTN<sup>[18]</sup>).

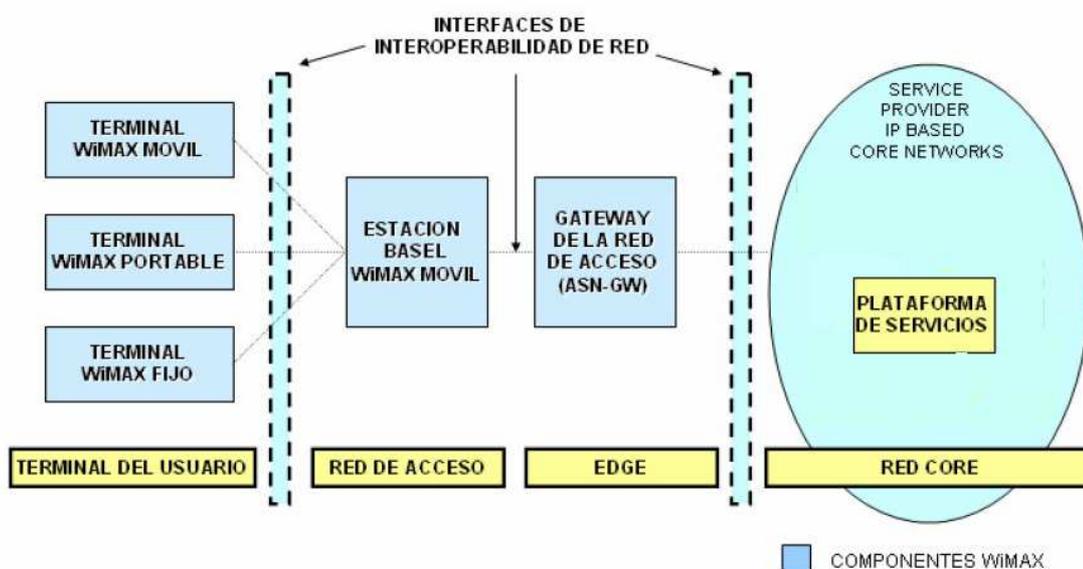


Figura 1.2 Elementos y configuraciones de 802.16.

En la figura 1.2 se muestran los elementos así como las posibles configuraciones de conectividad entre ellas. De forma general, una red WiMAX posee una arquitectura similar a las redes celulares tradicionales, ya que se basa en una distribución estratégica de una serie de emplazamientos en donde se ubicarán las estaciones base (BS). Cada estación base utiliza una configuración punto-multipunto (PMP) o punto-punto (PTP) para enlazar los equipos de los clientes. También existe la posibilidad de que las estaciones clientes se enlacen entre ellas en una configuración mallada.

### 1.3.1.1. Configuración Punto-Multipunto (PMP)<sup>18</sup>

<sup>18</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3582/1/53965-1.pdf>

En las configuraciones punto-multipunto (PMP) un enlace WiMAX se realiza a partir de una estación base (BS) central con antenas sectoriales, en estas redes pueden haber estaciones con 2 sectores (a  $180^\circ$ ), 4 sectores (a  $90^\circ$ ) u 8 sectores (a  $45^\circ$ ), todo depende del tipo de antena que se utilice y de la zona que se pretende dar cobertura.

Dentro de un sector y para una determinada frecuencia (canal) todas las estaciones (BS) reciben la misma potencia o partes de la misma. Las transmisiones en el enlace de bajada (*downlink*, DL) suelen ser broadcast, de forma que todas las estaciones de usuario reciben toda la información y escogen la que vaya dirigida a ellos. En el enlace de subida (*uplink*, UL) las estaciones de usuario comparten el canal mediante mecanismos de gestión de demanda.

En la figura 1.3 se ilustra esta configuración PMP.

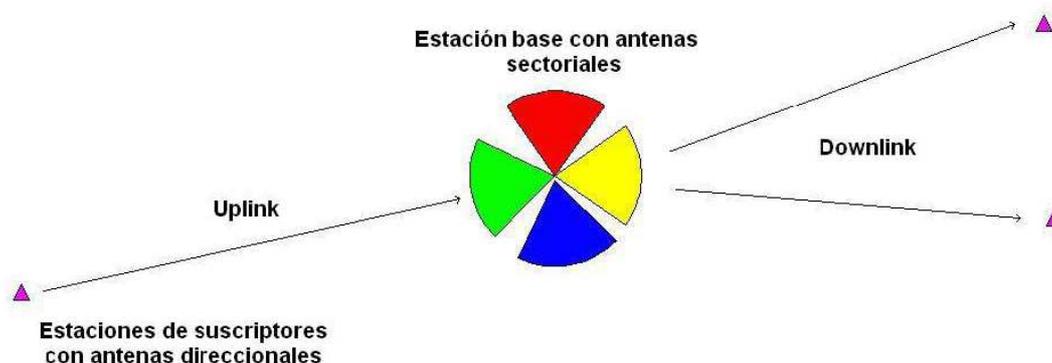


Figura 1.3 Configuración punto-multipunto (PMP).

### 1.3.2 MODELOS DE PROPAGACIÓN<sup>19</sup>

Los canales de radio tienen dos tipos de propagación y son:

- **LOS (*Line of Sight*)**. Canal radio con línea de vista directa entre la estación base (BS) y la estación del suscriptor (SS). La señal viaja a través de un

<sup>19</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3582/1/53965-1.pdf>

camino directo, sin obstáculos desde el transmisor hacia el receptor. Un enlace LOS requiere que el 60% de la primera zona de Fresnel esté libre de cualquier tipo de obstrucción, evitándose cualquier efecto de difracción en la señal. Por lo tanto, cuando se realiza un enlace entre dos puntos con visibilidad directa se tiene que conocer la distancia y la altura de los obstáculos, así como la altura del transmisor y receptor.

- **NLOS (*Non Line of Sight*)**. Canal de radio sin línea de vista directa entre la estación base (BS) y la estación del suscriptor (SS). Las señales que llegan al receptor se componen de la señal directa, de múltiples señales reflejadas de menor intensidad y de diferentes caminos de propagación causados por la difracción. Estas señales tienen diferentes retardos, atenuación, polarización y estabilidad respecto a la señal directa.

Algunas de las ventajas de la propagación NLOS respecto a la LOS son las siguientes:

- En muchos casos los requerimientos de despliegue no permiten posicionar la antena según las restricciones de altura necesarias para un enlace del tipo LOS. Para despliegues celulares de gran escala, donde el reuso de frecuencia es crítico, reducir la altura de la antena puede resultar una ventaja, reduciendo las interferencias co-canal entre celdas adyacentes. Esto fuerza a las estaciones bases a operar en condiciones NLOS.
- La tecnología NLOS también reduce los costes de instalación, permitiendo una fácil localización del dispositivo cliente.
- La tecnología NLOS y las características de WiMAX permiten utilizar dispositivos cliente indoor. Esto conlleva dos desafíos principales: en primer lugar superar las pérdidas por penetración en edificios y en segundo lugar, dar cobertura a distancias razonables con potencias de transmisión y ganancia de la antena reducidas; características de sistemas interiores.

### 1.3.3 ÁREA DE COBERTURA<sup>20</sup>

WiMAX es un sistema de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance (hasta 50 Km.), escalable (permite añadir nuevos canales/usuarios, asignación flexible de ancho de banda y permite tanto sistemas en espectro “licenciado” como “no licenciado”) y en cuya cobertura se considera la incorporación de antenas sectoriales tradicionales o antenas adaptativas, con modulaciones adaptables que permiten intercambiar ancho de banda por alcance; la tabla 1.2 a continuación da una visión del alcance y ancho de banda para diferentes tipos de propagación de las ondas de radio.

ENTORNO	TAMAÑO CELDA	RENDIMIENTO
Urbanos en interiores (NLOS)	1 Km.	21 Mbps con canales 10 MHz
Suburbanos en interiores (NLOS)	2.5 Km.	22 Mbps con canales 10 MHz
Suburbanos en exteriores (NLOS)	7 Km.	22 Mbps con canales 10 MHz
Rurales en interiores (NLOS)	5 Km.	4.5 Mbps con canales 3.5 MHz
Rurales en exteriores (LOS)	15 Km.	4.5 Mbps con canales 3.5 MHz

Tabla 1.2 Modos de propagación, alcances y capacidades

### 1.3.4 ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO 802.16

El estándar 802.16, define las especificaciones para sus múltiples capas físicas (PHY) y la capa de acceso al medio (MAC) con sus respectivas subcapas. En la figura 1.4 se ilustra la pila de protocolos del estándar 802.16.

<sup>20</sup> Tesis “Diseño de un “Backbone” Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios”, Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006

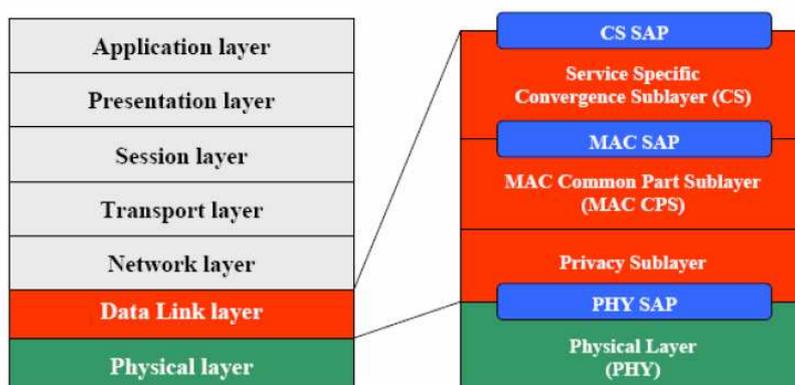


Figura 1.4 Estructura de protocolos de 802.16.<sup>21</sup>

De acuerdo a lo mostrado anteriormente, las capas y subcapas del protocolo son las siguientes:

- **Convergence Sublayer (CS).** La subcapa de convergencia es capaz de interactuar con sistemas ATM o IP mediante el CS SAP (punto de acceso al servicio). Por esta razón, la función de la subcapa CS es interactuar entre las funciones de la capa MAC y la capa de red.
- **MAC Common Part Sublayer (MAC CPS).** Es el núcleo de la capa MAC. Realiza todas las funciones necesarias para el intercambio de datos y el control de la capa MAC. Está conectada a la subcapa CS mediante el MAC SAP.
- **Privacy Sublayer.** Esta subcapa se encarga de los mecanismos de privacidad requeridos por la capa PHY. Por ejemplo, el intercambio de claves y los procesos de cifrado y descifrado de la información. Se interconecta con la capa PHY mediante el PHY SAP.
- **Physical Layer (PHY).** Especifica las características de los diferentes modos de operación de la interfaz aire: WirelessMAN SC (Single Carrier), WirelessMAN SCa, WirelessMAN OFDM y WirelessMAN OFDMA.

<sup>21</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3582/1/53965-1.pdf>

### 1.3.5 CAPA FÍSICA

#### 1.3.5.1 Técnicas de Duplexación<sup>22</sup>

Duplexación se refiere a la manera de cómo los enlaces ascendentes y descendentes son llevados a cabo en dos vías de transmisión inalámbrica. La información en sentido descendente o downlink es llevada desde una estación base (BS) a una estación suscriptor, en cambio, en un enlace ascendente o uplink; la información es llevada en sentido contrario. Por esta razón existen dos tipos de esquemas de duplexación: Duplexación por División de Tiempo (TDD) y la Duplexación por División de Frecuencia (FDD).

La figura 1.5 muestra los dos tipos de enlaces (downlink y uplink) en una transmisión inalámbrica.

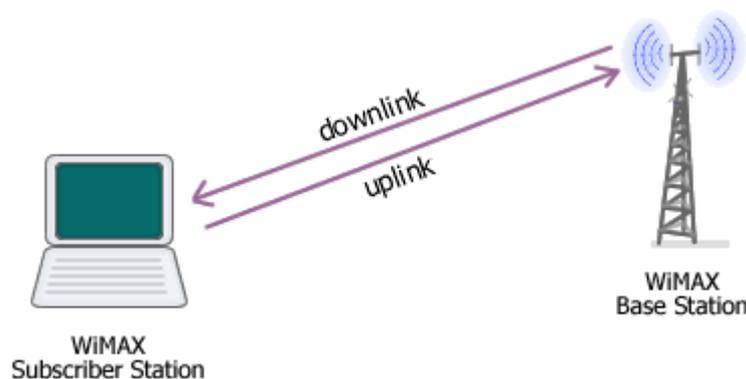


Figura 1.5 Tráfico uplink y downlink.

- **FDD (Frequency Division Duplex).** Este esquema consta de dos canales distintos para la transmisión de una subtrama uplink y de una subtrama downlink, ambos canales se transmiten en el mismo slot de tiempo.

FDD es apropiado para tráfico de voz bi-direccional, ya que ocupa un canal ascendente y descendente simétrico, también es usado en las redes celulares de segunda y tercera generación. Por otro lado, WiMAX soporta FDD full-duplex y FDD half-duplex; la diferencia consiste en que en la una

<sup>22</sup> <http://www.conniq.com/WiMAX/tdd-fdd.htm>

se puede transmitir y recibir información simultáneamente, mientras que en la otra solamente se puede transmitir o recibir información en un momento dado.

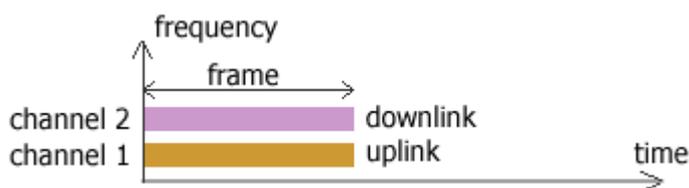


Figura 1.6 (FDD) en modo full-duplex

La figura 1.6 muestra como se transmiten los datos en uplink y downlink al mismo tiempo en dos canales adyacentes.

- **TDD (Time Division Duplex).** FDD es ineficiente para la implementación de tráfico de datos ya que ocupa una pequeña porción de un canal en un tiempo dado. Por esta razón, TDD es otro esquema de duplexación que necesita de un solo canal para transmitir las subtramas uplink y downlink pero en dos slots de tiempo diferentes. En consecuencia TDD tiene más eficiencia espectral que FDD.

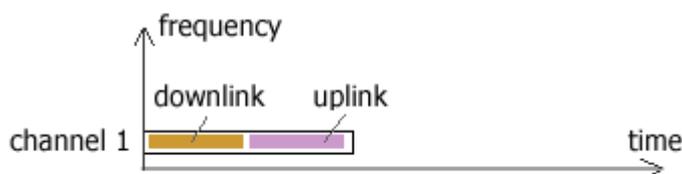


Figura 1.7 Time Division Duplex (TDD)

En la figura 1.7 se puede observar los datos en downlink y uplink transmitiéndose en diferentes slots de tiempo y en un solo canal.

WiMAX en su mayoría de aplicaciones usa el esquema TDD ya que ahorra su espectro de banda de frecuencia, también porque es menos complejo implementarlo y menos costoso. Las primeras versiones de WiMAX soportan FDD y TDD; mientras que WiMAX móvil solamente incluye TDD.

### 1.3.5.2 Tipos de Modulación en 802.16

Los sistemas o tipos de modulación se refieren a los métodos empleados para transmitir la información a través de una onda portadora, para tener un mejor aprovechamiento del canal de comunicación. Esto permite que se pueda transmitir más información de manera simultánea y proteger a la señal de posibles interferencias y ruidos.

Lo que hace la modulación es trasladar el espectro de la señal original desde un rango de frecuencias en banda base a un rango de frecuencias de la onda portadora, que generalmente es una señal de alta frecuencia.

Las altas frecuencias proporcionan grandes anchos de banda para la transferencia de la información, lo cual redundará en una capacidad superior y en el uso de antenas de menor tamaño. Usar técnicas de modulación también ayuda a conseguir mayores alcances en la transmisión y una radiación de la energía más efectiva.

#### 1.3.5.2.1 Modulación OFDM/OFDMA<sup>23</sup>

OFDM “multiplexación por división de frecuencia ortogonal”, y OFDMA “acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal”; son los tipos de modulación empleadas por el estándar 802.16 en frecuencias de operación menores a 11GHz. Tienen una alta eficiencia espectral (bps/Hz) debido a su modulación ortogonal y a la codificación empleada.

OFDM proporciona todo el espacio de la portadora para que cada equipo cliente pueda transmitir a la vez. En cambio, OFDMA permite el acceso múltiple para que un equipo cliente pueda transmitir a través de uno o varios subcanales que le hayan sido asignados.

---

<sup>23</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3582/1/53965-1.pdf>

OFDM soporta la división de espectro de 256 portadoras, mientras que OFDMA permite tener hasta 2048 portadoras con sus respectivos subcanales, lo que significa una ventaja en canales de gran ancho de banda. La figura 1.8 explica la distribución de usuarios mediante OFDM y OFDMA.

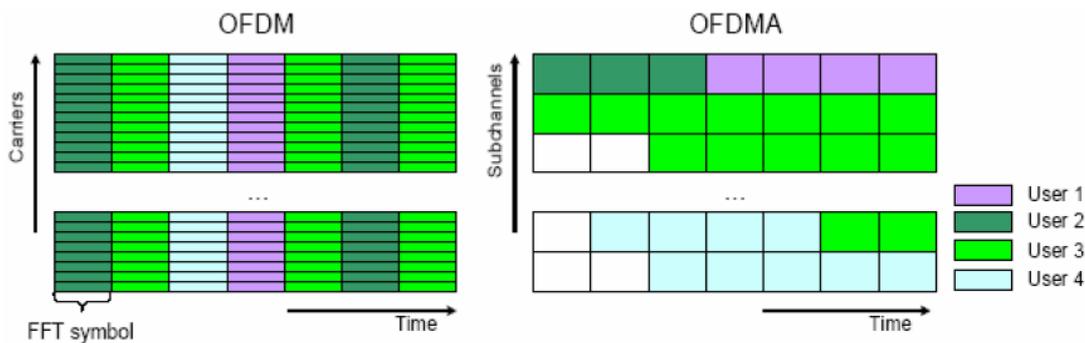


Figura 1.8 Asignación de usuarios en OFDM y OFDMA

A continuación se muestran los datos más representativos de las dos configuraciones:

#### **OFDM-256 portadoras:**

- 256 portadoras totales
- 192 portadoras de datos
- 8 portadoras piloto
- 56 portadoras nulas (banda de guarda)

#### **OFDMA-2048 portadoras:**

- 2048 portadoras totales
- 1536 portadoras de datos
- 166 portadoras piloto
- 345 portadoras nulas (banda de guarda)

### 1.3.5.2.2 Modulación PSK (Phase Shift Keying)<sup>24</sup>.

En este tipo de modulación, la fase de la portadora cambia de acuerdo a la señal de datos, mientras que la amplitud de la portadora modulada se mantiene constante. Es muy utilizada en radio digital por sus características de amplitud constante, insensibilidad a variaciones de nivel y buen desempeño contra errores.

Se tiene modulaciones de múltiples estados. WiMAX utiliza las modulaciones: 2-PSK (BPSK), 4-PSK (QPSK)

#### 1.3.5.2.2.1 Modulación BPSK<sup>25</sup>.

Presenta dos fases diferentes, la una con valor a los 1s y la otra a los 0s. Mientras la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida (señal modulada) se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase. La señal modulada se observa como en la figura 1.9.

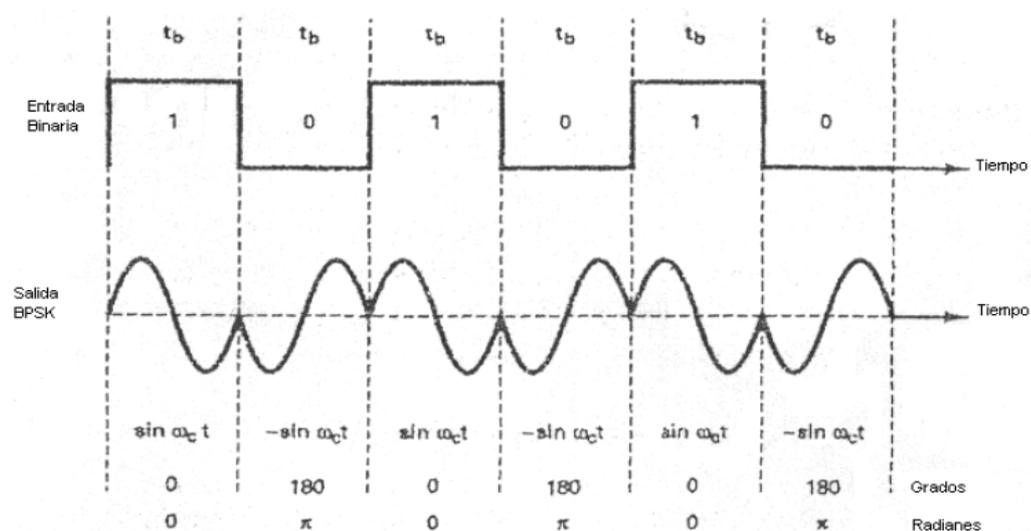


Figura 1.9 Ejemplo de Modulación BPSK.

<sup>24</sup> Teoría de Comunicaciones, Msc. María Soledad Jiménez, Escuela Politécnica Nacional, 2007.

<sup>22</sup> Tesis "Diseño de un "Backbone" Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios", Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006.

Además la velocidad de modulación ( $V_m$  en baudios) en BPSK viene dada por la siguiente relación:

$$V_m = \frac{V_t}{\log_2 M} = V_t$$

Donde:

$V_t$  = Velocidad de transmisión (en bps)

$M$  = Número de fases (2 para BPSK)

#### 1.3.5.2.2.2 Modulación QPSK<sup>26</sup>

Para QPSK el número de fases es 4, cada una de ellas transmitirá dos bits y estarán separadas 90 grados. De tal manera que, por cada 2 bits diferentes se genera una de las cuatro fases posibles.

En el modulador QPSK, para los dos bits que ingresan ocurre un cambio de fase en la salida del modulador. Así que, la relación entre la velocidad de modulación (velocidad de señal) " $V_m$ " y la velocidad de transmisión " $V_t$ " en QPSK será:

$$V_m = \frac{V_t}{\log_2 M} = \frac{V_t}{2}$$

Donde:

$M = 4$  fases

---

<sup>26</sup> Tesis "Diseño de un "Backbone" Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios", Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006.

### 1.3.5.2.3 Modulación QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura)<sup>27</sup>

Involucra la variación simultánea de dos parámetros de la onda portadora: amplitud y fase

La expresión matemática de la señal modulada QAM puede expresarse de la siguiente forma:

$$s(t) = r_i \cdot \cos(W_c t + \theta_i)$$

Donde  $r_i$  se refiere a los cambios de amplitud de la portadora y  $\theta_i$  está relacionado con los cambios de fase de la portadora.

Es posible considerar a la modulación QAM como una extensión de la modulación PSK, donde las dos señales en banda base son generadas independientemente, en consecuencia se establecen dos canales (I y Q) en cuadratura completamente independientes.

La modulación QAM da una tasa de error (BER) menor que PSK para la misma relación S/N.

QAM tiene la ventaja de que favorece el aprovechamiento del ancho de banda disponible.

### 1.3.5.2.4 Modulación Adaptativa<sup>28</sup>

WiMAX también utiliza técnicas de modulación adaptativa que permite ajustar el sistema de modulación dependiendo del comportamiento de la señal en un canal de comunicación. Así, un enlace de alta calidad puede usar un tipo de modulación de mayor calidad, teniendo por lo tanto un sistema de mayor capacidad. Cuando la calidad del enlace disminuye debido a efectos multicamino de la señal, a fin de

<sup>27</sup> Teoría de Comunicaciones, Msc. María Soledad Jiménez, Escuela Politécnica Nacional, 2007.

<sup>28</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3582/1/53965-1.pdf>.

mantener la estabilidad del mismo, se puede disminuir el esquema de modulación. De este modo, cuanto más cerca se encuentren las SS de las BS más probabilidades tendrán de poder transmitir a una mayor velocidad.

WiMAX cuenta con 9 esquemas de modulación diferentes, con distintas características de eficiencia espectral. Entre las principales se tiene: BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM, y 256 QAM.

La figura 1.10 explica los esquemas de modulación utilizados de acuerdo a la distancia que se encuentre el receptor de la estación base y su respectivo nivel de SNR <sup>[19]</sup>.

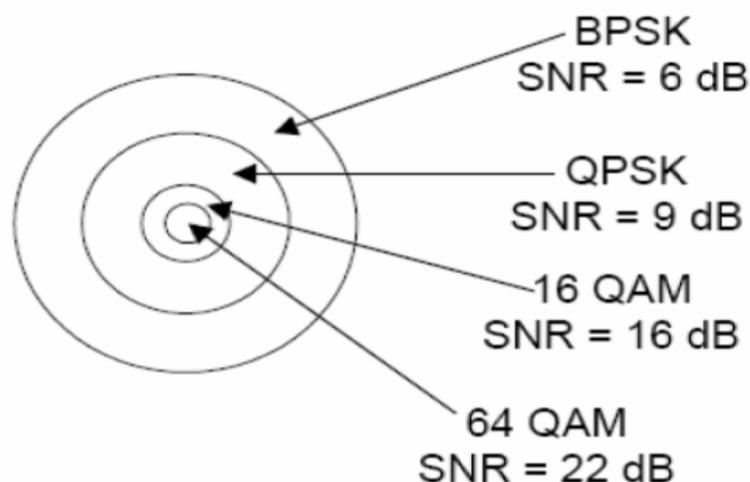


Figura 1.10 Sistemas de Modulación y su SNR en el receptor.<sup>29</sup>

### 1.3.5.3 Características de la Capa Física<sup>30</sup>

El estándar 802.16-2004 especifica un total de 5 capas de radio diferentes, debido a su gran margen de operación frecuencial y entornos de despliegue que permite cubrir.

- **WirelessMAN SC** Define la versión “*single carrier*” con línea de vista directa (LOS) en la banda de frecuencias de 10 a 66GHz. Está

<sup>29 y 27</sup> <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3582/1/53965-1.pdf>.

enfocada para aplicaciones con flexibilidad de configuración, puesto que las antenas transmisora y receptora deben tener vista directa (LOS) entre ellas.

- **WirelessMAN SCa** Versión “*single carrier*” para frecuencias inferiores a 11GHz. Comprende aquellas técnicas para soportar operaciones sin línea de vista (NLOS).
- **WirelessMAN-OFDM – 256 FFT** Operaciones sin línea de vista (NLOS) en bandas de frecuencias inferiores a 11 GHz. Utiliza OFDM. Además de las funcionalidades propias del estándar WirelessMAN SCa, esta versión soporta topologías de red tipo malla (mesh) y subcanalización en el enlace uplink, que representa una gran herramienta para optimizar cobertura.
- **WirelessMAN-OFDMA – 2048 FFT** Soporta operaciones NLOS en bandas de frecuencias inferiores a 11 GHz, y se basa en el esquema de múltiple acceso denominado OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). Se trata de una extensión de la técnica OFDM para permitir el compartimiento del canal por múltiples usuarios. Además de las funcionalidades propias de la versión WirelessMAN SCa, soporta subcanalización en ambos enlaces UL y DL.
- **WirelessHUMAN** Comprende funcionalidades específicas para funcionar en bandas sin licencia, siendo por esto llamada “*High Speed Unlicensed Metropolitan Area Network – HUMAN*”. Especifica la operación en las bandas 5 a 6GHz, utilizando como base un esquema flexible de canalización que incluye canales de 10 y 20MHz, con separaciones de 5MHz.

Dentro de las principales características de estos 5 tipos de capas, es importante notar que WirelessHUMAN no es una especificación concreta sino que surge de

la aplicación en bandas sin licencia de las capas WirelessMAN-SCa, WirelessMAN-OFDM y WirelessMAN-OFDMA.

Todas las capas físicas excepto WirelessMAN-SC están diseñadas para poder trabajar en el margen frecuencial de 2Ghz hasta 11Ghz, en estas bandas no es necesario tener línea de vista para poder interconectar los equipos. Por este motivo 802.16 incorpora toda una serie de técnicas para compensar los efectos de la propagación multicamino, algunos de estos son:

- **AAS (*Adaptive Antenna Systems*)**. Permite utilizar múltiples antenas para adaptar el diagrama de radiación a una dirección o direcciones particulares
- **STC (*Space Time Coding*)**. Mecanismos que realizan diversidad de transmisión.

### 1.3.6 CAPA MAC<sup>31</sup>

Una red que utiliza un medio compartido debe proveer un mecanismo eficiente para compartirlo. Las topologías de redes inalámbricas como PMP y Mesh, son ejemplos de cómo compartir el medio inalámbrico. En este caso, el medio es el espacio por donde las ondas de radio se propagan.

La principal diferencia entre el modo PMP y el modo opcional Mesh es que en el primero el tráfico solo ocurre entre la estación base y las estaciones suscriptoras, mientras que en el modo Mesh el tráfico puede ser ruteado hacia otras estaciones suscriptoras e incluso puede ocurrir directamente entre estas.

#### 1.3.6.1 Formatos MAC PDU.

Los MAC PDU <sup>[20]</sup> tienen el siguiente formato:

---

<sup>31</sup><http://tesis.pucp.edu.pe/files/PUCP000000001073/Dise%F1o%20de%20una%20red%20WIMAX%20m%F3vil%20para%20la%20ciudad%20de%20Trujillo.pdf>

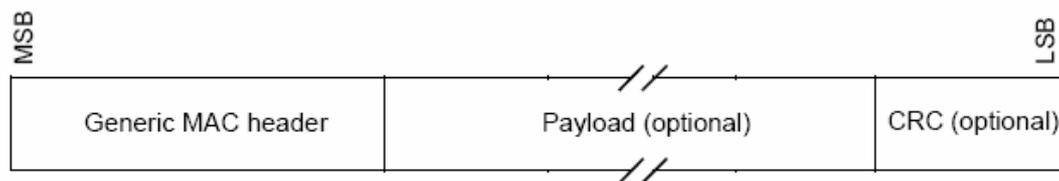


Figura 1.11 Formato de la PDU MAC.

Cada PDU deberá comenzar con una cabecera MAC genérica de longitud fija. Esta cabecera podrá ser seguida de una carga útil (Payload) de la MAC PDU, la cual puede variar en longitud, por lo que la MAC PDU puede representar un número variable de bytes. Esto permite a la MAC manejar diferentes tipos de tráfico de niveles superiores sin el conocimiento de los formatos. Es obligatoria la implementación del CRC (Cyclic Redundancy Check) para SCa, OFDM y OFDMA.

### 1.3.6.2 Ancho de Banda Asignado y Mecanismos de Solicitud

Durante el inicio de la conexión a la red a cada estación suscriptora se le asignan hasta tres canales dedicados, con el propósito de enviar y recibir mensajes de control. Estos pares de comunicaciones son usados para permitir niveles diferenciados de QoS para ser aplicados a diferentes conexiones que contienen tráfico de control MAC. A continuación se explicaran los diferentes métodos que utiliza la estación suscriptora para enviar un mensaje de solicitud a la estación base.

#### 1.3.6.2.1 Solicitud de Ancho de Banda

Es el mecanismo utilizado por las estaciones suscriptoras para indicar a las estaciones base la necesidad de asignación de ancho de banda para el Uplink. Debido a que el perfil de ráfaga Uplink puede cambiar dinámicamente, todos los requerimientos de ancho de banda deberán ser realizados en función del número de bytes necesarios para poder transportar la cabecera MAC y el payload. El mensaje de solicitud puede ser transmitido durante cualquier asignación Uplink excepto durante el intervalo de Initial Ranging. Cabe resaltar que una estación

suscriptora no deberá solicitar un ancho de banda para una conexión si es que ésta no cuenta con un PDU para transmitir por dicha conexión.

#### *1.3.6.2.2 Ancho de Banda Garantizado*

Para una estación suscriptora las solicitudes de ancho de banda hacen referencia a conexiones individuales mientras que el ancho de banda garantizado está asociado al identificador de conexión de la estación suscriptora y no a identificadores de conexiones individuales.

#### *1.3.6.2.3 Polling*

Es el proceso por el cual la estación base asigna el ancho de banda a las estaciones suscriptoras. Esta asignación puede ser de manera individual (por cada estación suscriptora) o de manera grupal (a un grupo de estaciones suscriptoras).

#### **1.3.6.3 Proceso de Handover**

Es el proceso por el cual una estación móvil migra de una interfaz aire proporcionada por una estación base a una interfaz aire proporcionada por otra estación base. El proceso de handover se describe a continuación:

- **Reselección de celda:** La estación móvil puede utilizar la información de la estación base vecina.
  
- **Decisión HO:** Un handover comienza con la decisión por parte de la estación móvil de migrar de una estación base (Serving BTS) a otra estación base (target BTS). La decisión puede originarse en la estación móvil o en la estación base inicial.
  
- **Sincronización:** La estación móvil deberá sincronizarse con las transmisiones downlink de la estación base a la cual esta migrando y obtener los parámetros de transmisión Uplink y Downlink.

- **Ranging:** La estación móvil y la estación base a la cual se está migrando deberán conducir un Initial Ranging o un Ranging Handover. Si el RNG-REQ (Ranging Request) de la estación móvil incluye el identificador de la estación base (BSID) inicial, la estación base objetivo a la cual se quiere migrar puede realizar una solicitud a la estación base inicial para obtener información acerca de la estación móvil.
- **Finalización:** Es el último paso del handover. En el contexto de la estación móvil se define como la finalización, por parte de la estación base a la cual se migró, de todas las conexiones pertenecientes a la estación móvil (información encolada, contadores, entre otros son descartados).

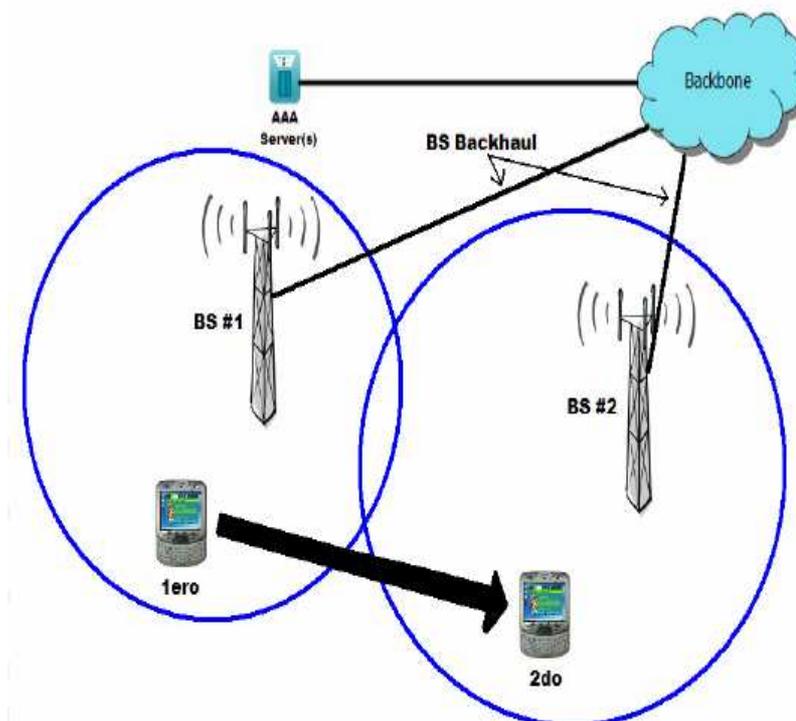


Figura 1.12 Esquema de Handover.

### 1.3.7 CALIDAD DE SERVICIO (QoS)<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Tesis "Diseño de una red comunitaria, utilizando tecnología WiMAX entre el Colegio Universitario, Laboratorios y el Cámpus Central de la Universidad Técnica del Norte", Fausto David Oviedo Salazar y Carlos Gustavo Quishpe Jácome, 2007.

WiMAX posee características de calidad de servicio para ofrecer servicios de voz y video que requieren una baja latencia en la red.

WiMAX en su capa MAC tiene como filosofía la Petición / Asignación de ancho de banda, con distintas variantes (asignación por conexión, asignación por terminación de cliente CPE), pudiendo ser esta asignación vía polling en tiempo real, polling no en tiempo real o en régimen del mejor esfuerzo (best-effort).

También existe la asignación de banda no solicitada, si el sistema entiende que es necesaria. Todos estos mecanismos ofrecen Calidad de Servicio y Clases de Servicio (CoS) garantizadas, en ancho de banda y latencia, para acomodar todo tipo de servicios y aplicaciones (vídeo, voz, emulación de líneas alquiladas de datos, etc.), sin merma de disponibilidad y con total garantía.

### **1.3.8 TÉCNICAS DE CORRECCIÓN DE ERRORES<sup>33</sup>**

La técnica empleada es la de corrección de errores hacia delante (FEC), que es usada por los equipos en recepción para corregir errores incurridos en transmisiones, de esta manera no es necesario que el transmisor realice retransmisiones de información.

El algoritmo consiste en que el transmisor inserta suficiente información redundante en el campo de datos, para que el pueda receptor detectar y corregir errores. Por otra parte esta técnica reduce la eficiencia de la utilización del ancho de banda del canal.

WiMAX hace uso del mecanismo de codificación convolucional y un sistema Reed-Solomon FEC.

---

<sup>33</sup> Tesis "Diseño de un "Backbone" Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios", Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006

Además utiliza ARQ (*Automatic Repeat-reQuest*), protocolo que realiza el control de errores y que retransmite aquellos paquetes que no llegaron correctamente a su destino.

### **1.3.9 MECANISMOS DE SEGURIDAD<sup>34</sup>**

Los diferentes tipos de amenazas y ataques a los que se ven expuestas las redes actuales y sobre todo las inalámbricas; ha llevado a las grandes empresas y a los operadores comerciales de telecomunicaciones a definir un entorno de seguridad robusto y consolidado que ofrezca plena confianza a los usuarios.

Según IEEE y el WiMAX Forum, el estándar 802.16 posee las mejores características de seguridad en su clase, lograda gracias a la adopción de las últimas tecnologías disponibles.

WiMAX aborda la seguridad en base a tres (3) áreas principales:

➤ **Evitar el uso clandestino de la conexión wireless**

Esto se logra estableciendo la autenticación de usuarios y el cifrado de datos, ofreciendo una protección sólida mediante la implementación de los protocolos 3DES de 128 bits, AES de 192 bits y RSA de 1024 bits.

➤ **Suministrar servicios sólo a los usuarios finales específicos**

Se puede llevar a cabo mediante la autenticación basada en certificados digitales X.509, mecanismo que está incluido en la capa de control de acceso a los medios, dando a cada usuario WiMAX su propio certificado,

---

<sup>34</sup> Tesis "Diseño de un "Backbone" Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios", Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006

más otro para el fabricante, permitiendo a la estación base autorizar al usuario final.

➤ **Cumplir con la gestión de acceso seguro**

El acceso seguro bajo privacidad de conexión es implementada como parte de un subnivel MAC (capa de privacidad). Ésta se basa en el protocolo Privacy Key Management.

### **1.3.9.1 Métodos de Encriptación o Cifrado de Datos**

Se pueden considerar los siguientes métodos los cuales se tratarán a continuación: DES, 3DES, AES y RSA.

#### *1.3.9.1.1 DES (Data Encryption Standard)*

DES es un algoritmo estándar de criptografía cuya función es encriptar (cifrar) los datos a una forma inteligible. El estándar define las operaciones de cifrado y descifrado, las mismas que se basan en una clave (para el cifrado y descifrado) de 64 dígitos binarios (0's o 1's), de los cuales 56 bits son generados aleatoriamente y usados por el algoritmo. Los restantes 8 bits, son usados para detección de errores; empleando paridad impar.

Con este algoritmo se pueden obtener 72000 billones de claves, lo que hace que el código no pueda ser violado fácilmente. Mecanismos computacionales modernos, han logrado romper este código, lo que ha permitido demostrar que el descifrado de la información se puede conseguir si no se tiene un continuo cambio de clave.

#### *1.3.9.1.2 Triple DES Encryption*

Es una variante de DES, que consiste en tomar tres claves de 64 bits y unirla en una sola clave de 192 bits, la cual al ingresar es dividida en tres claves de 64 y cifrada de la misma forma que en DES pero repetida 3 veces. Los datos se

encriptan con la primera clave, se desencriptan con la segunda y finalmente se encripta con la tercera.

Triple DES es tres veces más lenta que DES, pero es mucho más segura si se usa adecuadamente, siendo muy difícil corromper con la tecnología actual debido a la clave más larga que utiliza.

En la figura 1.13 se observa el funcionamiento de Triple DES.

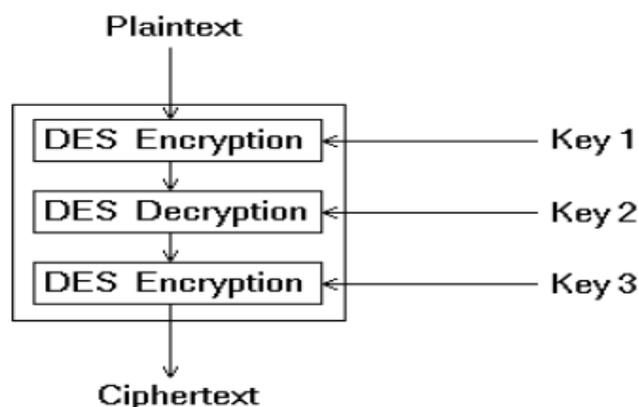


Figura 1.13 Proceso de cifrado de datos en Triple DES.

#### 1.3.9.1.3 AES (Advanced Encryption Standard)

La descripción de AES consiste en dos partes, la primera en describir el proceso de Cifrado, y la segunda basada en el proceso de Generación de las subclaves o Extensión de la clave K.

Consta de un bloque de cifrado que tiene una longitud de 128 bits, también con la longitud de la clave K que varía de 128, 192 y 256 bits, para cada caso AES tiene 10,12, y 14 rondas, cada ronda consiste de 4 transformaciones básicas, la última ronda es especial y consiste de 3 operaciones básicas, añadiendo siempre una ronda inicial. Por otro lado en la figura 1.14 se puede apreciar el programa de claves o extensión de la clave.

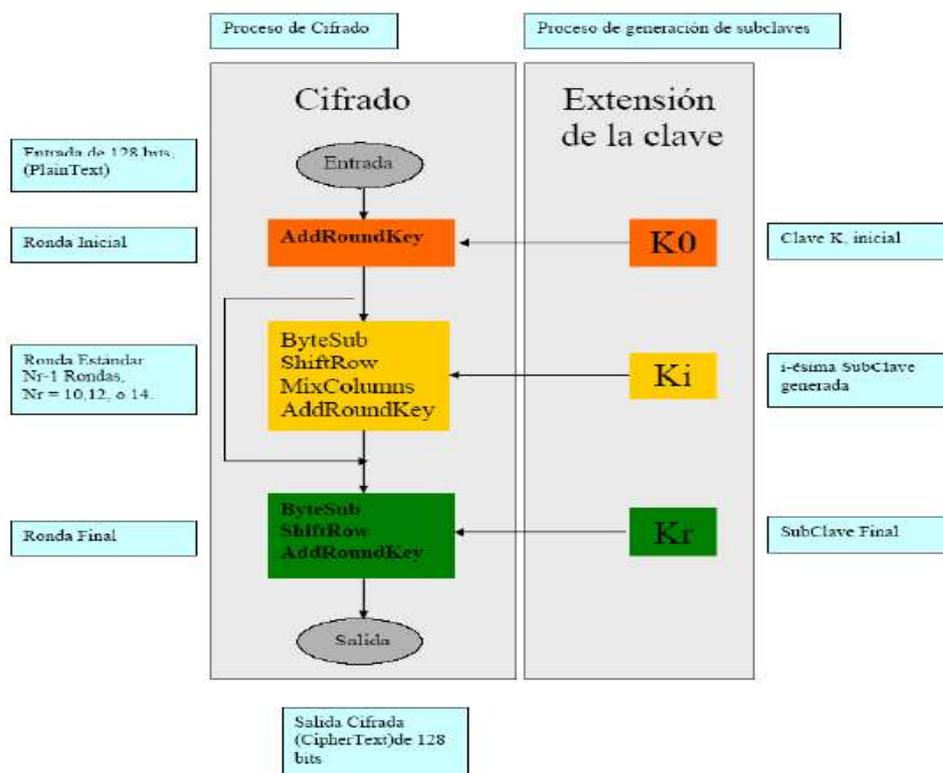


Figura 1.14 Proceso de Cifrado usando AES.

#### 1.3.9.1.4 RSA <sup>35</sup>

Algoritmo que lleva las iniciales de sus creadores Rivest, Shamir y Adleman, investigadores del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts). Se trata de sistema de cifrado asimétrico que utiliza una clave pública, la cual es distribuida entre los usuarios del sistema y otra privada la cual es guardada en forma secreta por su propietario.

Para enviar un mensaje, el emisor usa la clave pública de cifrado del receptor, cifra su mensaje con esa clave, y una vez que el mensaje cifrado llega al receptor, éste lo descifra usando su clave privada.

Los mensajes que son enviados usando este algoritmo se representan mediante números y el funcionamiento se basa en el producto de dos números primos

<sup>35</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/RSA>

grandes (mayores que  $10^{100}$ ) elegidos al azar para conformar la clave de descifrado.

Asumiendo que un usuario A quiere transmitir un mensaje a un usuario B para que solamente éste último pueda leerlo. El proceso que sigue el algoritmo RSA es el siguiente:

1. Cada usuario elige  $n = p \cdot q$
2. Los valores  $p$  y  $q$  NO se hacen públicos
3. Cada usuario calcula  $\varphi(n) = (p-1)(q-1)$
4. Cada usuario elige una clave pública  $e$  de forma que  $1 < e < \varphi(n)$  y que cumpla con la condición:  $\text{mcd}[e, \varphi(n)] = 1$
5. Cada usuario calcula la clave privada  $d = \text{inv}[e, \varphi(n)]$
6. Se hace público el grupo  $n$  y la clave  $e$
7. Se guarda en secreto la clave  $d$

Cifra:  $\text{encrypt}(m) = m^e \pmod{n}$

Descifra:  $\text{decrypt}(c) = c^d \pmod{n}$

Donde:

$c$ : es el texto cifrado

$m$ : es el texto sin cifrar

$\varphi(n)$ : es el módulo de  $n$

La potencialidad de este algoritmo esta basada en que no hay maneras rápidas de factorizar un número grande en sus factores primos utilizando computadoras tradicionales.

La computación cuántica podría proveer una solución a este problema de factorización.

### 1.3.9.2 Certificados X.509<sup>36</sup>

Los certificados digitales permiten la identificación de manera digital, en lo que a la autenticación de individuos se refiere, ya que permiten que un individuo demuestre que es quien dice ser, es decir, que está en posesión de la clave secreta asociada a su certificado.

Se proporciona un mecanismo para verificar la autenticidad de programas y documentos obtenidos a través de la red, el envío de correo encriptado y/o firmado digitalmente, el control de acceso a recursos, etc.

Los certificados digitales sólo son útiles si existe alguna *Autoridad Certificadora* (*Certification Authority* o *CA*) que los valide, ya que si uno se certifica a sí mismo no hay ninguna garantía de que su identidad sea la que anuncia, y por lo tanto, no debe ser aceptada por un tercero que no lo conozca.

En lo que se refiere al formato de certificados X.509, cabe decir que es un estándar del ITU-T (*International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector*) y el ISO/IEC (*International Standards Organization / International Electrotechnical Commission*) que se publicó por primera vez en 1988. El formato de la versión 1 fue extendido en 1993 para incluir dos nuevos campos que permiten soportar el control de acceso a directorios. Después de emplear el X.509 v2 para intentar desarrollar un estándar de correo electrónico seguro, el formato fue revisado para permitir la extensión con campos adicionales, dando lugar al X.509 v3, publicado en 1996.

Los elementos del formato de un certificado X.509 son:

- *Versión*. El campo de versión contiene el número de versión del certificado codificado. Los valores aceptables son 1, 2 y 3.

---

<sup>36</sup> [http:// people.debian.org/~sto/articulos\\_bei/BEI-2003-11/certificados\\_digitales.htm#id2806966](http://people.debian.org/~sto/articulos_bei/BEI-2003-11/certificados_digitales.htm#id2806966)

- *Número de serie del certificado.* Este campo es un entero asignado por la autoridad certificadora. Cada certificado emitido por una CA debe tener un número de serie único.
- *Identificador del algoritmo de firmado.* Este campo identifica el algoritmo empleado para firmar el certificado (como por ejemplo el RSA o el DSA<sup>[21]</sup>).
- *Nombre del emisor.* Este campo identifica la CA que ha firmado y emitido el certificado.
- *Periodo de validez.* Este campo indica el periodo de tiempo durante el cual el certificado es válido y la CA está obligada a mantener información sobre el estado del mismo. El campo consiste en una fecha inicial, la fecha en la que el certificado empieza a ser válido y la fecha después de la cual el certificado deja de serlo.
- *Nombre del sujeto.* Este campo identifica la identidad cuya clave pública está certificada en el campo siguiente. El nombre debe ser único para cada entidad certificada por una CA dada, aunque puede emitir más de un certificado con el mismo nombre si es para la misma entidad.
- *Información de clave pública del sujeto.* Este campo contiene la clave pública, sus parámetros y el identificador del algoritmo con el que se emplea la clave.
- *Identificador único del emisor.* Este es un campo opcional que permite reutilizar nombres de emisor.
- *Identificador único del sujeto.* Este es un campo opcional que permite reutilizar nombres de sujeto.
- *Extensiones.* Proporcionan una manera de asociar información adicional a sujetos, claves públicas, etc.

El formato de certificados X.509 se especifica en un sistema de notación denominado *sintaxis abstracta uno* (*Abstract Syntax One* o ASN-1). Para la transmisión de los datos se aplica el DER (*Distinguished Encoding Rules* o *reglas de codificación distinguible*), que transforma el certificado en formato ASN-1 en una secuencia de octetos apropiada para la transmisión en redes reales.

#### 1.4 WiMAX EN EL ECUADOR<sup>37</sup>

La tecnología WiMAX implementada por varias empresas de telecomunicaciones en el país, ofrece principalmente accesos de última milla inalámbrica de banda ancha de alta velocidad para servicios como telefonía fija, transferencia de información y conexión a Internet, a usuarios residenciales, comerciales e industriales en varias ciudades del Ecuador, evitando así la utilización de cables para acceder a estos.

En el mercado nacional existen varias firmas que ya poseen o que tienen en sus planes montar infraestructura con este tipo de tecnología, ya sea para su versión fija o para su versión móvil, como lo muestra la figura 1.15. Entre las principales empresas se puede citar las siguientes: Corporación Nacional de Telecomunicaciones, Telecom, TV Cable, Telmex, PuntoNet y Setel.



<sup>37</sup> [http://www.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id\\_noticia=60285&id\\_seccion=6](http://www.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id_noticia=60285&id_seccion=6)



Figura 1.15 Redes WiMAX existentes en el Ecuador<sup>38</sup>.

Según expertos en telecomunicaciones, este negocio factura cerca de 1 000 millones de dólares en el Ecuador. Los registros de la Superintendencia de Telecomunicaciones señalan que los índices de cobertura en Internet y telefonía son bajos respecto de otros países de Latinoamérica, como Colombia, Perú y Chile, lo que puede ser una gran oportunidad para usar esta tecnología y cubrir de forma inalámbrica y a un bajo costo zonas geográficas de difícil acceso como las rurales y marginales.

## 1.5 SERVICIOS QUE SE OFRECEN A TRAVÉS DE WiMAX

Las primeras versiones de WiMAX fueron pensadas para comunicaciones punto a punto o punto a multipunto a través de enlaces-microondas. Las nuevas versiones pueden ofrecer total movilidad, por lo que representan competencia de las redes celulares.

Las figuras 1.16 y 1.17 muestran las aplicaciones de la primera y segunda generación de WiMAX.

<sup>38</sup> <http://www.wimaxmaps.org/>



Figura 1.16 Primera generación de las redes WiMAX



Figura 1.17 Segunda generación de las redes WiMAX

Los primeros productos que están apareciendo en el mercado buscan proporcionar enlaces de alta velocidad para conexión a las redes fijas públicas o para establecer enlaces punto a punto.

La instalación de estaciones base WiMAX resulta sencilla y económica, haciendo uso de un hardware estándar, por lo que para los operadores móviles puede ser visto como una amenaza, pero también, es una manera fácil de extender sus redes y entrar en un nuevo negocio en el que ahora no están, lo que se presenta como una oportunidad.

Dentro de los usos y aplicaciones de WiMAX en el mundo de las comunicaciones, se pueden mencionar las siguientes:

➤ **Acceso a Internet donde no llega un ADSL**

Actualmente existen lugares donde todavía no ha llegado de una forma económica las conexiones de alta velocidad a Internet (como el ADSL<sup>[22]</sup> o el cable). Una posible solución consiste en “enviar” este acceso a Internet a través de un enlace WiMAX.

WiMAX es una tecnología de última milla, siendo usada para enlaces de acceso MAN, también conocida como bucle local que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cobre, cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costes por usuario muy elevados por ejemplo: en zonas rurales, zonas empresariales, universitarias, etc.

➤ **Servicios de integración de otros servicios**

Debido a que es un estándar independiente del protocolo; es capaz de brindar los niveles de servicio necesarios para un Carrier. Dependiendo del contrato con el suscriptor, puede proporcionar distintos servicios paquetizados como IP y Voz sobre IP (VoIP), así como servicios conmutados (TDM<sup>[23]</sup>), E1s/T1s, voz tradicional (Clase-5), interconexiones ATM y Frame Relay.

Esto lo hace perfectamente adecuada para entornos de grandes redes corporativas de voz y datos así como para operadoras de telecomunicaciones que se vean obligadas a usar enlaces inalámbricos como parte de su backbone.

➤ **Complemento a las redes Wi-Fi**

WiMAX también puede ser una solución para unir *hot spots* Wi-Fi a las redes de los operadores, sin necesidad de establecer un enlace fijo. WiMAX extiende el alcance de Wi-Fi y provee una seria alternativa o complemento a las redes 3G, según como se mire.

WiMAX pretende repetir la evolución que tuvo la tecnología WiFi en las redes de área local inalámbricas (WLANs) con los hotspots, pero en redes inalámbricas de área metropolitana (WMANs). Sin embargo, mientras que para ofrecer servicios WiFi no se precisa licencia al trabajar sobre el espectro de uso común; con WiMAX, en bandas de espectro licenciadas se precisa la adquisición de una licencia para uso del espectro.

➤ **Acceso a la red empresarial desde cualquier punto**

A veces se necesita tener acceso a la red empresarial sin la incomodidad de tener que estar atado a un cable de red. Una solución puede ser el crear una zona de cobertura para que sus empleados puedan acceder a la red empresarial a través de PDAs o portátiles.

Para las empresas, es una buena opción a tomar en cuenta, ya que el coste puede ser mucho menor que en el caso de emplear un enlace E1 o T1. De momento no se habla de WiMAX para el acceso residencial, pero en un futuro podría ser una realidad, sustituyendo con enorme ventaja a las conexiones ADSL, o de cable, y haciendo que la verdadera revolución de la banda ancha llegue a todos los hogares.

➤ **Acceso a Internet en cualquier lugar con un portátil o teléfono móvil**

Uno de los usos más frecuentes de las redes WIMAX es para proporcionar el acceso a Internet de equipos portátiles (tanto ordenadores como teléfonos) en cualquier punto de unas instalaciones para los usuarios y/o

los clientes. Para ello se crea un área de cobertura que les proporciona este servicio.

➤ **Implementación de sistemas de seguridad**

Actualmente existen requerimientos de aplicaciones de video en seguridad pública y privada, y en áreas de prevención contra el crimen (ojos de águila). Esto ha provocado una demanda tanto a nivel local como mundial de sistemas de seguridad de bajo costo, flexible y confiable.

Las empresas, fuerzas armadas, policía, proveedores e integradores de servicios, están usando una combinación de IP y tecnologías de banda ancha inalámbricas para video vigilancia como parte de una migración de servicios hacia IP (video, voz sobre IP, servicios de datos).

➤ **Servicios de telefonía IP**

WiMAX también puede ofrecer el servicio de telefonía, ya sea por circuitos de voz o por VoIP (voz sobre IP). En el caso de comunicaciones de voz se requieren canales de 56 Kbps para cada transmisión de voz, y teniendo en cuenta que la velocidad de WiMAX puede llegar hasta 124 Mbps, se tendrían disponibles aproximadamente 2214 canales para los usuarios.

Un proveedor de servicios de telecomunicaciones podría proporcionar el servicio de telefonía mediante WiMAX, para ello tendrían que añadirse los equipos necesarios a la infraestructura existente.

Con WiMAX se puede llegar con telefonía IP a usuarios finales, hogar e individual. La telefonía IP; actualmente puede funcionar de igual manera que la telefonía fija.

## **CAPÍTULO II**

# **ESTUDIO TÉCNICO DE REQUERIMIENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED**

---

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Previo al diseño del sistema inalámbrico, es imprescindible realizar un estudio de los requerimientos que tiene la Policía Nacional representada por la Dirección Nacional de Comunicaciones. Esta Institución, como una entidad de protección y servicio a la comunidad, pretende proveerse de tecnologías modernas en cuanto a comunicaciones se refiere para poder llevar a cabo su propósito.

El primer punto importante que se tomará en cuenta, será la determinación del área del proyecto, es decir definiendo los límites sólo del perímetro urbano del Distrito Metropolitano de Quito, de acuerdo a lo requerido por la Policía Nacional.

Éste capítulo, también pretende brindar una visión de las aplicaciones que se pueden manejar con la tecnología WiMAX, explotando de la manera más óptima las potencialidades de la misma, para poner al servicio de la Institución Policial.

Para esto, se debe definir la demanda que tendrá el sistema, por ejemplo: policías a pie dentro del DMQ, personal en patrulleros, UPC's, etc. Además de eso, es necesario considerar el tráfico que circulará por la red, el número máximo de usuarios que puede soportar el sistema y el ancho de banda asignado a cada usuario.

Finalmente se analizarán las vulnerabilidades a las que pueden estar expuestas las comunicaciones dentro del sistema en lo que se refiere a seguridad, con el objeto de proponer soluciones adecuadas frente a cualquier ataque y que además minimicen cualquier impacto que pueda tener lugar en algún momento.

## **2.2 DETERMINACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO**

El área del DMQ, incluye localidades rurales que no se tomarán en cuenta para el desarrollo del presente proyecto principalmente debido a su baja densidad poblacional y lejanía. En conjunto con la Policía, se definió a las zonas del perímetro urbano como las de mayor interés, como parte del sistema de comunicación que se va a diseñar.

La zona metropolitana de la ciudad de Quito se ha dividido según la Dirección Metropolitana de Planificación Territorial (DMPT) del Municipio, en 32 parroquias urbanas de la siguiente manera:

1. La Argelia
2. Belisario Quevedo
3. Carcelén
4. Centro Histórico
5. Chilibulo
6. Chillogallo
7. Chimbacalle
8. Cochapamba
9. Comité del Pueblo
10. El Condado
11. Concepción
12. Cotocollao
13. La Ecuatoriana
14. La Ferroviaria
15. Guamaní
16. El Inca

17. Iñaquito
18. Itchimbía
19. Jipijapa
20. Keneddy
21. La Libertad
22. Magdalena
23. Mariscal Sucre
24. La Mena
25. Ponceano
26. Puengasí
27. Quitumbe
28. Rumipamba
29. San Juan
30. San Bartolo
31. Solanda
32. Turubamba

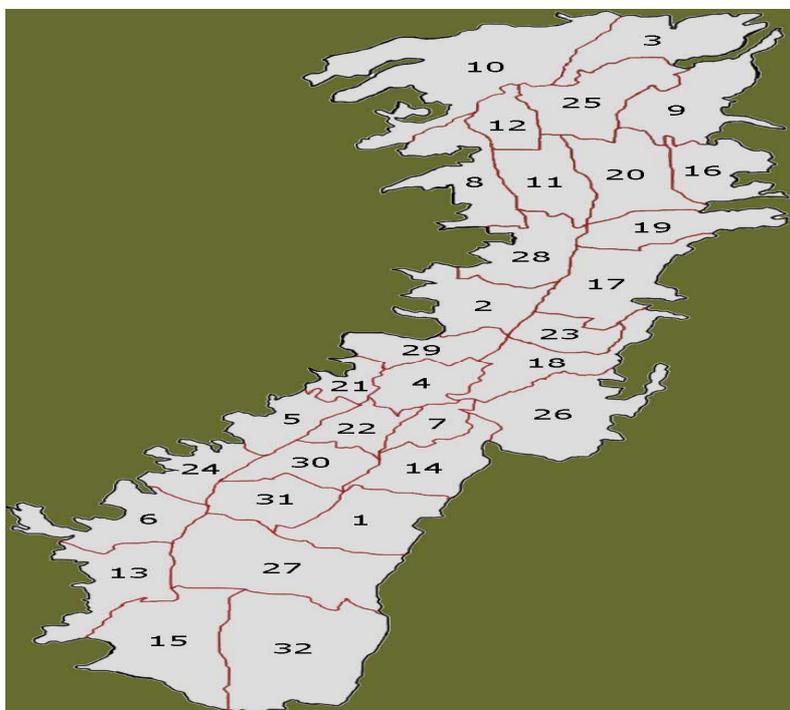


Figura 2.1 Zona metropolitana de la ciudad de San Francisco de Quito.<sup>39</sup>

<sup>39</sup>[http://es.wikipedia.org/wiki/Quito\\_%28cant%C3%B3n%29#Divisi.C3.B3n\\_pol.C3.ADtica\\_del\\_Distrito\\_Metropolitano\\_de\\_Quito](http://es.wikipedia.org/wiki/Quito_%28cant%C3%B3n%29#Divisi.C3.B3n_pol.C3.ADtica_del_Distrito_Metropolitano_de_Quito)

La cobertura de la red debe abarcar todas estas zonas, para cumplir con los requerimientos acordados con la Institución Policial.

En el capítulo 3 se determinará de manera más específica el área de cobertura de la red, donde se realice un estudio de la topografía de Quito.

### **2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES EN LA POLICÍA NACIONAL DENTRO DEL DMQ**

El personal policial que opera en las calles, sus patrulleros y las Unidades de Policía Comunitaria (UPC), utilizan actualmente un sistema de comunicaciones de radio troncalizado que opera en la banda de frecuencia de 800 MHz, y cuya infraestructura es de uso exclusivo de la Policía Nacional. Los efectivos policiales utilizan radios analógicos y digitales para la transmisión de voz, los mismos que se intercomunican por medio de las radio-bases troncalizadas y sitios de repetición localizadas estratégicamente dentro del DMQ.

Además, la Institución cuenta con otros sistemas de comunicaciones arrendados a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), para el intercambio de datos entre sus distintas dependencias, utilizando para ello enlaces microondas. Dentro de las aplicaciones móviles que se están manejando actualmente, se pueden mencionar a las siguientes: aplicación de multas de tránsito, consultas de placas de automóviles y búsqueda de historial delictivo al sistema centralizado de datos. La mayoría de estas operaciones se realizan mediante el uso de dispositivos móviles (como PDA's) que acceden directamente a la información desde Internet.

Aunque hoy en día la Policía posee una red de comunicaciones con estos servicios, su objetivo prioritario es contar con una infraestructura propia que le permita administrar y gestionar su información, y además reducir costos por el arrendamiento de enlaces.

## 2.4 ESTUDIO DE LAS APLICACIONES REQUERIDAS<sup>40</sup>

Para lograr un accionar eficaz de la Policía Nacional en sus operaciones, es necesario que la Institución cuente con las herramientas tecnológicas necesarias que den el respaldo para un correcto y oportuno desenvolvimiento en las mismas. Por ello las diferentes unidades que se encuentran en el Distrito Metropolitano de Quito requieren contar con varias aplicaciones computacionales que les permita enviar o recibir información directamente desde y hacia el sistema centralizado de datos de la Policía Nacional.

Entre las aplicaciones que necesita implementar actualmente la Institución, cabe mencionar las siguientes:

- *Ubicación Automática de Vehículos.*- Esta habilidad de ofrecer al centro de operaciones la ubicación precisa de los vehículos de la Institución, permitirá tener un tiempo de respuesta mejorado en situaciones de emergencia y en situaciones de requerimientos cambiantes.
- *Consulta de Base de Datos.*- Los miembros de la Policía pueden comprobar rápidamente las placas de vehículos, las licencias de conductor y las personas perseguidas por la justicia. El resultado final de la consulta de las bases de datos es información rápida en el momento y en el lugar preciso donde resulta necesaria.
- *Transferencia de imágenes.*- Alguien que opera sobre el terreno necesita un mapa actualizado, por ejemplo un plano actualizado de calles en una ciudad. Además se puede tener acceso en línea a los archivos que permitan verificar cosas como huellas dactilares y fotos de un individuo tomadas al ingresar en prisión.

---

<sup>40</sup> <http://www.motorola.com/content.jsp?globalObjectId=904-1663>

- *Elaboración de fichas policiales.*- Las unidades móviles al venir equipadas de un escáner de huellas dactilares y una cámara fotográfica digital, permitirán crear una ficha policial e identificar a una persona de forma muy rápida sin necesidad de desplazarla hasta la comisaría ni hacer toda una serie de papeleos. Se logra así mayor rapidez y eficacia en las labores policiales, y cada vehículo policial se convierte en una pequeña comisaría.
- *Creación de informes y emisión de infracciones.*- El personal de campo puede escribir y transmitir inmediatamente la información necesaria para producir un informe o para emitir una infracción de tránsito. Esto mantiene al personal policial en su actividad regular, en lugar de obligarlos a permanecer frente a una computadora de la Comisaría de Policía.

Adicionalmente, en un futuro se tendría la posibilidad de transmitir video en tiempo real, que complementarían a otros sistemas de este tipo con los que cuenta actualmente la Institución, por ejemplo: el sistema ojos de águila.

## **2.5 DEFINICIÓN DE LA DEMANDA**

La demanda en comunicaciones significa el grado de utilización de un servicio en un tiempo determinado. El propósito de estudiar la demanda es definir como los usuarios del sistema utilizarán los recursos de la red, para de esta manera diseñar un sistema robusto que no colapse, asignando a cada usuario solo el ancho de banda que va a utilizar (de acuerdo al servicio autorizado) y determinando los equipos de conectividad que soporten los requerimientos de tráfico.

Es por esto que antes de definir el tráfico que circulará en la red, se hace necesario definir el número total de usuarios y puntos de conectividad que se van a utilizar.

### **2.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS USUARIOS**

El sistema consistirá de un servicio centralizado de datos localizado en la Dirección Nacional de Comunicaciones, al cual accederán los usuarios desde puntos fijos o móviles de acuerdo a sus funciones operativas. A continuación se describen como podrían usar la red éstos usuarios.

- *Personal a pie.* Cada efectivo policial puede contar con un dispositivo móvil (PDA), para hacer sus consultas al servidor de datos. También puede hacer uso de su equipo para enviar información importante al sistema central.
- *Personal en patrulleros y motos.* Mientras un grupo de policías patrullan un determinado sector, pueden usar computadores portátiles en los automóviles para acceder a información que se requiera en ese momento.
- *Personal en Unidades de Vigilancia y Policía Comunitaria.* Los usuarios también podrán acceder a la red mediante puntos de acceso fijo, situados en las unidades de Policía Comunitaria.

### **2.5.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS**

Las Unidades de Vigilancia y UPC, con su respectivo personal policial, patrulleros y motos, constituyen las dependencias más importantes en el campo operativo de la Policía Nacional. Dentro del DMQ, estas entidades están divididas en zonas de acuerdo a su ubicación geográfica.

Es importante mencionar que se usará la información proporcionada por la Jefatura de Policía Comunitaria en sus últimos datos recolectados de personal y vehículos en el periodo de 2008 a 2009.

### 2.5.2.1 Unidades de Policía Comunitaria

Cada Unidad de Vigilancia tiene un grupo de UPC's a su cargo de acuerdo al sector de operación, por esta razón solo se considerarán a éstas últimas para la determinación de puntos de acceso fijos.

A continuación, en la tabla 2.1 se muestra el número de UPC's en el área urbana de acuerdo a sus zonas:

ZONA	NÚMERO DE UPC'S
La Delicia	19
Norte	37
Centro	42
Sur	56
Quitumbe	32
<b>TOTAL</b>	<b>186</b>

Tabla 2.3 Número de UPC's en el DMQ<sup>41</sup>

### 2.5.2.2 Número de Automóviles

Cada patrullero contará con un dispositivo de acceso, como un computador portátil o una PDA. Se han dividido el número de vehículos de acuerdo a las zonas que abarcan las Unidades de Vigilancia, en el Anexo B, se muestra detalladamente a que UPC pertenece cada vehículo, así como los que se necesitarán en un futuro y que se considerarán como parte del crecimiento de la red más adelante.

<sup>41 y 4</sup> Fuente: Jefatura de Policía Comunitaria del DMQ – septiembre 2010

SECTOR	N. VEHÍCULOS
Occidente	17
Norte	46
Oriente	11
Centro Histórico	7
Sur	45
Quitumbe	23
<b>TOTAL</b>	<b>149</b>

Tabla 4.2 Total de vehículos en la zona urbana del DMQ<sup>42</sup>

### 2.5.2.3 Número de Motocicletas

Se debe tomar en cuenta también la cantidad de motocicletas, debido a que cada policía en su vehículo motorizado contará con su dispositivo móvil. Es de gran utilidad tomarlas en cuenta para las UPC's que no poseen patrulleros. En el anexo B, se encuentra un informe más detallado.

La tabla 2.3 muestra el total de motocicletas, igualmente distribuidas por zonas o sectores.

SECTOR	N. MOTOS
Occidente	26
Norte	57
Oriente	26
U.V.24 de Mayo	3
Centro Histórica	14
Sur	86
Quitumbe	8
U.V. Comité del Pueblo	3
<b>TOTAL</b>	<b>223</b>

Tabla 2.5 Total de motos en la zona urbana del DMQ<sup>43</sup>

---

<sup>43</sup> Fuente: Jefatura de Policía Comunitaria del DMQ – septiembre 2010

#### 2.5.2.4 Número de Policías en las Calles

Para finales del 2008 el personal operativo constaba de 4364 policías, de los cuales la mayoría se encuentran en las UPC's. La tabla 2.4 muestra la distribución total de efectivos en la ciudad.

ZONA	N. POLICÍAS
La Delicia	124
Norte	232
Centro	258
Sur	341
Quitumbe	179
<b>TOTAL</b>	<b>1134</b>

Tabla 2.6 Total de policías que trabajan en las UPC<sup>44</sup>.

## 2.6 CRECIMIENTO DE LA DEMANDA

Se analizará el crecimiento que tendrá la demanda del presente proyecto dentro de los 5 años a partir de su implementación, debido en gran parte a la garantía de que ofrecen los proveedores de los equipos que se van a utilizar para un buen desempeño del sistema. Asumiendo que dicha implementación empiece desde el año 2010, entonces el período se extendería al año 2015.

Durante este tiempo la demanda de capacidad del sistema crecerá y se verá directamente afectado en su desempeño, por lo que se estimará la proyección de crecimiento tanto de personal como de patrulleros y motocicletas.

### 2.6.1 CRECIMIENTO DEL PERSONAL POLICIAL A PIE

Un parámetro importante para definir el crecimiento de los policías en las calles, es el crecimiento de la población civil-urbana. Según los datos que proporciona el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), el número de habitantes en el período 2005-2010 es el siguiente:

<sup>44</sup> Fuente: Dirección Nacional de Comunicaciones- septiembre 2010

AÑO	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Población Urbana</b>	1.519.964	1.539.907	1.559.295	1.579.186	1.599.361	1.619.791

Tabla 2.7 Población Urbana del DMQ en el periodo 2005-2010<sup>45</sup>.

Mediante la Figura 2.2 se puede apreciar que el crecimiento de la población es lineal.

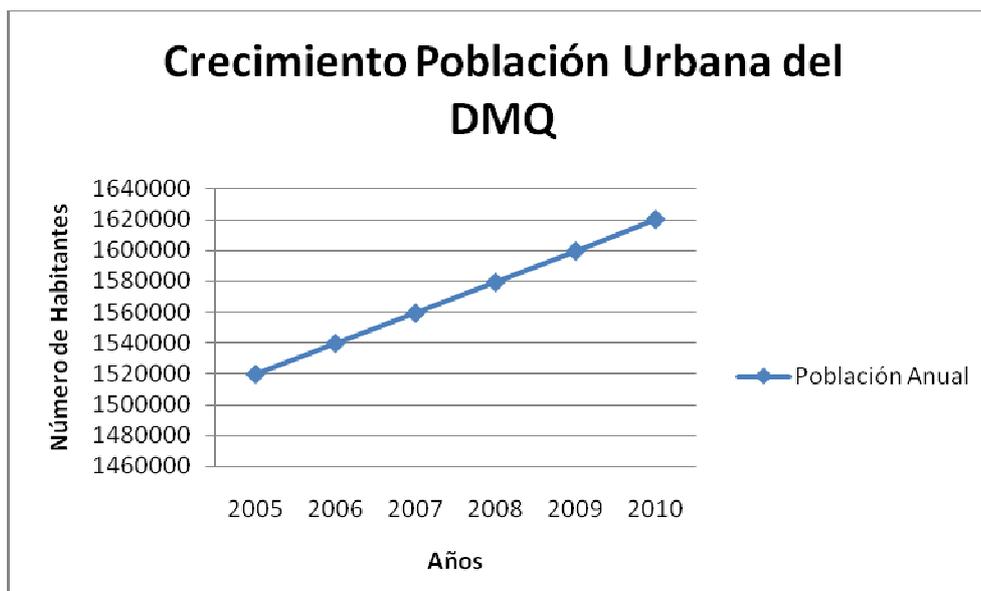


Figura 2.2 Crecimiento Poblacional en el periodo 2005-2010

Con estos datos se puede estimar un crecimiento porcentual durante los cinco periodos de vigencia del proyecto. La tabla 2.6 explica de manera detallada como se proyecta la población y se determina un valor promedio que permita ayudar en el cálculo del crecimiento de los policías.

PERIODOS	CRECIMIENTO PORCENTUAL (%)
2005 – 2006	1,30
2006 – 2007	1,24
2007 -2008	1,26
2008 – 2009	1,26
2009 - 2010	1,26
<b>PROMEDIO</b>	<b>1,26</b>

Tabla 2.8 Promedio porcentual del crecimiento de la población.

<sup>45</sup> [http://www.inec.gov.ec/web/guest/ecu\\_est/est\\_soc/cen\\_pob\\_viv](http://www.inec.gov.ec/web/guest/ecu_est/est_soc/cen_pob_viv)

Ya que la Policía Nacional no cuenta con un estudio estadístico del crecimiento de su personal y como se mencionó anteriormente, a fines del año 2008 el total de policías en las calles fue de 4364, con este valor y total de habitantes en el DMQ en ese mismo año se puede calcular la densidad de habitantes por policías.

$$\text{Habitantes / policía} = \frac{1.579.186}{4364} = 361.86$$

Se tomará un porcentaje de crecimiento que sea proporcional al crecimiento de la población urbana. Entonces se tomará un valor cercano al 1,3% anual, lo cual permite calcular la proyección de los elementos policiales desde el año 2010 al 2015.

AÑO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>POBLACION POLICIAL</b>	4364	4421	4478	4536	4595	4655	4716	4777

Tabla 2.9 Estimación del crecimiento policial hasta el año 2015.

## 2.6.2 CRECIMIENTO DEL NÚMERO DE PATRULLEROS Y MOTOCICLETAS

La Jefatura de Policía Comunitaria del DMQ en su último informe de logística (septiembre 2009) existente, da a conocer el número total de vehículos (automóviles y motocicletas) existentes y los faltantes por cada zona. En la tabla 2.8 consta la información proporcionada por esta jefatura.

ZONA	NRO. UPC	VEHÍCULO		MOTO	
		EXISTE	FALTA	EXISTE	FALTA
La Delicia	19	17	8	29	10
Norte	37	29	6	31	8
Centro	42	35	13	69	1
Sur	56	45	12	86	9
Quitumbe	32	23	9	8	5
<b>TOTAL</b>	<b>186</b>	<b>149</b>	<b>48</b>	<b>223</b>	<b>33</b>

Tabla 2.10 Requerimientos de Vehículos en las UPC<sup>46</sup>.

<sup>46</sup> Fuente: Jefatura de Policía Comunitaria del DMQ- septiembre 2009

Los valores faltantes sirven para determinar el porcentaje de crecimiento total durante los siguientes 5 años. Realizando los cálculos respectivos se puede llegar a lo siguiente:

PORCENTAJE DE CRECIMIENTO	VEHÍCULOS	MOTOS
Crecimiento Total (%)	32,21	14,80
Crecimiento Anual (%)	6,44	2,96

Tabla 2.11 Porcentaje de Crecimiento de Vehículos y Motos hasta el año 2015.

## 2.7 DISPOSITIVOS DE USUARIO (Usuarios Potenciales)

En los puntos anteriores se mencionó a todos los posibles usuarios de la red, pero proveer a todos ellos con un dispositivo final, resulta poco viable económicamente. Entonces se hace necesario definir criterios de asignación de equipos de una manera óptima, a fin de que los policías puedan tener un buen desempeño operativo.

Una consideración muy importante es proporcionar a todos los patrulleros de un computador portátil, así como también, cada policía con motocicleta debe contar con su dispositivo móvil, debido a su amplio rango de movilidad de un punto a otro, rapidez de respuesta ante los delitos y el rol que cumplen dentro de la protección ciudadana.

Dentro de los puntos de acceso, las UPC's constituyen estaciones de usuario fijas, que contarán con una PC o una computadora portátil para el acceso a la red y que serán de mucha utilidad cuando se tengan detenidos en estos lugares y se necesiten hacer consultas rápidas al servidor en busca de historiales delictivos. La Jefatura de Policía Comunitaria tiene un informe de los computadores existentes en la actualidad y también de los adicionales que se requieren.

ZONA	NRO. UPC	COMPUTADORA	
		EXISTE	FALTA
La Delicia	19	8	11
Norte	37	18	19
Centro	42	14	28
Sur	56	35	21
Quitumbe	32	13	19
<b>TOTAL</b>	<b>186</b>	<b>88</b>	<b>98</b>

Tabla 2.12 Computadores existentes en las UPC<sup>47</sup>.

La tabla 2.10 permite concluir que se requiere una PC por cada UPC, los computadores faltantes se considerarán también dentro de la estimación de la demanda desde el primer año de la implementación, ya que se requiere que todas las UPC cuenten con un dispositivo de usuario final.

La parte más crítica la conformarán los efectivos a pie, los cuales representan el mayor porcentaje de utilización del sistema. A ellos se les asignará los equipos de la misma manera que actualmente usan los equipos de radio, esto es, por cada 3 policías se tendrá un dispositivo móvil, que representa aproximadamente el 33% del total del personal a pie. En esta consideración no se tomarán en cuenta los conductores de los patrulleros y las motocicletas.

De acuerdo a lo citado, en la tabla 2.11 se presenta un resumen del total de equipos finales que se van a necesitar.

USUARIOS	EQUIPOS					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Policías a Pie	1.369	18	18	18	18	19
Patrulleros	149	9	9	10	11	11
Motocicletas	223	7	7	7	7	8
UPC	186	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>1927</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>38</b>

Tabla 2.13 Total de equipos requeridos en el periodo 2010-2015.

<sup>47</sup> Fuente: Jefatura de Policía Comunitaria del DMQ- septiembre 2009

## 2.8 REQUERIMIENTOS DE ANCHO DE BANDA

La red debe ser diseñada de tal forma que no colapse por saturación de tráfico en las comunicaciones, procurando que los servicios estén siempre disponibles para los usuarios. Un dimensionamiento óptimo del ancho de banda que va a requerir cada aplicación, permite definir el número de dispositivos finales que pueden estar conectados de manera simultánea sin afectar el desempeño del sistema.

### 2.8.1 CARACTERIZACIÓN DEL VOLUMEN DE DATOS<sup>48</sup>

De acuerdo a las aplicaciones requeridas y que fueron mencionadas anteriormente, estos son los servicios que se van a necesitar:

- *Servidor Web.* Para proveer una interfaz gráfica a los usuarios, para el acceso a los datos de la red interna.
- *Servidor de Correo Electrónico y Chat.* Para la comunicación entre usuarios, o para enviar mensajes al sistema central.
- *Servidor de Streaming de Video.* En un futuro se utilizará este servidor para la transmisión de imágenes en tiempo real.
- *Servidor de Base de Datos.* Que almacena toda la información que van a necesitar los usuarios.
- *Servidor FTP.* Para la descarga o envío de documentos importantes, expedientes, imágenes, etc.

---

<sup>48</sup> Tesis: Diseño de una intranet comunitaria inalámbrica para interconectar las comunidades de la parroquia de Santa Rosa en la provincia del Tungurahua. Klever Miguel Ganchala Lema, Juan Carlos Torresano Pazmiño. Quito, Febrero 2007. EPN

A continuación se mencionan tres conceptos importantes que permiten tener parámetros de medida objetivos para el dimensionamiento de la capacidad de la red.

**a. Ancho de Banda**

Máximo rango de frecuencias que un canal de comunicaciones puede transmitir sin presencia de distorsión. Se expresa en hertzios.

**b. Velocidad de Transmisión**

Número de bits transmitidos por un canal de comunicaciones en la unidad de tiempo. Se expresa en bits por segundo (bps).

**c. Throughput**

Es la cantidad de información (datos) que se transmite por un medio en la unidad de tiempo. Se refiere a la velocidad efectiva de un canal de comunicaciones, y que es igual al producto de la velocidad de transmisión por el rendimiento. Por ejemplo, si se tiene una capacidad de canal de 100 Kbps pero solo pasa 70 Kbps de datos de aplicación, entonces se tendría 70 Kbits efectivos por segundo y el resto serían bits de sobrecarga transmitidos por el canal de comunicaciones.

Los factores que afectan el rendimiento son los siguientes:

- Equipos o dispositivos de red
- Tipos de datos que circulan por la red
- Topología de la red
- Número de usuarios
- Dispositivos de usuario
- Servidores
- Condiciones de potencia o energía

## 2.8.2 ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA<sup>49</sup>

Para contar con un modelo de diseño adecuado respecto a la proyección de la demanda, se debe realizar una estimación o pronóstico de la forma de como los usuarios utilizan la red y servicios de comunicaciones. El proceso de estimación es el procedimiento de realizar proyecciones de acontecimientos predefinidos y/o incidentes; en dicho proceso se utiliza habitualmente información objetiva y subjetiva.

Toda estimación exige un esfuerzo cuya proporción determina directamente la precisión y fiabilidad de la misma es decir con el parecido que se espera tenga el valor real respecto al estimado. El pronóstico de la demanda está relacionado directamente a algunos factores que deben ser tomados en cuenta, pues afectan de forma trascendental los resultados que se desean obtener.

La planificación de redes de telecomunicaciones se basa directamente en la distribución de usuarios prevista para el futuro. Las partes de la red más dependientes del tráfico no se pueden proyectar ni dimensionar adecuadamente sin contar con previsiones confiables.

La herramienta más importante para determinar el grado de credibilidad de la estimación de un proyecto es el cálculo del tamaño de la muestra que se debe obtener de un total llamado Universo.

Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales (muestra aleatoria simple) es la siguiente:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + k^2 * p * q}$$

---

<sup>49</sup> Tesis “Diseño de un “Backbone” Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios”, Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006

Donde:

**N:** es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados), en este caso sería el número total de usuarios policiales en el DMQ.

**k:** es una constante que depende del nivel de confianza que se asigne. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de una investigación sean ciertos: el valor de K más usado es 95 % de confianza que es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 5%.

En la tabla 2.12 se indica los valores de k y sus correspondientes niveles de confianza.

K	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2	2.58
Nivel de Confianza (20%)	75	80	85	90	95	95.5	99

Tabla 2.14 Valores de k más utilizados y sus niveles de confianza

**e:** es el error muestral deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de ella.

**p:** es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que  $p = q = 0.5$  que es la opción más segura.

**q:** es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es  $1-p$ .

**n:** es el tamaño de la muestra (número de encuestas que se deben hacer).

Por lo tanto, para el cálculo de la muestra se toman en cuenta los siguientes datos:

$N = 2104$  Universo o número total de posibles usuarios.

Si se considera que:  $k = 95\%$ ,  $e = 10\%$ ,  $p = 0.5$ ,  $q = 1 - p = 0.5$

Reemplazando los valores en la formula antes mencionada, se tiene:

$$n = \frac{(1,96)^2 * (0,5) * (0,5) * 2104}{[(0,1)^2 * (2103)] + [(1,96)^2 * (0,5) * (0,5)]}$$

$$n = \frac{2020,68}{21,03 + 0,96} = 92$$

De donde; se tiene que el número de pruebas necesarias para poder realizar una proyección con un margen de error aceptable son a 92 usuarios.

### 2.8.2.1 Recopilación de Datos

Se trabajó en conjunto con el departamento de sistemas de la Dirección Nacional de Comunicaciones, solicitando que se haga un seguimiento al tráfico de red que generen 92 usuarios tal como los que fueron calculados en el punto anterior, para poder recopilar la información necesaria para una estimación confiable del capacidad total del sistema.

Tomando en cuenta que el horario de mayor actividad de un policía son 8 horas diarias, los datos obtenidos fueron los siguientes:

	1h/día	2h/día	3h/día	4h/día	>5h/día	Promedio(H/día)	Porcentaje de uso/día (%)
<b>Usuarios de Internet(#)</b>	23	22	36	12	-	2,40	29,97

Tabla 2.15 Utilización de la red expresada en horas/día<sup>50</sup>

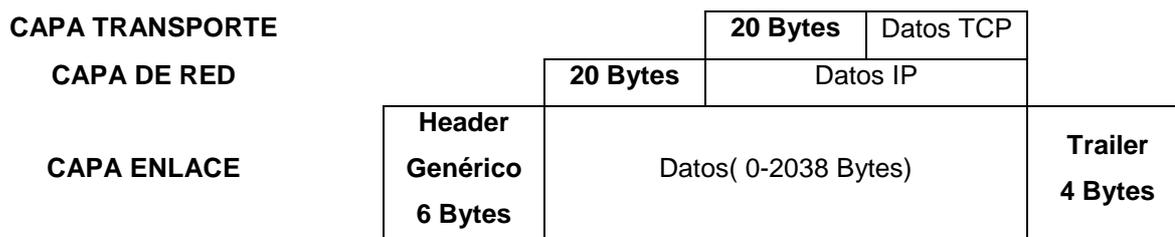
<sup>50</sup> Fuente: Departamento de sistemas "DINACOM". Mayo 2010

	Ligero	Moderado	Intenso	Tamaño promedio de datos
<b>Uso de Correo Electrónico(correos/día)</b>	5	15	30	70 KB
<b>Uso Páginas Web(páginas/día)</b>	10	20	40	200KB

Tabla 3.16 Transacciones de correo electrónico y páginas web

### 2.8.3 REQUERIMIENTO DE CAPACIDAD PARA TRANSMISIÓN DE DATOS<sup>51</sup>

Para la transmisión de datos es necesario conocer el formato de la trama de la tecnología que se va a emplear, en este caso es WiMAX, cuya trama cuenta con los siguientes campos de acuerdo a la encapsulación del modelo OSI y a la arquitectura anteriormente definida del estándar IEEE 802.16.

Figura 2.3 Encapsulamiento de datos para WiMAX<sup>52</sup>

#### 2.8.3.1 Correo Electrónico<sup>53</sup>

De los datos obtenidos en la tabla 3.14, se puede considerar que un usuario envía y recibe 4 correos por hora para un tipo de tráfico alto o intenso, que es para lo que se pretende diseñar.

También se obtuvo un tamaño promedio por correo de 73 KBytes por mensaje, entonces el cálculo de capacidad de transmisión requerida se obtiene de la siguiente manera:

<sup>51</sup> Tesis: Diseño de una red inalámbrica para interconectar la matriz de la cadena de Farmacias Pharmacy con sus sucursales ubicadas en la ciudad de Quito. Juan Pablo Quinapallo Morales. Agosto 2006

<sup>52</sup> <http://tools.ietf.org/pdf/draft-ietf-16ng-ipv4-over-802-dot-16-ipc-06.pdf>

<sup>53</sup> <http://technet.microsoft.com/es-es/library/cc745931.aspx>

$$\text{Número de tramas} = \frac{\text{Bytes de datos por mensaje}}{\text{Bytes de datos por trama}}$$

$$\text{Bytes de datos por trama} = 1998$$

$$\text{Número de tramas} = \frac{74752}{1998} = 37,41 \text{ tramas}$$

Entonces, para un correo que se envíe, se tendrán 37 tramas de 1998 Bytes y 1 trama de 826 Bytes sin tomar en cuenta la sobrecarga.

$$\text{Bytes de Sobrecarga} = \text{Número de tramas} \times (\text{Bytes de cabecera en cada capa} + \text{Bytes de trailer})$$

$$\begin{aligned} \text{Bytes de sobrecarga} &= 2(38 \times 20) + (38 \times 10) \\ &= 1900 \text{ Bytes} \end{aligned}$$

Por lo tanto el número total de Bytes por mensaje es:

$$\begin{aligned} \text{Bytes total por mensaje} &= 74752 + 1900 \\ &= 76652 \text{ Bytes} \end{aligned}$$

La capacidad total requerida para correo se calculará así:

$$C_{\text{correo}} = 4 \frac{\text{correos}}{3600 \text{ segundos}} \times 76652 \frac{\text{Bytes}}{\text{correo}} \times \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}}$$

$$C_{\text{correo}} = 681,35 \text{ bps} = 0,681 \text{ Kbps}$$

### 2.8.3.2 Servicio Web<sup>54</sup>

Igualmente para el tráfico de páginas web, la información proporcionada es que un usuario visita 40 páginas web por día en condiciones de tráfico alto o intenso, lo que representa 5 páginas por hora. Se tomará en cuenta las páginas más importantes para el a las que va a tener acceso el personal policial, que son:

<sup>54</sup> <http://technet.microsoft.com/es-es/library/cc745931.aspx>

ENTIDAD	DIRECCIÓN WEB	TAMAÑO (KB)
Policía Nacional del Ecuador	www.policiaecuador.gov.ec/	295
Dirección Nacional de Comunicaciones	www.dnctsv.gov.ec/	42,3
Policía Nacional de Transito	www.dnctsv.gov.ec/	397
Policía Judicial	www.dnpj.gov.ec/	201
	Tamaño Promedio	234

Tabla 2.17. Tamaño en KBytes de las páginas más importantes de la Policía Nacional.

$$\text{Número de tramas} = \frac{\text{Bytes de datos por página}}{\text{Bytes de datos por trama}}$$

$$\text{Bytes de datos por trama} = 1998$$

$$\text{Número de tramas} = \frac{239616}{1998} = 119,92 \text{ tramas}$$

Entonces, para una página Web que se descargue, se transmitirán 119 tramas de 1998 Bytes y 1 trama de 1824 Bytes sin tomar en cuenta la sobrecarga.

$$\text{Bytes de Sobrecarga} = \text{Número de tramas} \times (\text{Bytes de cabecera en cada capa} + \text{Bytes de trailer})$$

$$\begin{aligned} \text{Bytes de sobrecarga} &= 2(120 \times 20) + (120 \times 10) \\ &= 6000 \text{ Bytes} \end{aligned}$$

Por lo tanto el número total de bytes por mensaje es:

$$\begin{aligned} \text{Bytes total por mensaje} &= 239616 + 6000 \\ &= 245616 \text{ Bytes} \end{aligned}$$

La capacidad total requerida para correo se calculará así:

$$C_{\text{TWEB}} = 5 \frac{\text{páginas}}{3600 \text{ segundos}} \times 245616 \frac{\text{Bytes}}{\text{página}} \times \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}}$$

$$C_{\text{TWEB}} = 2729,06 \text{ bps} = 2,73 \text{ Kbps}$$

### 2.8.3.3 Servicio de Base de Datos

Como no se cuenta con un valor promedio de transacciones, se realizó un monitoreo de tráfico mediante la herramienta STG, a las transacciones que se envían desde una máquina de prueba hacia el servidor de base de datos de la Dirección Nacional de Comunicaciones. La siguiente gráfica permite definir la capacidad que se requiere para transacciones de datos:

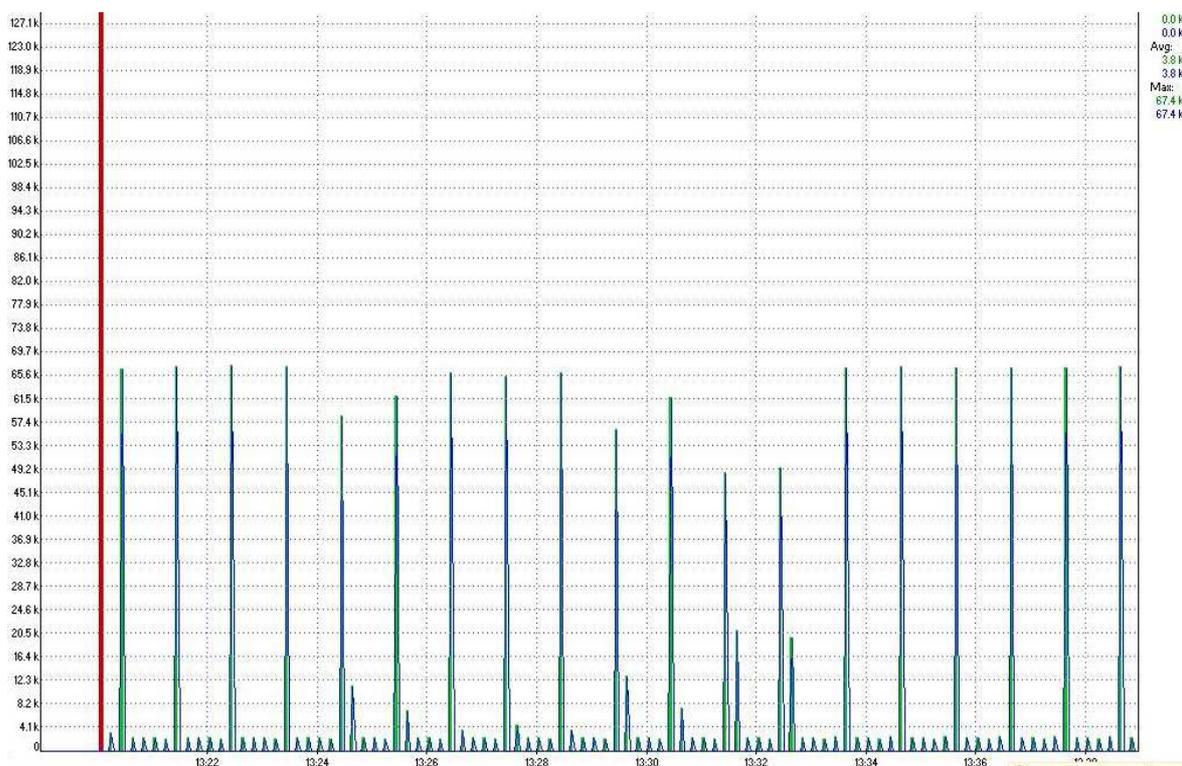


Figura 2.4 Tráfico medido en una máquina hacia el servidor de base de datos<sup>55</sup>

Entonces en promedio se puede observar que se necesita una capacidad de 64 Kbps, para este tipo de tráfico.

<sup>55</sup> Fuente: Dirección Nacional de Comunicaciones de la Policía Nacional. Mayo 2010

### 2.8.3.4 Servicio de Descarga de Datos<sup>56</sup>

Igualmente se realizaron descargas de archivos desde un servidor FTP a una máquina de pruebas en las que se midieron los siguientes valores, tomando en cuenta archivos de tamaños entre 1 a 5 MB para tener una gráfica más real.

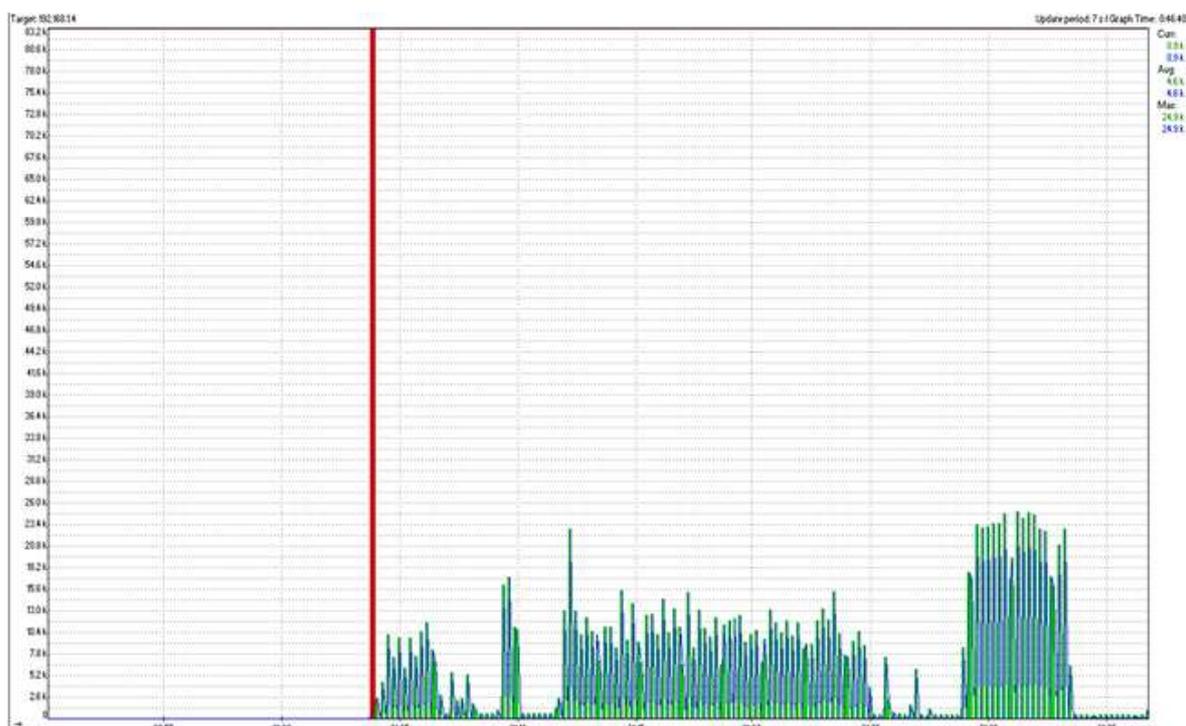


Figura 2.5 Tráfico medido de una descarga en una máquina hacia el servidor FTP

De la imagen se puede tomar el valor de 25 kbps para descarga de archivos o imágenes.

### 2.8.3.5 Servicio de Transmisión de Video<sup>57</sup>

Para la transmisión de video cada cuadro de una imagen es muestreado en unidades de píxeles, con lo que los datos a almacenar serán los correspondientes al color de cada píxel. A cada punto de la imagen o píxel se le asigna un determinado número de bits que representarán el color de dicho punto, si la

<sup>57</sup> Tesis: Diseño de una red inalámbrica para interconectar la matriz de la cadena de Farmacias Pharmacy con sus sucursales ubicadas en la ciudad de Quito. Juan Pablo Quinapallo Morales. Agosto 2006

imagen es en blanco y negro, bastará un bit para representarlo, mientras que para 256 niveles de gris serán necesarios 8 bits; de esta forma tendremos la imagen digitalizada. Almacenar esta información dependerá del número de píxeles que utilicemos por imagen, por ejemplo una imagen de 640 x 480 puntos con 256 colores ocupan aproximadamente 300 KBytes, y si tenemos una secuencia de vídeo a 25 fotogramas por segundo significaría que un solo segundo ocuparía 7500 KBytes, lo cual representa un requerimiento de ancho de banda o de espacio de almacenamiento muy amplio, por lo que se ha hecho imperativo el uso de técnicas de compresión que permitan conseguir anchos de banda bajos y que proporcionen una aceptable calidad de imagen.

- ***Técnicas de compresión***

La compresión del vídeo generalmente implica una pérdida de información, y por consecuencia disminución de la calidad. Pero esto es aceptable porque los algoritmos de codificación están diseñados para descartar la información redundante o que no es perceptible por el ojo humano. El vídeo comprimido en general debe transmitir información por un canal más pequeño del que necesitaría para ser transmitido y poder ser visualizado en tiempo real. Así la información de audio y vídeo deben ser procesadas por los codecs antes de ser transmitidos.

- ***Compresión: MJPEG (Motion-JPEG) y JPEG***

JPEG es el algoritmo que consiste en comprimir imágenes fijas tanto para color como en escala de grises, su rango de compresión está entre 1:10 y 1:50. Es un algoritmo que emplea un esquema de compresión con pérdidas ya que al descomprimir la imagen no se recupera exactamente la original. MJPEG es una versión extendida del algoritmo JPEG, que básicamente consiste en tratar al vídeo como una secuencia de imágenes estáticas independientes a las que se aplica el proceso de compresión del algoritmo JPEG una y otra vez, para cada imagen de la secuencia de vídeo. La ventaja es que se puede realizar en tiempo real e incluso con poca

inversión en hardware. El inconveniente de este sistema es que no se puede considerar como un estándar de vídeo, pues ni siquiera incluye la señal de audio. Otro problema es que el índice de compresión no es muy grande.

- **Compresión MPEG**

MPEG es un estándar internacional, definido por un comité llamado MPEG formado por la ISO, para la representación codificada y comprimida de imágenes en movimiento y audio asociado, orientado a medios de almacenamiento digital. El algoritmo además de comprimir imágenes estáticas, compara los fotogramas presentes con los anteriores y los futuros para almacenar sólo las partes que cambian. El inconveniente de este sistema es que debido a su alta complejidad necesita apoyarse en hardware específico.

MPEG requiere una intensiva computación para su codificación, aunque se consiguen compresiones desde 1:50 hasta 1:200. Existen diferentes opciones dependiendo del uso.

#### *2.8.3.5.1 Estimación de la capacidad requerida para el servicio de transmisión de Video*

Para determinar los requerimientos de velocidad se deben considerar los siguientes factores:

- Tipo de cámara que se utilizara en el diseño.
- La técnica de compresión y nivel que se utilizará.
- Número de imágenes transmitidas por segundo.
- Formato o tamaño de la imagen.

Las cámaras que utiliza actualmente la Policía Nacional son de la marca AXIS, y pueden tomar hasta 15 imágenes por segundo, soporta las resoluciones y niveles de compresión en formato JPEG, como se muestra en la tabla:

RESOLUCIÓN	NIVEL DE COMPRESIÓN			
	MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO
320 x 240	70 KB	8 KB	5 KB	3 KB
640 x 480	250 KB	20 KB	13 KB	8 KB

Tabla 2.18 Características técnicas de la cámara AXIS 2110<sup>58</sup>

La forma como se encapsula la información de video en cada capa se muestra en la figura:

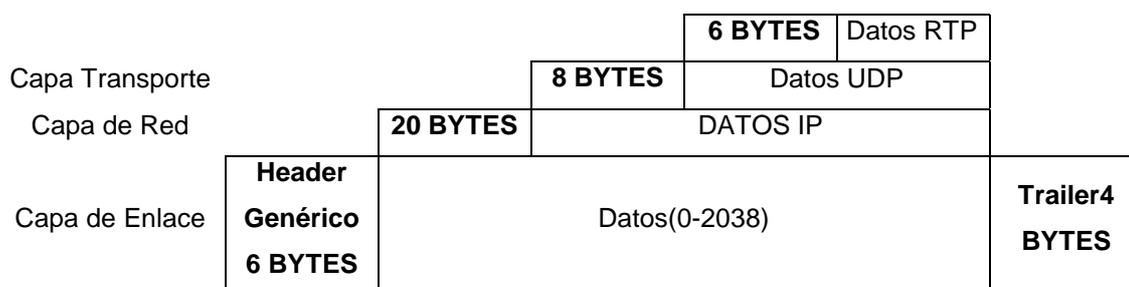


Figura 2.18 Encapsulamiento para transmisión de video.

A continuación se presenta el modelo de cálculo para la transmisión de video en base a los parámetros de la cámara AXIS 2110, usando una calidad de imagen aceptable y una compresión alta para optimizar la velocidad.

Resolución: 320x240.

Nivel de compresión alta: 3 KB

$$\text{Número de tramas} = \frac{\text{Bytes de datos por imagen}}{\text{Bytes de datos por trama}}$$

Número de bytes de datos por trama = 2004 Bytes

$$\text{Numero de tramas} = \frac{3072 \text{ Bytes}}{2004 \text{ Bytes}}$$

Número de Tramas = 1,53 tramas

<sup>58</sup> [http://www.axis.com/files/datasheet/2110/2110\\_es\\_ds.pdf](http://www.axis.com/files/datasheet/2110/2110_es_ds.pdf)

De esta manera se debe enviar 1 trama de 2004 bytes y una de 1068 bytes de datos, por cada imagen que se transmita, sin tomar en cuenta la sobrecarga.

Bytes de sobre carga = Número de Tramas X (Bytes de cabecera + trailer de cada capa)

Bytes de sobre carga = (2x6 + 2x8 + 2x20 + 2x10) Bytes

Bytes de sobre carga = 88 Bytes

Por lo tanto el número de bytes totales transmitidos por imagen es:

Bytes total por imagen = 3072 Bytes + 220 Bytes

Bytes total por imagen = 3292 Bytes

La velocidad necesaria para una cámara tomando en cuenta la sobrecarga, y utilizando el valor especificado en el datasheet de este equipo, se considera 15 imágenes por segundo con lo que se puede tener una visualización muy buena, entonces:

$C_{TV} = \text{Número de imágenes por segundo} \times \text{bits totales por imagen}$

$$C_{TV} = 15 \frac{\text{imágenes}}{\text{segundo}} * 3292 \frac{\text{Bytes}}{\text{imagen}} * \frac{8 \text{ bits}}{1 \text{ Byte}}$$

$C_{TV} = 395 \text{ Kbps}$

#### 2.8.4 CAPACIDAD TOTAL

La tabla 2.17 describe la capacidad total que necesitará cada usuario de la red. Esta capacidad puede ayudar a tener a una aproximación del número de usuarios simultáneos en una celda (área de cobertura de una antena).

SERVICIO	CAPACIDAD (Kbps)
Servicio Web	2,18
Correo Electrónico	0,681
Videoconferencia	395
Servicio de Base de Datos	64

SERVICIO	CAPACIDAD (Kbps)
Servicio de Transferencia archivos	25
<b>TOTAL</b>	487

Tabla 2.19 Capacidad total de transmisión requerida por cada usuario.

## 2.9 REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD

Una información tan sensible como la que maneja la Policía Nacional, requiere ser protegida con mecanismos robustos de seguridad. En el capítulo 1, se explicó los mecanismos que ofrece WiMAX con su tecnología para proteger a la información mediante el uso de llaves públicas y privadas para el cifrado/descifrado de datos.

Además, se debe restringir el acceso a la red a usuarios no autorizados, para esto se deben usar mecanismos de autenticación con certificados digitales para identificar de manera unívoca de un usuario. WiMAX permite la autenticación mediante certificados X.509.

Pero estos no son los únicos mecanismos que se pueden implementar, se puede también usar técnicas para proteger a la información a nivel capa de enrutamiento (capa 3 del modelo OSI). IPsec es una solución que permite añadir cabeceras adicionales para brindar seguridad a los paquetes IP y que además crea túneles virtuales entre dispositivos para evitar que esa información sea capturada mientras circula en la red.

La Dirección Nacional de Comunicaciones cuenta con mecanismos propios de seguridad a nivel de aplicación en el sistema centralizado en su infraestructura de red, pero requieren que la red que se va a diseñar cuente con la protección necesaria de los datos transportados a fin de brindar seguridad a los nuevos enlaces inalámbricos considerados en este proyecto y que podrían ser vulnerables a ataques tanto externos como internos.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DE LA TOPOLOGÍA DE RED**

---

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

Una vez realizada la estimación del número de usuarios y el tráfico que generará cada uno de éstos, en este capítulo se procederá a dimensionar y diseñar la red WiMAX.

En primera instancia, se calculará la capacidad de transmisión necesaria para las radio-bases, dependiendo del ancho banda de canal y de la modulación empleada.

Luego será necesario establecer los niveles de potencia, ganancias y pérdidas de los radio enlaces que permitirán posteriormente definir la cobertura de las diferentes radio-bases que se instalarán a lo largo del Distrito Metropolitano de Quito, así como determinar el número necesario de éstas para cubrir toda la zona del proyecto.

Luego se necesitará definir el rango de frecuencias en las que operará el sistema, así como también diseñar el plan de reuso de las mismas.

Además, se deberá diseñar el sistema de comunicaciones que enlace las diferentes radio bases con el sistema centralizado de la Dirección Nacional de Comunicaciones de la Policía Nacional, lo que constituirá el backbone de la red.

Después será necesario establecer los requerimientos técnicos mínimos de los equipos que deberán ser instalados, y se procederá también a la selección de los más adecuados para el mejor funcionamiento de la red.

Finalmente será necesario determinar la infraestructura civil necesaria para poder instalar todo el equipamiento de comunicaciones tanto interior como exterior. Se deberá también establecer el mecanismo más idóneo para la protección eléctrica de los equipos.

### **3.2 TOPOGRAFÍA DEL DMQ<sup>59</sup>**

La parte urbana del área metropolitana de Quito está situada en un estrecho valle montañoso localizado al Este de las faldas del volcán Pichincha.

En la prehistoria, el lugar donde se asienta Quito fue una encrucijada de importantes rutas de comercio a través de los Andes, debido a su localización en uno de los pocos pasos accesibles a través del difícil terreno montañoso.

En la actualidad, la barrera natural de las montañas ha obligado a que la expansión de la ciudad ocurra longitudinalmente, en forma de luna creciente, de tal manera que el núcleo urbano consolidado de la metrópoli tiene actualmente de 8 a 10 km. de ancho, y más de 30 km. de largo, lo que representa un área de aproximadamente 300 km<sup>2</sup>.

La figura 3.1, permite observar más detalladamente la topografía de Quito mediante una imagen tomada del simulador Radio Mobile.

---

<sup>59</sup> <http://www.fao.org/docrep/W7445S/w7445s03.htm>

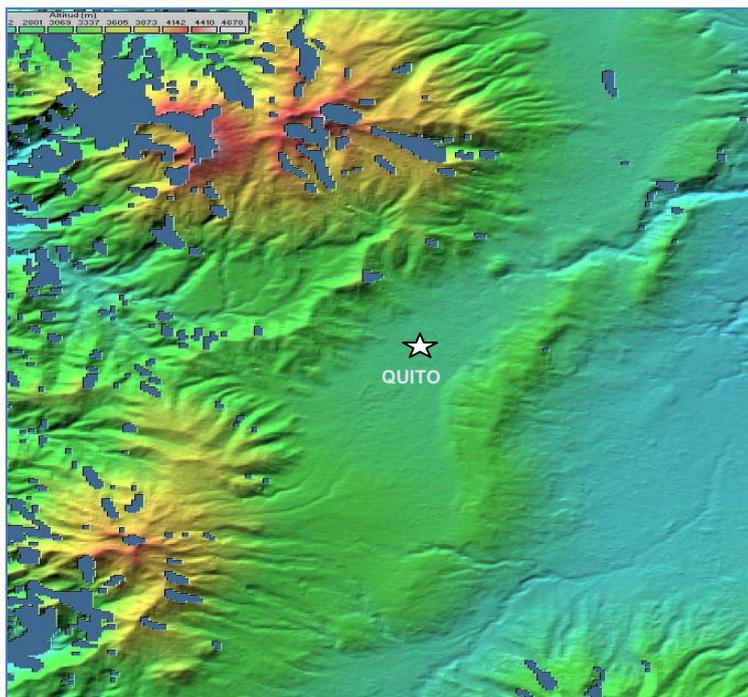


Figura 3.6 Mapa Topográfico del DMQ.

### 3.3 ESTRUCTURA DE LA RED

La red de comunicaciones que se pretende diseñar, está conformada principalmente por los siguientes elementos:

- *Sistema Centralizado de Comunicaciones.* Localizado en la Dirección Nacional de Comunicaciones. Aquí se concentrará toda la información que generen los usuarios, será el punto de enlace con la red de la Policía Nacional.

Además, desde aquí se realizarán operaciones de monitoreo de todos los equipos de transporte de datos.

- *Estaciones Base o Radio Bases.* Conformadas por las torres, las antenas de cobertura para los usuarios, antenas de backhaul, y demás equipos necesarios que permitan la comunicaciones entre el sistema centralizado y los usuarios finales de la red.

➤ *Medios de Transmisión:*

- a. *Guiados.* Para la conexión entre antenas y equipos enrutadores de tráfico y para el enlace del Gateway de la red WiMAX con la red centralizada de la Policía Nacional.
- b. *No Guiados.* Para brindar cobertura a los usuarios finales y para los enlaces de backhaul inalámbrico.

La figura 3.2 indica cómo pudiera estar conformada la estructura de la red, lo cual dependerá en gran medida del número de usuarios y del posible número de radio bases, así como de su ubicación en el DMQ.

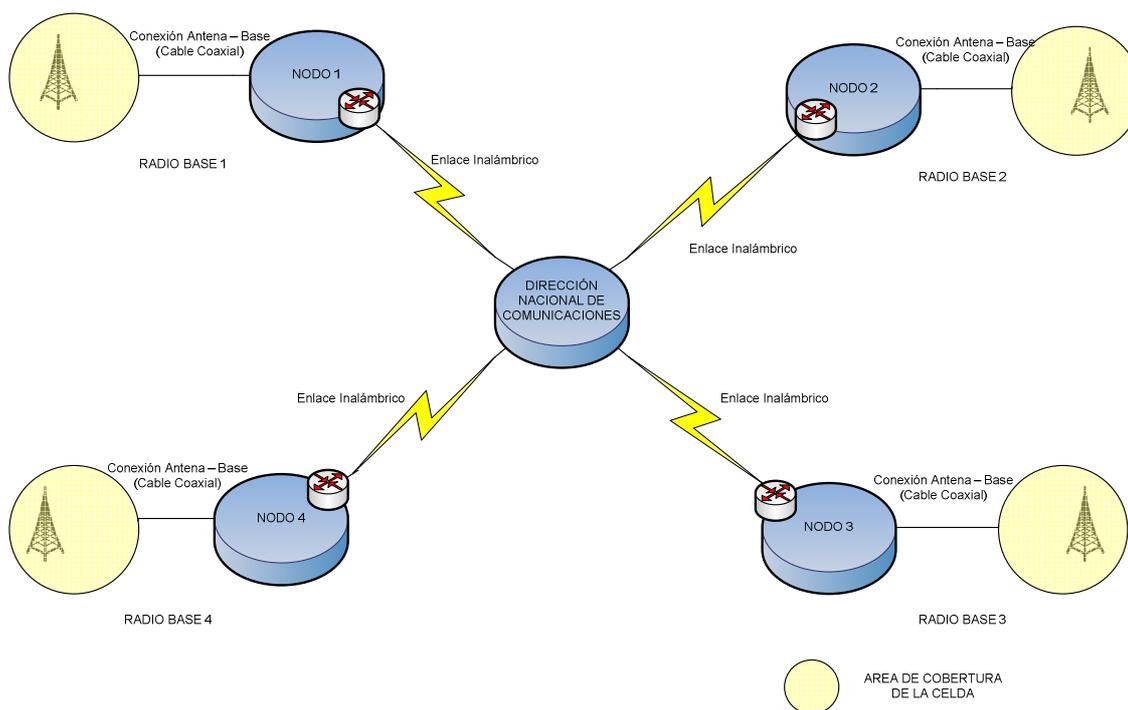


Figura 3.7 Esquema Propuesto de la Estructura de la Red.

### 3.4 MÓDELO DE CÁLCULO DE CAPACIDADES<sup>60</sup>

El cálculo de capacidad en los sistemas WiMAX depende de los diferentes parámetros que componen el sistema. Primero se debe recordar que WiMAX funciona con el sistema de multiplexación SOFDMA (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), para reconocer sus parámetros se debe ahondar en la estructura SOFDMA TDD.

#### 3.4.1 ESTRUCTURA OFDMA

Como ya se mencionó en el Capítulo 1, los sistemas OFDMA están basados en la cantidad variable de subportadoras, según el ancho de banda del canal. Un grupo de portadoras forman subcanales. Existen tres tipos de subportadoras, a continuación una breve explicación de cada una de ellas:

- **Subportadoras Piloto:** Son las encargadas de la sincronización.
- **Subportadoras de Datos:** Son las que portan la información.
- **Subportadoras Nulas:** Son las que proporcionan las bandas de guarda entre subcanales.

La distribución de portadoras (permutaciones) se puede hacer de variadas maneras siendo las más usadas las llamadas *diversity permutation* PUSC (*Partially Used Sub-Carrier*) y *contiguos permutation* AMC. Ambas permutaciones distribuyen las portadoras de diferentes maneras. Las diferentes permutaciones están diseñadas para acomodar el sistema a las diferentes condiciones del servicio, entonces se puede dar mayor robustez al sistema en desmedro de la capacidad o viceversa.

Tomando en cuenta las diferencias de calidad del enlace en la comunicación fija y móvil se debe elegir la permutación indicada. Generalmente, para la

---

<sup>60</sup> Tesis: "Wimax: Banda Ancha Móvil y Comparación con HSDPA", Cristian Andrés Pozo Ide, Universidad Mayor – Santiago de Chile. [http://ingenieria.cl/v1/tesis/ing\\_\(c\)\\_elec/4\(2007\)/1.pdf](http://ingenieria.cl/v1/tesis/ing_(c)_elec/4(2007)/1.pdf)

comunicación móvil se usa permutación PUSC, la cual sacrifica recursos (portadoras) de datos para darle más robustez al sistema, o sea, mayor cantidad de portadoras a la sincronización y bandas de guarda, logrando mejoras en la recepción de la señal. Asimismo PUSC asume mayor cantidad de portadoras para el enlace de bajada que el de subida, dando la característica de asimetría en la transferencia de datos. La tabla 3.1 muestra la distribución de portadoras en la permutación PUSC según el ancho de banda del canal:

PUSC	1,25 MHz		5 MHz		7 MHz		8,75 MHz		10 MHz		20 MHz	
	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
Subportadoras Nulas	44	32	92	104	184	184	184	184	184	184	368	368
Subportadoras Piloto	12	32	60	136	120	280	120	280	120	280	240	560
Subportadoras de Datos	72	64	360	272	720	560	720	560	720	560	1440	1120
Total de Subportadoras	128	128	512	512	1024	1024	1024	1024	1024	1024	2048	2048
Número de Subcanales	3	4	15	17	30	35	30	35	30	35	60	70

Tabla 3.20 Distribución de las portadoras según ancho de banda del canal con la permutación PUSC<sup>61</sup>

Por otra parte, AMC fue orientado para enlaces fijos, los cuales, son de mejor calidad en comparación con los enlaces móviles. Por ello centra sus recursos en la capacidad, la mayor cantidad de portadoras son usadas como datos y sacrifica el sincronismo y las bandas de guardas de modo de privilegiar la alta tasa de transferencia. También AMC fue concebido para la transferencia de datos simétricos, orientado a hogares y pequeñas empresas con servicios de telefonía e Internet.

### 3.4.2 OFDMA ESCALABLE (SOFDMA)

Mientras OFDM funciona con una cantidad fija de subportadoras, SOFDM se puede adaptar al ancho de banda del canal para acomodar las portadoras y de esta manera aprovechar mejor los recursos. Los parámetros SOFDM, para los distintos anchos de bandas, se especifican en la tabla 3.2:

<sup>61</sup> Tesis: "Wimax: Banda Ancha Móvil y Comparación con HSDPA", Cristian Andrés Pozo Ide, Universidad Mayor – Santiago de Chile. [http://ingenieria.cl/v1/tesis/ing\\_\(c\)\\_elec/4\(2007\)/1.pdf](http://ingenieria.cl/v1/tesis/ing_(c)_elec/4(2007)/1.pdf)

PARAMETROS	VALORES					
ANCHO DE BANDA DEL CANAL	1,25 MHz	5,00 MHz	7,00 MHz	8,75 MHz	10,00 MHz	20,00 MHz
FRECUENCIA DE SAMPLING	1,43 MHz	5,71 MHz	8,00 MHz	10,00 MHz	11,43 MHz	22,86 MHz
SAMPLE TIME	700 ns	175 ns	125 ns	100 ns	88 ns	44 ns
TAMAÑO DE LA FFT	128	512	1024	1024	1024	2048
SUB-CARRIER SEPARACIÓN EN FRECUENCIA	10,94 KHz	10,94 KHz	7,81 KHz	9,77 KHz	10,94 KHz	10,94 KHz
TIEMPO ÚTIL DE SÍMBOLO	91,41 us	91,41 us	128,04 us	102,35 us	91,41 us	91,41 us
TIEMPO DE CABECERA	11,43 us	11,43 us	16,01 us	12,79 us	11,43 us	11,43 us
DURACIÓN DEL SÍMBOLO OFDM	102,83 us	102,83 us	144,05 us	115,15 us	102,83 us	102,83 us
DURACIÓN DEL FRAME	5 ms					
FRAMES POR SEGUNDO	200	200	200	200	200	200
No. SÍMBOLOS OFDM POR FRAME	48	48	34	43	48	48
SÍMBOLOS DE DATA OFDM	44	44	31	39	44	44

Tabla 3.21 Parámetros SOFDMA<sup>62</sup>

Donde:

- **Ancho de banda del canal:** Espacio que ocupan las portadoras en el dominio de la frecuencia (en MHz).
- **Frecuencia de *sampling*:** Corresponde a la velocidad de muestreo para la digitalización de la señal, o sea la cantidad de muestras por segundo. La frecuencia de muestreo corresponde al 8/7 del ancho de banda del canal.
- **Tiempo de *sampling*:** Es el tiempo entre muestras. Se calcula como el inverso de la frecuencia de *sampling*. Se mide en segundos.

$$tiempo\_sampling [s] = \frac{1}{frecuencia\_sampling [Hz]} \quad (1)$$

- **Tamaño de la Transformada Rápida de Fourier (*FFT*):** La cantidad de portadoras a utilizar en la transmisión definen el tamaño de la FFT. Cada

<sup>62</sup> Tesis: "Wimax: Banda Ancha Móvil y Comparación con HSDPA", Cristian Andrés Pozo Ide, Universidad Mayor – Santiago de Chile. [http://ingenieria.cl/v1/tesis/ing\\_\(c\)\\_elec/4\(2007\)/1.pdf](http://ingenieria.cl/v1/tesis/ing_(c)_elec/4(2007)/1.pdf)

portadora se procesa independientemente, entonces para 256 portadoras se utilizará 256 como tamaño de la FFT.

- **Separación de las sub portadoras:** Para la primera versión, el foro, decidió dejar constante, para todos los anchos de banda, el espaciamiento en la frecuencia de los subcanales en 10.94 KHz.
- **Tiempo útil de símbolo:** Es el tiempo del símbolo que lleva la información, sin cabecera ni redundancia, sólo *datos*.
- **Tiempo de cabecera:** Es el tiempo que se deja para separar un símbolo de otro en el tiempo. La cabecera de símbolo puede tomar distintos tiempos, pero se recomienda tomar un tiempo de 1/8 del tiempo total del símbolo, eliminándose gran parte del ISI (*Intersymbol Interference*).
- **Duración símbolo OFDM:** Corresponde a la duración total del símbolo, parte útil y cabecera.
- **Duración *frame*:** El *frame* es una estructura compuesta por los símbolos OFDM. El *frame* se divide en 2: *subframe* del enlace de subida y *subframe* del enlace de bajada, los cuales están separados por una banda de guarda. La duración del *frame* OFDM TDD es de 5 milisegundos.
- **Frames por segundo:** Frecuencia de tramas o *frames*. Se calcula según la siguiente ecuación:

$$frecuencia\_frames = \frac{1}{duracion\_frame} \quad (2)$$

- **Número de símbolos OFDM por trama o *frame*:** Es la cantidad de símbolos que tiene una trama.

$$\text{simbolos\_por\_frame} = \frac{\text{duracion\_frame}}{\text{duracion\_simbolo}} = \text{entero} \left[ \frac{5[\text{ms}]}{102.83[\mu\text{s}]} \right] = 48 \quad (3)$$

- **Símbolos de *data* OFDM:** En la trama algunos símbolos se destinan a sincronización e información de la configuración de la trama. Aproximadamente el 90% de los símbolos de la trama son exclusivos de *datos*.

### 3.4.3 MODELO DE CAPACIDAD

La capacidad bruta del sistema está dada por la siguiente, la cual es ocupada para sistemas OFDM TDD:

$$\text{capacidad}[\text{bps}] = \left( \frac{\text{data\_subcarriers}[\text{sc}]}{\text{duracion\_simbolo} \left[ \frac{\text{s}}{\text{simb}} \right]} \right) \cdot \left( \frac{\text{datos}[\text{bits}]}{\text{simb}[\text{simb} \cdot \text{sc}]} \right) \cdot \left( \frac{\text{simb\_utiles}}{\text{simb\_totales}} \right) \quad (4)$$

Donde:

- **Data subcarries o sub portadoras de datos:** Es la cantidad de subportadoras de datos en el sistema. La cantidad depende del ancho de banda usado y de la permutación usada.
- **Duración del símbolo:** Es el tiempo del símbolo incluyendo la cabecera, la duración depende de la separación en frecuencia de las subportadoras.

$$\text{duracion\_simbolo} \left[ \frac{\text{s}}{\text{simb}} \right] = \text{duracion\_util} + \text{duracion\_cabecera} \quad (5)$$

$$\text{duracion\_util} \left[ \frac{\text{s}}{\text{simb}} \right] = \frac{1 \left[ \frac{1}{\text{simb}} \right]}{\text{frec\_spacing}[\text{Hz}]} \quad (6)$$

$$duracion\_cabecera[s] = \frac{1}{8} \cdot duracion\_util \quad (7)$$

- **Datos/simb:** Es la cantidad de datos por símbolo por subportadora, depende de la modulación ocupada y de la tasa de código (*code rate*). La cantidad de datos por portadora que aporta cada modulación se resume en la tabla 3.3.

MODULACIÓN	CANTIDAD DE INFORMACIÓN
QPSK ½	1,0 bit/sim/sc
QPSK ¾	1,5 bit/sim/sc
16QAM 1/2	2,0 bit/sim/sc
16QAM 3/4	3,0 bit/sim/sc
64QAM 1/2	3,0 bit/sim/sc
64QAM 2/3	4,0 bit/sim/sc
64QAM 3/4	4,5 bit/sim/sc
64QAM 5/6	5,0 bit/sim/sc

Tabla3.22 Modulaciones y tasa de información<sup>63</sup>

### 3.4.4 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD

Para calcular la capacidad del sistema se utilizan los datos proporcionados por la tabla 3.4, cuyos datos son calculados con las ecuaciones antes mencionadas para las diferentes modulaciones con la permutación PUSC. Los datos de las capacidades en esta tabla son exclusivos para el sistema WiMAX 802.16e SOFDMA TDD.

<sup>63</sup> Tesis: "Wimax: Banda Ancha Móvil y Comparación con HSDPA", Cristian Andrés Pozo Ide, Universidad Mayor – Santiago de Chile. [http://ingenieria.cl/v1/tesis/ing\\_\(c\)\\_elec/4\(2007\)/1.pdf](http://ingenieria.cl/v1/tesis/ing_(c)_elec/4(2007)/1.pdf)

ANCHO DE BANDA DEL CANAL	1,25 MHz		5 MHz		7 MHz		8,75 MHz		10 MHz		20 MHz	
	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
QPSK ½	0,64	0,57	3,21	2,42	4,56	3,54	5,67	4,41	6,42	4,99	12,84	9,98
QPSK ¾	0,96	0,86	4,81	3,64	6,84	5,32	8,51	6,62	9,63	7,49	19,25	14,98
16QAM ½	1,28	1,14	6,42	4,85	9,11	7,09	11,34	8,82	12,84	9,98	25,67	19,97
16QAM ¾	1,93	1,71	9,63	7,27	13,67	10,63	17,01	13,23	19,25	14,98	38,51	29,95
64QAM ½	1,93	1,71	9,63	7,27	13,67	10,63	17,01	13,23	19,25	14,98	38,51	29,95
64QAM 2/3	2,57	2,28	12,84	9,7	18,23	14,18	22,68	17,64	25,67	19,97	51,35	39,94
64QAM ¾	2,89	2,57	14,44	10,91	20,51	15,95	25,52	19,85	28,88	22,46	57,76	44,93
64QAM 5/6	3,21	2,85	16,05	12,12	22,79	17,72	28,36	22,05	32,09	24,96	64,18	49,92

Tabla 3.23 Capacidades para WiMAX 802.16e con permutación PUSC<sup>64</sup>

Considerando las modulaciones 64QAM 5/6 (la de mayor capacidad), 16QAM 1/2 (modulación intermedia entre capacidad y robustez ante el ruido) y QPSK 3/4 (modulación baja), la figura 3.3 muestra la tasa de datos en el *downlink* para los diferentes anchos de banda, para permutación PUSC. Con esta información se puede comparar la capacidad máxima conseguida con cada modulación.

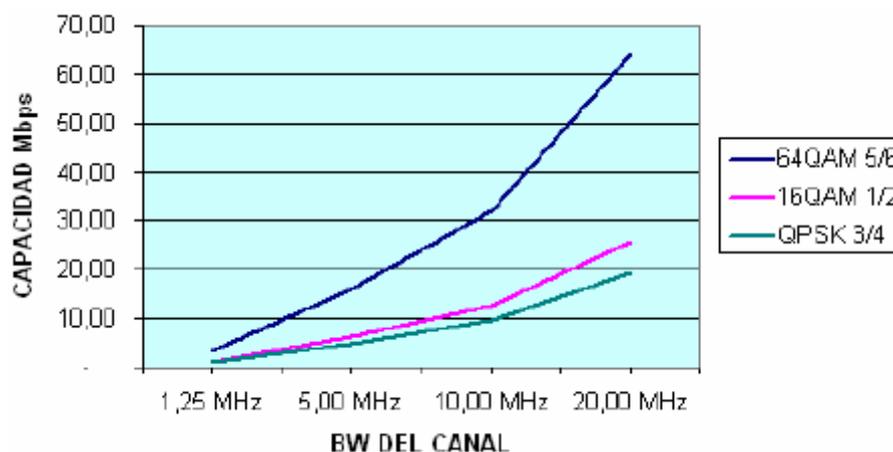


Figura 8.3 Capacidad WiMAX

La figura 3.4 muestra las capacidades máximas que se pueden conseguir con cada ancho de banda de canal incluyendo las diferentes permutaciones (AMC y PUSC).

<sup>64</sup> Tesis: "Wimax: Banda Ancha Móvil y Comparación con HSDPA", Cristian Andrés Pozo Ide, Universidad Mayor – Santiago de Chile. [http://ingenieria.cl/v1/tesis/ing\\_\(c\)\\_elec/4\(2007\)/1.pdf](http://ingenieria.cl/v1/tesis/ing_(c)_elec/4(2007)/1.pdf)

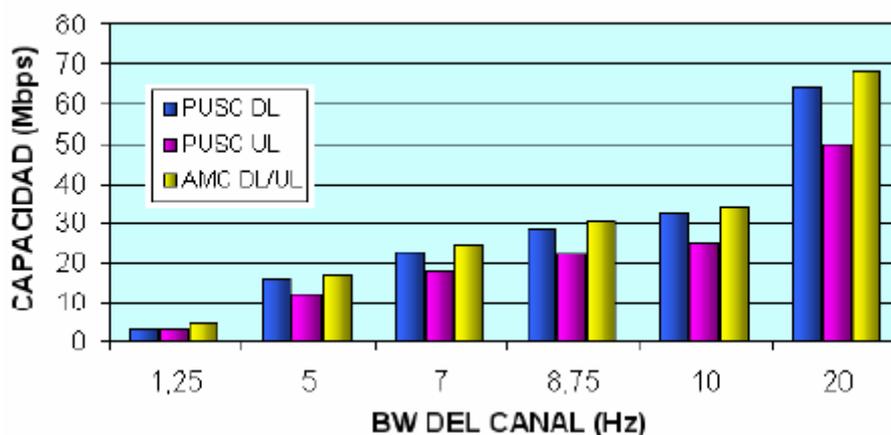


Figura 3.9 Capacidades máximas para cada permutación

De la figura anterior se puede concluir que, en condiciones ideales de propagación (bajo ruido, en donde se podrá usar modulaciones más altas, como 64QAM 5/6), y usando canales de 20 MHz el sistema puede alcanzar velocidades de aproximadamente 65 Mbps.

Entonces usando esta capacidad total y relacionándola con la capacidad máxima que utilizará cada usuario, se puede calcular el número de usuarios por radio-base de la siguiente manera:

$$\text{Usuarios/celda} = \frac{65 * 10^3 \text{Kbps}}{487 \text{Kbps/usuario}} = 134 \text{ usuarios} \quad (8)$$

### 3.5 NÚMERO DE RADIO BASES

Con los resultados obtenidos en el capítulo anterior se puede calcular el número de radio bases necesarias, basándose en el número máximo de usuarios que puede soportar cada una de ellas. Para ello se toma en cuenta a todos los usuarios actuales, así como al crecimiento de los mismos durante los siguientes 5 años:

Sí se realiza el diseño de la red asumiendo que todos estos usuarios se conectarán al mismo tiempo, se estaría cometiendo un error debido a que en la realidad solo un porcentaje de estos lo hace. Por tal motivo, es preciso determinar

este porcentaje de tal forma que en momentos de saturación, la red pueda soportar a todos los usuarios calculados sin desperdiciar tantos recursos.

Como se calculó en el capítulo 2, alrededor del 30% de los usuarios se conectarán al mismo tiempo. Esto permite redefinir el throughput total del sistema.

$$\text{Throughput Total (sistema)} = 632 * 487 = 307,78 \text{ Mbps} \quad (9)$$

Dividiendo el Throughput total necesario del sistema entre el Throughput máximo que ofrecerá una BTS utilizando una capacidad de 64,18 Mbps se obtendrá el número total de estaciones base.

$$N^{\circ} \text{BTS} = \frac{307,78 \text{ Mbps}}{64,18 \text{ Mbps}} = 5 \quad (10)$$

Con este valor y con el área total del DMQ, se puede calcular el radio de cobertura de cada celda, asumiendo que cada una de ellas tiene forma hexagonal.

$$\text{Radio (celda)} = \sqrt{\frac{\text{área del DMQ}}{1,5\sqrt{3}N^{\circ}\text{BTS}}} = 4,8 \text{ Km} \quad (11)$$

Entonces, haciendo una aproximación se van a tener alcances en el rango desde 0 Km como valor mínimo, hasta 5Km como valor máximo, que son los alcances que permite la tecnología WiMAX móvil.

El número de BTSs necesarias para lograr la cobertura deseada de la red de acceso podría ser distinto al determinado aplicando este criterio de capacidad, por lo que la conclusión final del número de estaciones base a utilizar se dará una vez concluido los cálculos de propagación respectivos.

### 3.6 UBICACIÓN DE LAS RADIO BASES<sup>65</sup>

Antes de definir el lugar donde se ubicarán cada una de las radio bases, es necesario que estos sitios cumplan con ciertos requisitos:

- Línea de vista con la mayoría de los usuarios potenciales.
- Cubrir toda la zona de interés.
- Evitar interferencias entre celdas adyacentes.
- Densidad de usuarios soportados dentro del área de cobertura.
- Topografía del terreno donde se va a ubicar la radio base.

Debido a la muy accidentada geografía de Quito, resulta imposible usar las 5 estaciones bases calculadas en la ecuación (10), ya que no se llegan a cubrir todas las localidades esperadas. Es necesario añadir 2 estaciones más para lograr que la ciudad tenga una cobertura total.

Adicionalmente, el objetivo del proyecto es utilizar las instalaciones que pertenezcan a la policía para optimizar costos, por lo que se realizó una inspección para encontrar un lugar adecuado para la localización de estas radio bases; dando como resultado su ubicación en los lugares detallados en la tabla 3.1:

SITIOS DE LAS BTS	ALTURA(M)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
		Latitud	Longitud
UPC - Carcelén Alto	2743	0°5'21.03"S	78°28'10.62"O
UVN	2750	0°7'0.63"S	78°28'28.90"O
Dirección Nacional de Comunicaciones	2904	0°11'47.92"S	78°30'40.58"O

<sup>65</sup> Tesis "Diseño de un "Backbone" Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios", Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006

SITIOS DE LAS BTS	ALTURA(M)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
		Latitud	Longitud
UPC- Simón Bolívar	2922	0°13'52.73"S	78°29'31.89"O
Antenas Puengasí	3071	0°15'6.98"S	78°30'13.04"O
UPC – Tarqui	2886	0°15'34.00"S	78°33'4.67"O
UPC - Guamaní Alto	3068	0°19'54.81"S	78°33'17.77"O

Tabla 3.24 Ubicación de las BTS.

La selección de estos lugares se debe principalmente a la mayor altitud que tienen respecto a otros puntos de la ciudad, y también a la densidad de usuarios que soportan los sectores escogidos, razón por la cual los equipos que se elijan, deberán acoplarse de la mejor manera a esta necesidad ya que será la zona que mayor carga de tráfico maneje.

Los sitios que han sido elegidos para el emplazamiento de las estaciones base están en las siguientes direcciones:

- UPC-Carcelén Alto, ubicada en las calles República Dominicana y Francisco Ruiz.



Figura 3.10 UPC Carcelén Alto.

- Unidad de Vigilancia Norte (UVN), ubicada en la Av. Eloy Alfaro y De los Eucaliptos.



Figura 3.11 Unidad de Vigilancia Norte (UVN).

- Dirección Nacional de Comunicaciones, ubicada en las calles Enrique Rither y Diego Zorrilla.



Figura 3.12 Dirección Nacional de Comunicaciones.

- UPC - Simón Bolívar, ubicada en la Av. Simón Bolívar y Calle Principal.



Figura 3.13 UPC Simón Bolívar.

➤ Antenas de Puengasí.



Figura 3.14 Antenas de Puengasí.

➤ UPC - Tarqui, ubicada en las calles Río Cunuris y Alonso Bastidas.



Figura 3.15 UPC Tarqui.

- UPC - Guamaní Alto, ubicada en la Av. Mariscal Sucre y Lucía Albán.



Figura 3.16 UPC Guamaní Alto.

Las BTS más importantes por su alcance máximo, serán las localizadas en: Guamaní, Tarqui, Puengasí, DNC y UVN, que hacen referencia a las 5 radio

bases calculadas en la ecuación (10). El resto serán utilizadas para completar la cobertura en el resto de la ciudad.

La figura 3.12 muestra la localización de las radio bases a lo largo del DMQ



Figura 3.17 Localización de Radio bases  
Fuente: Google Earth.

Cabe resaltar, que debido a la propagación, en algunos sectores existirán solapamiento de celdas, razón por la cual resulta necesario escoger canales de frecuencia lo suficientemente separados para evitar interferencias. Esto se lo estudiará en el siguiente punto.

### **3.7 BANDAS DE FRECUENCIA**

WiMAX soporta bandas de frecuencia tanto licenciadas como no licenciadas, y para este proyecto se utilizará las especificaciones de los estándares 802.16 a y e, dentro de las especificaciones con y sin línea de vista en el rango de 2 a 11 GHz.

Uno de los requerimientos analizados en el capítulo anterior fue el de la seguridad, para ello, La Policía Nacional cuenta con una banda especial dentro de los 4,9 GHz, que es exclusiva para operaciones policiales y militares. Esta banda es segura y libre de interferencias como las que se presentan en las bandas ICM, y su uso es restringido a otras instituciones públicas o privadas.

#### **3.7.1 CANALES DE FRECUENCIA<sup>66</sup>**

La técnica utilizada será la de duplexaje TDD, que permite en el mismo canal el tráfico de subida (Uplink) y el tráfico de bajada (Downlink) simultáneamente en el tiempo. Como se mencionó en el capítulo 1, FDD no se implementa en WiMAX móvil.

Para el presente proyecto se dispone de un espectro 100 MHz para la asignación de canales de frecuencia y considerando que en los puntos anteriores se calculó canales de 20 MHz, entonces se disponen de 5 canales. Por diseño se usarán sólo 4 canales de los cuales 3 serán para la red de acceso y uno para los enlaces de backhaul.

Entonces, la banda de 4,900 – 4,980 GHz, será solicitada por parte de la Dirección Nacional de Comunicaciones al CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones), para su estudio y aprobación.

---

<sup>66</sup> Tesis “Diseño de un “Backbone” Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios”, Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006

El CONATEL aprobará y establecerá las características técnicas de operación de Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, previo un estudio sustentado que será realizado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

Asumiendo la concesión de la banda (4900 – 4980MHz), se tendría:

FRECUENCIA	BANDA DE FRECUENCIAS (MHZ)
F1	4900 – 4920
F2	4920 – 4940
F3	4940 – 4960
F4	4960 – 4980

Tabla 3.25 Asignación de Frecuencias.

Debido al uso de 3 canales de frecuencia para la red de acceso, se tendrán que usar radio bases con sectorizaciones de 120°, es decir el empleo de 3 sectores por cada celda de cobertura.

### 3.7.2 PLAN DE REUSO DE FRECUENCIAS

Para lograr una red libre de interferencias entre canales de celdas adyacentes, se tendrá que realizar una distribución óptima de la utilización de los canales de frecuencia sin afectar el desempeño.

Es por esto que, si no se efectuara un reuso de frecuencias, el total de canales utilizados serían 21, lo que implicaría el uso canales más pequeños (y por ende capacidades de transmisión más pequeñas) para alcanzar el ancho de banda total de 80 MHz que se especificó anteriormente.

Por tal motivo, se realizará el plan de uso de los canales de frecuencia de acuerdo a lo que se explica en la tabla 3.3:

RADIO-BASE	FRECUENCIAS(UPLINK/DOWNLINK)	AZIMUT(GRADOS)	ALCANCE MÁXIMO(KM)
Carcelén Alto	F1	270-30	5
	F2	30-150	5
	F3	150-270	5
UVN	F1	330-90	4
	F2	90-210	5
	F3	210-330	5
DNC	F1	280-40	5
	F2	40-160	5
	-	-	-
Simón Bolívar	F1	90-210	4
	F3	330-90	4
	-	-	-
Puengasí	-	-	-
	F2	0-120	4
	F3	240-0	5
Tarqui	F1	90-210	5
	F2	210-330	5
	-	-	-
Guamaní Alto	F1	120-240	5
	F2	0-120	5
	F3	240-0	8

Tabla 3.26 Reuso de Frecuencias

En la tabla 3.7 se especifican los radios máximos de propagación con sus respectivos azimuts de cobertura, en la que se puede apreciar la única excepción en el valor del alcance de la F5 en Guamaní Alto, que supera los valores de radio calculados en la ecuación (11) de este capítulo. La razón de este cambio se debe a que existen zonas montañosas que no permiten la cobertura desde la radio base localizada en Tarqui, y como consecuencia se debe aumentar el alcance en la BTS de Guamaní para lograr cubrir estos sectores.

## **3.8 CÁLCULO DEL RADIO DE PROPAGACIÓN PARA LA RED DE ACCESO**

### **3.8.1 DISEÑO DE LAS CELDAS**

El plan de reuso frecuencias que se utilizará, permitirá garantizar a la mayoría de los usuarios el acceso a la red por medio de cada estación base con los márgenes adecuados, para valores definidos de potencia, ganancia y pérdida de las antenas, que luego serán validados con las especificaciones técnicas de los equipos de las marcas fabricantes.

A continuación, se presenta el diseño de la cobertura que puede presentar cada radio base, tomando en cuenta que la propagación no sea de forma circular, sino hexagonal. Esta cobertura dependerá en su mayoría de los ángulos de apertura de las antenas de las estaciones base (azimut), la densidad de los usuarios y la geografía de los sectores de interés.

Para las estaciones base se pueden emplear antenas sectoriales con grados de apertura de  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$  ó  $180^\circ$ , dependiendo esto de la zona a ser cubierta y de la densidad de usuarios de la misma. En un punto anterior ya se mencionó el uso de tres sectores por radio base, lo que significa el uso de antenas de  $120^\circ$ , tal como se muestra la figura 3.13.

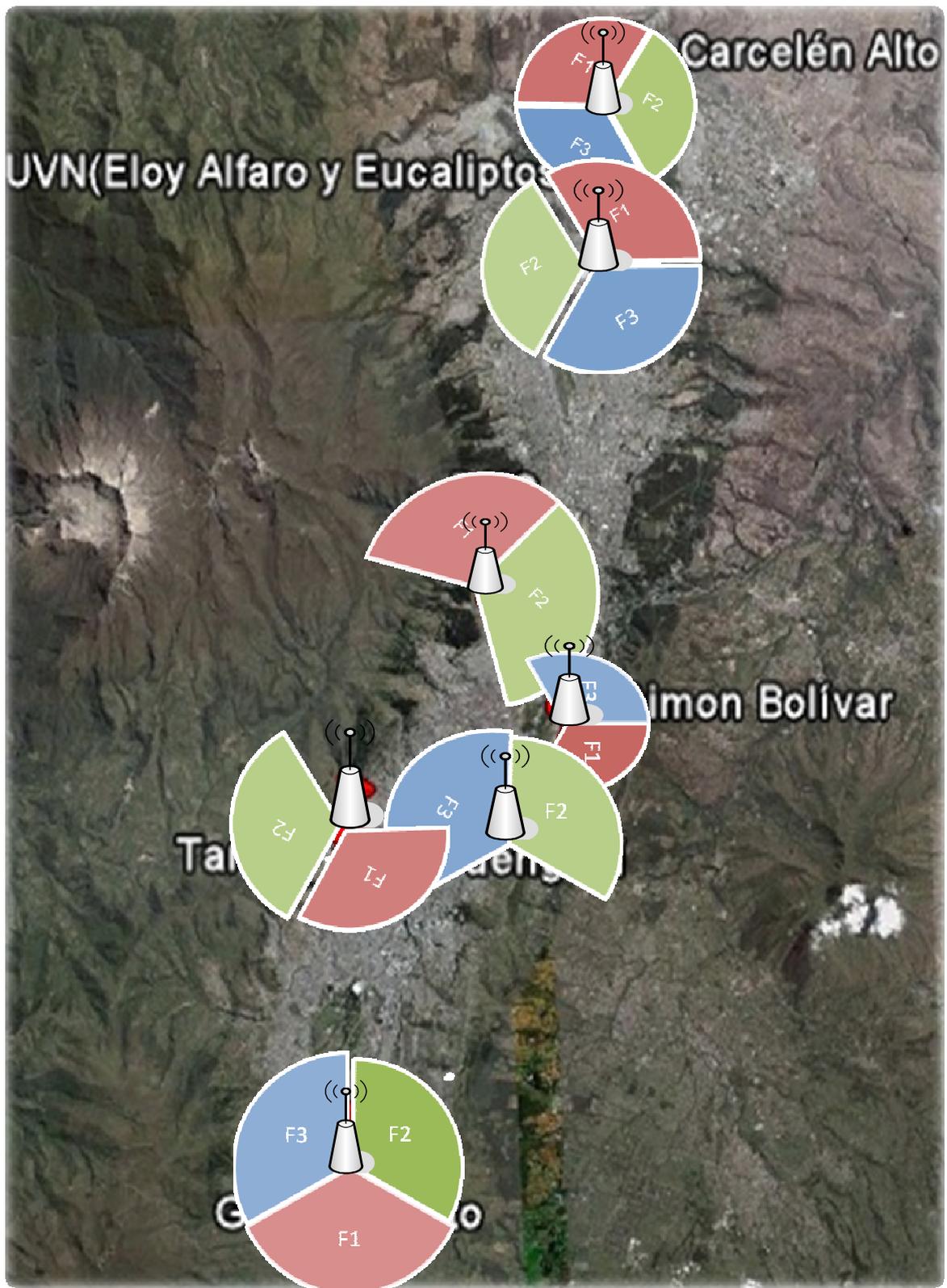


Figura 3.18 Diseño de las Celdas de Cobertura.

### 3.8.2 PRESUPUESTO DE LOS RADIO ENLACES DE ACCESO<sup>67</sup>

En este punto se procederá a calcular el presupuesto de los enlaces de radio de acceso, incluyendo también los valores de potencia mínimos de transmisión y recepción que deberán tener las radio-bases.

Como se describe en el plan de tesis se utilizará un software de simulación de sistemas inalámbricos llamado Radio Mobile, el mismo que utiliza el modelo de propagación de Longley-Rice para el cálculo del presupuesto del radio enlace en áreas urbanas.

El cálculo del presupuesto de un enlace puede ser dividido en 3 elementos importantes:

- Transmisor.
- Pérdidas de propagación.
- Receptor

Según el manual de Ayuda para uso y configuración de Radio Mobile, se utiliza los siguientes parámetros para el cálculo del margen de desvanecimiento del radio enlace:

$$M \text{ (dB)} = \text{Señal de recepción (dBm)} - R \text{ (dBm)} \quad (12)$$

$$M \text{ (dB)} = (Tx - L1 + A1 - P + A2 - L2) - R$$

Donde:

$$T \text{ (dBm)} = 10 \log_{10} (\text{potencia del tx en Watts}) + 30$$

$$L1 \text{ (dB)} = \text{Pérdida de la línea de transmisión}$$

$$A1 \text{ (dBi)} = \text{Ganancia relativa de la antena respecto a una isotrópica}$$

$$P \text{ (dB)} = \text{Pérdida típica del modelo Longley-Rice (incluyendo margen de desvanecimiento requerido)}$$

---

<sup>67</sup> RADIO MOBILE **Ayudas para la configuración y uso**

$A_2$  (dBi) = Ganancia de la antena de recepción con respecto a una isotrópica

$L_2$  (dB) = Pérdida de línea en el receptor

$R$  (dBm) = Sensibilidad del receptor

### 3.8.2.1 Pérdidas en el cable<sup>68</sup>

Cuando se quiere transportar una señal de radio, se pueden producir pérdidas en los cables que conectan el transmisor y el receptor con las antenas. Estas pérdidas se miden en dB/m o dB/pies y dependen del tipo de cable y la frecuencia de operación.

**Atenuación de cables coaxiales de uso frecuente**  
en dB/ 100 ft y (dB/ 100 m)

Tipo de Cable	144 MHz	220 MHz	450 MHz	915 MHz	1.2 GHz	2.4 GHz	5.8 GHz
RG-58	6.2 (20.3)	7.4 (24.3)	10.6 (34.8)	16.5 (54.1)	21.1 (69.2)	32.2 (105.6)	51.6 (169.2)
RG-8X	4.7 (15.4)	6.0 (19.7)	8.6 (28.2)	12.8 (42.0)	15.9 (52.8)	23.1 (75.8)	40.9 (134.2)
LMR-240	3.0 (9.8)	3.7 (12.1)	5.3 (17.4)	7.6 (24.9)	9.2 (30.2)	12.9 (42.3)	20.4 (66.9)
RG-213/214	2.8 (9.2)	3.5 (11.5)	5.2 (17.1)	8.0 (26.2)	10.1 (33.1)	15.2 (49.9)	28.6 (93.8)
9913	1.6 (5.2)	1.9 (6.2)	2.8 (9.2)	4.2 (13.8)	5.2 (17.1)	7.7 (25.3)	13.8 (45.3)

Figura 3.19 Atenuación del cable coaxial en dB/m

Según la tabla 3.14 se puede asumir el valor de 1dB por cada por cada 1m para la atenuación del cable en el cálculo del presupuesto de potencias.

### 3.8.2.2 Ganancia de la antena<sup>69</sup>

<sup>68</sup> <http://www.uca.edu.sv/facultad/clases/ing/m190068/doc1.pdf>

<sup>69</sup> Tesis: Estudio y Diseño de una Red Virtual Privada Móvil (VPN Móvil) con Tecnología WiMAX 802.16e-2005 Worldwide Interoperability For Microwave Access) para un Carrier local con cobertura en la zona norte de la ciudad de Quito, Andrés Edison Carrillo Ampudia, Capítulo 2. Quito, Febrero 2009.

La característica más importante de una antena es la ganancia, que significa la potencia de amplificación de una señal. La ganancia viene dada por la relación entre la intensidad de campo que produce una antena en un punto determinado, y la intensidad de campo que produce una antena llamada isotrópica, en el mismo punto y en las mismas condiciones. La medida de la ganancia se expresa en dBi.

Existen varios factores que afectan en la ganancia real de una antena, principalmente cuando existe una incorrecta instalación se pueden tener pérdidas por la inclinación, en la polarización, y objetos metálicos adyacentes. Esto significa que sólo puede esperar una ganancia completa de antena, si está instalada correctamente.

### **3.8.2.3 Modelo de Longley-Rice (ITS Irregular Terrain Model)<sup>70</sup>**

Este modelo se aplica a sistemas punto a punto y a esquemas de comunicación en el rango de frecuencias desde VHF hasta EHF, es decir, desde los 40 MHz hasta los 100 GHz, sobre diferentes tipos de terrenos.

La pérdida de propagación es obtenida utilizando información sobre la geometría del terreno entre el receptor y transmisor, y las características refractivas de la tropósfera.

El método Longley-Rice trabaja en dos modos: uno es cuando se dispone de una detallada descripción del perfil del terreno, facilitando la obtención de los parámetros de propagación, a esto se le conoce como modo de predicción punto a punto. El otro es cuando no se dispone del perfil del terreno, para lo cual el método dispone de una técnica para estimar los parámetros específicos, a este modo se le conoce como predicción de área.

Este método ha sido objeto de modificaciones, una de las últimas ha sido la introducción de un nuevo factor llamado factor urbano (UF), con el cual se hace referencia a la atenuación debida a obstáculos que se presentan antes de llegar a la antena receptora.

---

<sup>70</sup> [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/trevino\\_c\\_jt/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/trevino_c_jt/capitulo5.pdf)

### 3.8.2.3.1 Cálculo del factor urbano del modelo Longley-Rice

Para calcular este valor se utiliza la siguiente fórmula:

$$UF = 16,5 + 15 \log (f/100) + 0,12d \text{ [dB]} \quad (13)$$

Donde:

UF: Factor Urbano

F: frecuencia en MHz

d: distancia en Km

Ejemplo:

$$UF = 16,5 + 15 \log (4910/100) + 0,12(5)$$

$$UF = 41,27 \text{ [dB]}$$

Localidad	Simbología	Frecuencia(MHz)	Distancia(Km)	UF(dB)
Carcelén Alto	F1	4910	5	41,27
	F2	4930	5	41,29
	F3	4950	5	41,32
UVN	F1	4910	4	41,39
	F2	4930	5	41,29
	F3	4950	5	41,32
Localidad	Simbología	Frecuencia(MHz)	Distancia(Km)	UF(dB)
DNC	F1	4910	5	41,27
	F2	4930	5	41,29
Simón Bolívar	F1	4910	4	41,39
	F3	4950	4	41,44
Puengasí	F2	4930	4	41,41
	F3	4950	5	41,32
Tarqui	F1	4910	5	41,27
	F2	4930	5	41,29
Guamaní Alto	F1	4910	5	41,27
	F2	4930	5	41,29
	F3	4950	8	40,96

Tabla 3.27 Factor Urbano calculado para cada radio-base.

### 3.8.2.4 Margen de Desvanecimiento

Se define al margen de desvanecimiento como la diferencia en dB entre el nivel de la potencia recibida y el nivel mínimo de potencia que asegura una determinada tasa de error BER, cuya fórmula de cálculo es la siguiente:

$$MD = 30\log D + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70 \quad (14)$$

Donde:

MD: margen de desvanecimiento en dB.

D: Distancia (Km.).

f : Frecuencia (MHz).

R: Confiabilidad de la conexión

A: Factor de Rugosidad del terreno

B: Factor climático

La tabla 3.9 muestra los valores de los factores A y B.

FACTOR	VALOR	CONDICIONES
A	4	Terreno muy liso, incluyendo en el agua
	1	Terreno promedio con alguna rugosidad
	¼	Terreno montañoso muy rugoso
B	½	Grandes lagos, áreas húmedas o áreas calientes similares
	¼	Áreas continentales promedio
	1/8	Áreas montañosas o muy secas

Tabla 3.28 Valores de los factores A y B.

Ejemplo de cálculo para la F1 de Guamaní Alto :

$$MD = 30 \log (5) + 10 \log (6 \cdot 1^{1/4} \cdot 4910) - 10 \log (1 - 0,9999) - 70$$

$$MD = 29,64 \text{ dB}$$

La tabla 3.10 muestra el margen de desvanecimiento calculado entre un móvil y cada estación base:

Localidad	Simbología	Distancia(Km)	Rugosidad del Terreno(A)	Factor Climático(B)	Frecuencia(MHz)	Confiabilidad	MD(dB)
Carcelén Alto	F1	5	1	1/4	4910	0,9999	29,64
	F2	5	1	1/4	4930	0,9999	29,66
	F3	5	1	1/4	4950	0,9999	29,68
UVN	F1	4	1	1/4	4910	0,9999	26,73
	F2	5	1	1/4	4930	0,9999	29,66
	F3	5	1	1/4	4950	0,9999	29,68
DNC	F1	5	1	1/4	4910	0,9999	29,64
	F2	5	1	1/4	4930	0,9999	29,66
Simón Bolívar	F1	4	1	1/4	4910	0,9999	26,73
	F3	4	1	1/4	4950	0,9999	26,77
Puengasí	F2	4	1	1/4	4930	0,9999	26,75
	F3	5	1	1/4	4950	0,9999	29,68
Tarqui	F1	5	1	1/4	4910	0,9999	29,64
	F2	5	1	1/4	4930	0,9999	29,66
Guamaní Alto	F1	5	1	1/4	4910	0,9999	29,64
	F2	5	1	1/4	4930	0,9999	29,66
	F3	8	1	1/4	4950	0,9999	35,80

Tabla 3.29 Margen de Desvanecimiento calculado en cada Radio-Base.

### 3.8.2.5 Potencia de Recepción

Se trata de la potencia de la señal que ingresa al receptor, la misma que se expresa en dBm. El estándar IEEE 802.16 – 2009 define a la potencia de recepción máxima que puede tener un suscriptor en -30 dBm.

#### 3.8.2.5.1 Sensibilidad del Receptor

Es un parámetro que indica el valor mínimo de potencia necesaria para que sea posible extraer los "bits lógicos" de la señal de radio, y así mantener una cierta tasa de transferencia. Para el cálculo de este valor se emplea la siguiente fórmula:

$$R = P_{RX} - MD \text{ [dBm]} \quad (15)$$

Según el estándar IEEE 802.16 – 2009<sup>71</sup> la máxima potencia de recepción que debería tener una estación suscriptora es de -30 dBm, con este dato a continuación se tiene el valor de sensibilidad de recepción que debería tener una estación suscriptora ubicada en la radio base de Carcelén Alto:

$$R = -30 \text{ dBm} - 29,64 = -59,64 \text{ dBm}$$

La tabla 3.11 muestra los valores de sensibilidad de recepción que se requieren en cada radio base:

MD(dB)	Sensibilidad del receptor(dbm)
29,64	-59,64
29,66	-59,66
29,68	-59,68
26,73	-56,73
29,66	-59,66
29,68	-59,68
29,64	-59,64
29,66	-59,66
26,73	-56,73
26,77	-56,77
26,75	-56,75
29,68	-59,68
29,64	-59,64
29,66	-59,66
29,64	-59,64
29,66	-59,66
35,80	-65,80

Tabla 3.30 Sensibilidad calculada en el receptor.

<sup>71</sup> <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2009.pdf>

### 3.8.2.6 Potencia de Transmisión

Se trata de la potencia que sale del transmisor. Sus valores máximos dependen de la frecuencia de operación del marco regulatorio vigente en cada país. En general, los transmisores con mayor potencia de salida son más costosos. La potencia del transmisor se expresa en unidades lineales (mW, W) o logarítmicas (dBm, dBW).

$$P_{Tx} = P_{Rx} + L1 - A1 + UF - A2 + L2 \text{ [dBm]} \quad (16)$$

Donde:

$P_{Tx}$ : Potencia de Transmisión [dBm]

$P_{Rx}$ : Potencia de Recepción [dBm]

L1: Pérdida en la línea del transmisor [dB]

A1: Ganancia de la antena de transmisión [dB]

A2: Ganancia de la antena de recepción [dB]

L2: Pérdida en la línea de recepción [dB]

El siguiente cálculo muestra la potencia de transmisión necesaria para cada radio-base, con antenas de 10 dBi tanto para transmisión como para recepción:

$$P_{Tx} = -30 + 30 - 10 + 41 - 10 + 0$$

$$P_{Tx} = 21 \text{ dBm}$$

En la tabla 3.12 se muestran la potencia de transmisión de las radio-bases con diferentes valores de ganancias, tanto para la transmisión como para la recepción, y considerando también la potencia de recepción máxima y mínima en el suscriptor:

**(PRx max=-30 dBm)**

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTX[dBi]						
10	21	19	17	15	13	11
12	19	17	15	13	11	9
14	17	15	13	11	9	7
16	15	13	11	9	7	5
18	13	11	9	7	5	3
20	11	9	7	5	3	1

**(PRx min=Sensibilidad del receptor)**

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTX[dBi]						
10	-8,33	-10,33	-12,33	-14,33	-16,33	-18,33
12	-10,33	-12,33	-14,33	-16,33	-18,33	-20,33
14	-12,33	-14,33	-16,33	-18,33	-20,33	-22,33
16	-14,33	-16,33	-18,33	-20,33	-22,33	-24,33
18	-16,33	-18,33	-20,33	-22,33	-24,33	-26,33
20	-18,33	-20,33	-22,33	-24,33	-26,33	-28,33

Tabla 3.31 Cálculo de potencia de transmisión de las radio-bases considerando potencia de recepción máxima y mínima en el receptor, con valores típicos de ganancias

### 3.8.3 SIMULACIÓN DE COBERTURA DE LAS RADIO BASES<sup>72</sup>

Para tener una idea más clara del funcionamiento de la red y su cobertura, se utilizará el software de simulación Radio Mobile. A través de este programa se podrá realizar un levantamiento digital del terreno y calcular el área de cobertura, midiendo niveles de potencia de las diferentes antenas.

Además, Radio Mobile contiene una base de datos de elevaciones, que permite determinar la existencia de línea de vista entre ciertos puntos. Radio Mobile ejecuta los cálculos de cualquier enlace en cualquier banda de frecuencia, desde HF hasta SHF de manera automática, y permite observar el efecto de cambiar la ganancia de las antenas, altura de las mismas, atenuación de los cables, etc. Una

<sup>72</sup> Tesis "Diseño de un "Backbone" Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios", Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006

vez trazado el perfil, calcula el despeje del 60% de la primera zona de Fresnel que permite una buena comunicación.

### **3.8.3.1 Área de Cobertura Radio Base Carcelén Alto**

La altura a la que se encuentren las antenas de esta BTS, será aproximadamente de 30 m sobre el nivel de tierra. Además se puede observar en la Figura 3.15, los niveles de potencia marcados con diferentes colores, siendo el color rojo el valor más alto que se puede alcanzar con un valor aproximado de -60 dbm. Estos valores tienen relación directa con el alcance de las antenas y también con la línea de vista existente en la zona de cobertura.

Alrededor de esta radio base existen pequeñas zonas demográficas irregulares que impiden la cobertura total de los sectores de interés, pero se considerarán despreciables, ya que celdas adyacentes pueden ayudar a cubrirlas de mejor manera mediante el solapamiento.

El radio máximo alcanzado es de 5 Km, y se podrá cubrir gran parte del extremo norte del DMQ.

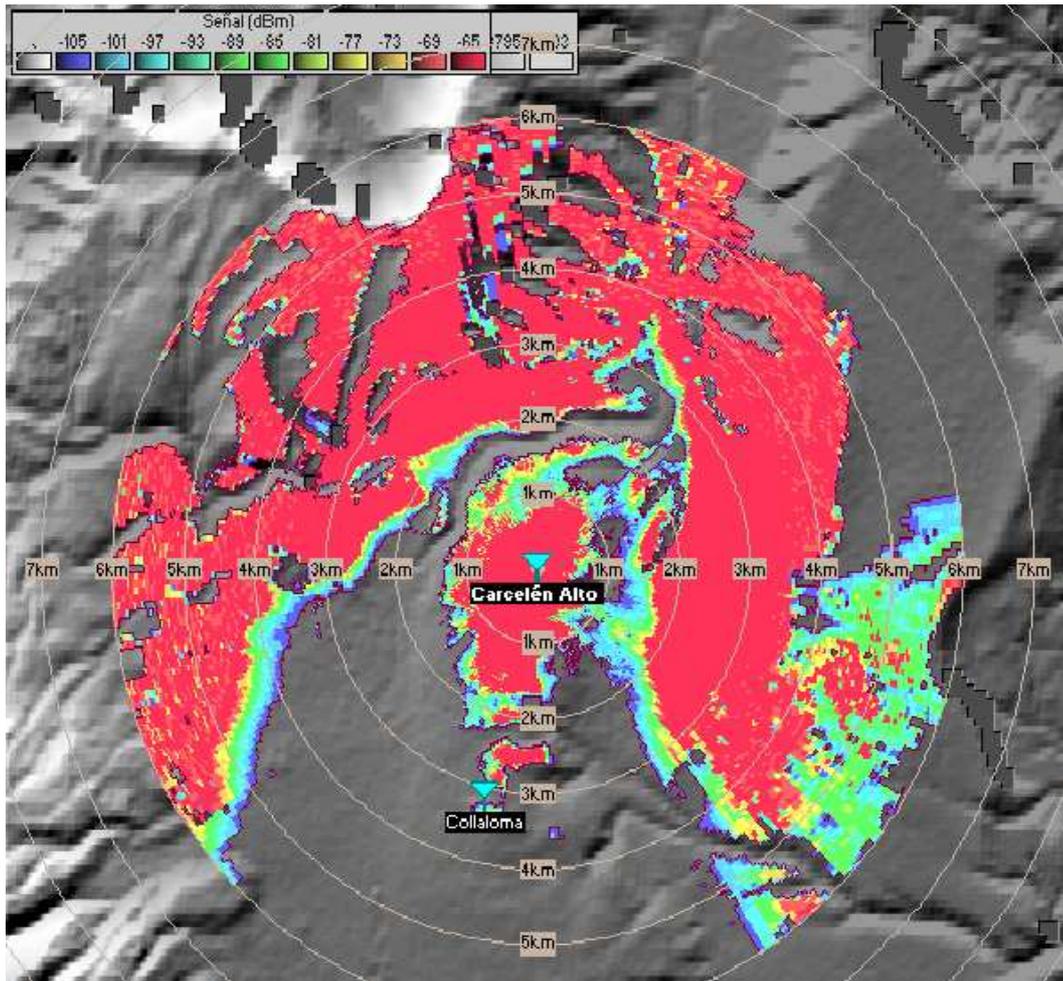


Figura 3.20 Área de Cobertura BTS Carcelén Alto.

### 3.8.3.2 Área de Cobertura Radio Base UVN

Esta radio base permite cubrir alcances máximos de 4 y 5 Km como se explicó anteriormente, dependiendo de la zona a cubrir. De igual manera se puede observar en la figura 3.16 que la potencia máxima alcanzada se encuentra en el sector occidental de la BTS con un valor de  $-60$  dbm. La zona oriental logra tener una cobertura de 1 Km, debido a la zona montañosa existente, pero representan sectores que encuentran fuera del DMQ urbano.

La BTS – UVN permitirá cubrir todo el sector norte de Quito, así como también las zonas muertas (sin cobertura) que no se pudo alcanzar con la BTS – Carcelén Alto.

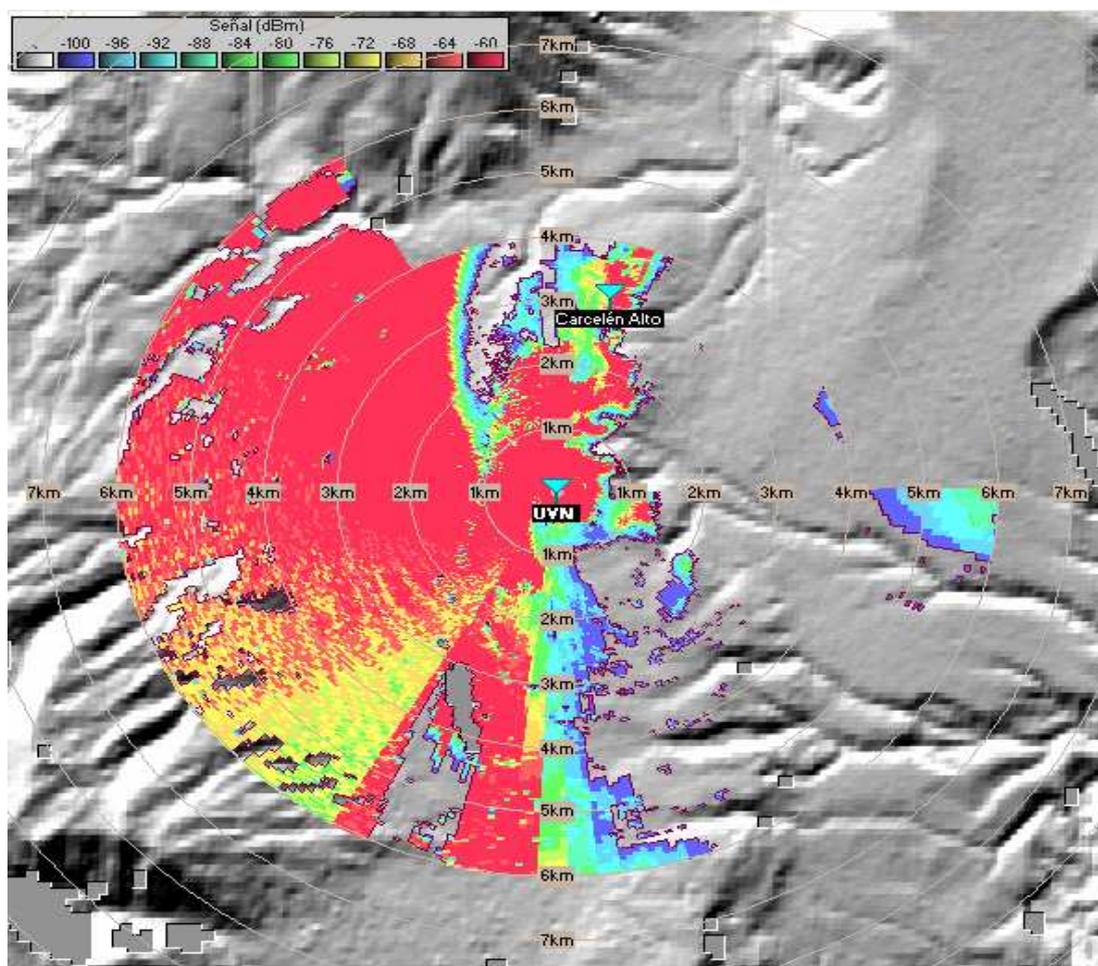


Figura 3.21 Área de Cobertura BTS UVN.

### 3.8.3.3 Área de Cobertura Radio Base DNC

La figura 3.17 muestra la potencia y la cobertura alcanzada por la BTS, la cual tiene su valor máximo de  $-60$  dBm dirigido en su mayoría a la zona oriental. La accidentada zona montañosa no permite cubrir toda la zona de interés que consiste en el centro-norte del DMQ. Las celdas adyacentes ayudarán a resolver el problema.

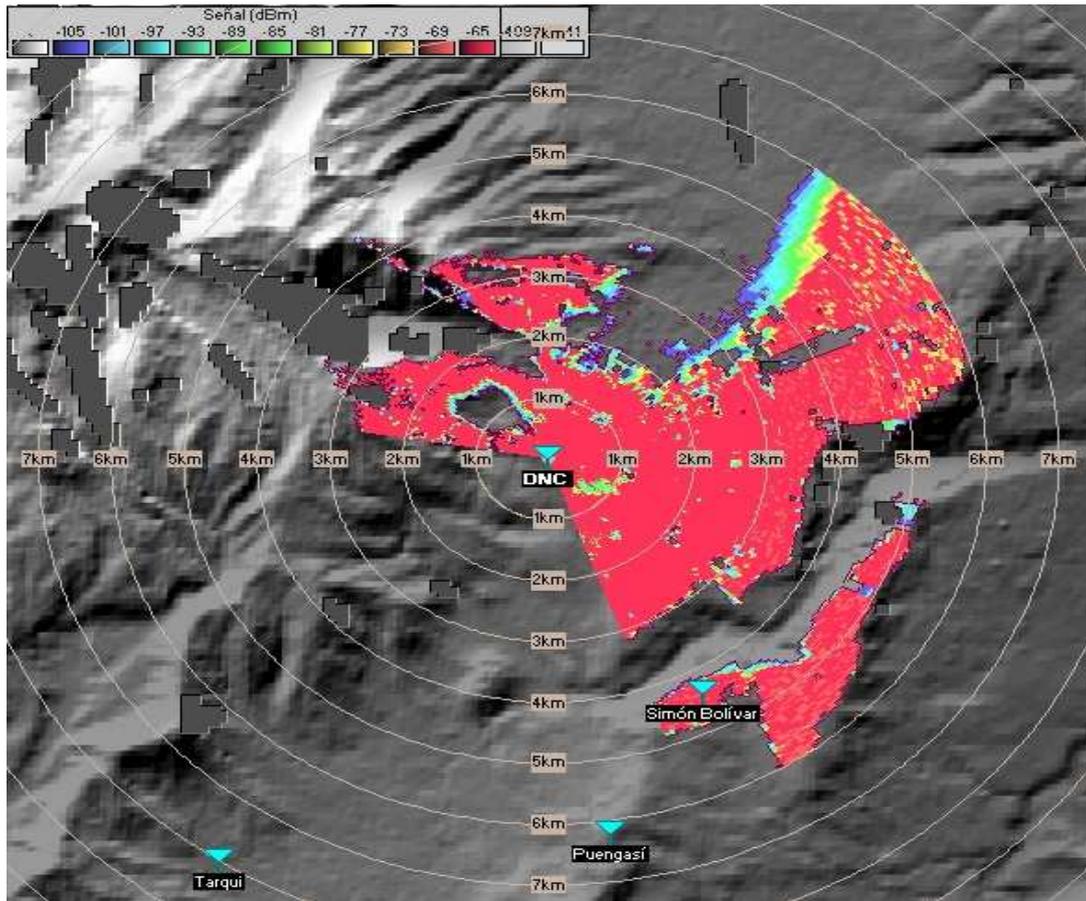


Figura 3.22 Área de Cobertura BTS DNC.

### 3.8.3.4 Área de Cobertura Radio Base Simón Bolívar

La BTS - Simón Bolívar, ayudará a cubrir las zonas muertas en centro del DMQ, que no pueden ser alcanzadas por las celdas vecinas. Esta radio base tendrá un radio máximo de 4 Km con una potencia de -60 dBm en la mayoría de sus alrededores.

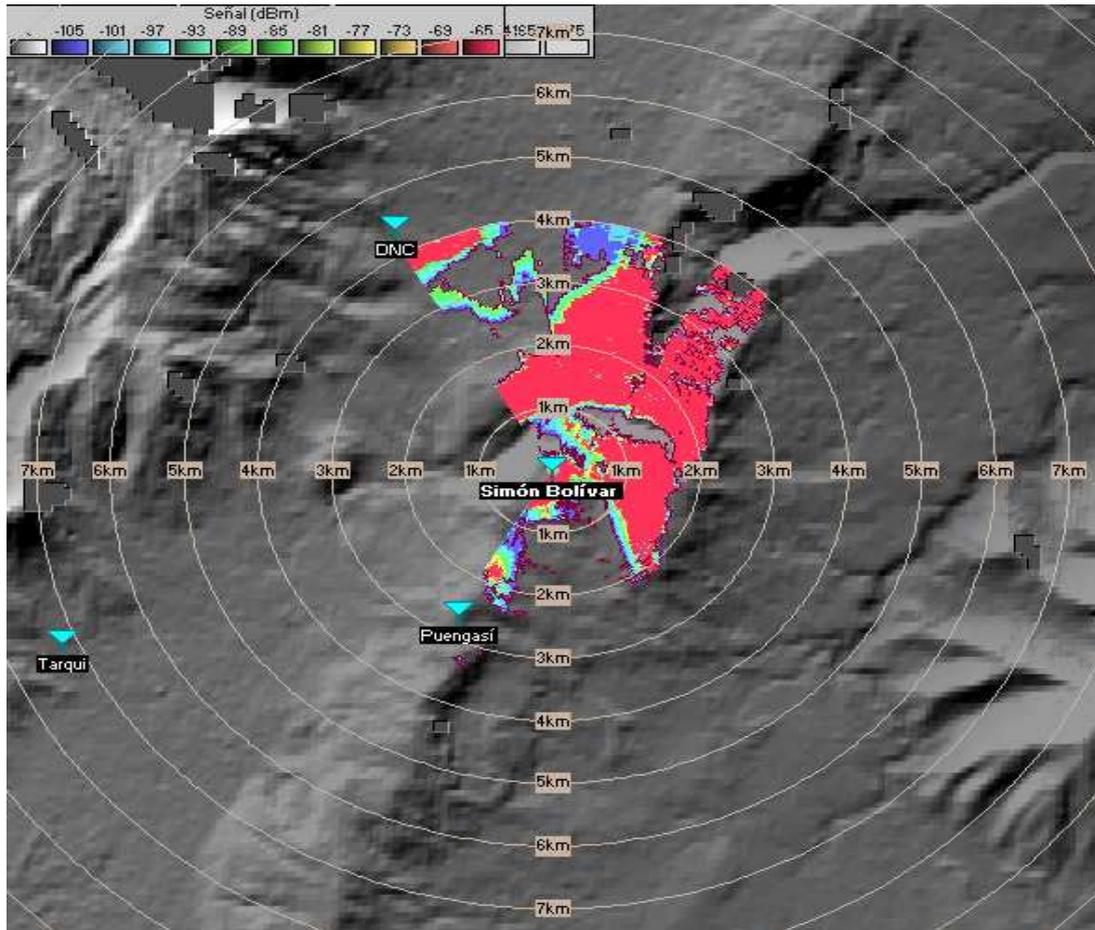


Figura 3.23 Área de Cobertura BTS Simón Bolívar.

### 3.8.3.5 Área de Cobertura Radio Base Puengasí

La BTS – Puengasí permitirá llegar a sectores del centro - norte, centro y una parte del sur del DMQ, con un radio máximo dirigido hacia el occidente de 5 Km y -60 dBm de potencia en la mayoría de su celda de cobertura. Existen sectores a su alrededor que no serán cubiertos ni siquiera por sus celdas vecinas, debido a la zona montañosa existente.

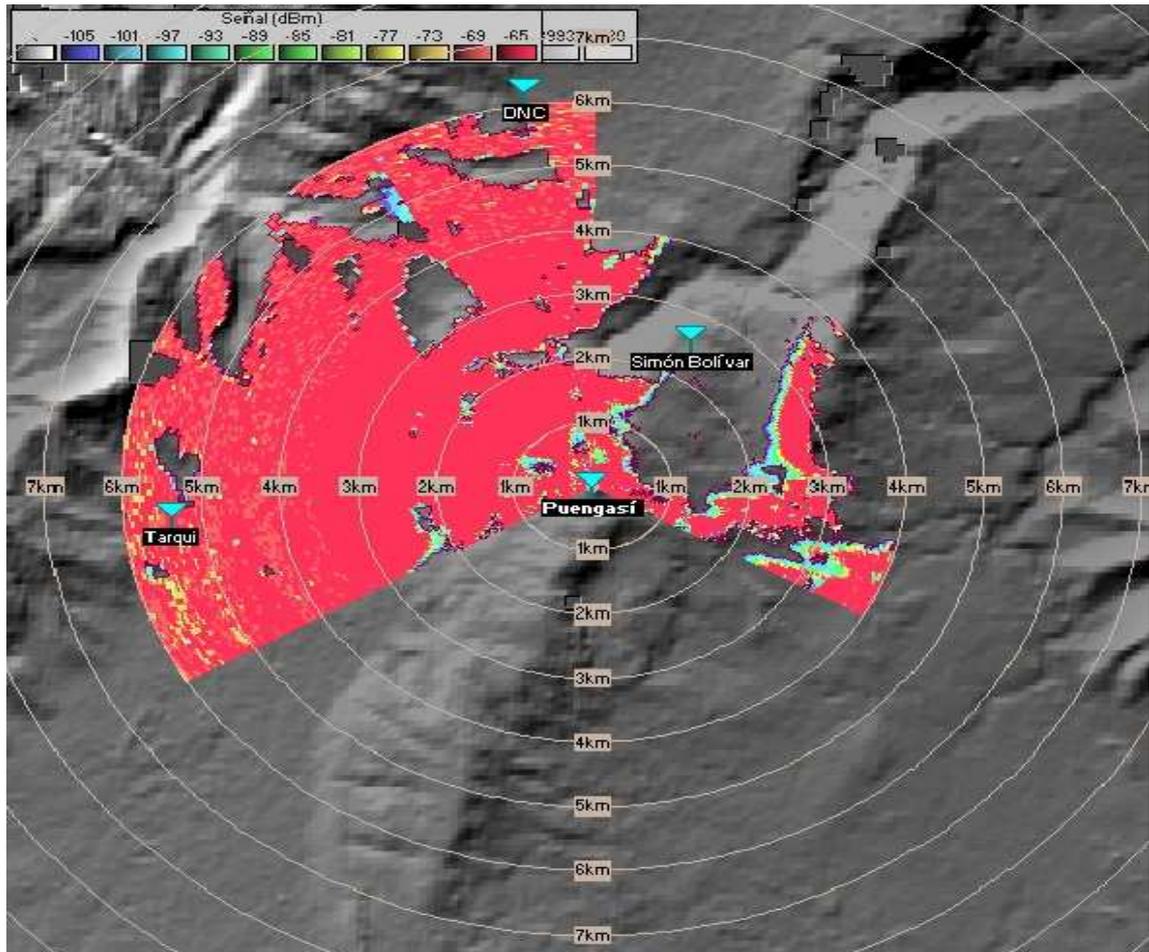


Figura 3.24 Área de Cobertura BTS Puengasí.

### 3.8.3.6 Área de Cobertura Radio Base Tarqui

La cobertura de esta BTS alcanzará gran parte del sur del DMQ, con un radio máximo de propagación de 5 Km hacia el occidente. La figura 3.20 permite observar que la potencia es de aproximadamente -65 dBm en la mayoría de los sectores cubiertos.

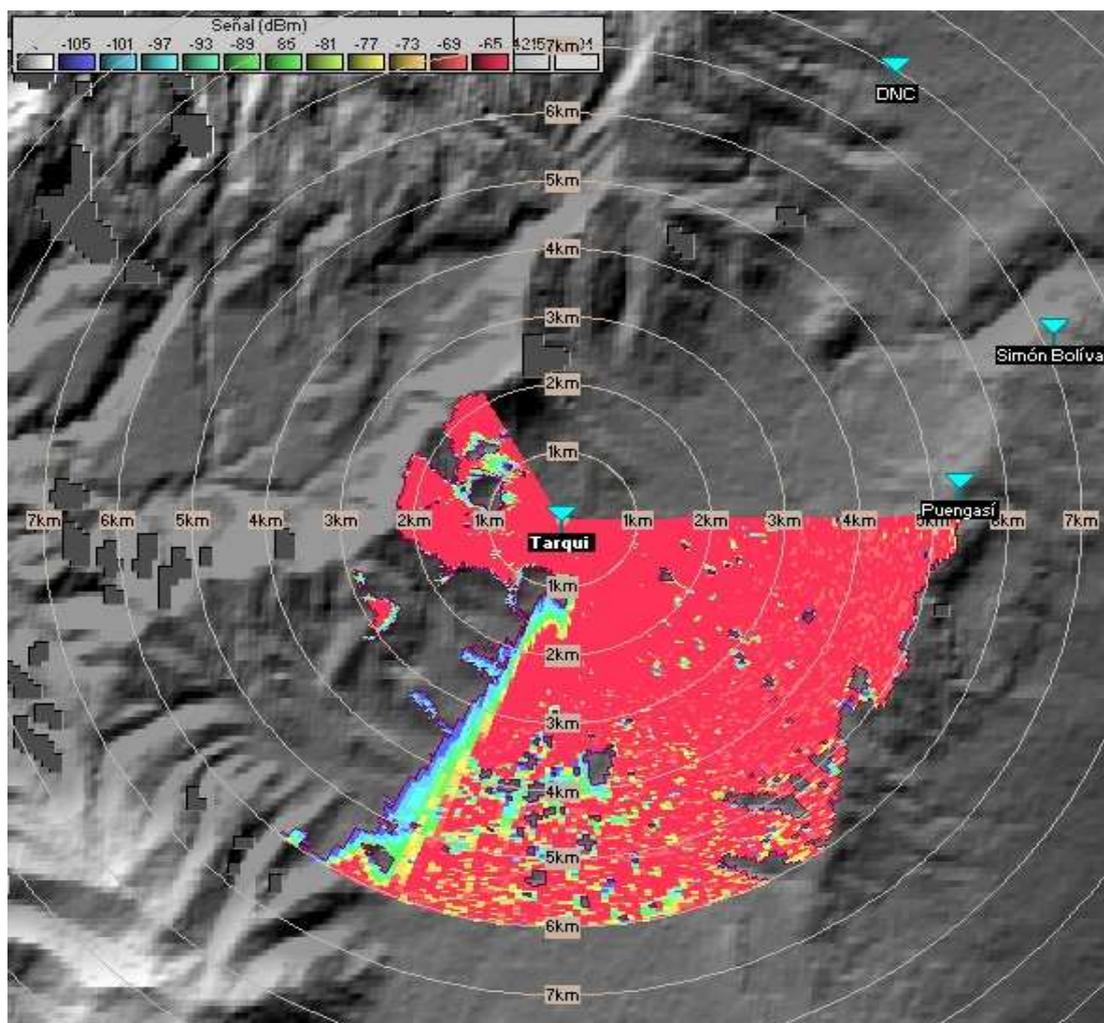


Figura 3.25 Área de Cobertura BTS Tarqui.

### 3.8.3.7 Área de Cobertura Radio Base Guamaní Alto

La radio base localizada en Guamaní permitirá cubrir todo el extremo sur de Quito, con radios máximos de 5 y 8 Km y con una potencia de -65 dBm en la mayoría de los sectores de interés.

Con esta BTS se podrá cubrir algunos sectores que no pudieron ser alcanzados por la radio base de Tarqui, debido a la accidentada geografía del lugar, por esta razón se utilizó un radio mayor al calculado anteriormente.

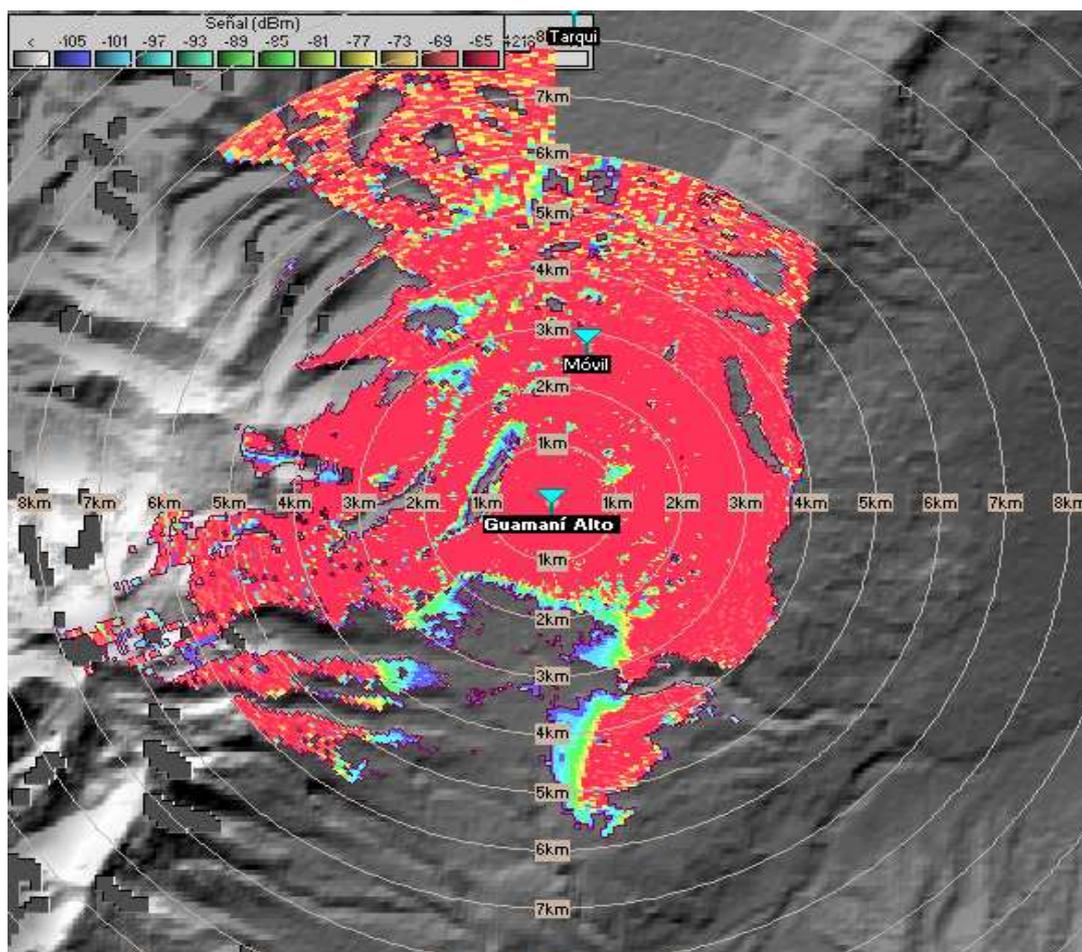


Figura 3.26 Área de Cobertura BTS Guamaní Alto.

### 3.8.3.8 Cobertura Total

En la figura 3.22, se aprecia la cobertura total que tendrá la ciudad de Quito, a lo largo de todo su perímetro urbano y que es la zona de interés del presente proyecto. Las radio bases colocadas de manera estratégica permiten tener una red de propagación casi total, con celdas sobrelapadas, sin interferencias y con un alto nivel de potencia.

Existen pequeñas áreas a las cuales no llegarán las señales de radiofrecuencia, pero se considerarán despreciables, en comparación a la cobertura total que tendrá el sistema.

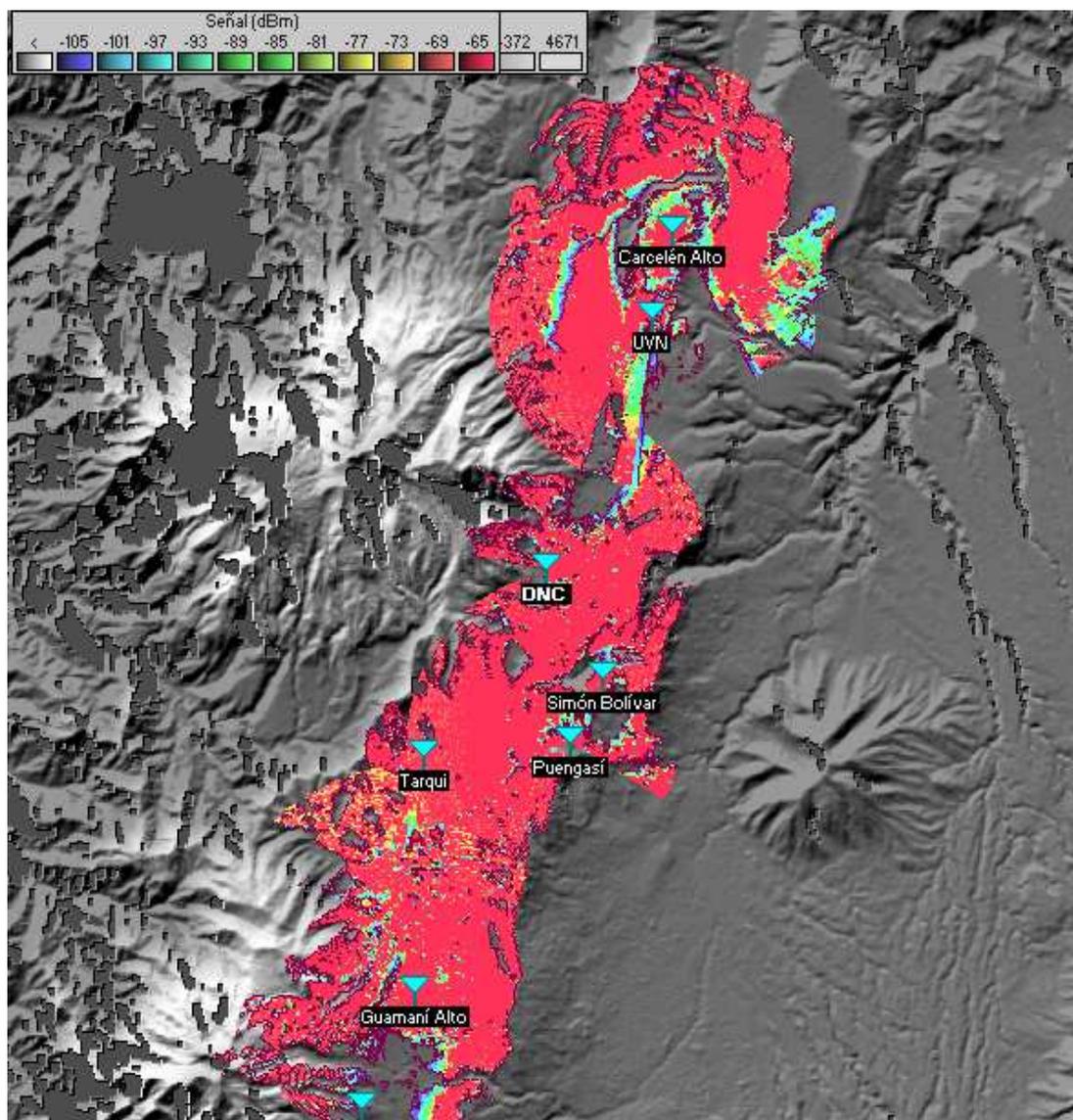


Figura 3.27 Área de Cobertura BTS Total.

## 3.9 BACKBONE DE LA RED

### 3.9.1 DISEÑO DE ENLACES PUNTO A PUNTO

En actualidad, existen varias tecnologías para la comunicación entre radio bases, entre las más importantes se pueden mencionar: enlaces microondas, fibra óptica; dependiendo en gran parte de la solución que proporcionen cada uno de los fabricantes. En este proyecto se propone una implementación del backbone de la red utilizando enlaces microondas punto a punto.

Debido a que no existe línea de vista entre todas las estaciones base, resulta necesario añadir dos sitios de repetición de las señales microondas; este sitio será localizado en las antenas de Cruz Loma (latitud  $0^{\circ} 11' 16''$  S, longitud  $78^{\circ} 32' 9''$  O) y Regimiento Quito (latitud  $0^{\circ} 11' 5.4''$  S, longitud  $78^{\circ} 30' 17.4''$  O) pertenecientes a la Policía Nacional, a una altura de 3930 m y 2930 m, respectivamente sobre el nivel del mar. Estos sitios permitirán retransmitir la información de las BTS más lejanas al sistema centralizado de la DNC.

En la figura 3.23 se puede apreciar la topología similar a un anillo que se ha diseñado para garantizar la disponibilidad de la red en su totalidad, mediante el empleo de enlaces redundantes.

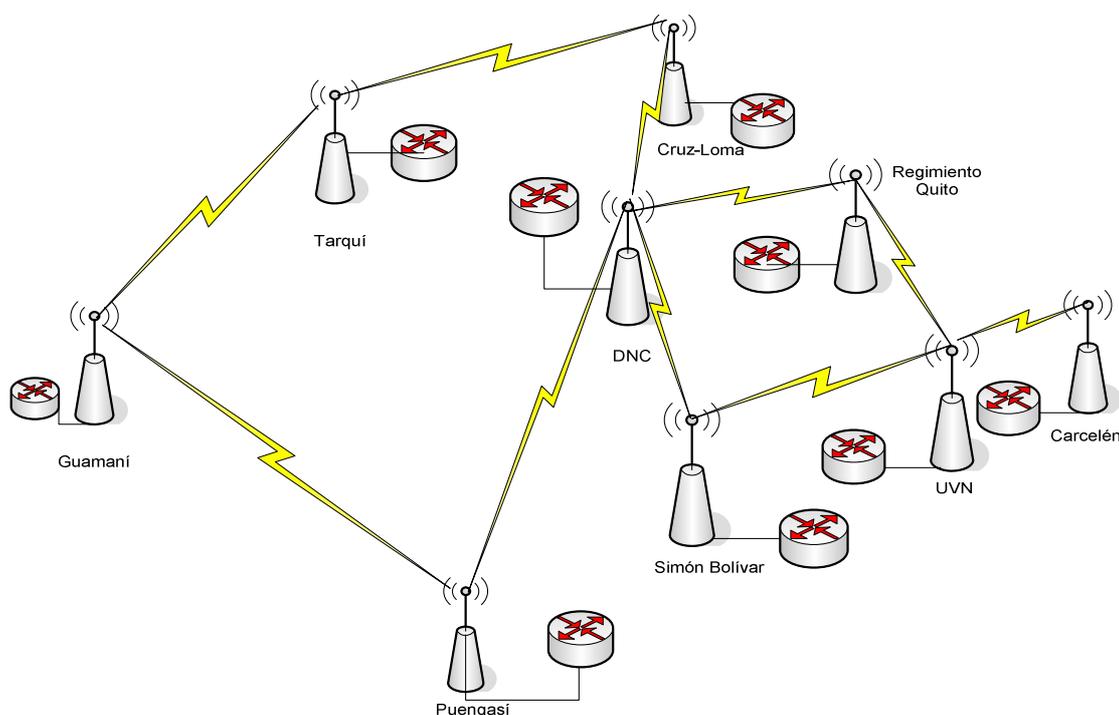


Figura 3.28 Backbone Inalámbrico.

La topografía del DMQ impide que desde el nodo Carcelén Alto se tenga línea de vista directa hacia otros nodos, excepto a UVN, con lo que no se logrará la total redundancia en la red.

En la tabla 3.13 se muestran los enlaces propuestos para este proyecto, utilizando la frecuencia F4 (4960 – 4980MHz) especificada en el punto 3.7.1 de este capítulo.

NODO	ENLACE	TIPO DE ENLACE	DISTANCIA(KM)	ALTURA DE LAS ANTENAS SOBRE EL NIVEL DE TIERRA(M)
Guamaní- Alto	Guamaní- Puengasí	Principal	10,44	40
	Guamaní- Tarqui	Redundante	8,46	30
Tarqui	Tarqui-Cruz Loma	Principal	8	30
Puengasí	Puengasí- DNC	Principal	6	40
Simón Bolívar	Simón Bolívar-DNC	Principal	4,42	40
UVN	UVN-Simón Bolívar	Principal	12,7	40
	UVN- Carcelén	Principal	3,15	30
DNC	DNC-Cruz Loma	Principal	2,88	30
Regimiento Quito	Regimiento Quito – UVN	Redundante	8,2	40
	Regimiento Quito – DNC	Redundante	1,5	40

Tabla 3.32 Enlaces Microondas de Backbone

### 3.9.2 CÁLCULO DE ENLACES<sup>73</sup>

<sup>73</sup> Tesis: Estudio y Diseño de una Red Virtual Privada Móvil (VPN Móvil) con Tecnología WiMAX 802.16e-2005 Worldwide Interoperability For Microwave Access) para un Carrier local con cobertura en la zona norte de la ciudad de Quito, Andrés Edison Carrillo Ampudia, Capítulo 2. Quito, Febrero 2009.

Diseñar un enlace inalámbrico significa definir el presupuesto de potencia necesario para interconectar dos estaciones, tomando en cuenta ganancias y pérdidas desde el radio transmisor, a través de cables, conectores y espacio libre hacia el receptor.

La estimación de los valores de potencia en diferentes partes de un radioenlace, resulta útil al momento de elegir los equipos de red.

Radio Mobile utiliza el modelo de propagación en el espacio libre para el cálculo de los enlaces punto a punto; el resto de pérdidas se consideran despreciables. Por esta razón el presupuesto de potencia se calcula de la siguiente manera:

$$P_{TX} = P_{RX} + L_{TX} - A_{TX} + A_0 + L_{RX} - A_{RX} \text{ [dbm]} \quad (17)$$

Donde:

$P_{TX}$ : Potencia de Transmisión [dBm]

$P_{RX}$ : Potencia de Recepción [dBm]

$L_{TX}$ : Pérdida en la línea del transmisor [dB]

$A_{TX}$ : Ganancia de la antena de transmisión [dB]

$A_{RX}$ : Ganancia de la antena de recepción [dB]

$L_{RX}$ : Pérdida en la línea de recepción [dB]

### 3.9.2.1 Pérdidas por el espacio libre<sup>74</sup>

La siguiente ecuación permite calcular la atenuación en el espacio libre:

$$A_0 = 92.4 + 20 \log f + 20 \log d \text{ [dB]} \quad (18)$$

Las pérdidas debido a las lluvias no se toman en cuenta debido a que se van a utilizar frecuencias menores a los 5GHz. Entonces, los enlaces a calcular se muestran a continuación:

---

Por ejemplo, para el enlace entre Guamaní y Puengasí se tiene:

Distancia (d) = 10.44 Km

Frecuencia (f) = 4.97 GHz

$$A_o = 92.4 + 20 \log (4.97) + 20 \log (10.44) = 126.7 \text{ dB}$$

En la tabla 3.14 se muestran los cálculos para el resto de enlaces.

Enlace	Distancia(Km)	Frecuencia(GHz)	Ao(dB)
Guamaní-Puengasí	10,44	4,97	126,70
Guamaní-Tarqui	8,46	4,97	124,87
Tarqui-Cruz Loma	8	4,97	124,39
Puengasí-DNC	6	4,97	121,89
Simón Bolívar-DNC	4,42	4,97	119,24
UVN-Simón Bolívar	12,7	4970	188,40
UVN-Carcelén	3,15	4,97	116,29
DNC- Cruz Loma	2,88	4,97	115,51
Regimiento-UVN	8,2	4,97	124,60
Regimiento Quito-DNC	1,5	4,97	109,85

Tabla 3.33 Pérdidas en el espacio libre para cada radio-enlace

### 3.9.2.2 Potencia de Recepción<sup>75</sup>

<sup>75</sup><http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16-2009.pdf>

El estándar 802.16-2009, especifica la potencia de recepción máxima para decodificar una señal en -45 dBm para una radio-base.

Como ya se mencionó en la ecuación (15), la potencia en el lado del receptor se obtiene de la siguiente expresión:

$$P_{RX} = MD - U_{RX} \text{ [dBm]}$$

Resulta importante la consideración del margen de desvanecimiento en la determinación de la ganancia de un sistema, puesto que puede producir alteraciones en la pérdida de trayectoria en el espacio libre.

En la ecuación (14) se determinó la expresión matemática para encontrar el margen de desvanecimiento, lo que servirá para calcular los enlaces punto-punto; como se muestra en el siguiente ejemplo:

#### *Enlace Guamaní Alto-Puengasí*

$$MD = 30 \log (10.44) + 10 \log (6 \cdot 1^{1/4} \cdot 4970) - 10 \log (1 - 0,99) - 70$$

$$MD = 19.29 \text{ dB}$$

En la tabla 3.15 se muestra el Margen de Desvanecimiento calculado para cada radio-enlace.

Localidad	Distancia(Km)	Rugosidad del Terreno(A)	Factor Climático(B)	Frecuencia(MHz)	Confiabilidad	MD(dB)
Guamaní-Puengasí	10,44	1	¼	4970	0,99	19,29
Guamaní-Tarqui	8,46	1	¼	4970	0,99	16,55
Tarqui-Cruz Loma	8	1	¼	4970	0,99	15,82
Puengasí- DNC	6	1	¼	4970	0,99	12,07
Simón Bolívar-DNC	4,42	1	¼	4970	0,99	8,09

Localidad	Distancia(Km)	Rugosidad del Terreno(A)	Factor Climático(B)	Frecuencia(MHz)	Confiabilidad	MD(dB)
UVN-Simón Bolívar	12,7	1	¼	4970	0,99	21,84
UVN-Carcelén	3,15	1	¼	4970	0,99	3,67
DNC- Cruz Loma	2,88	1	¼	4970	0,99	2,51
Regimiento-UVN	8,2	1	¼	4970	0,99	16,14
RegimientoQuito-DNC	1,5	1	¼	4970	0,999	4,01

Tabla 3.34 Margen de Desvanecimiento calculado para cada enlace.

La sensibilidad de los equipos de recepción se muestra a continuación en la tabla

3.16

MD(dB)	Sensibilidad del receptor(dbm)
19,29	-64,29
16,55	-61,55
15,82	-60,82
12,07	-57,07
8,09	-53,09
21,84	-66,84
3,67	-48,67
12,51	-57,51
16,14	-61,14
4,01	-49,01

Tabla 3.35 Sensibilidad del Receptor para los enlaces de backhaul.

### 3.9.2.3 Potencia de Transmisión

Entonces, con la expresión definida en la ecuación (17), se podrán calcular los presupuestos de potencia de cada uno de los enlaces, como en el siguiente ejemplo:

$$P_{TX} = -45 + 40 - 40 - 10 + 124.59 + 10 \text{ [dbm]}$$

$$P_{TX} = 61.69 \text{ [dBm]}$$

A continuación se muestran las potencias de transmisión de las radio-bases con diferentes valores de ganancias, tanto para la transmisión como para la recepción, y considerando también la potencia de recepción máxima y mínima en la otra radio-base:

➤ *Enlace Guamaní Alto - Puengasí:*

PRx max=-45 dBm

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	61,69					
12		57,69				
14			53,69			
16				49,69		
18					45,69	
20						41,69

PRx min=Sensibilidad del receptor

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	42,40					
12		38,40				
14			34,40			
16				30,40		
18					26,40	
20						22,40

Tabla 3.36 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Guamaní Alto-Puengasí.

➤ *Enlace Guamaní Alto - Tarqui:*

PRx max=-45 dBm

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	60,11					
12		56,11				
14			53,11			
16				48,11		
18					44,11	
20						40,11

PRx min=Sensibilidad del receptor

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	43,56					
12		39,56				
14			35,56			
16				31,56		
18					27,56	
20						23,56

Tabla 3.37 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Guamaní Alto-Tarqui.

➤ Enlace Tarqui - Cruz Loma:

PRx max=-45 dBm

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	59,38					
12		55,38				
14			51,38			
16				47,38		
18					43,38	
20						39,38

PRx min=Sensibilidad del receptor

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	43,56					
12		39,56				
14			35,56			
16				31,56		
18					27,56	
20						23,56

Tabla 3.38 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Tarqui-Cruz Loma.

➤ Enlace Puengasí - DNC:

PRx max=-45 dBm

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	56,89					
12		52,89				
14			48,89			
16				44,89		
18					40,89	
20						36,89

PRx min=Sensibilidad del receptor

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	44,82					
12		40,82				
14			36,82			
16				32,82		
18					28,82	
20						24,82

Tabla 3.39 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Puengasí-DNC.

➤ Enlace Simón Bolívar - DNC:

PRx max=-45 dBm

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	54,23					
12		50,23				
14			46,23			
16				42,23		
18					38,23	
20						34,23

PRx min=Sensibilidad del receptor

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	46,14					
12		42,14				
14			38,14			
16				34,14		
18					30,14	
20						26,14

Tabla 3.40 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Simón Bolívar-DNC.

➤ *Enlace UVN - Simón Bolívar:*

PRx max=-45 dBm

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	63,4					
12		59,4				
14			55,4			
16				51,4		
18					47,40	
20						43,4

PRx min=Sensibilidad del receptor

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	41,56					
12		37,56				
14			33,56			
16				29,56		
18					25,56	
20						21,56

Tabla 3.41 Potencia de Transmisión calculada para el enlace UVN-Simón Bolívar.

➤ *Enlace UVN - Carcelén:*

PRx max=-45 dBm

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	51,29					
12		47,29				
14			43,29			
16				39,29		
18					35,29	
20						31,29

PRx min=Sensibilidad del receptor

GRx	10	12	14	16	18	20
GTx	10	12	14	16	18	20
10	47,62					
12		43,62				
14			39,62			
16				35,62		
18					31,62	
20						27,62

Tabla 3.42 Potencia de Transmisión calculada para el enlace UVN-Carcelén.

➤ Enlace DNC – Cruz Loma:

PRx max=-45 dBm

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	50,51					
12		46,51				
14			42,51			
16				38,51		
18					34,51	
20						30,51

PRx min=Sensibilidad del receptor

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	48,00					
12		44,00				
14			40,00			
16				36,00		
18					32,00	
20						28,00

Tabla 3.43 Potencia de Transmisión calculada para el enlace DNC-Cruz Loma.

➤ Enlace Regimiento Quito - UVN:

PRx max=-45 dBm

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	59,59					
12		55,59				
14			51,59			
16				47,59		
18					43,59	
20						39,59

PRx min=Sensibilidad del receptor

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	43,45					
12		39,45				
14			35,45			
16				31,45		
18					27,45	
20						23,45

Tabla 3.44 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Regimiento-UVN.

## ➤ Enlace Regimiento Quito - DNC:

PRx max=-45 dBm

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	44,84					
12		40,84				
14			36,84			
16				32,84		
18					28,84	
20						24,84

PRx min=Sensibilidad del receptor

GRx[dBi]	10	12	14	16	18	20
GTx[dBi]	10	12	14	16	18	20
10	40,83					
12		36,83				
14			32,83			
16				28,83		
18					24,83	
20						20,83

Tabla 3.45 Potencia de Transmisión calculada para el enlace Regimiento Quito-DNC.

### 3.9.3 CÁLCULOS DE ZONA DE FRESNEL

Las ondas electromagnéticas al propagarse, forman un elipsoide y el espacio alrededor de su eje contribuye significativamente a la transferencia de potencia desde la fuente al destino. Este fenómeno es variable con la frecuencia, y da lugar a la formación de las denominadas zonas de Fresnel.

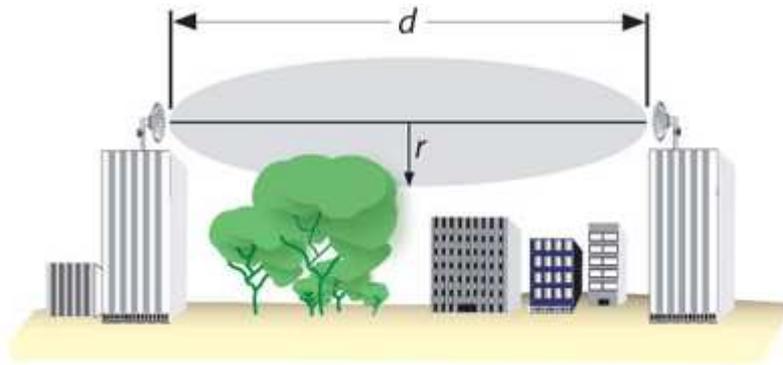


Figura 3.29 Primera Zona de Fresnel.

La siguiente ecuación permite calcular la primera zona de Fresnel:

$$(19) \quad r = 17,32 * \sqrt{\frac{d1 * d2}{d * f}}$$

Donde:

$d1$  = distancia al obstáculo desde el transmisor [m]

$d2$  = distancia al obstáculo desde el receptor [m]

$d$  = distancia entre transmisor y receptor [m]

$f$  = frecuencia [GHz]

$r$  = radio [m]

Si el obstáculo está situado en el medio ( $d1 = d2$ ), la fórmula se simplifica:

$$r = 17,32 * \sqrt{\frac{d}{4f}} \quad (20)$$

Tomando el 60% del radio de la potencia total, la ecuación puede calcularse así:

$$(21) \quad r = 10,4 * \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

Para calcular la altura del rayo ( $h_r$ ) sobre el nivel del mar se aplica la siguiente fórmula:

$$h_r = [(h_2 + h_b) - (h_a + h_1)] * \frac{d_1}{d} + (h_1 + h_a) \text{ [m]} \quad (22)$$

Donde:

$h_r$  = Altura del rayo

$h_a$  = Altura de la antena de transmisión

$h_b$  = Altura de la antena de recepción

$h_1$  = Altura del punto de transmisión

$h_2$  = Altura del punto de recepción

La altura superior de Fresnel se obtiene de la siguiente forma:

$$h_s f = h_r + r \quad (23)$$

Donde  $h_s f$  es el altura superior de Fresnel.

La altura inferior de Fresnel se obtiene de la siguiente forma:

$$h_i f = h_r - r \quad (24)$$

Donde  $h_i f$  es el altura inferior de Fresnel.

Para el cálculo de la primera zona de Fresnel, se ha escogido como ejemplo al enlace Guamaní Alto – Puengasí, cuyos datos son los siguientes:

Datos:

$$d = 10560 \text{ [m]}$$

$$d_1 = 2000 \text{ [m]}$$

$$d_2 = 8560 \text{ [m]}$$

$$h_1 = 3071.3 \text{ [m]}$$

$$h_a = 40 \text{ [m]}$$

$$h_2 = 3066.3 \text{ [m]}$$

$$h_b = 40 \text{ [m]}$$

Altura del Rayo:

$$h_r = [(h_2 + h_b) - (h_a + h_1)] \cdot \frac{d_1}{d} + (h_1 + h_a) \text{ [m]}$$

$$h_r = 3110.35 \text{ [m]}$$

Radio de la Primera Zona de Fresnel:

$$r = 17,32 \cdot \sqrt{\frac{d_1 \cdot d_2}{d \cdot f}}$$

$$r = 9.89 \text{ [m]}$$

Límites superior e inferior de la zona de Fresnel:

$$h_s = h_r + r$$

$$h_s = 3120.25 \text{ [m]}$$

$$h_i = h_r - r$$

$$h_i = 3100.46 \text{ [m]}$$

De manera similar se procede a calcular los valores antes descritos para el resto de puntos en el trayecto del enlace Guamaní Alto – Puengasí, y en cuya tabla se resumen a continuación:

Distancia d1 [m]	Distancia d2 [m]	Altura del Rayo hr [m]	Radio de Fresnel r [m]	Altura Superior Fresnel hsf [m]	Altura Inferior Fresnel hif [m]
0	10560	3111,30	0,00	3111,30	3111,30
1000	9560	3110,83	7,39	3118,22	3103,43
2000	8560	3110,35	9,89	3120,25	3100,46
3000	7560	3109,88	11,39	3121,27	3098,49
4000	6560	3109,41	12,25	3121,66	3097,16
5000	5560	3108,93	12,61	3121,54	3096,32
6000	4560	3108,46	12,51	3120,97	3095,95
7000	3560	3107,99	11,94	3119,92	3096,05
8000	2560	3107,51	10,82	3118,33	3096,69
9000	1560	3107,04	8,96	3116,00	3098,08
10560	0	3106,30	0,00	3106,30	3106,30

Tabla 3.46 Valores para graficar la primera zona de Fresnel

### 3.9.4 SIMULACIÓN DE LOS ENLACES DE BACKBONE

#### 3.9.4.1 Enlace Guamaní Alto – Puengasí

En la figura 3.25 se puede apreciar la simulación del enlace punto a punto entre Guamaní Alto y Puengasí, con todos sus parámetros de transmisión, recepción, pérdidas y ganancias de cada una de las estaciones, azimut, ángulos de elevación, así como también resultados de las zonas de fresnel y pérdidas en el espacio libre, etc.

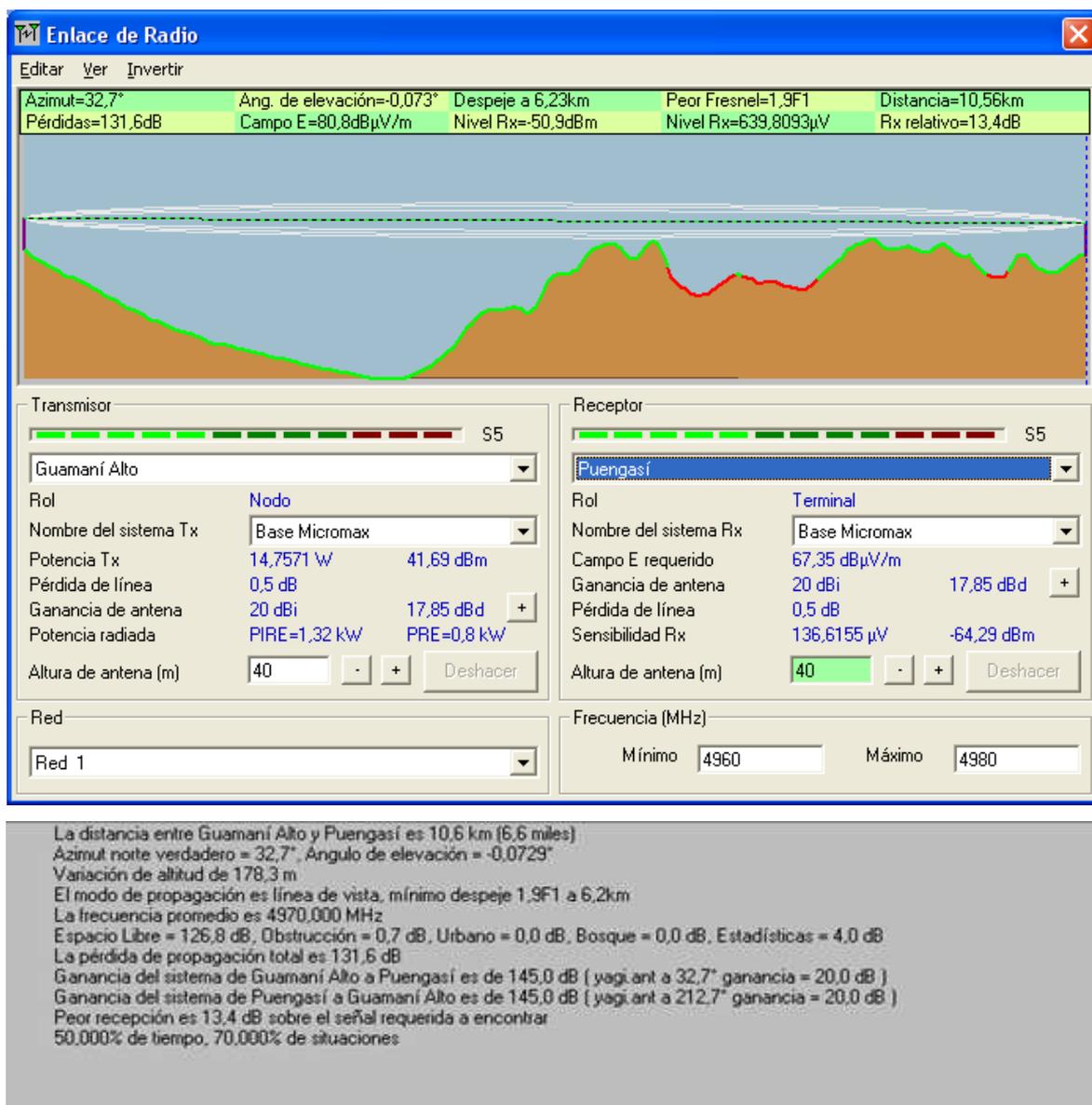


Figura 3.30 Enlace Punto - Punto entre Guamaní Alto y Puengasí.

### 3.9.4.2 Enlace Guamaní Alto – Tarqui

En la figura 3.26 se puede apreciar la simulación del enlace punto a punto entre Guamaní Alto y Tarqui, con todos sus parámetros de transmisión, recepción, pérdidas y ganancias de cada una de las estaciones, azimut, ángulos de elevación, así como también resultados de las zonas de fresnel y pérdidas en el espacio libre, etc.

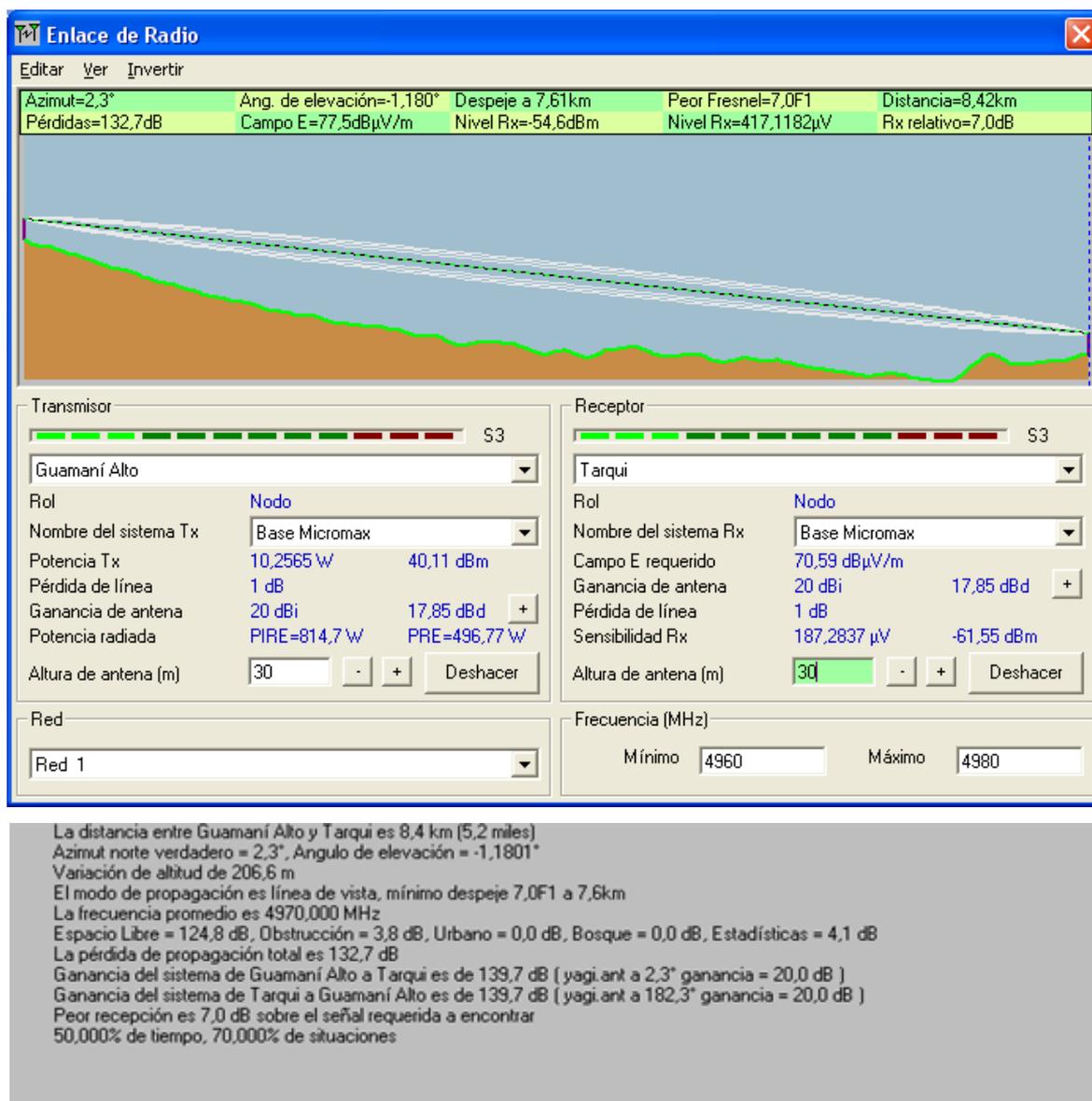


Figura 3.31 Enlace Punto - Punto entre Guamaní Alto y Tarqui.

### 3.9.4.3 Enlace Tarqui – Cruz Loma

En la figura 3.27 se puede apreciar la simulación del enlace punto a punto entre Tarqui y Cruz Loma, con todos sus parámetros de transmisión, recepción, pérdidas y ganancias de cada una de las estaciones, azimut, ángulos de elevación, así como también resultados de las zonas de fresnel y pérdidas en el espacio libre, etc.

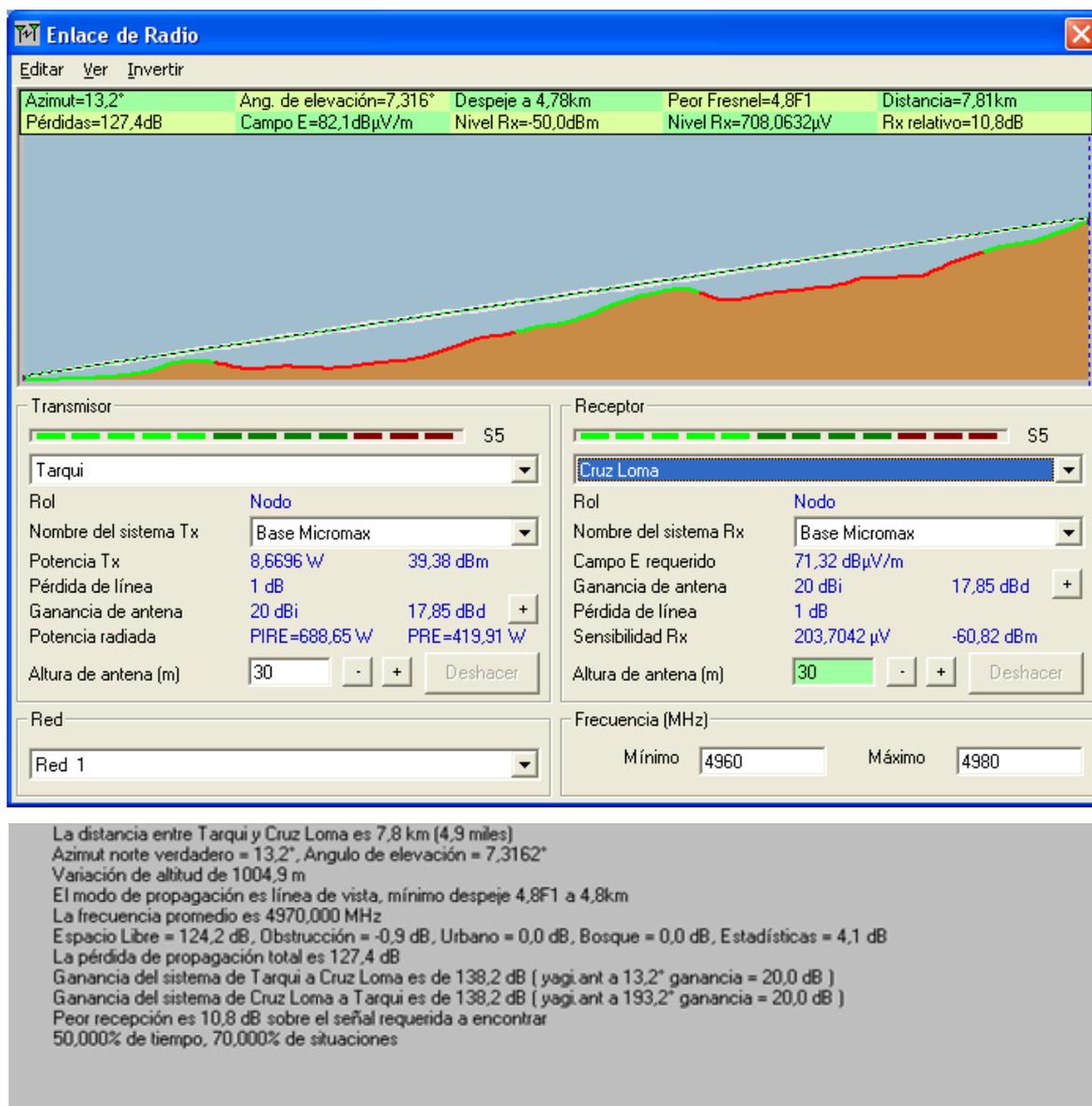


Figura 3.32 Enlace Punto - Punto entre Tarqui y Cruz Loma.

#### 3.9.4.4 Enlace Puengasí – DNC

En la figura 3.28 se puede apreciar la simulación del enlace punto a punto entre Puengasí y DNC, con todos sus parámetros de transmisión, recepción, pérdidas y ganancias de cada una de las estaciones, azimut, ángulos de elevación, así como también resultados de las zonas de fresnel y pérdidas en el espacio libre, etc.

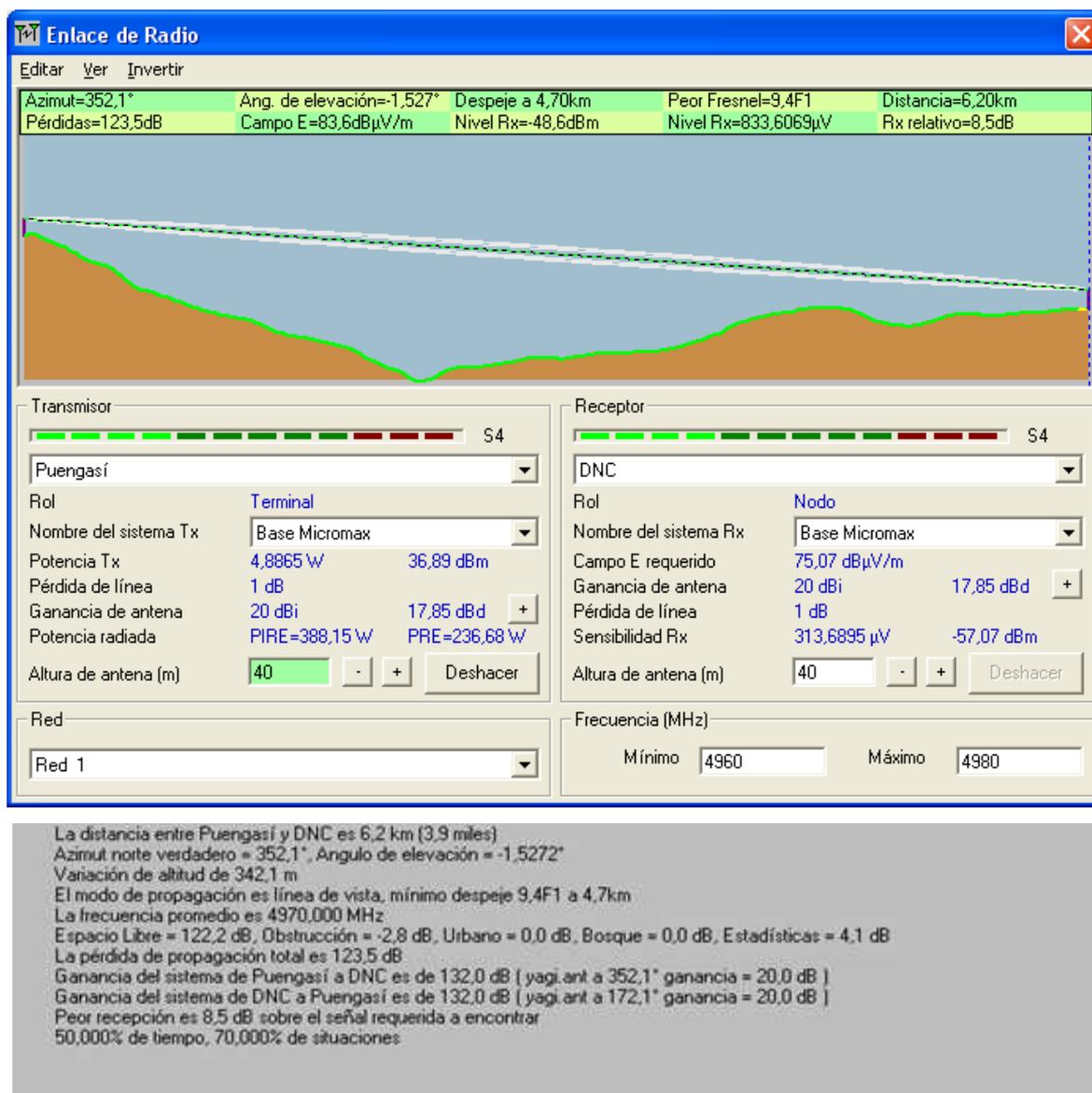


Figura 3.33 Enlace Punto - Punto entre Puengasí y DNC.

### 3.9.4.5 Enlace Simón Bolívar – DNC

En la figura 3.29 se puede apreciar la simulación del enlace punto a punto entre Simón Bolívar y DNC, con todos sus parámetros de transmisión, recepción, pérdidas y ganancias de cada una de las estaciones, azimet, ángulos de elevación, así como también resultados de las zonas de fresnel y pérdidas en el espacio libre, etc.

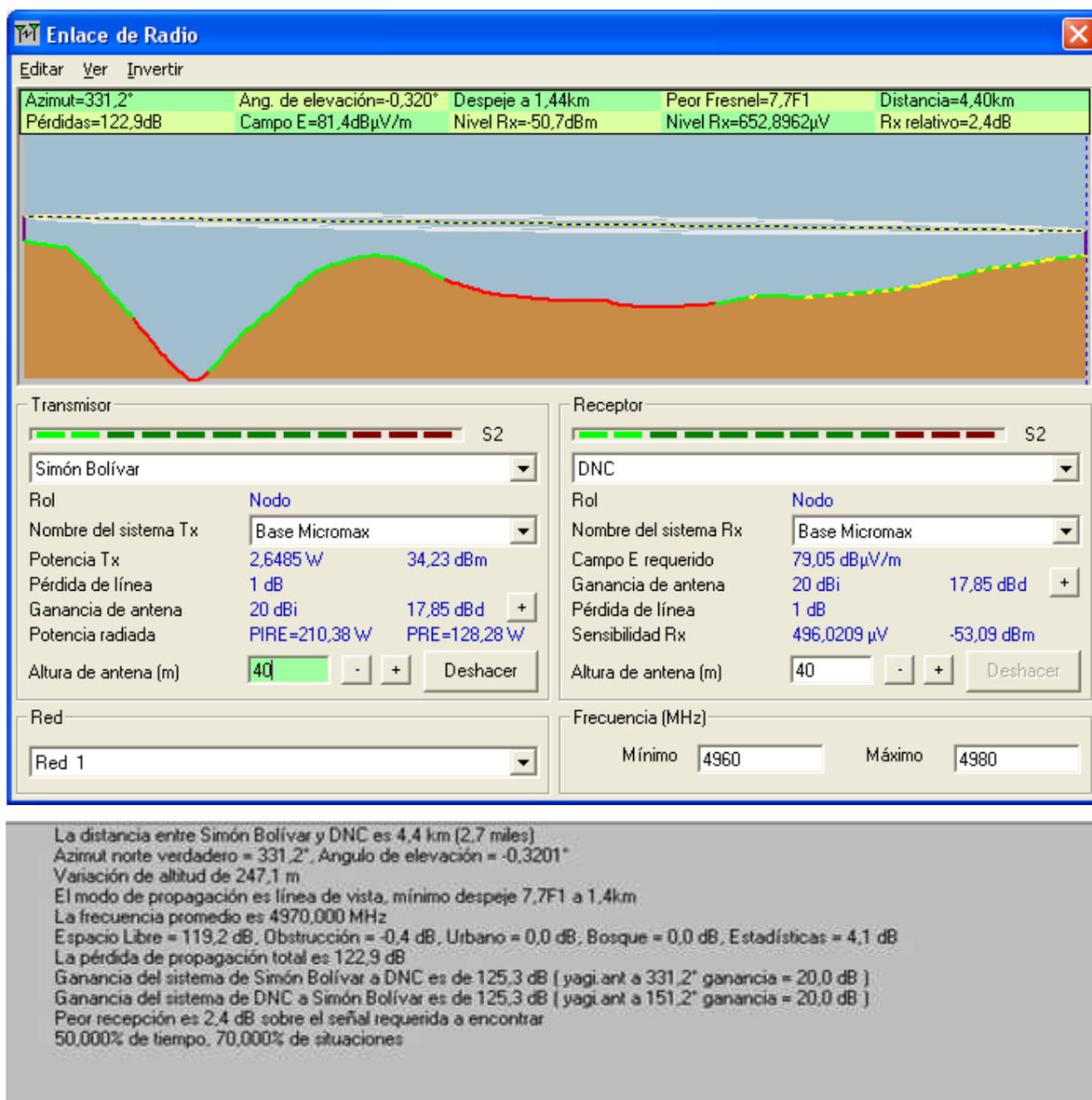


Figura 3.34 Enlace Punto - Punto entre Simón Bolívar y DNC.

### 3.9.4.6 Enlace UVN – Simón Bolívar

En la figura 3.30 se puede apreciar la simulación del enlace punto a punto entre UVN y Simón Bolívar, con todos sus parámetros de transmisión, recepción, pérdidas y ganancias de cada una de las estaciones, azimuth, ángulos de elevación, así como también resultados de las zonas de fresnel y pérdidas en el espacio libre, etc.

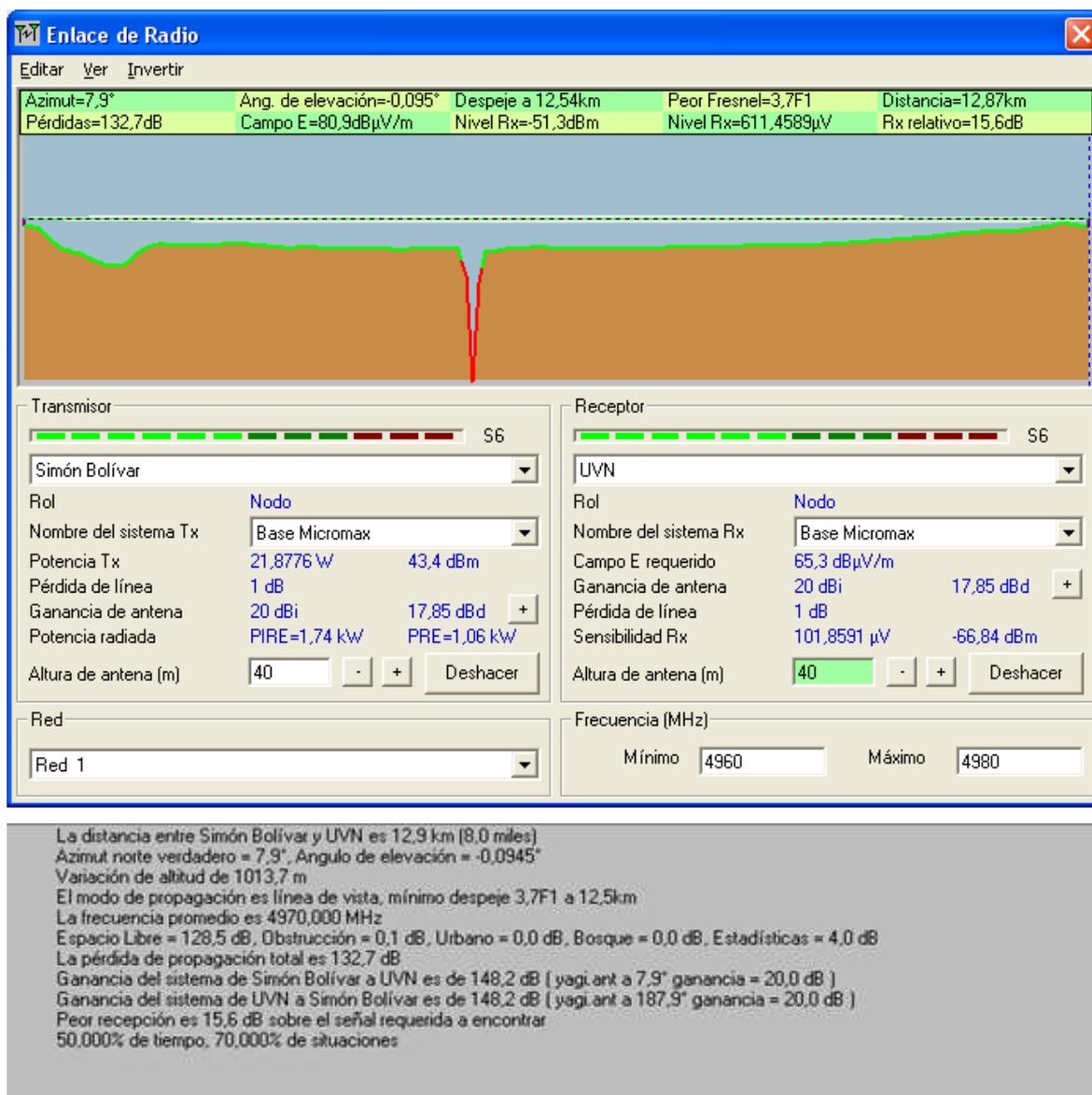


Figura 3.35 Enlace Punto - Punto entre Simón Bolívar y UVN.

### 3.9.4.7 Enlace UVN – Carcelén

En la figura 3.31 se puede apreciar la simulación del enlace punto a punto entre UVN y Carcelén, con todos sus parámetros de transmisión, recepción, pérdidas y ganancias de cada una de las estaciones, azimut, ángulos de elevación, así como también resultados de las zonas de fresnel y pérdidas en el espacio libre, etc.

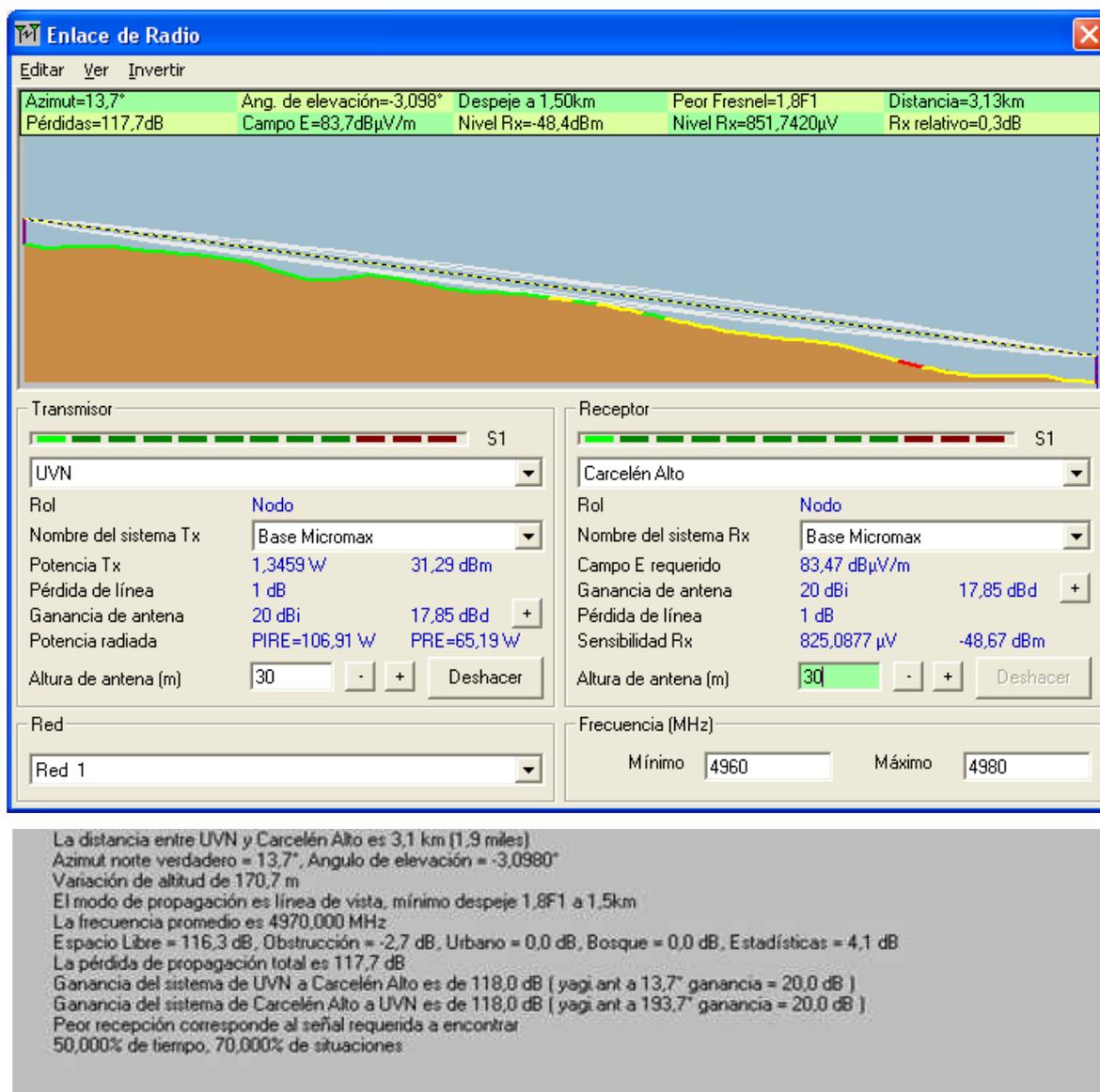


Figura 3.36 Enlace Punto - Punto entre UVN y Carcelén.

### 3.9.4.8 Enlace DNC - Cruz Loma

En la figura 3.32 se puede apreciar la simulación del enlace punto a punto entre DNC y Cruz Loma, con todos sus parámetros de transmisión, recepción, pérdidas y ganancias de cada una de las estaciones, azimut, ángulos de elevación, así como también resultados de las zonas de fresnel y pérdidas en el espacio libre, etc.

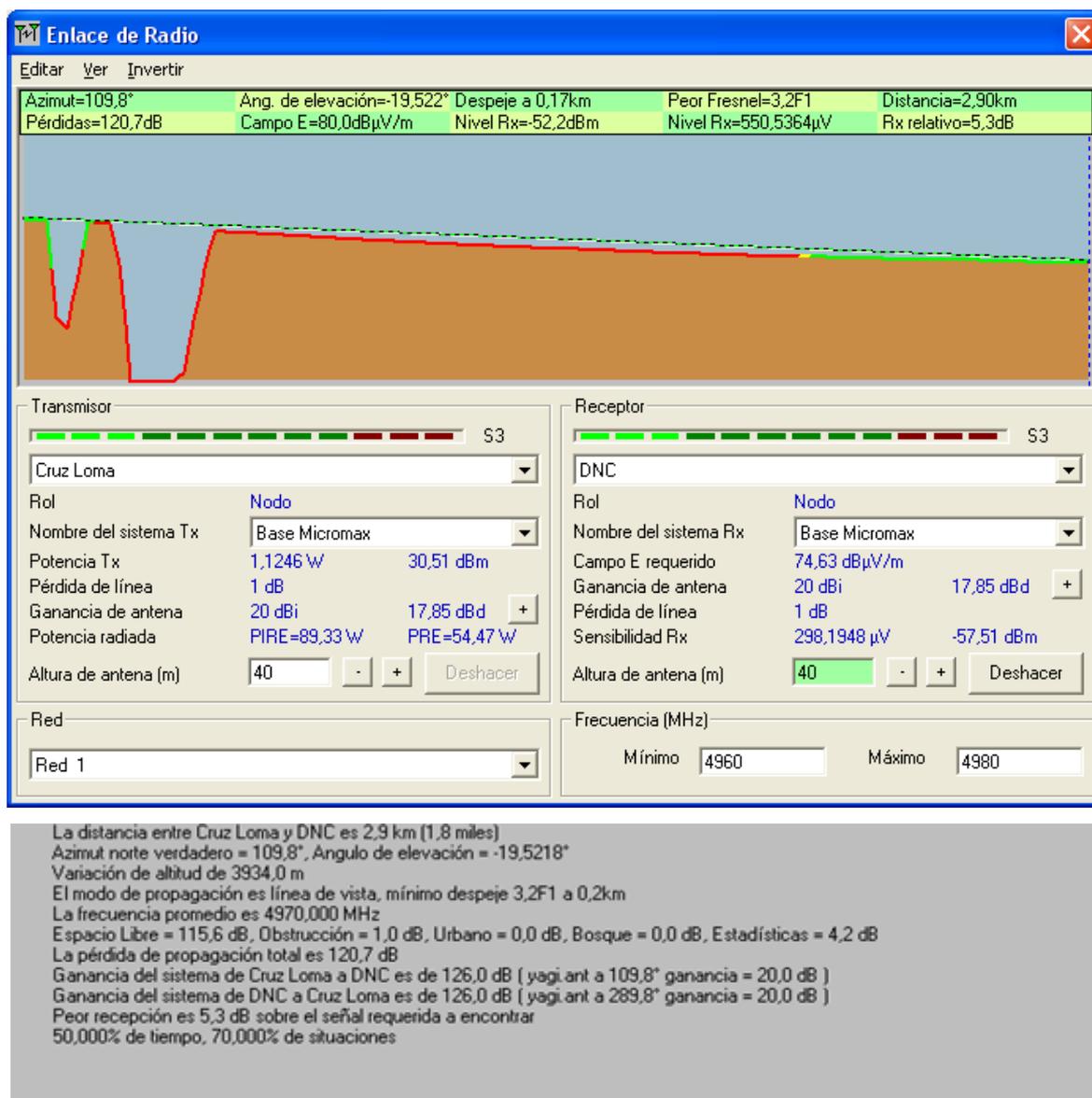


Figura 3.37 Enlace Punto - Punto entre DNC y Cruz Loma.

### 3.9.4.9 Enlace Regimiento Quito - UVN

En la figura 3.33 se puede apreciar la simulación del enlace punto a punto entre Regimiento Quito y UVN, con todos sus parámetros de transmisión, recepción, pérdidas y ganancias de cada una de las estaciones, azimet, ángulos de elevación, así como también resultados de las zonas de fresnel y pérdidas en el espacio libre, etc.

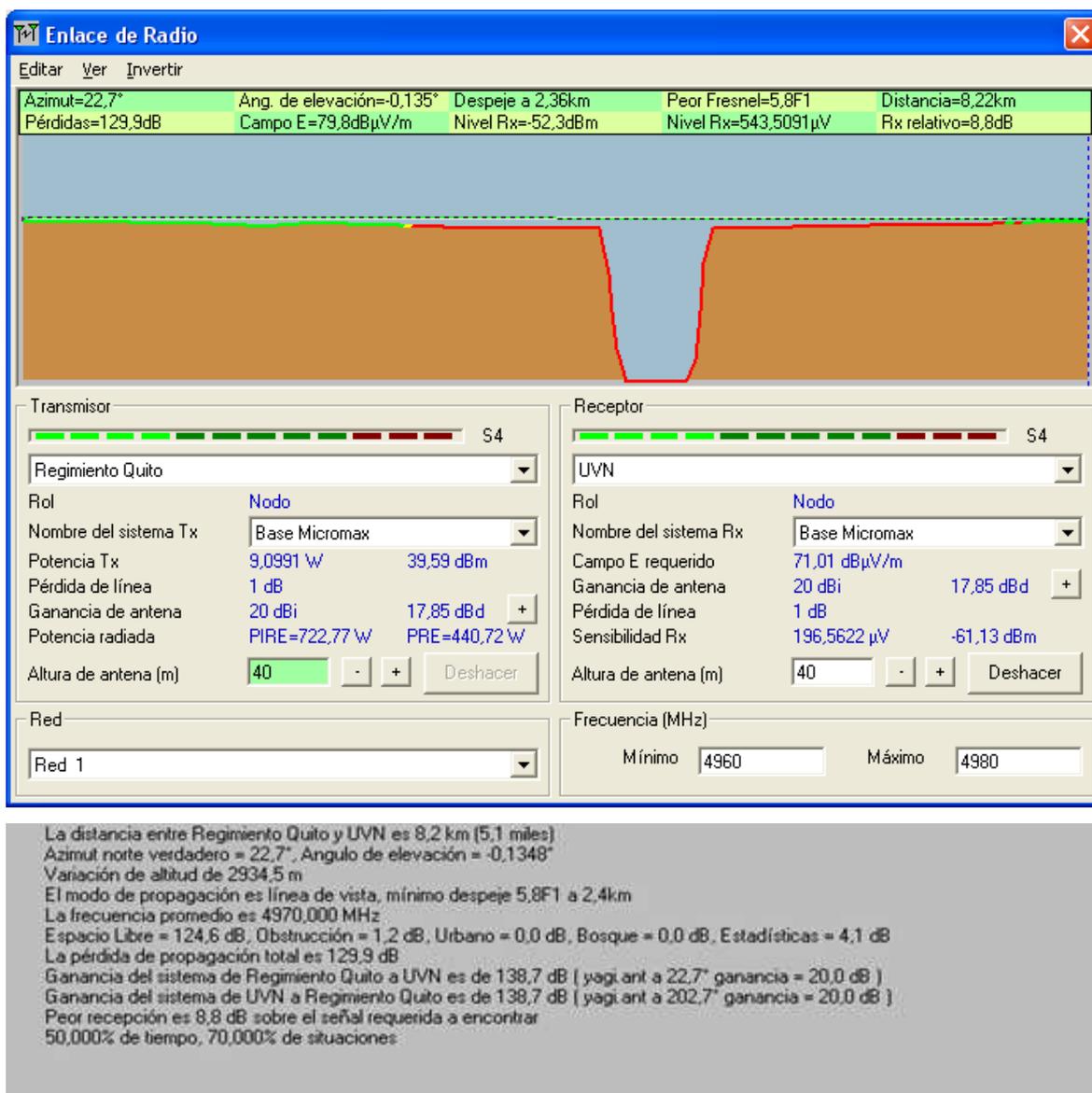


Figura 3.38 Enlace Punto - Punto entre Regimiento Quito y UVN.

### 3.9.4.10 Enlace Regimiento Quito - DNC

En la figura 3.34 se puede apreciar la simulación del enlace punto a punto entre Regimiento Quito y DNC, con todos sus parámetros de transmisión, recepción, pérdidas y ganancias de cada una de las estaciones, azimut, ángulos de elevación, así como también resultados de las zonas de fresnel y pérdidas en el espacio libre, etc.

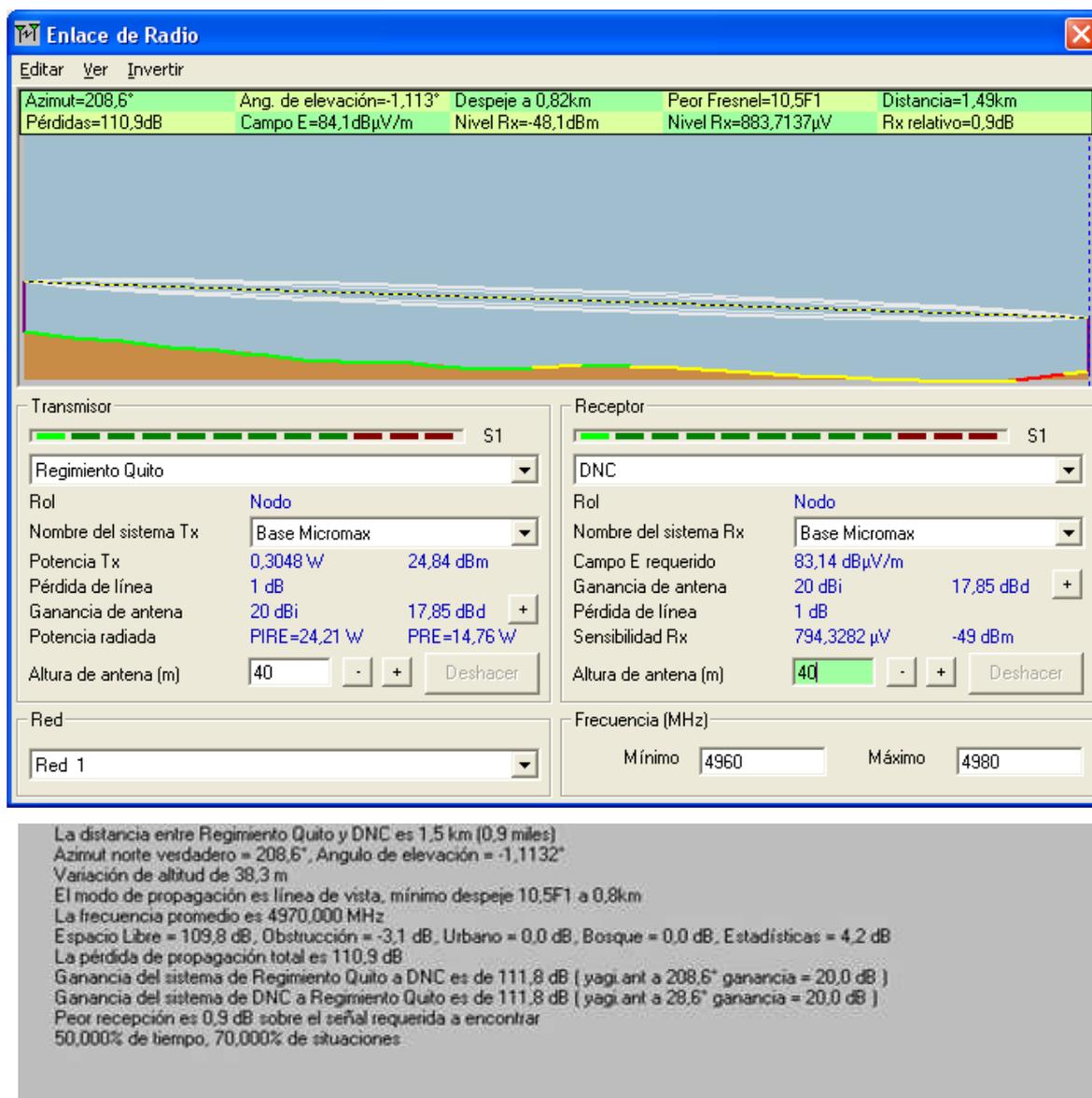


Figura 3.39 Enlace Punto - Punto entre Regimiento Quito y DNC.

### 3.10 MOVILIDAD Y POTENCIA DE EQUIPOS TERMINALES<sup>76</sup>

WiMAX mediante su estándar 802.16e, trabaja con dos modos de control de energía para sus dispositivos móviles, que son:

- Modo sleep.
- Modo Idle.

<sup>76</sup>Tesis: Estudio y Diseño de una Red Virtual Privada Móvil (VPN Móvil) con Tecnología WiMAX 802.16e-2005 Worldwide Interoperability For Microwave Access) para un Carrier local con cobertura en la zona norte de la ciudad de Quito, Andrés Edison Carrillo Ampudia, Capítulo 2. Quito, Febrero 2009.

Mientras que para el proceso de “handoff”, soporta tres métodos, los cuales ya fueron especificados en el capítulo 1 y que son:

- HHO (Hard Handoff - Handoff por Hardware).
- FBBS (Fast Base Station Switching - Conmutación Rápida de Estaciones Base).
- MDHO (Macro Diversity Handover).

### 3.11 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

Con todos los resultados obtenidos en los puntos 3.8 y 3.9, se puede elaborar una tabla con los requerimientos mínimos que deberán tener los equipos, tanto para la red de acceso como para los enlaces de backhaul, y cuyos valores se muestran en las tablas 3.28 y 3.29:

PARÁMETROS	VALOR
Frecuencia	4,9 GHz
Potencia de Tx	> -8 dBm
Ganancia de la antena Tx	10 dBi
Ganancia de la antena Rx	10 dBi
Umbral de Recepción	- 65 dBm

Tabla 3.47 Requerimientos mínimos de los equipos de la red de acceso

PARÁMETROS	VALOR
Frecuencia	4,9 GHz
Potencia de Tx	40 dBm
Ganancia de la antena Tx	10 dBi
Ganancia de la antena Rx	10 dBi
Umbral de Recepción	- 65 dBm

Tabla 3.48 Requerimientos mínimos de los equipos de la red de Backbone

Otros aspectos que se deben tomar en cuenta al momento de seleccionar los equipos, son los siguientes:

- Estándar 802.16e – 2005.
- Modulación 64-QAM.

- 3 Sectores de RF.
- Canales de 20 MHz.
- Interfaces Ethernet 100baseT.
- Soporte de Handover.
- IEEE 802.1D, VLAN para IEEE 802.1Q.
- Soporte de SNMP.
- Soporte de QoS
- Mecanismos de encriptación de datos.

### 3.11.1 EQUIPOS PARA LA RED DE ACCESO

#### 3.11.1.1 Estaciones Base

De los requerimientos expuestos en el punto anterior, se puede realizar un cuadro comparativo del cumplimiento de los requerimientos mínimos entre las soluciones que proponen las más importantes marcas fabricantes, así:

SOLUCIÓN	NETKROM (ISP-BS500AGUHP)	ALVARION (BREEZEACCESS VL)	AIRSPAN (HIPERMAX)
Modelo			
Frecuencia de Operación en 4.9 GHz	Sí	Sí	Sí
Modulación 64-QAM	Sí	Sí	Sí
Potencia de Tx > -8 dBm	Sí	Sí	Sí
Sensibilidad de recepción de -65 dBm	Sí	Sí	No
3 Sectores de RF	Sí	Sí	Si
Ancho del Canal de 20 MHz	Sí	Sí	Sí
Puerto Ethernet	Sí	Sí	Sí
Soporte de SNMP	Sí	Sí	Sí
Handover	No	Sí	Sí

SOLUCIÓN	NETKROM (ISP-BS500AGUHP)	ALVARION (BREEZEACCESS VL)	AIRSPAN (HIPERMAX)
Modelo			
Soporte QoS	Sí	Sí	Si
Cifrado de datos con AES	Sí	Sí	Sí
Soporte de 802.1q	Sí	Sí	Sí

Tabla 3.49 Comparación características técnicas de las radio-bases que ofrecen las marcas fabricantes.

La tabla 3.30 muestra el cumplimiento de los requerimientos mínimos de las estaciones base de las empresas: Airspan, Netkrom y Alvarion, que tienen como gran aval, el ser miembros del WiMAX Forum.

Se recomienda para este proyecto el uso de la estación base de la marca Alvarion que cumple en su totalidad con los requerimientos mínimos descritos anteriormente.



Figura 3.40 Estación Base Alvarion BREEZEACCESS VL.

### 3.11.1.2 Antenas de Acceso

Para la selección de las antenas de acceso, los parámetros más importantes que se deben tomar en cuenta son: la frecuencia de operación, la ganancia de las antenas y ancho del haz que soporte 120 grados.

Igualmente se puede elaborar una tabla comparativa entre las características de los equipos de distintos fabricantes que cumplen con los requerimientos mínimos, tal como se muestra a continuación:

SOLUCIÓN	NETKROM	LAIRD-TECHNOLOGIES	ALVARION (ANTENA DE ACCESO)
	W58-16SP120V	SA4958-120-16	BreezeACCESS VL
Modelo			
Ganancia de la antena $\geq$ 10 dBi	Sí	Sí	Sí
Frecuencia de operación a 4.9 GHz	Sí	Sí	Sí
Ancho del haz horizontal a 120°	Sí	Sí	Sí

Tabla 3.50 Comparación características técnicas de las antenas que ofrecen las marcas fabricantes.

En la tabla 3.31 se observa que las especificaciones técnicas de las marcas Netkrom, Laird-Technologies y Alvarion cumplen con los requerimientos mínimos, pero cabe mencionar que en la solución que propone esta última marca, la antena ya viene integrada con la estación base citada en la tabla 3.8 del punto anterior. Por esta razón se tomará esta antena para el presente proyecto.

### 3.11.1.3 Unidades Suscriptoras

Dentro de esta categoría es necesario dividir en dos tipos de dispositivos: fijos y móviles.

### 3.11.1.3.1 Dispositivos Fijos

Los cuales serán colocados en cada UPC. La tabla 3.32 presenta los parámetros técnicos de los fabricantes: Alvarion y Airspan.

SOLUCIÓN	AIRSPAN	ALVARION (ANTENA SUSCRIPTORA)
	EasyST Indoor CPE	BreezeACCESS VL
Modelo		
Ganancia de la antena $\geq 10$ dBi	No	Sí
Frecuencia de Operación 4.9 GHz	Sí	Sí
Potencia de Transmisión 21 dBm	Sí	Sí
Tamaño de canal de 20 MHz	No	Sí
Cifrado de datos con AES	Sí	Sí

Tabla 3.51 Comparación características técnicas de las unidades suscriptoras fijas que ofrecen las marcas fabricantes.

Se recomienda la marca Alvarion ya que cumple con todos los requerimientos mínimos mencionados.

La figura 3.36 explica el esquema de funcionamiento de unidades fijas bajo la solución propuesta por la marca Alvarion.



Figura 3.41 Solución de red propuesta por la Marca Alvarion.

### 3.11.1.3.1 Dispositivos Móviles

Destinados al uso en patrulleros, motos y policías a pie. La tabla 3.33 presenta los parámetros técnicos de la marca Airspan y Alvarion.

SOLUCIÓN	AIRSPAN	ALVARION
	MiMAX USB	BreezeMAX USB 200
Modelo		
Interfaz de USB 2.0	Sí	Sí
Frecuencia de operación 4.9 GHz	Sí	No
SOLUCIÓN	AIRSPAN	ALVARION

	MiMAX USB	BreezeMAX USB 200
Modelo		
Potencia de Transmisión 21 dBm	Sí	Sí
Tamaño de canal de 20 MHz	Sí	No
Encriptación de datos con AES	Sí	Sí
Estándar IEEE 802.16e-2005	Sí	Sí
Sensibilidad del receptor $\leq -65$ dBm	Sí	Sí

Tabla 3.52 Comparación características técnicas de las unidades suscriptoras fijas que ofrecen las marcas fabricantes.

Al ser la única solución móvil disponible la de la marca Airspan en la banda de frecuencia de 4,9GHz, se recomienda este dispositivo para el presente proyecto.

### 3.11.2 EQUIPOS PARA LA RED DE TRANSPORTE DE DATOS

#### 3.11.2.1 Antenas y Equipos de Backhaul

Los fabricantes de las marcas Alvarion y Netkrom ofrecen soluciones interesantes en lo que a enlaces de backbone se refieren. En la tabla 3.34 se mencionan las características de estos equipos.

SOLUCIÓN	NETKROM		ALVARION
	AIR-PTP5000L	BH-1000	BreezeNET® B130/B300
Modelo			
Ganancia de la antena >= 10 dBi	Sí	Sí	Sí
Frecuencia de Operación 4.9 GHz	Sí	Sí	Sí
Ancho de Canal de 20 MHz	Sí	Sí	Sí
Sensibilidad de -65 dBm	Sí	Sí	Sí
Tasa de transmisión de datos >= 64,18 Mbps	No	Sí	Sí
Potencia de Tx 40dbm	Sí	No	Sí
Alcance hasta 13 Km	Sí	Sí	Sí
Puerto Ethernet	Sí	Sí	Sí
Encriptación de datos con AES	Sí	Sí	Sí

Tabla 3.53 Antenas de Backhaul.

Se recomienda la antena BreezeNET® B130/B300 de Alvarion (ver anexo Equipos WiMAX), ya que cumple con todas las especificaciones requeridas y maneja mayores velocidades de transmisión de datos (250 Mbps).

### 3.11.2.2 Equipos de Enrutamiento de Tráfico

Adicional a los equipos de radio frecuencia es necesario contar con equipos de capa 3 para el enrutamiento del tráfico, los mismos que deben soportar los siguientes parámetros:

- Protocolos de enrutamiento (especialmente OSPF).
- Soporte de protocolo IPv4.
- Balanceo de carga.
- Conmutación mayor a 1 Gbps.
- RSTP para redundancia (para los switches de acceso).
- Servicio de DHCP.
- Al menos 5 interfaces 10/100 Ethernet full duplex y con auto-negociación
- Soporte de protocolo de administración SNMPv2
- Seguridad de protección de datos con cifrado AES.
- Memoria RAM: 256 MB. (Expansión hasta 1GB)
- Memoria Flash: 64 MB. (Expansión hasta 256 MB)
- 1 puerto de consola EIA-232, RJ-45
- Listas de control de acceso extendidas
- Soporte de los estándares IEEE 802.1q (Al menos 2 VLANs) e IEEE 802.1p
- Soporte de BGPv4 (para el router de borde).

Se usarán dos tipos de dispositivos de capa de red, un switch de capa 3 para el acceso a la red de los usuarios fijos y móviles y un router para la interconexión en el borde con la red de la Policía.

#### *3.11.2.2.1 Switches de Acceso*

Estos equipos serán ubicados juntos con las estaciones base, para enrutar el tráfico proveniente de los usuarios hacia el sistema centralizado de la Policía, a través de los distintos nodos o sitios de repetición.

Se han escogido switches con soporte de protocolos de capa de red, debido a su rápida conmutación, gran densidad de puertos Ethernet, y sobre todo por la redundancia que ofrecen estos dispositivos con protocolos de capa enlace como STP(Spanning Tree Protocol) y RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), etc.

En la siguiente tabla se comparan las características de los equipos de tres marcas fuertes en el mercado:

PARÁMETROS	3COM	D-LINK	CISCO
<b>Modelo</b>	3Com Switch 4500G 24-Port	D-Link DGS-3324SRi Managed Stackable Multilayer Switch	Cisco Catalyst 3560G-24TS
<b>Al menos 5 puertos 10/100 Ethernet Full Duplex y auto-negociables</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Protocolo IPv4</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Protocolo de enrutamiento OSPF</b>	No	Sí	Sí
<b>Servicio DHCP</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Protocolo BGPv4</b>	No	No	Sí
<b>Protocolo de gestión remota SNMPv2</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Cumplimiento de normas IEEE 802.1q IEEE 802.1p</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Velocidad de Conmutación de 1 Gbps</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Al menos 2 VLANs</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Imagen</b>			

Tabla 3.54 Comparación características técnicas de los switches de acceso.

Se puede ver en las tablas de las 3 marcas, que los equipos CATALYST de Cisco cumplen con todos los requerimientos mínimos descritos, por esta razón se lo utilizará para el presente proyecto.

### 3.11.2.2.2 Router de Borde

Equipo ubicado en el extremo de la red para interconectar la red WiMAX con la red central de la Policía, ubicada en la Dirección Nacional de Comunicaciones (DNC).

Además de los requerimientos señalados anteriormente, se necesita que este router cuente con 2 puertos Gigabit Ethernet ya que concentrará todo el tráfico de la red, además de mecanismos filtrado de paquetes cifrado de la información, autorización y autenticación de usuarios.

En la siguiente tabla se menciona las características de los equipos de tres marcas fuertes en el mercado:

PARÁMETROS	3COM	D-LINK	CISCO
<b>Modelo</b>	3Com 5232	D-Link DI-3660	Cisco 2921
<b>2 puertos Gigabit Ethernet Full Duplex y auto-negociables</b>	Sí	No	Sí
<b>Protocolo IPv4</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Protocolo de enrutamiento OSPF</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Protocolo BGPv4</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Protocolo de gestión remota SNMPv2</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Cumplimiento de normas IEEE 802.1q IEEE 802.1p</b>	Sí	No	Sí
<b>Memoria RAM: 256 MB</b>	Sí	No	Sí
<b>Memoria Flash: 64 MB</b>	No	No	Sí
<b>Imagen</b>			

Tabla 3.556 Comparación características técnicas de los routers de borde

Respecto a las tablas anteriores, se recomienda la marca Cisco ya que cumple con todos los parámetros requeridos; en cuanto a memoria RAM, flash, interfaces Gigabit Ethernet, que superan en capacidad a las de las otras marcas.

### 3.11.3 SOLUCIONES DE EQUIPOS DE USUARIO FINAL

#### 3.11.3.1 Equipos de Escritorio

En el capítulo 2, se determinó que algunas Unidades de Policía Comunitaria (UPC), no cuentan con PC's de escritorio. Para estas localidades se proveerá con los equipos de acuerdo a las características expuestas en la tabla 3.36

PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES
Procesador	Dual Core/Core 2 DUO/AMD
Velocidad de Operación	>= a 2GHz
Memoria Cache	> =a 512 KB
Memoria Ram	> = a 1 GB
Disco Duro Interno	> = a 160 GB
Velocidad	7200 rpm SATA
Ópticos	CD/DVD writer
Mainboard	Interfaces PCI, S/V/R Ethernet 10/100 Mbps, USB
Case	Case, mouse, teclado y parlantes
Tipo de tarjeta de Red Inalámbrica (opcional)	Tarjeta PCI Inalámbrica 54 Mbps
monitor	LCD 17 "
Sistema operativo	Windows XP, Vista, Windows 7
Seguridad	software de antivirus actualizado

Tabla 3.37 Especificaciones para equipos de escritorio.

#### 3.11.3.2 Equipos Móviles

En este punto se dividirán en dos tipos de equipos, de la siguiente manera:

- **Para policías en patrulleros.** Motorola ofrece algunos dispositivos, que pueden ser adecuados para automóviles como los patrulleros y camionetas de la Policía Nacional. A continuación se muestran las características más importantes de algunos de ellos.

**Motorola ML910 Notebook.**



Figura 3.42 Estaciones de trabajo para vehículos Motorola ML910 Notebook.

Se trata de una solución muy útil para emplear dentro de vehículos, cuando se realizan misiones críticas, que permiten movilidad y acceso inalámbrico.

Su diseño es similar a la de una laptop, con una pantalla de 13,3" que soporta touchscreen, botones programables, controles de ejecución y un lector de huella digital para brindar seguridad.

Cuenta con las siguientes características técnicas (Ver anexo D):

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS
Dimensiones	3.2" x 11.1" x 13.2" (336mm x 283mm x 78mm)

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS
Procesador	Procesador: Intel® Core™ Duo 1.66GHz (L2400) or Core 2 Duo 1.5GHz (L7400) L2 Cache: 2MB con Core Duo; 4MB con Core 2 Duo FSB: 667MHz
Adaptador de video y gráficos	ATIMobility Radeon™ X1400 (128MB)
Display	13.3" WXGA (1280 x 800) LCD con touch screen 500+ brillo NIT
Memoria Interna	1 GB Standard, 4 GB Máximo
Disco Duro	Disco duro estándar de 80 GB
Sistema Operativo	Microsoft® Windows Vista™ Business Edition, SP1 (32 bit), Windows® XP Professional, SP2
Puertos de entrada y salida	1x Serial 3x USB 2.0 1x RJ11 v.90/92 Modem 1x15 pin RGB External Monitor Output 1x Composite Analog Video Input Port 1x DC Input 1x Shrouded Hot-docking Port 1x RJ-45 10/100/1000 Base-TLAN 2x External RF Pass-Through Ports (1:GPS, 1:WWAN)
Batería	Smart Li-Ion 7200 mAh
Adaptador de AC	adaptador universal AC- Input: 100-240 V, 50/60 Hz AC
PCMCIA	1 Externa tipo II
Audio	Soporta AC97 Audio

Tabla 3.38 Características de la estación de trabajo móvil marca Motorola.

- **Para personal con motocicletas y a pie.** Dispositivos de mano, portables, más pequeños y livianos que los equipos usados para los patrulleros. Permitirán la fácil movilidad del personal policial que opera en las calles y que por sus funciones necesitan operar de manera más rápida y eficiente.

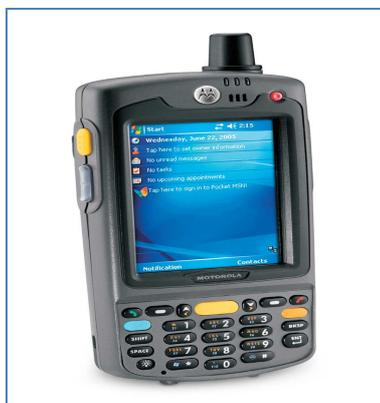
**Motorola MC70**

Figura 3.43 Dispositivos portables para policías en las calles Motorola MC70.

Se trata de un asistente digital, que tiene las funcionalidades de teléfono móvil, PDA y computador en una sola unidad. Es un dispositivo que combina comunicaciones de voz y datos que puede soportar las aplicaciones más recientes en cualquier ambiente.

Cuenta con las siguientes características técnicas (Ver anexo D):

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS
Dimensiones	6 in. L x 3.1 in. W x 1.5 in D
Procesador	XScale™ 624 Mhz processor
Display	3.5" QVGA a color con backlight, TFT-LCD, 65K en colores, 240 W x 320 L (QVGA size)
Memoria Interna	64MB RAM/128MB ROM or, 128MB RAM/128MB ROM
Sistema Operativo	Microsoft® Windows™ Mobile 5.0 Premium, Microsoft® Windows™ Mobile 5.0 Phone Edition, Windows Mobile 6.1 Classic or Premium

PARÁMETROS	CARACTERÍSTICAS
Interfaz	RS-232, USB 1.1
Batería	Recargable de Lítio Ion 3.7V, 1900 mAh, 3600 mAh, 3800 mAh or 4800 mAh batería inteligente
Audio	parlante, receptor, micrófono, stereo

Tabla 3.39 Características del dispositivo móvil marca Motorola

### 3.11.4 DISPOSITIVOS DE GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN

Los sistemas de gestión de red permitirán configurar, verificar el desempeño de cada uno de los equipos y servicios, y tomar las acciones oportunas en caso de fallas. Al elegir la marca Alvarion en todo lo concerniente a equipos de radio frecuencia, se recomienda utilizar el software de administración de Alvarion que es AlvariSTAR™, por motivos de compatibilidad entre hardware y software.

#### 3.11.4.1 Software de Administración

### ALVARISTAR<sup>77</sup>

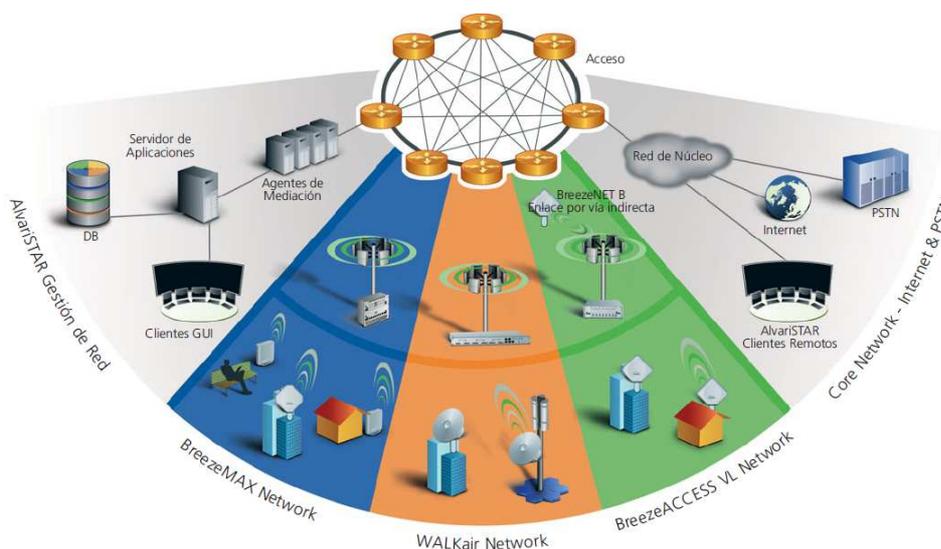


Figura 3.44 Esquema de gestión de red de Alvarion. Alvaristar™.

<sup>77</sup><http://www.alvarion.com/index.php/en/products/products-list/star-management-suite/alvaristar-ems>

AlvariSTAR™ es un conjunto completo de Sistema de Gestión de Red, para redes de acceso inalámbrico de banda ancha de Alvarion. Diseñado para los centros de operaciones de red, de compañías y operadores de comunicaciones, AlvariSTAR™ ofrece una gama completa de funcionalidades de supervisión de red, monitorización, configuración y manejo de fallo, para maximizar la efectividad y eficacia, y minimizar el costo de gestión de red, soporta una rápida expansión de la base de clientes. Sus principales características son (ver anexo Software de Gestión de Red):

- **Gestión de la configuración:** Auto descubrimiento de equipo nuevo o cambiado, configuración de elementos de red, gestión de inventario.
- **Gestión de carga de software:** Mejoras de software de los elementos de red, ejecución programada para las horas pico, operaciones automáticas orientadas al dispositivo.
- **Visión de la red:** Topología geográfica, múltiples vías de zoom de las localidades, topología lógica y física, gestión de ubicaciones por regiones, sectores o celdas.



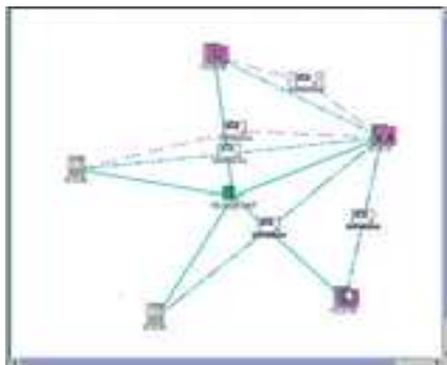


Figura 3.45 Funcionamiento de la herramienta Alvaristar™.

- **Gestión del Servicio:** Gestión y distribución del perfil de servicio, rápido aprovisionamiento del servicio.
- **Gestión de la prestaciones:** Monitorización de prestaciones en tiempo real, recolección estadística de las prestaciones, estadísticas de la carga de tráfico, datos de las prestaciones del enlace inalámbrico, estadísticas de la calidad de servicio.
- **Gestión de la seguridad:** Autorización de acceso de nivel múltiple, gestión de usuarios y de grupos de usuarios, autorización funcional y basada en la ubicación de usuarios y de grupos de usuarios.
- **Arquitectura:** Arquitectura cliente-servidor distribuida.
- **Sistemas operativos:** Windows, Solaris.
- **Base de datos:** Oracle, Versant, MySQL.

#### 3.11.4.2 Hardware de Administración

Los requerimientos de hardware que se recomiendan para el software de gestión antes mencionado, son los siguientes:

- Procesador Dual (Core, AMD o mejores con 1MB L2 de cache).
- 2 GB de RAM con capacidad de expansión del 100% .

- Disco duro SAS (Serial Attached SCSI; SCSI: Small Computer System Interface), con la capacidad de expansión de dos discos duros hot swap.
- Tres puertos USB 2.0.
- Tarjeta de red con 2 puertos Ethernet 10/100 Mbps, RJ45.
- Puerto para teclado, monitor y ratón.
- Unidad de CD/DVD ROM 24x o superior.
- Alimentación eléctrica a 110 V/ 60 Hz.

### 3.12 DIAGRAMA GENERAL DE LA RED

En lo concerniente al direccionamiento IP, y teniendo en cuenta que el número de usuarios por cada radio base puede ser de 134 de forma simultánea, se ha optado por utilizar redes privadas clase C en cada una de las radio bases, para que puedan manejar un máximo de 254 hosts, tomando en cuenta incluso el crecimiento de usuarios a futuro en la red. El siguiente cuadro muestra en detalle la asignación de direcciones:

NODO	SUBRED	RANGO DE DIRECCIONES	GATEWAY	BROADCAST	MÁSCARA DE SUBRED
Guamaní Alto	192.168.1.0	192.168.1.1 - 192.168.1.253	192.168.1.254	192.168.1.255	255.255.255.0
Tarqui	192.168.2.0	192.168.2.1 - 192.168.2.253	192.168.2.254	192.168.2.255	255.255.255.0
Puengasí	192.168.3.0	192.168.3.1 - 192.168.3.253	192.168.3.254	192.168.3.255	255.255.255.0
Simón Bolívar	192.168.4.0	192.168.4.1 - 192.168.4.253	192.168.4.254	192.168.4.255	255.255.255.0
DNC	192.168.5.0	192.168.5.1 - 192.168.5.253	192.168.5.254	192.168.5.255	255.255.255.0
UVN	192.168.6.0	192.168.6.1 - 192.168.6.253	192.168.6.254	192.168.6.255	255.255.255.0
Carcelén Alto	192.168.7.0	192.168.7.1 - 192.168.7.253	192.168.7.254	192.168.7.255	255.255.255.0

Tabla 3.4056 Direccionamiento IP de cada Nodo

Para las direcciones de los enlaces se utilizará la dirección IP 192.168.8.0/24, a la misma que se le dividirá en subredes con el método de VLSM (Máscara de Subred de Longitud Variable) con el objeto de no desperdiciar direcciones. La siguiente tabla muestra las direcciones IP correspondientes a cada enlace:

ENLACE	SUBRED	RANGO DE DIRECCIONES	BROADCAST	MÁSCARA DE SUBRED
Guamaní Alto – Puengasí	192.168.8.0	192.168.8.1 - 192.168.8.2	192.168.8.3	255.255.255.252
Guamaní Alto – Tarqui	192.168.8.4	192.168.8.5 - 192.168.8.6	192.168.8.7	255.255.255.252
Puengasí – DNC	192.168.8.8	192.168.8.9 - 192.168.8.10	192.168.8.11	255.255.255.252
Tarqui - Cruz Loma	192.168.8.12	192.168.8.13 - 192.168.8.14	192.168.8.15	255.255.255.252
Simón Bolívar – DNC	192.168.8.16	192.168.8.17 - 192.168.8.18	192.168.8.19	255.255.255.252
Cruz Loma – DNC	192.168.8.20	192.168.8.21 - 192.168.8.22	192.168.8.23	255.255.255.252
Regimiento Quito – DNC	192.168.8.24	192.168.8.25 - 192.168.8.26	192.168.8.27	255.255.255.252
Carcelén Alto – UVN	192.168.8.28	192.168.8.29 - 192.168.8.30	192.168.8.31	255.255.255.252
UVN – DNC	192.168.8.32	192.168.8.33 - 192.168.8.34	192.168.8.35	255.255.255.252
Simón Bolívar – UVN	192.168.8.36	192.168.8.37 - 192.168.8.38	192.168.8.39	255.255.255.252
UVN - Regimiento Quito	192.168.8.40	192.168.8.41 - 192.168.8.42	192.168.8.43	255.255.255.252
Router de Borde – Cisco Catalyst	192.168.8.44	192.168.8.45 – 192.168.8.46	192.168.8.47	255.255.255.252
Router de Borde – Red DNC	192.168.8.48	192.168.8.49 – 192.168.8.50	192.168.8.51	255.255.255.252

Tabla 3.57 Direccionamiento IP de los Enlaces entre Nodos

Con fines de administración, se utilizará la dirección 192.168.10.0/24 para la gestión y monitoreo de la red.

La figura 3.41 muestra el diagrama general de la red:

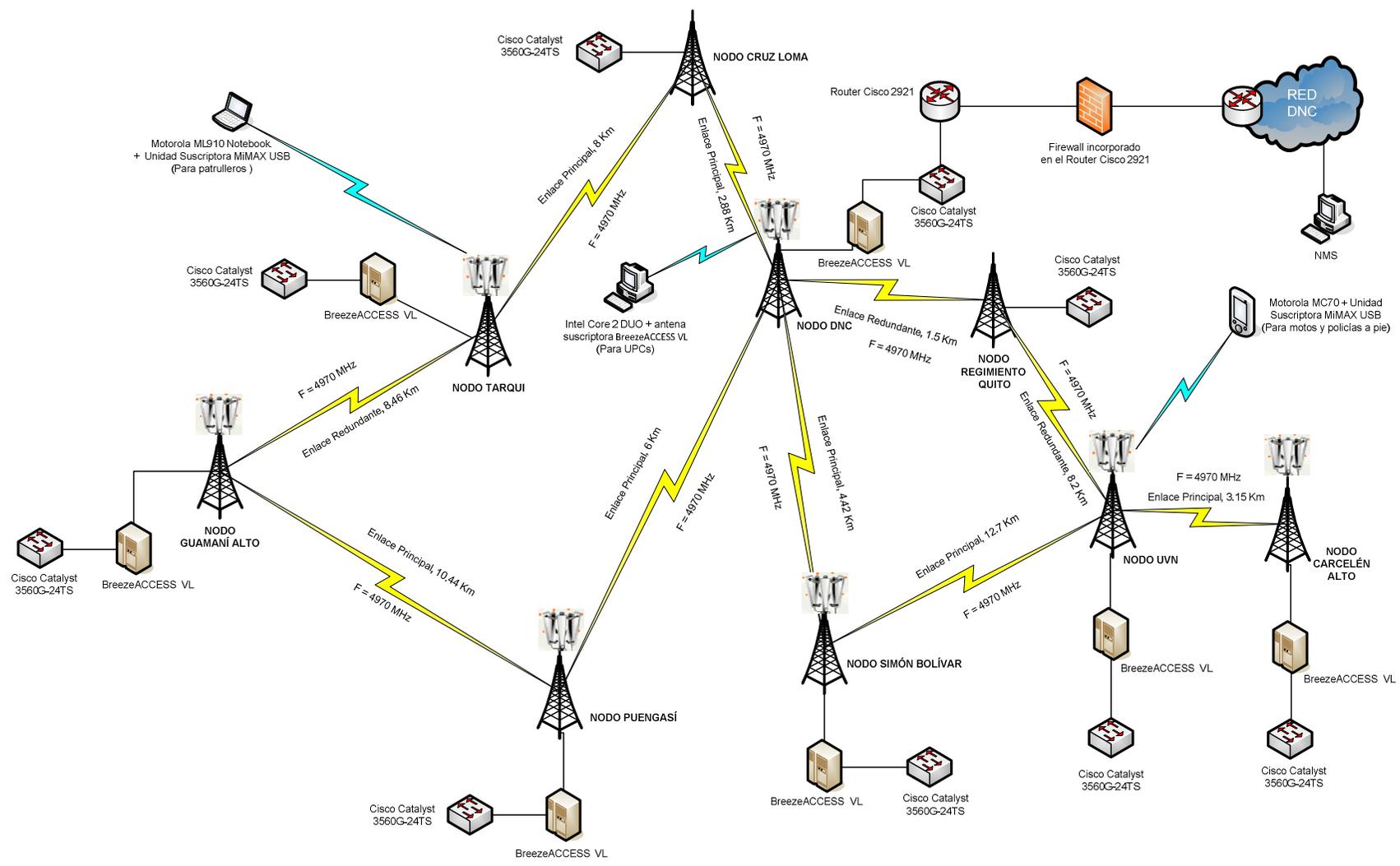


Figura 3.46 Diagrama General de la Red

### **3.13 DETERMINACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL PROYECTO**

Como parte complementaria del presente proyecto es necesario mencionar de manera breve los requerimientos de la infraestructura civil para la puesta en marcha del mismo, y que consisten básicamente en el tipo de torres que se van a utilizar, los sistemas de protección eléctrica (sistemas de puesta a tierra y pararrayos), sistemas de generación eléctrica y los cuartos donde se instalarán los equipos de comunicaciones (shelters).

#### **3.13.1 TORRES<sup>78</sup>**

Una vez determinada la localización de las radio bases y dentro de ellas las ubicaciones de las antenas y la altura adecuada para su correcta operación, es necesario encontrar un lugar adecuado para la instalación de la torre.

En general existen ciertas consideraciones mayores cuando se selecciona el tipo de torre a instalar:

- Carga de la antena.
- Huella de la torre.
- Altura de la torre.

El efecto de la antena sobre una torre depende de la estructura de la torre, del peso de la antena y los cables, de la resistencia al viento que ofrece y de la altura a la que está colocada.

La velocidad media del viento del sitio también se debe tomar en consideración. La velocidad media del viento depende de dónde está ubicado el sitio en la tierra, la altitud y el entorno (rural o ciudad).

---

<sup>78</sup> [http://www.eslared.org.ve/tricalcar/10\\_es\\_instalaciones-para-exteriores\\_guia\\_v01%5B1%5D.pdf](http://www.eslared.org.ve/tricalcar/10_es_instalaciones-para-exteriores_guia_v01%5B1%5D.pdf)

La huella de la torre es la cantidad de espacio sobre la tierra que es requerido para la instalación.

En el caso del proyecto se ha determinado la necesidad de construir 5 torres, ya que en los demás nodos se dispone de la infraestructura necesaria para la instalación de las antenas.

Debido al poco espacio disponible en cada uno de los lugares para la instalación, se deberán instalar torres del tipo autosoportadas. Este tipo de estructura soportará sin ningún problema el peso de las antenas a instalarse, el mismo que no será mayor a 15 kilogramos, y adicionalmente resistirá a las velocidades medias del viento en las zonas de instalación. La figura 3.42 muestra una torre de este tipo:



Figura 3.47 Torre Autosoportada.

Debido a su base relativamente pequeña, esta clase de torres son comunes en ciudades u otros lugares donde hay escasez de espacio libre.

Las torres autosoportadas se pueden construir con tres o cuatro lados. Están formadas por perfiles angulares formando secciones generalmente fabricadas con hierro galvanizado para resistir la corrosión. Cuanto más ancha es la base de la torre, mayor carga puede tolerar.

A continuación se detalla la altura de cada torre a instalar:

NODO	ALTURA DE LA TORRE (M)
Guamaní-Alto	42
Tarqui	30
Simón Bolívar	42
UVN	42
Carcelén-Alto	30

Tabla 3.42 Alturas necesarias de la torres.

### 3.13.2 SISTEMAS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA<sup>79</sup>

Para proteger a cada una de las radiobases en días de tormentas, y que ningún componente de la misma sea dañado es necesario contar con un buen sistema de pararrayos y de puesta a Tierra.

<sup>79</sup> <http://www.sertec.com.py/telegia/telegia/informaciones/eletrogloba2.html>

La instalación de un sistema de puesta a tierra permite la protección de las personas y los bienes contra los efectos de las caídas de rayos, descargas estáticas, señales de interferencia electromagnética y contactos indirectos por corrientes de fugas a tierra. Por lo tanto, la ejecución correcta de la misma brinda importantes beneficios al evitar pérdidas de vidas, daños materiales e interferencias con otras instalaciones.

En la figura 3.43 se muestra un esquema completo para un sistema de protección eléctrica:

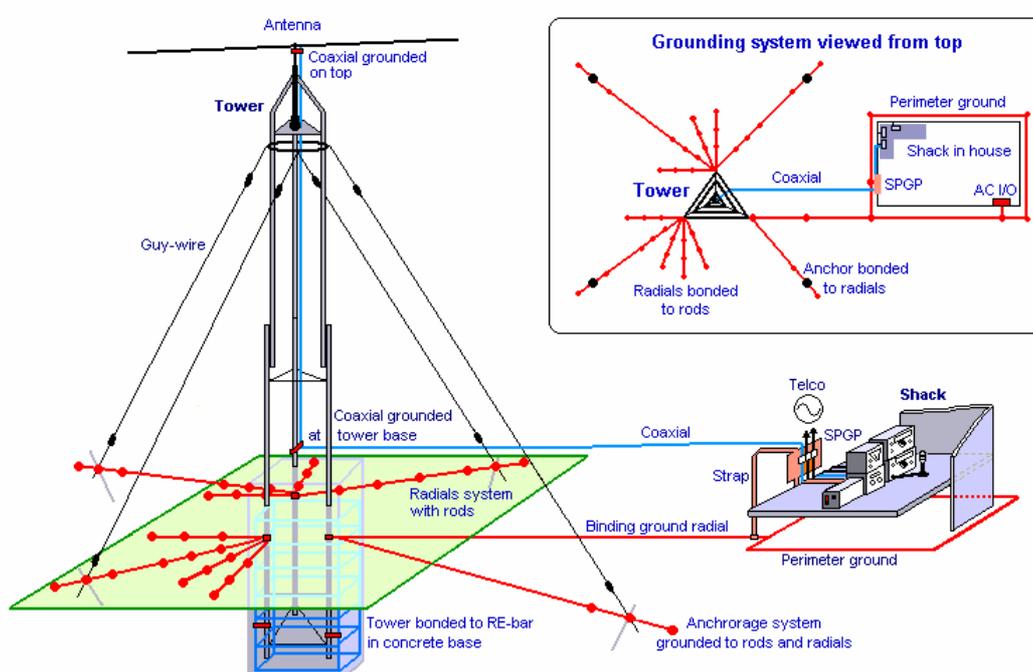


Figura 3.48 Sistema de protección eléctrica para una radiobase de telecomunicaciones

Los rayos son enemigos comunes de las instalaciones inalámbricas, y deberían prevenirse tanto como sea posible. Para ello las torres de comunicación deberán estar equipadas con pararrayos puestos a tierra correctamente en la base de la torre.

El pararrayos debe estar siempre en el punto más alto de la torre. El conductor que une el pararrayos con el electrodo de puesta a tierra no debe tener empalmes y debe de ser de cobre y al menos calibre 10 AWG (American Wire Gage).

### 3.13.3 SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA<sup>80</sup>

El rol principal de este subsistema es proveer de energía a distintos equipos de Telecomunicaciones adaptándose a sus requerimientos. Adicionalmente, proveen de un resguardo de energía con la utilización de un banco de baterías con lo cual se brinda autonomía suficiente para que los equipos trabajen normalmente en caso de un inusual corte de la energía contratada.

Las radio bases están conformadas por una unidad en banda base y las unidades de radio remota. Estos equipos trabajan a -48 Vdc. Con la ayuda de los rectificadores se puede convertir 220 V<sub>AC</sub> (energía comercial contratada) a - 48 V<sub>DC</sub>. La figura 3.44 muestra el esquema básico de un rectificador con resguardo de energía:

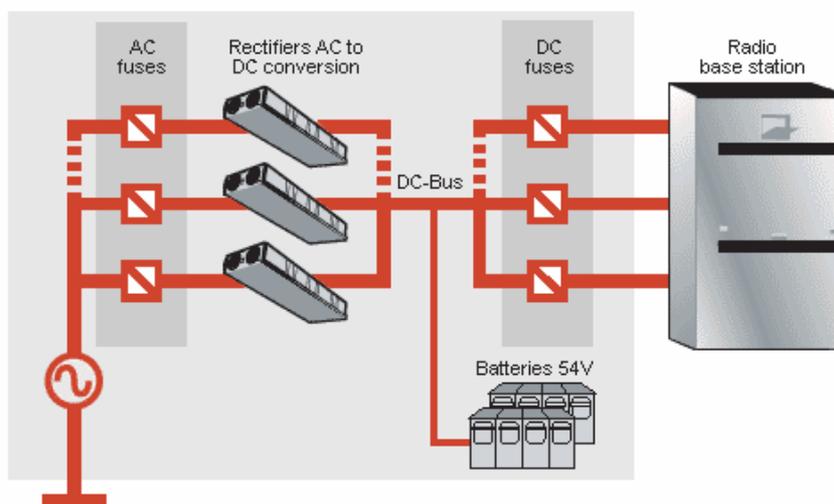


Figura 3.49 Sistema de Energía Eléctrica para una Radio Base

<sup>80</sup><http://tesis.pucp.edu.pe/files/PUCP000000001073/Dise%F1o%20de%20una%20red%20WIMAX%20m%F3vil%20para%20la%20ciudad%20de%20Trujillo.pdf>

Adicionalmente se deben instalar interruptores termomagnéticos (Breakers) dependiendo del Amperaje que requieran los equipos. Esto ayudará a la protección de los equipos contra posibles sobrecargas y corto circuitos.

Para una mayor autonomía en la operación de la radio base, será necesario considerar también la instalación de un generador eléctrico, con lo cual no se dependerá exclusivamente de la energía comercial ni del banco de baterías.

### **3.13.4 CUARTOS DE EQUIPOS**

Al igual que el número de torres que se requieren para el proyecto, se necesitarán 5 cuartos de equipos, también conocidos como shelters, dentro de los cuales se instalarán los equipos de comunicaciones pertenecientes a cada radio base, los mismos que deberán contar con los siguientes requisitos:

- Dimensiones de 1.70 m de ancho, 2 m de largo y 2.20 m alto.
- Estructura metálica de perfiles acerados y tol galvanizado; debe ofrecer un ambiente seguro y seco para la instalación de equipamientos. Sellado para impedir la filtración de agua y polvo, y el escape de aire climatizado.
- Temperaturas entre -10 °C a 20 °C.
- Pintura anticorrosiva.
- Rack de piso de 48 pulgadas de alto y 24 pulgadas de ancho.
- Escalerilla para cableado interior.

## CAPÍTULO IV

### **PRESUPUESTO**

---

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se elaborará el presupuesto referencial para la implementación del presente proyecto, según lo acordado con la Policía Nacional. Para ello se han tomado precios encontrados en el Internet y obtenidos de otros proyectos elaborados por la misma DNC.

Una consideración importante para tener una aproximación real a los costos nacionales, es tomar en cuenta los impuestos relacionados con aranceles, transporte y los impuestos que impone la ley de comercio exterior para la importación de productos.

Se ha tomado como referencia de cálculo a las páginas de la aduana del Ecuador, comercio exterior y las ayudas profesionales de los Departamentos de importaciones de la Empresa Petrobell y Cerlux Cía.Ltda. Las siguientes expresiones matemáticas permiten calcular los impuestos mencionados:

$$\text{CIF} = \text{FOB} + \text{Flete} + \text{seguro}^{81} \quad (25)$$

Donde:

*CIF*: Es la base para el cálculo de los tributos. Éste se lo obtiene sumando el valor de la mercancía soportada en la factura, adicionando el valor del flete más el costo del seguro.

---

<sup>81</sup> <http://blog.todocomercioexterior.com.ec/2010/01/como-calcula-impuestos-tributos.html>  
<http://www.aduana.gob.ec/contenido/procImportar.html>

*FOB*: Precio de la mercadería en la factura.

*Flete*: Se refiere a los costos de transporte. Su costo es de \$1,50 por cada Kg

*Seguro*: Se refiere a que todo producto importado debe contar con su seguro contratado a una empresa del país importador, y que generalmente se lo calcula obteniendo el 2% del FOB + Flete.

Otros valores que se deben calcular son los siguientes:

*Ad-Valorem*: Arancel cobrado a las mercancías y que es administrado por la Aduana del Ecuador. Existe una tabla de partidas arancelarias de acuerdo a los productos que se van a importar, que en el caso de este proyecto se refieren a: Radio bases, antenas, routers, equipos de computación portátiles y software con licencia. Ver Anexo Precios de equipos. Sus valores son:

*Radio Bases*: 0% del CIF

*Antenas*: 15% del CIF

*Routers*: 0% del CIF

*Portátiles*: 0% del CIF

*Software*: 0% del CIF, de acuerdo al Decreto Ejecutivo N° 398, del 17 de junio de 2010 publicado en el registro oficial.

*Fodinfra*: Fondo de desarrollo para la infancia, administrado por el INFA y que representa el 0,5% del CIF.

*ICE*: Impuesto a los consumos especiales, pero que para los productos de este proyecto no aplica.

*Corpei*: Representa el 0,5% del CIF o su valor mínimo que es 5 dólares.

En resumen el valor total del producto es igual a:

$$P_{\text{total}} = \text{CIF} + \text{Ad-valorem} + \text{Fodinfra} + \text{ICE} + \text{corpei} \quad (26)$$

Todos estos costos incluyen el precio de instalación, y adicionalmente se tomará en cuenta un los siguientes rubro del 5% para cubrir gastos de imprevistos.

## **4.2 COSTO DE LA RED**

Para la elaboración del presupuesto se ha dividido los costos en base al hardware y al software a ser utilizado (Ver anexo Precios de equipos).

### **4.2.1 COSTOS DE HARDWARE**

#### **4.2.1.1 Costos de Nodos**

Como se mencionó en el capítulo 3, se utilizarán los equipos WiMAX de la marca Alvarion en lo referente a estaciones base, antenas de acceso y sistema de backhaul, y para funciones de enrutamiento de datos se utilizarán dispositivos de la línea Cisco.

Cabe mencionar que en los nodos DNC, Puengasí, Cruz Loma y Regimiento Quito no se necesita instalar infraestructura civil como torres, shelters y racks, ni tampoco sistemas eléctricos, ya que en estos sitios se dispone de estos elementos para la instalación y el correcto funcionamiento de los equipos de red.

Adicionalmente se debe aclarar que en los costos de los elementos complementarios (Torres, shelters, sistemas de puesta a tierra, etc.) se incluyen los costos de instalación de los mismos.

##### *4.2.1.1.1 Nodo DNC*

La tabla 4.1 muestra los costos para la implementación de este nodo, la misma que incluye los aranceles de importación e IVA:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Estación Base Alvarion BreezeACCESS VL + Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	1	\$4,834.21	\$4,834.21
2	Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	1	\$ 4,030.21	\$ 4,030.21
3	Antena punto a punto para Backhaul Alvarion BreezeNET B300	4	\$ 8,225.75	\$ 32,903.00
4	Switch Capa 3 Cisco Catalyst 3560	1	\$ 3,477.48	\$ 3,477.48
5	Router de Borde Cisco 2921	1	\$ 1,861.41	\$ 1,861.41
6	Cable UTP Categoría 6	160 mts	\$ 0.92	\$ 147.20
7	Patch Cord 3 pies UTP categoría 6	1	\$ 5.06	\$ 5.06
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 47,258.57</b>

Tabla 4.58 Costo del Nodo DNC

#### 4.2.1.1.2 Nodo Puengasí

La tabla 4.2 muestra los costos para la implementación de este nodo:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Estación Base Alvarion BreezeACCESS VL + Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	1	\$4,834.21	\$ 4,834.21
2	Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	1	\$ 4,030.21	\$ 4,030.21
3	Antena punto a punto para Backhaul Alvarion BreezeNET B300	2	\$ 8,225.75	\$ 16,451.50
4	Switch Capa 3 Cisco Catalyst 3560	1	\$ 3,477.48	\$ 3,477.48
5	Cable UTP Categoría 6	80 mts	\$ 0.92	\$ 73.60
6	Patch Cord 3 pies UTP categoría 6	1	\$ 5.06	\$ 5.06
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 28,872.06</b>

Tabla 4.59 Costo del Nodo Puengasí.

#### 4.2.1.1.3 Nodo Cruz Loma

La tabla 4.3 muestra los costos para la implementación de este nodo:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Antena punto a punto para Backhaul Alvarion BreezeNET B300	2	\$ 8,225.75	\$ 16,451.50
2	Switch Capa 3 Cisco Catalyst 3560	1	\$ 3,477.48	\$ 3,477.48
3	Cable UTP Categoría 6	80 mts	\$ 0.92	\$ 73.60
4	Patch Cord 3 pies UTP categoría 6	1	\$ 5.06	\$ 5.06
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 20,007.64</b>

Tabla 4.60 Costo del Nodo Cruz Loma.

#### 4.2.1.1.4 Nodo Regimiento Quito

La tabla 4.4 muestra los costos para la implementación de este nodo:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Antena punto a punto para Backhaul Alvarion BreezeNET B300	2	\$ 8,225.75	\$ 16,451.50
2	Switch Capa 3 Cisco Catalyst 3560	1	\$ 3,477.48	\$ 3,477.48
3	Cable UTP Categoría 6	80 mts	\$ 0.92	\$ 73.60
4	Patch Cord 3 pies UTP categoría 6	1	\$ 5.06	\$ 5.06
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 20,007.64</b>

Tabla 61.4 Costo del Nodo Regimiento Quito.

## 4.2.1.1.5 Nodo UVN

La tabla 4.5 muestra los costos para la implementación de este nodo, en donde los costos de infraestructura civil fueron tomados como referencia de otros proyectos de la Policía Nacional:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
<b>EQUIPO ACTIVO</b>				
1	Estación Base Alvarion BreezeACCESS VL + Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	1	\$4,834.21	\$ 4,834.21
2	Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	2	\$ 4,030.21	\$ 8,060.42
3	Antena punto a punto para Backhaul Alvarion BreezeNET B300	3	\$ 8,225.75	\$ 24,677.25
4	Switch Capa 3 Cisco Catalyst 3560	1	\$ 3,477.48	\$ 3,477.48
<b>ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS</b>				
5	Cable UTP Categoría 6	80 mts	\$ 0.92	\$ 73.60
6	Patch Cord 3 pies UTP categoría 6	1	\$ 5.06	\$ 5.06
7	Torre Autosoportada de 42 metros	1	\$ 36,400.00	\$ 36,400.00
8	Shelter	1	\$ 32,000.00	\$ 32,000.00
9	Sistema de Puesta a Tierra	1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
10	Sistema de Pararrayos	1	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
11	Sistema de Energía Eléctrica	1	\$ 18,000.00	\$ 18,000.00
12	Rack de Piso 48x24 pulgadas	1	\$ 150.04	\$ 150.04
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 103,678.06</b>

Tabla 4.62 Costo del Nodo UVN

## 4.2.1.1.6 Nodo Simón Bolívar

La tabla 4.6 muestra los costos para la implementación de este nodo, en donde los costos de infraestructura civil fueron tomados como referencia de otros proyectos de la Policía Nacional:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
<b>EQUIPO ACTIVO</b>				
1	Estación Base Alvarion BreezeACCESS VL + Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	1	\$4,834.21	\$ 4,834.21
2	Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	2	\$ 4,030.21	\$ 4,030.21
3	Antena punto a punto para Backhaul Alvarion BreezeNET B300	2	\$ 8,225.75	\$ 16,451.50
4	Switch Capa 3 Cisco Catalyst 3560	1	\$ 3,477.48	\$ 3,477.48
<b>ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS</b>				
5	Cable UTP Categoría 6	80 mts	\$ 0.92	\$ 73.60
6	Patch Cord 3 pies UTP categoría 6	1	\$ 5.06	\$ 5.06
7	Torre Autosoportada de 42 metros	1	\$ 36,400.00	\$ 36,400.00
8	Shelter	1	\$ 32,000.00	\$ 32,000.00
9	Sistema de Puesta a Tierra	1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
10	Sistema de Pararrayos	1	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
11	Sistema de Energía Eléctrica	1	\$ 18,000.00	\$ 18,000.00
12	Rack de Piso 48x24 pulgadas	1	\$ 150.04	\$ 150.04
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 91,949.06</b>

Tabla 4.63 Costo del Nodo Simón Bolívar

## 4.2.1.1.7 Nodo Carcelén Alto

La tabla 4.7 muestra los costos para la implementación de este nodo, en donde los costos de infraestructura civil fueron tomados como referencia de otros proyectos de la Policía Nacional:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
<b>EQUIPO ACTIVO</b>				
1	Estación Base Alvarion BreezeACCESS VL + Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	1	\$4,834.21	\$ 4,834.21
2	Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	2	\$ 4,030.21	\$ 8,060.42
3	Antena punto a punto para Backhaul Alvarion BreezeNET B300	1	\$ 8,225.75	\$ 8,225.75
4	Switch Capa 3 Cisco Catalyst 3560	1	\$ 3,477.48	\$ 3,477.48
<b>ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS</b>				
5	Cable UTP Categoría 6	80 mts	\$ 0.92	\$ 73.60
6	Patch Cord 3 pies UTP categoría 6	1	\$ 5.06	\$ 5.06
7	Torre Autosoportada de 30 metros	1	\$ 26,000.00	\$ 26,000.00
8	Shelter	1	\$ 32,000.00	\$ 32,000.00
9	Sistema de Puesta a Tierra	1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
10	Sistema de Pararrayos	1	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
11	Sistema de Energía Eléctrica	1	\$ 18,000.00	\$ 18,000.00
12	Rack de Piso 48x24 pulgadas	1	\$ 150.04	\$ 150.04
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 76,826.56</b>

Tabla 4.64 Costo del Nodo Carcelén Alto.

## 4.2.1.1.8 Nodo Guamaní Alto.

La tabla 4.8 muestra los costos para la implementación de este nodo, en donde los costos de infraestructura civil fueron tomados como referencia de otros proyectos de la Policía Nacional:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
<b>EQUIPO ACTIVO</b>				
1	Estación Base Alvarion BreezeACCESS VL + Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	1	\$4,834.21	\$ 4,834.21
2	Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	2	\$ 4,030.21	\$ 8,060.42
3	Antena punto a punto para Backhaul Alvarion BreezeNET B300	2	\$ 8,225.75	\$ 16,451.50
4	Switch Capa 3 Cisco Catalyst 3560	1	\$ 3,477.48	\$ 3,477.48
<b>ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS</b>				
5	Cable UTP Categoría 6	80 mts	\$ 0.92	\$ 73.60
6	Patch Cord 3 pies UTP categoría 6	1	\$ 5.06	\$ 5.06
7	Torre Autosoportada de 42 metros	1	\$ 36,400.00	\$ 36,400.00
8	Shelter	1	\$ 32,000.00	\$ 32,000.00
9	Sistema de Puesta a Tierra	1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
10	Sistema de Pararrayos	1	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
11	Sistema de Energía Eléctrica	1	\$ 18,000.00	\$ 18,000.00
12	Rack de Piso 48x24 pulgadas	1	\$ 150.04	\$ 150.04
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 95,452.31</b>

Tabla 4.65 Costo del Nodo Guamaní Alto

## 4.2.1.1.9 Nodo Tarqui

La tabla 4.9 muestra los costos para la implementación de este nodo, en donde los costos de infraestructura civil fueron tomados como referencia de otros proyectos de la Policía Nacional:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
<b>EQUIPO ACTIVO</b>				
1	Estación Base Alvarion BreezeACCESS VL + Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	1	\$ 4,652.08	\$ 4,652.08
2	Unidad de Acceso (Antena 120°) + Cable RF	2	\$ 4,030.21	\$ 4,030.21
3	Antena punto a punto para Backhaul Alvarion BreezeNET B300	2	\$ 8,225.75	\$ 16,451.50
4	Switch Capa 3 Cisco Catalyst 3560	1	\$ 3,477.48	\$ 3,477.48
<b>ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS</b>				
5	Cable UTP Categoría 6	80	\$ 0.92	\$ 73.60
6	Patch Cord 3 pies UTP categoría 6	1	\$ 5.06	\$ 5.06
7	Torre Autosoportada de 30 metros	1	\$ 26,000.00	\$ 26,000.00
8	Shelter	1	\$ 32,000.00	\$ 32,000.00
9	Sistema de Puesta a Tierra	1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00
10	Sistema de Pararrayos	1	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
11	Sistema de Energía Eléctrica	1	\$ 18,000.00	\$ 18,000.00
12	Rack de Piso 48x24 pulgadas	1	\$ 150.04	\$ 150.04
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 80,839.97</b>

Tabla 4.66 Costo del Nodo Tarqui

#### 4.2.1.2 Costos de Equipos Terminales

En lo referente a equipos terminales se ha optado por los dispositivos de la marca Motorola como se mencionó en el capítulo anterior, y cuyo número se justifica según el análisis realizado en el capítulo 2.

La tabla 4.10 muestra los costos referenciales de los equipos terminales que serán usados en este proyecto, la misma incluye en el costo total el valor de los aranceles de importación:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO(USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Unidad suscriptora Outdoor BreezeACCESS 4900 (SU-A-4900-BD Incluye: interfaz de red Indoor, fuente de energía, unidad de radio outdoor, antena integrada de 19 dBi, 20m de cable para exteriores CAT5 )	186	\$ 760,40	\$ 145,580.33
2	Unidad suscriptora USB	1791	\$ 350,00	\$ 642,801.60
3	Estaciones de trabajo y monitoreo de la red	99	\$ 500,00	\$ 49,500.00
4	Equipos móviles para patrulleros - Motorola ML910 Rugged Notebook	149	\$ 3.495,00	\$ 534,995.42
5	Equipos móviles para personal a pie - Motorola MC70	1642	\$ 1.805,00	\$ 3,039,235.79
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4,412,113.14</b>

Tabla 4.67 Costo de Equipos Terminales

#### 4.2.2 COSTOS DE SOFTWARE

En este punto se toman en cuenta los costos relacionados con licencias del sistema operativo Windows Vista que se instalará y utilizará en cada uno de los computadores de las Unidades de Policía Comunitaria, así como también del sistema para la gestión y monitoreo de la red, que forma parte de la solución integral de la marca Alvarion. En lo que respecta a la importación del software de administración, esta no tiene gravado ningún arancel, ya que por Decreto Presidencial del 11 de Octubre de 2010 se deroga el decreto 398 que imponía arancel al software importado.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO(USD)	COSTO TOTAL (USD)
1	Licencia para 100 Elementos de red AU - AlvariSTAR - BreezeACCESS VL BST.	1	\$ 30,125.00	\$ 30,125.00
2	Windows Vista Home Basic 32-bit. En español SP11pk DSP OEI DVD	99	\$ 100.27	\$ 9,926.73
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 40,051.73</b>

Tabla 4.68 Costo del Software

#### 4.2.3 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

En la siguiente tabla se calcula el presupuesto referencial para el presente proyecto:

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
1	Nodo DNC	\$ 47,258.57
2	Nodo Puengasí	\$ 28,872.06
3	Nodo Cruz Loma	\$ 20,007.64

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)
4	Nodo Regimiento Quito	\$ 20,007.64
5	Nodo UVN	\$ 103,678.06
6	Nodo Simón Bolívar	\$ 91,949.06
7	Nodo Carcelén Alto	\$ 76,826.56
8	Nodo Guamaní Alto	\$ 95,452.31
9	Nodo Tarqui	\$ 80,839.97
10	Costo Equipos Terminales	\$ 4,412,113.14
11	Costo de Software	\$ 40,051.73
	<b>SUBTOTAL</b>	\$ 5,017,056.74
	Imprevistos (5%)	\$ 250,852.84
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5,267,909.58</b>

Tabla 4.69 Presupuesto del Proyecto

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- Con la implementación de la tecnología WiMAX en el presente proyecto se brindará un servicio de transmisión de datos a altas velocidades, con una cobertura de casi la totalidad de la zona urbana del Distrito Metropolitano de Quito, ofreciendo con esto una plataforma tecnológica a la Policía Nacional, que le permitirá un mejor desempeño de sus operaciones en la ciudad.
- Debido a la topografía irregular que presenta el DMQ, existirán zonas donde la potencia de la señal recibida no será lo suficientemente fuerte para que exista conectividad con la red de la Policía Nacional, pero de acuerdo al planeamiento realizado en el proyecto, estos sectores de baja cobertura se han reducido al mínimo tal como lo demuestran las simulaciones de propagación realizadas con la ayuda del software Radio Mobile.
- Las ubicaciones de las radio bases se han establecido de acuerdo al nivel de cobertura de la señal en el DMQ, seleccionando para ello lugares altos en los extremos de la ciudad que permiten una propagación adecuada de la señal, cubriendo casi la totalidad de la ciudad. Adicionalmente se ha considerado que las coberturas de cada una de ellas se sobrepongan entre un 15% y 20%, lo que permitirá a las unidades móviles no perder conectividad al pasar de una zona a otra.
- Se han identificado varios sitios que servirán como puntos de repetición, que permitirán enlazar las comunicaciones de las radio bases más alejadas con el nodo de la Dirección Nacional de Comunicaciones de la Policía.

- La utilización de la banda de frecuencia de 4.9 GHz, solicitada por la Policía para la elaboración de este proyecto, eliminará cualquier interferencia ocasionada por otros sistemas de comunicación que operan tanto en bandas licenciadas como no licenciadas, ya que el uso de la misma es exclusivo para la seguridad pública.
- El uso de canales de 5 MHz, y el diseño de un plan de reuso de frecuencias para las comunicaciones entre los dispositivos fijos y móviles con las radio bases, permitirá un uso adecuado del espectro radioeléctrico, evitando la saturación del mismo en la respectiva banda de frecuencia.
- La determinación del número de usuarios y crecimiento de la demanda se ha basado en información proporcionada por la Policía, en la misma que se detallan datos como: número de patrulleros, motos y computadores en las Unidades de Policía Comunitaria actuales y los que se requieren a futuro, así como también información del número de policías en total que opera en el DMQ.
- Con el diseño de red elaborado en este proyecto, se tiene la capacidad en un futuro, de transmitir video en tiempo real, lo que permitirá integrarse fácilmente con otros sistemas de este tipo con los que cuenta la Institución, como lo es el sistema de video vigilancia Ojos de Águila.
- En el presente proyecto se han mencionado también los elementos de infraestructura civil y sistemas eléctricos complementarios que se necesitan para instalar y poner en operación a cada una de las radio bases.
- Se ha elaborado un presupuesto referencial del proyecto, lo que permitirá a la Policía Nacional evaluar la factibilidad del mismo.
- La implementación de este proyecto servirá como herramienta efectiva a la Policía Nacional para la disminución de ciertos delitos como el robo de vehículos, el detectar individuos con órdenes de captura, etc.; los mismos

que requieren información actualizada e inmediata para su erradicación, así como para la emisión de infracciones de tránsito.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para evitar el ingreso de personal no autorizado a las bases de datos de la Policía Nacional, y también para impedir el mal uso y manipulación de la información en las mismas, se dispone de un router en el borde de la red que cuenta con las funcionalidades de servidor de autenticación y firewall para la red diseñada. Sin embargo, para un mejor desempeño y protección del router contra posibles ataques y accesos de usuarios no autorizados, se recomienda contar con un servidor dedicado que realice estas tareas de forma independiente y que este localizado lo más cerca del borde de la red.
- De acuerdo a las necesidades de cada una de los estamentos policiales, se recomienda diseñar las aplicaciones informáticas que cada uno de estos puede requerir para el combate efectivo contra la delincuencia y el crimen organizado, tales como: ubicación automática de vehículos, consultas a las bases de datos, transferencia de imágenes, elaboración de fichas policiales, creación de informes y emisión de infracciones. Es necesario resaltar la importancia de la infraestructura que se diseñó para este proyecto, ya que por sus costos permitirá explotar una alta cantidad de servicios que justifiquen su inversión.
- Se recomienda la realización de un proyecto complementario para ampliar la cobertura de la red en las zonas rurales del DMQ, el mismo que puede servir como modelo para la implementación futura de este sistema integral de comunicaciones en otras ciudades del País.
- Se recomienda a la Institución ubicar un terreno donde se pueda instalar un nuevo sitio de repetición, para con ello completar la redundancia de los

enlaces en todas las radio bases, principalmente para la radio base Carcelén Alto, que es la única que no cuenta con este sistema de redundancia, ya que no existe línea de vista directa con otro sitio perteneciente a la Policía.

- Se recomienda a la Policía Nacional realizar gestiones con Gobiernos de países amigos como los Estados Unidos, Gran Bretaña, Japón, para la asesoría y adquisición directa de equipos terminales que se adapten adecuadamente a las funcionalidades propias de las operaciones policiales, es decir elementos que se adapten por ejemplo de manera óptima a la estructura de un patrullero.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### CAPITULO I

- Tesis: “Diseño de un “Backbone” Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios”, Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006.
- Tesis: “Estudio de las redes Metro-Ethernet y su integración con la tecnología WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)”, Luis Patricio Chiluisa Armas, 2009.
- Revista “Técnico en Redes y Comunicaciones para Computadores”, editorial CODESIS, 2000.
- Plan Nacional de Frecuencias Ecuador. Marzo 2008
- “Visión General de Tecnologías Inalámbricas”, Iván Bernal, Ph.D, Escuela Politécnica Nacional, 2008.
- Redes de Área Local, Ing. Pablo Hidalgo, Escuela Politécnica Nacional, 2008.
- <http://es.wikipedia.org>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/RSA>
- [http://www.ingenieria.cl/tesis/ing\\_%28c%29\\_elec/4%282007%29/1.pdf](http://www.ingenieria.cl/tesis/ing_%28c%29_elec/4%282007%29/1.pdf)
- <http://tesis.pucp.edu.pe/files/PUCP000000001073/Dise%F1o%20de%20una%20red%20WiMAX%20m%F3vil%20para%20la%20ciudad%20de%20Trujillo.pdf>
- <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3582/1/53965-1.pdf>
- <http://www.conniq.com/WiMAX/tdd-fdd.htm>

- [http://people.debian.org/~sto/artículos\\_bei/BEI-2003-11/certificados\\_digitales.htm#id2806966](http://people.debian.org/~sto/artículos_bei/BEI-2003-11/certificados_digitales.htm#id2806966)
- <http://es.wikitel.info/wiki/WiMAX>
- [http://www.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id\\_noticia=60285&id\\_seccion=6](http://www.elcomercio.com/noticiaEC.asp?id_noticia=60285&id_seccion=6)
- <http://www.wimaxmaps.org/>

## **CAPITULO II**

- Jefatura de Policía Comunitaria del DMQ - septiembre 2009
- Dirección Nacional de Comunicaciones - septiembre 2008
- <http://bibdigital.epn.edu.ec/dspace/bitstream/15000/97/1/CD-0518.pdf>
- [http://www.inec.gov.ec/web/guest/ecu\\_est/est\\_soc/cen\\_pob\\_viv](http://www.inec.gov.ec/web/guest/ecu_est/est_soc/cen_pob_viv)
- <http://www.motorola.com/content.jsp?globalObjectId=904-1663>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Quito\\_%28cant%C3%B3n%29#Divisi.C3.B3n\\_pol.C3.ADtica\\_del\\_Distrito\\_Metropolitano\\_de\\_Quito](http://es.wikipedia.org/wiki/Quito_%28cant%C3%B3n%29#Divisi.C3.B3n_pol.C3.ADtica_del_Distrito_Metropolitano_de_Quito)

## **CAPITULO III**

- Tesis: “Diseño de un “Backbone” Inalámbrico utilizando tecnología WiMAX, para la integración de puntos de acceso WiFi de diferentes proveedores en el Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para ofrecer multiservicios”, Christian Ernesto Alvear Pacheco y Galo Patricio García Pallaroso, 2006.
- Tesis: “Estudio y Diseño de una Red Virtual Privada Móvil (VPN móvil) con tecnología WiMAX 802.16e-2005 (Worldwide Interoperability for Microwave Access) para un carrier local con cobertura en la zona norte de la Ciudad de Quito, Andrés Edison Carrillo Ampudia, Capítulo 2. Quito, Febrero 2009.

- Comunicaciones Inalámbricas. Msc.Soraya Sinche. Septiembre 2007.
- [http://www.montevideolibre.org/manuales:libros:mmtk:capitulo\\_4.1](http://www.montevideolibre.org/manuales:libros:mmtk:capitulo_4.1)
- <http://www.fao.org/docrep/W7445S/w7445s03.htm>
- <http://www.alvarion.com/index.php/en/products/products-list/star-management-suite/alvaristar-ems>
- [http://www.eslared.org.ve/tricalcar/10\\_es\\_instalaciones-para-exteriores\\_guia\\_v01%5B1%5D.pdf](http://www.eslared.org.ve/tricalcar/10_es_instalaciones-para-exteriores_guia_v01%5B1%5D.pdf)
- <http://www.sertec.com.py/telegia/telegia/informaciones/eletrogloba2.html>
- <http://tesis.pucp.edu.pe/files/PUCP000000001073/Dise%F1o%20de%20una%20red%20WIMAX%20m%F3vil%20para%20la%20ciudad%20de%20Trujillo.pdf>
- [www.alvarion.com](http://www.alvarion.com)
- [www.netkrom.com](http://www.netkrom.com)
- [www.airspan.com](http://www.airspan.com)
- [www.cisco.com](http://www.cisco.com)
- [www.3com.com](http://www.3com.com)
- [www.dlink.com](http://www.dlink.com)
- [www.motorola.com](http://www.motorola.com)
- <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

## **CAPITULO IV**

- <http://www.magnumelectronics.com/motorola-symbol-mobile-computer/>
- <http://www.moonblinkwifi.com>
- <http://www.geminicomputersinc.com>
- <http://isptrader.com/pricelist.htm>

## TÉRMINOS

[1] ICM: Bandas de frecuencia Industriales, Científicas y Médicas.

[2] FHSS: Espectro expandido por salto de frecuencia.

[3] DSSS: Espectro expandido por secuencia directa.

[4] OFDM: Multiplexado ortogonal por división de frecuencia.

[5] TDD: Duplexación por división de tiempo.

[6] OFDMA: Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal.

[7] CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection.

[8] DQDB: Doble bus de cola distribuida.

[9] QoS: Calidad de servicio.

[10] PTP: Protocolo punto – punto.

[11] PTMP: Protocolo punto – multipunto.

[12] QAM: Modulación de amplitud en cuadratura.

[13] QPSK: Quadrature Phase – Shift Keying.

[14] ATM: Modo de transferencia asíncrona.

[15] DES: Data Encryption Standard.

[16] AES: Advanced Encryption Standard.

[17] RSA: Rivest, Shamir y Adleman.

[18] PSTN: Red telefónica pública conmutada.

- [19] SNR: Relación señal / ruido.
- [20] PDU: Unidad de datos de protocolo.
- [21] DSA: Digital Signature Algorithm.
- [22] ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line.
- [23] TDM: Multiplexación por división de tiempo.

## **ANEXOS**

ANEXO A: Atribución de Frecuencias en el Ecuador.

ANEXO B: Información Policía Nacional.

ANEXO C: Especificaciones Técnicas de los Equipos WiMAX.

ANEXO D: Especificaciones Técnicas de los Equipos Terminales.

ANEXO E: Especificaciones Técnicas de los Equipos de Enrutamiento.

ANEXO F: Especificaciones Técnicas del Software de Gestión de Red.

ANEXO G: Elementos de Infraestructura Civil.