



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

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

**AUTOR: CEVALLOS DEL CASTILLO, ANDRÉS SEBASTIÁN**

**TEMA: ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA EN LA  
BANDA DE 900 MHz PARA LARGAS DISTANCIAS EN LA REGION  
SIERRA**

**DIRECTOR: ING. CORRAL, DANILO**

**CODIRECTOR: ING. LARA, ROMÁN**

**SANGOLQUÍ, FEBRERO 2013**

## **CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el Sr. Andrés Sebastián Cevallos Del Castillo que desarrolló y finalizó el proyecto en su totalidad bajo nuestra dirección.

Ing. Danilo Corral  
**DIRECTOR**

Ing. Román Lara  
**CODIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Andrés Sebastián Cevallos Del Castillo

### **Declaro que:**

El proyecto de grado “Estudio y diseño de una red inalámbrica en la banda de 900 MHz para largas distancias en la región Sierra”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mí autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolguí, 04 de febrero del 2014

---

**Andrés Sebastián Cevallos Del Castillo**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, Andrés Sebastián Cevallos Del Castillo

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Estudio y diseño de una red inalámbrica en la banda de 900 MHz para largas distancias en la región Sierra”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 04 de febrero del 2014

---

**Andrés Sebastián Cevallos Del Castillo**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a las personas que amo en mi vida, a mis padres, que han sido el pilar más importante en todo el trayecto de mi vida estudiantil y personal, a mi abuelita que me cuida desde el cielo y que siempre se preocupó y estuvo pendiente de mí.

Lo dedico a aquellas personas que me dieron siempre la mano cuando más la necesite, que junto a mí lloraron, rieron, a todos ellos que aportaron con su granito de arena para que culmine mi carrera.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento es a Dios por iluminarme en los momentos en que más lo necesitaba y por mostrarme la luz y el camino para seguir adelante.

Quiero agradecer también a mis padres por dejarme la mejor herencia para un hombre que es la educación.

Mi más sincero agradecimiento también a todas las personal que en mi vida estudiantil me supieron aconsejar y apoyar para seguir adelante, espero algún día poder recompensarles.

## INDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>18</b>
<b>DIAGNÓSTICO DE ESTUDIO .....</b>	<b>18</b>
<b>1.1. Introducción. ....</b>	<b>18</b>
<b>1.2. Motivación e importancia del proyecto.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3. Alcance del proyecto. ....</b>	<b>21</b>
<b>1.4. Objetivos. ....</b>	<b>22</b>
<b>1.4.1. Objetivo General.....</b>	<b>22</b>
<b>1.4.2. Objetivos Específicos. ....</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>24</b>
<b>FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1. Redes Inalámbricas.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.1. Topología de una Red Inalámbrica.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.2. Aplicaciones de las Redes Inalámbricas. ....</b>	<b>28</b>
<b>2.2. Bandas de Frecuencia ICM.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.1. Características de las bandas de frecuencia ICM.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.2. Regulaciones existentes en las bandas de frecuencias ICM. ....</b>	<b>31</b>
<b>2.3. Bandas de frecuencia de 900 MHz. ....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.1. Regulaciones existentes en la banda de 900 MHz .....</b>	<b>32</b>
<b>2.4. Trabajos relacionados. ....</b>	<b>34</b>
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>37</b>

<b>MATERIALES Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>37</b>
<b>MATERIALES.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1. Equipos para la banda de 902-928 MHz.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2. Fabricantes de equipos para la banda de 902 -928 MHz. ....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.1 Ubiquiti Referencia de la empresa. ....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.2 Ubiquiti NanoStation LOCO M900. ....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.3. Ubiquiti Rocket M900.....</b>	<b>42</b>
<b>3.3. Sistema Operativo airOS.....</b>	<b>44</b>
<b>3.4. RF Explorer.....</b>	<b>45</b>
<b>3.5. Estudio del Software de Simulación.....</b>	<b>46</b>
<b>3.5.1. Sirenet. ....</b>	<b>46</b>
<b>3.5.2. Radio Mobile. ....</b>	<b>47</b>
<b>3.5.3. NS2. ....</b>	<b>48</b>
<b>3.5.4. D-ITG.....</b>	<b>49</b>
<b>MÉTODOLOGÍA .....</b>	<b>51</b>
<b>3.6. Configuración de parámetros generales del inyector de tráfico.....</b>	<b>51</b>
<b>3.6.1. Configuración del Transmisor.....</b>	<b>51</b>
<b>3.6.2. Configuración del Receptor .....</b>	<b>54</b>
<b>3.7. Configuración de los equipos.....</b>	<b>55</b>
<b>3.8. Configuración de un enlace Punto a Punto. ....</b>	<b>58</b>
<b>3.8.1. Configuración Unidad Base.....</b>	<b>59</b>
<b>3.8.2. Configuración Unidad Remota.....</b>	<b>64</b>

<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>68</b>
<b>PLANIFICACIÓN DE LA RED .....</b>	<b>68</b>
<b>4.1. Mediciones del Espectro Radioeléctrico en la Banda de 900 MHz. ....</b>	<b>68</b>
<b>4.2. Planificación del Enlace.....</b>	<b>80</b>
<b>4.3. Enlace de corta distancia.....</b>	<b>81</b>
<b>4.3.1. Perfil Topográfico. ....</b>	<b>82</b>
<b>4.3.2. Factibilidad del Lugar. ....</b>	<b>83</b>
<b>4.3.3. Diseño del Enlace. ....</b>	<b>84</b>
<b>4.3.4. Topología de la Red. ....</b>	<b>86</b>
<b>4.3.5. Selección de Equipos y Materiales.....</b>	<b>87</b>
<b>4.3.6. Implementación de la Red.....</b>	<b>88</b>
<b>4.4. Enlace de larga distancia.....</b>	<b>91</b>
<b>4.4.1. Perfil Topográfico.....</b>	<b>93</b>
<b>4.4.2. Diseño del Enlace. ....</b>	<b>93</b>
<b>4.4.3. Topología de la Red. ....</b>	<b>95</b>
<b>4.4.4. Selección de equipos y materiales.....</b>	<b>96</b>
<b>4.4.5. Implementación de la Red.....</b>	<b>98</b>
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>103</b>
<b>PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>103</b>
<b>5.1. Cálculos de Propagación. ....</b>	<b>103</b>
<b>5.1.2 Pérdidas en el cable.....</b>	<b>103</b>

5.1.1	<b>Pérdidas por Propagación.</b> .....	104
5.1.3	<b>Nivel de Recepción.</b> .....	105
5.2.	<b>Pruebas y Mediciones en el enlace de larga distancia.</b> .....	106
5.2.2	<b>Funcionamiento de los equipos.</b> .....	106
5.2.2	<b>Prueba de ping entre las interfaces del enlace.</b> .....	109
5.2.3	<b>Medición del rendimiento del enlace.</b> .....	111
5.2.4	<b>Medición del Nivel de Recepción.</b> .....	112
5.3.	<b>Inyección de Tráfico en el enlace de larga distancia.</b> .....	114
5.3.2	<b>Configuración del Transmisor.</b> .....	114
5.3.2	<b>Configuración del Receptor.</b> .....	116
5.4.	<b>Análisis de Gráficas.</b> .....	117
5.4.1	<i>Delay.</i> .....	118
5.4.2	<i>Jitter.</i> .....	119
5.4.3	<b>Paquetes Perdidos.</b> .....	120
5.4.4	<b>Throughput.</b> .....	122
5.5.	<b>Pruebas y Mediciones en el enlace de corta distancia.</b> .....	125
5.6.	<b>Simulación en NS2.</b> .....	127
	<b>CAPÍTULO 6</b> .....	129
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	129
6.1.	<b>Conclusiones.</b> .....	129
6.2.	<b>Recomendaciones.</b> .....	131
6.3.	<b>Bibliografía.</b> .....	133

**ANEXOS ..... 134**

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Uso de Radiofrecuencias.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2. Bandas de Frecuencia ICM.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3. Atribución de Frecuencias en 900 MHz.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 4. Mediciones Banda 900 MHz Quito.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 5. Coordenadas Enlace 1.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 6. Datos de la Simulación.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 7. Resultados de la Simulación.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 8. Esquema de Direccionamiento.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 9. Equipos y Materiales.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 10. Configuración Física de los Equipos.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 11. Coordenadas Enlace de Larga Distancia.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 12. Datos de la Simulación.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 13. Resultados de la Simulación.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 14. Esquema de Direccionamiento.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 15. Equipos y Materiales.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 16. Configuración Física de Equipos.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 17. Parámetros del Transmisor.....</i>	<i>114</i>
<i>.Tabla 18. Rendimiento 900 MHz vs Rendimiento 2.4 GHz.....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 19. Características de Ubiquiti NanoStation M900.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 20. Características Ubiquiti Rocket M900.....</i>	<i>136</i>

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Topología de Infraestructura.</i>	27
<i>Figura 2. Topología Ad-Hoc.</i>	28
<i>Figura 3. Aplicaciones de Redes Inalámbricas.</i>	29
<i>Figura 4. Ubiquiti NanoStation LOCO M900.</i>	39
<i>Figura 5. Tarjeta Ubiquiti NanoStation LOCO M900.</i>	40
<i>Figura 6. Conectores de Hardware.</i>	40
<i>Figura 7. Indicadores Leds.</i>	41
<i>Figura 8. Ubiquiti Rocket M900.</i>	42
<i>Figura 9. Tarjeta Rocket M900.</i>	42
<i>Figura 10. Partes del Hardware.</i>	43
<i>Figura 11. Conectores del Hardware.</i>	43
<i>Figura 12. Indicadores Leds.</i>	44
<i>Figura 13. RF Explorer.</i>	45
<i>Figura 14. Sirenet.</i>	46
<i>Figura 15. Configuración de TX: Define Flow.</i>	51
<i>Figura 16. Configuración de Tx: Settings.</i>	52
<i>Figura 17. Configuración de Tx: Analyzer.</i>	53
<i>Figura 18. Configuración de Tx: Information.</i>	53
<i>Figura 19. Configuración de Rx: Settings.</i>	54
<i>Figura 20. Conexión de Dispositivos.</i>	56
<i>Figura 21. Ubiquiti Discovery.</i>	57
<i>Figura 22. Dirección IP del NanoStation.</i>	57
<i>Figura 23. Ventana de Configuración.</i>	58
<i>Figura 24. Configuración de Red.</i>	59
<i>Figura 25. Configuración IP Estática.</i>	60
<i>Figura 26. Configuración Wireless.</i>	61
<i>Figura 27. Configuración de la Antena.</i>	61
<i>Figura 28. Configuración Avanzada.</i>	62
<i>Figura 29. Configuración de Servicios.</i>	63
<i>Figura 30. Configuración del Sistema.</i>	63
<i>Figura 31. Configuración de Red.</i>	64
<i>Figura 32. Configuración Wireless.</i>	65
<i>Figura 33. Configuración Avanzada.</i>	66
<i>Figura 34. Configuración de Servicios.</i>	67
<i>Figura 35. Configuración del Sistema.</i>	67
<i>Figura 36. Antiguo Aeropuerto Mariscal Sucre.</i>	69
<i>Figura 37. Portadora Antiguo Aeropuerto Mariscal Sucre.</i>	69
<i>Figura 38. Centro Comercial Ipiales.</i>	70
<i>Figura 39. Portadora CCI.</i>	70

<i>Figura 40. Cotocollao.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 41. Portadora Cotocollao.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 42. Escuela Politécnica Nacional.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 43. Portadora Escuela Politécnica Nacional.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 44. Estadio Olímpico Atahualpa.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 45. Portadora Estadio Olímpico Atahualpa.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 46. Estadio Casa Blanca.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 47. Portadora Estadio Casa Blanca.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 48. Parque Inglés.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 49. Portadora Parque Inglés.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 50. Peaje Autopista General Rumiñahui.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 51. Portadora Peaje Autopista General Rumiñahui.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 52. Plaza de Toros Quito.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 53. Plaza de Toros Quito.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 54. San Luis Shopping.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 55. Portadora San Luis Shopping.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 56. El Triángulo.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 57. Portadora El Triángulo.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 58. Distancia Enlace de Corta Distancia.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 59. Perfil Topográfico ESPE – Iglesia Los Bajos del Ilaló.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 60. Vista ESPE – Iglesia los Bajos del Ilaló.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 61. Señal Iglesia Los Bajos del Ilaló.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 62. Señales ESPE.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 63. Resultados de la Simulación.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 64. Gráfico del Propagación del Enlace.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 65. Topología de Red.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 66. Medidor de la Intensidad de Señal.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 67. Ubicación Pilisurco y ESPEL.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 68. Distancia Enlace de Larga Distancia.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 69. Perfil Topográfico Pilisurco - ESPEL.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 70. Resultados de la Simulación.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 71. Gráfica de Propagación del Enlace.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 72. Topología de Red.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 73. Vista Pilisurco – ESPEL.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 74. Vista ESPEL – Pilisurco.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 75. Infraestructura utilizada.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 76. Suministro de Energía Pilisurco – ESPEL.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 77. Medidor de la Intensidad de la Señal.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 78. Medición Unidad Base Apagada.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 79. Medición Unidad Base Encendida.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 80. Unidad Receptora Apagada.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 81. Unidad Receptora Encendida.....</i>	<i>108</i>

<i>Figura 82. Dirección IP PC1.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 83. Dirección IP PC2.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 84. Ping PC1 – PC2.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 85. Ping PC2 – PC1.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 86. Rendimiento Enlace de Larga Distancia.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 87. Nivel de Rx Simulación Radio Mobile.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 88. Nivel de Rx Enlace de Larga Distancia.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 89. Define Flow Transmisor.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 90. Settings Transmisor.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 91. Analyzer Transmisor.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 92. Analyzer Receptor.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 93. Delay.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 94. Jitter.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 95. Packetloss.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 96. Throughput.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 97. Throughput Normalizado.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 98. Obstáculos Enlace de Corta Distancia.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 99. Simulación Radio Mobile enlace de corta distancia.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 100. Nivel de Rx enlace de Corta Distancia.....</i>	<i>126</i>

**INDICE DE FORMULAS**

<i>Ecuación 1. Pérdidas en el espacio libre. ....</i>	<i>104</i>
<i>Ecuación 2. Nivel de Rx.....</i>	<i>105</i>
<i>Ecuación 3. Cálculo del Throughput.....</i>	<i>127</i>

## RESUMEN

El presente proyecto dio a conocer la utilidad de la banda de frecuencia ICM de 902 a 928 MHz. Debido a la saturación de otras bandas de frecuencia nos vemos obligados a buscar nuevas alternativas que nos permitan desarrollar aplicaciones, utilizando otras secciones del espectro radio eléctrico. El estudio de trabajos anteriores realizados en esta banda de frecuencia, así como la comparación con otras bandas de frecuencia ICM se encuentran comprendidos en el Capítulo 2, en el cual se resume en síntesis todo lo referente a las bandas de frecuencia ICM, regulaciones para su uso en el Ecuador y sus características. En el Capítulo 3 se estudian los materiales y métodos utilizados entre estos; el funcionamiento y configuración del Nanostation LOCO M900 para lograr un alcance de larga distancia, además el estudio del inyector de tráfico D-ITG y el *software* de simulación *Radio Mobile*. En el Capítulo 4 se describe todo lo referente a planeación de la red, es decir cómo está diseñada la red y como trabaja cada uno de los equipos, asimismo se presenta un análisis sobre los resultados que presenta la simulación de la red y el estudio radioeléctrico en *Radio Mobile*. En el Capítulo 5, mediante los argumentos del capítulo anterior se detalla la medición del tráfico a partir de la inyección del mismo con la herramienta D-ITG y el análisis de cada uno de los parámetros que miden el desempeño de la red como; *delay*, *jitter*, paquetes perdidos y *Throughput*.

**Palabras Clave:** 900 MHz, Larga Distancia, Inalámbrico, Inyección de Tráfico.

## CAPÍTULO I

### DIAGNÓSTICO DE ESTUDIO

#### 1.1. Introducción.

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en la Nota 5.150 establece que, el uso de la banda de 902-928 MHz es atribuida al servicio fijo, aficionados, móvil salvo móvil aeronáutico y radiolocalización. También establece que las bandas 902-928 MHz, 2400-2500 MHz y 5725-5875 MHz están asignadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM).

Las bandas de frecuencias ICM son reservadas originalmente para uso no comercial, posteriormente, se empezaron a usar para sistemas de comunicación tolerantes a fallos que no necesitan licencias para la emisión de ondas.

El uso de estas bandas de frecuencia está abierto a todo los usuarios, 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.

Una de las grandes ventajas en redes de la banda de los 900 MHz es que no necesita línea de vista entre los puntos a enlazar a diferencia de las otras bandas

ICM. Las bandas de 2,4 y 5 GHz están siendo ampliamente utilizadas en las redes de acceso de los proveedores de Servicio de Internet tanto en las zonas urbanas como rurales, siempre y cuando el alcance lo permita.

En nuestro país, la banda de 900 MHz no ha sido explotada como la de 2,4 o 5 GHz, debido a la ausencia de equipos de radio que operen en esta banda, lo que sí ha ocurrido con los equipos que soportan los estándares IEEE 802.11 e IEEE 802.16<sup>1</sup> para las bandas antes mencionadas.

Actualmente hay una gran demanda de servicios de telecomunicaciones inalámbricas para materializar las redes de acceso en bandas no licenciadas o bandas ICM. En la banda de los 900 MHz no se han realizado estudios para analizar su nivel de ocupación, alcance, capacidad y otros parámetros que brinden una idea clara de cómo explotar este recurso en nuestro país.

## **1.2. Motivación e importancia del proyecto.**

En los últimos años se ha podido observar un importante avance tecnológico en nuestro país, esto se debe al incremento proyectos de investigación que se realiza en las universidades y centros especializados. Este tipo de estudios está orientado a contribuir con la conexión a Internet y la mejora de la comunicación en las zonas menos pobladas, logrando así disminuir la brecha digital.

En el año 2011 se desarrolló un proyecto de investigación en el Centro de Investigación y Desarrollo de Redes AD-HOC “CIRAD” con la finalidad de

---

<sup>1</sup> IEEE802.11 e IEEE802.16, estándares para la implementación de redes inalámbricas.

analizar el desempeño de una red para largas distancias en la región Sierra, en el cual se utilizó una banda de frecuencia ICM (2,4 GHz) y en el que se pudo observar que dicha banda está siendo utilizada para varias aplicaciones de telecomunicaciones, motivo por el cual se encuentra saturada, por esta razón se debe buscar una nueva banda de frecuencia que no sea licenciada y que facilite las comunicaciones inalámbricas a larga distancia como lo es el caso de la banda de frecuencia de 902 a 928 MHz.

Es necesario buscar nuevas alternativas que permitan la conectividad en la banda de 902 - 928 MHz, tanto en las zonas urbanas, donde las bandas de 2,4 y 5 GHz estén saturadas, o su alcance no lo permita, como en las zonas rurales y urbano-marginales las cuales no tienen acceso a redes de cable o fibra óptica, por el costo de despliegue que estas conllevan y el bajo poder adquisitivo de los habitantes de las mismas, además que los operadores de Telecomunicaciones que se encuentran en el mercado, no están dispuestos a pagar el costo para la implementación de estas redes en las zonas rurales y urbano marginales ya que no representa un negocio rentable, por lo cual la única alternativa viable es la comunicación inalámbrica.

Es cierto que los grupos minoritarios se encuentran en distintos niveles de desventaja, pero cuando se les relaciona con la brecha digital, la principal razón de su exclusión no es que sean minorías, sino sus desventajas socio-económicas debido a un bajo nivel educativo y a un pobre ingreso, por lo cual el gobierno se ve en la obligación de solucionar este inconveniente utilizando los recursos disponibles como las bandas de frecuencia ICM del espectro radioeléctrico con lo cual se

facilita el acceso a las TIC<sup>2</sup> por los habitantes de estas zonas para así disminuir la brecha digital.

Al realizar pruebas de campo con equipos que trabajen en la banda de 900 MHz, se podrá contar con datos reales, tanto del nivel de ocupación de esa banda, como el comportamiento de la misma y los equipos existentes para trabajar en ella.

Los resultados de este trabajo podrán ser considerados como una nueva alternativa para el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas y para una mejor utilización de las bandas de frecuencia ICM que se encuentran abiertas para todos los usuarios.

### **1.3. Alcance del proyecto.**

En el presente proyecto de investigación se buscó analizar las ventajas y desventajas de utilizar la banda de 902 a 928 MHz, con las tecnologías disponibles en el mercado y se documentó su comportamiento tanto en zonas urbanas como rurales, en la región Sierra, para lo cual se implementó una red WLAN<sup>3</sup> de pruebas utilizando equipos Ubiquiti Nanostation M900 los cuales se los tiene disponibles para el desarrollo del presente proyecto.

También, se determinó las máximas prestaciones que permite esta banda de frecuencia en lo que se refiere a distancia de transmisión, retardo, variación del retardo (*Jitter*) y velocidad de transferencia de datos (*Throughput*). Los resultados

---

<sup>2</sup> TIC, Tecnologías de Información y Comunicación.

<sup>3</sup> WLAN, *wireless local area network*, red inalámbrica de área local.

de la implementación de la red de pruebas en la región Sierra, fueron comparados con datos de simulaciones, para lo cual se utilizó el *software Radio Mobile* para la simulación de la planificación de la red, y el *software DITG (Distributed Internet Traffic Generator)* para la simulación de la inyección de tráfico.

Los resultados obtenidos en la implementación de la red, se los podrá comparar con resultados obtenidos en futuros proyectos realizados en otras bandas de frecuencias ICM en la región Sierra, o con resultados futuros realizando pruebas con antena externa, para así determinar las mejoras en cuanto al rendimiento de la red en esta banda de frecuencia.

Este proyecto podrá ser considerado para implementar redes futuras en la banda de 900 MHz considerando todas las ventajas y desventajas que nos ofrece este rango de frecuencias.

#### **1.4. Objetivos.**

##### **1.4.1. Objetivo General.**

- Realizar el estudio y diseño de una red inalámbrica en la banda de 902 a 928 MHz para largas distancias en la región Sierra, a fin de conocer su comportamiento y determinar sus características en la transmisión y recepción de datos en áreas urbanas y rurales.

### 1.4.2. Objetivos Específicos.

-  Analizar el estado actual de uso, características y disposiciones legales de las bandas ICM en el rango de 900 MHz
-  Recopilar información sobre trabajos relacionados con el tema del proyecto para el desarrollo un marco teórico referencial sobre las comunicaciones en las bandas de frecuencia ICM.
-  Investigar información sobre fabricantes, equipos, estándares y software de simulación que trabajen en la banda ICM de 900 MHz.
-  Implementar una red en la región sierra con equipos que operen en la banda de 900 MHz, para la realización de las pruebas de campo y recopilación de datos.
-  Comparar los resultados obtenidos con enlaces de WiFi de larga distancia.
-  Determinar conclusiones, recomendaciones y trabajo a futuro.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **2.1. Redes Inalámbricas.**

En los últimos años las redes inalámbricas han llegado a ocupar un espacio significativo en el mercado de las redes de área local. Cada vez son más las organizaciones que están encontrando que las redes inalámbricas son un compañero indispensable para las redes cableadas, para satisfacer requisitos de movilidad, reubicación, interconexión con fines específicos, y para dar cobertura a zonas de difícil acceso para el cable.

Las redes de computadoras se han concebido tradicionalmente para usar cables como medio de comunicación, pero también han existido soluciones de redes inalámbricas desde hace muchos años. Los productos de redes inalámbricas usan normalmente alguna forma de radio u ondas luminosas; son los llamados medios no guiados, en oposición a los medios guiados, que se refieren a las redes de cables.

La transmisión de datos sobre medios inalámbricos ha llegado a ser recientemente una tendencia extremadamente popular en el mundo de los móviles. Hay una gran cantidad de teléfonos móviles en el mercado que también pueden conectarse a redes de datos a través del proveedor de servicios telefónicos,

permitiendo a los usuarios descargar el correo electrónico y acceder a los sitios Web rudimentarios que han sido especialmente diseñados para las pequeñas pantallas de los teléfonos móviles. Estas redes de datos funcionan a velocidades muy bajas, normalmente a menos de 14.4 Kbps. Estas no son redes de datos que se utilicen para transmitir archivos de documentos y de programas; el contenido está limitado a mensajes de texto. La ventaja principal de las redes de datos basadas en tecnología celular es su alcance.

Otra tecnología inalámbrica es la llamada tecnología *Bluetooth*<sup>4</sup>, esta tecnología proporciona comunicaciones inalámbricas de corto alcance entre dispositivos tales como teléfonos móviles y asistentes digitales personales (PDA), o entre equipos de sobremesa y sus periféricos, a un precio muy bajo. Las comunicaciones de datos *Bluetooth* son algo más rápidas que las celulares.

La tecnología inalámbrica que está más cerca de emular las redes de equipos de cables son las redes de área local inalámbrica, definida en el estándar IEE 802.11 publicado por el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE). Este estándar define las especificaciones de los niveles físicos y de enlace de datos para una red inalámbrica que puede usar cualquiera de los diversos medios y transmitir datos a velocidades de hasta 11 Mbps.

La Tabla 1 enumera las distintas bandas de radiofrecuencias, junto con el nombre de las ondas transmitidas en cada banda y los usos típicos.

---

<sup>4</sup> **Bluetooth**, es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos

Tabla 1. Uso de Radiofrecuencias.

<b>Banda de frecuencia</b>	<b>Designación</b>	<b>Uso y propagación</b>
30 a 300 KHz	Frecuencia baja ( <i>Low Frequency</i> )	Denominadas ondas de tierra u ondas terrestres, estas frecuencias se utilizan para las comunicaciones a larga distancia y la difusión de ondas largas
300 a 3000 KHz	Frecuencia media ( <i>Medium Frequency</i> )	También denominadas ondas de tierra, estas frecuencias se utilizan en la difusión de ondas medias
3 a 30 MHz	Frecuencia alta ( <i>High Frequency</i> )	Denominadas ondas de cielo, estas frecuencias se utilizan para las comunicaciones a larga distancia y la difusión de ondas cortas
30 a 300 MHz	Frecuencia muy alta ( <i>Very High Frequency</i> )	Denominadas ondas espaciales, estas frecuencias se utilizan para intervalos cortos, comunicaciones móviles y difusión de sonido
300 a 3000 MHz	Frecuencia ultra elevada ( <i>Ultra High Frequency</i> )	También denominadas ondas de espacio, estas frecuencias se utilizan para intervalos cortos, difusión de televisión y enlaces punto a punto
3 a 30 GHz	Frecuencia súper elevada ( <i>Super High Frequency</i> )	También denominadas ondas de espacio, estas frecuencias se utilizan para enlaces punto a punto, radar y comunicaciones por satélite
Más de 30 GHz	Frecuencia extremadamente alta ( <i>Extra High Frequency</i> )	También denominadas ondas de espacio, estas frecuencias se utilizan para comunicaciones entre satélites y telefonía de radio micro celular

### 2.1.1. Topología de una Red Inalámbrica.

Las redes inalámbricas se construyen utilizando dos topologías básicas. Estas topologías se llaman de distintas formas, incluyendo administradas y no administradas, así como de infraestructura y ad-hoc. Estos términos se relacionan esencialmente con las mismas funciones básicas que tienen cada topología.

- **Topología de Infraestructura.**

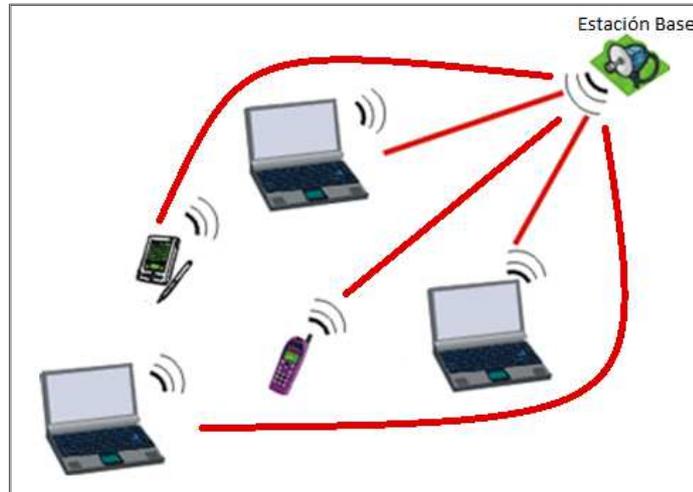


Figura 1. Topología de Infraestructura.

Topología de infraestructura es la que amplía una red cableada existente a dispositivos inalámbricos, proporcionando una estación base llamada también punto de acceso. El punto de acceso se une a las redes inalámbricas y cableadas, actuando como un controlador central para la red inalámbrica. El punto de acceso coordina la transmisión y la recepción de múltiples dispositivos inalámbricos. El rango y cantidad de dispositivos dependen del estándar inalámbrico que se utilice y el producto del proveedor. En la infraestructura puede haber varios puntos de acceso para cubrir una gran área o sólo un punto único de acceso para un área pequeña.

- **Topología Ad-Hoc.**



Figura 2. Topología Ad-Hoc.

Una topología ad-hoc es una en la cual se crea una red LAN únicamente por los dispositivos inalámbricos, sin controlador central o punto de acceso. Cada dispositivo se comunica directamente con los demás dispositivos en la red, en lugar de que sea a través de un controlador central. Esto es útil en lugares en donde pequeños grupos de computadoras pueden congregarse y no se necesita acceso a otra red. Por ejemplo, un hogar sin una red cableada o un cuarto de conferencia en donde se reúnen regularmente equipos para intercambiar ideas.

### **2.1.2. Aplicaciones de las Redes Inalámbricas.**

Los primeros productos de las redes inalámbricas, aparecieron a finales de los ochenta, eran ofrecidos como substitutos de las redes cableadas tradicionales. Una

red inalámbrica evita los costos de instalación del cableado y facilita la tarea del traslado y otras modificaciones en la estructura de la red.

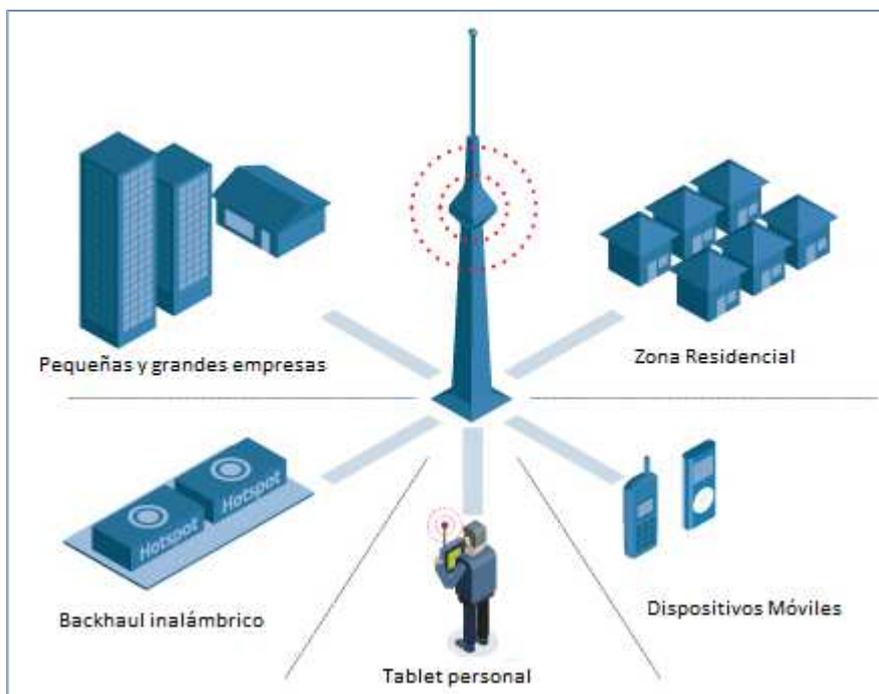


Figura 3. Aplicaciones de Redes Inalámbricas.

Fuente: <http://boards5.melodysoft.com>, 22 de diciembre del 2012.

Sin embargo, el papel de una red inalámbrica como alternativa de las redes cableadas es importante en gran número de entornos. Algunos ejemplos son edificios de gran superficie, como plantas de fabricación, plantas comerciales y almacenes; edificios antiguos con insuficiente cable trenzado donde está prohibido hacer agujeros para nuevo cableado y oficinas pequeñas donde el mantenimiento de una red cableada no resulta económico. En la mayor parte de estas situaciones, se dispondrá también lo de una red cableada con servidores y algunas estaciones de trabajo. Por ejemplo, una planta de manufacturación dispone de una oficina

independiente de la propia planta pero que debe ser interconectada a ella con propósitos de trabajo en red.

## **2.2. Bandas de Frecuencia ICM.**

Se pueden definir como bandas de frecuencias en las que se permite la operación de dispositivos de radiocomunicaciones sin una planificación centralizada por parte de la Autoridad de Comunicaciones, es decir, sin una autorización individual de cada estación tal que asegure la asignación de una frecuencia o canal para uso exclusivo de la misma. La banda se destina íntegramente a tales dispositivos, sin subdivisión de canales, estableciéndose ciertos requerimientos básicos de convivencia, tales como límites de potencia o de densidad de potencia radiadas, ancho de banda mínimo, etc. La coordinación corre por cuenta de los usuarios, pero se apoya principalmente en la inmunidad contra interferencias, propia de la tecnología empleada, y el modo de acceso múltiple a la banda.

### **2.2.1. Características de las bandas de frecuencia ICM.**

A esta descripción general corresponde agregar una acotación sobre la modalidad de uso de estas bandas. Las mismas pueden ser utilizadas por usuarios particulares independientes por ejemplo, con teléfonos domiciliarios inalámbricos, o bien por un proveedor de determinado servicio, cuyo caso típico es el de acceso a Internet en áreas y localidades pequeñas. La modalidad de prestación está contemplada por diversos países, aunque con diferentes criterios. Puede no intervenir la autoridad regulatoria en absoluto, o bien, como en el caso del país,

llevar un registro de las estaciones concentradoras de tráfico o nodos, para los fines propios y para utilidad de los licenciatarios.

### 2.2.2. Regulaciones existentes en las bandas de frecuencias ICM.

En el ámbito nacional, tanto la circunstancia de que nuestro país se encuentra comprendido en la Región 2 (Américas) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y, en consecuencia, comparte lo ordenado por el Reglamento de Radiocomunicaciones sobre el uso del espectro en esa región, como las condiciones imperantes en el mercado de equipos y servicios, resultan determinantes en la orientación de las atribuciones de frecuencia. De ahí resulta que en el país se hayan destinado varias bandas para esta modalidad de uso.

Conviene destacar que el Reglamento de Radiocomunicaciones de UIT ha destinado a nivel mundial (y en algún caso, regional) bandas para uso primario para las aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas. La Nota 5.150 dice:

Las bandas siguientes bandas de frecuencias, que se encuentran especificadas en la Tabla 2, están designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas. Los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones:

Tabla 2. Bandas de Frecuencia ICM.

<b>Frecuencia inicial</b>	<b>Frecuencia central</b>	<b>Frecuencia final</b>
13.553 KHz	13.560 KHz	13.567 KHz
26.3957 KHz	24.120 KHz	27.283 KHz
40.66 MHz	40.68 MHz	40.70 MHz
902 MHz	915 MHz	928 MHz

2.4 GHz	2.45 GHz	2.5 GHz
5.725 GHz	5.8 GHz	5.875 GHz
24 GHz	24.125 GHz	24.25 GHz

A las bandas 902-928 MHz, 2.400-2.483,5 MHz y 5.725-5.850 MHz, las cuales como se apreciará son parte del grupo de bandas atribuidas a ICM por UIT se sumaron otras bandas como 1.910-1.930 MHz, 5.150-5.350 y 5.470-5.725 MHz; las dos últimas fueron identificadas por UIT en la Conferencia Mundial de 2003.

### **2.3. Bandas de frecuencia de 900 MHz.**

#### **2.3.1. Regulaciones existentes en la banda de 900 MHz**

En el cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencia (Figura. 2.5), se puede visualizar las regulaciones y aplicaciones en la banda de 900 MHz y en especial en el rango de 902 – 928 MHz.

Tabla 3. Atribución de Frecuencias en 900 MHz.

REGIÓN 2	ECUADOR	
Banda MHz	Banda MHz	Rango MHz Nota EQA (resumen): Servicio (Sistema/Uso)
890 - 902 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico MOD 5.317A Radiolocalización 5.318 5.325	890 - 902 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico MOD 5.317A Radiolocalización	896-898 EQA.80: FIJO y MÓVIL (troncalizados) 890-894 EQA.85: FIJO y MÓVIL (IMT) 901-902 EQA.100: FIJO y MÓVIL (buscapersonas bidireccional)
902 - 928 FIJO Aficionados Móvil salvo móvil aeronáutico 5.325A Radiolocalización 5.150 5.325 5.326	902 - 928 FIJO 5.150	902-928 EQA.50: FIJO 902-928 EQA.90: (MDBA y Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)
928 - 942 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico MOD 5.317A Radiolocalización  5.325	928 - 942 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico MOD 5.317A	928 - 929, 934 -935 EQA. 50: FIJO 929 - 932 EQA.95: FIJO y MÓVIL (buscapersonas unidireccional) 940 - 941 EQA.100: FIJO y MÓVIL (buscapersonas bidireccional) 932 - 934, 935 - 937 EQA.80: FIJO y MÓVIL (Troncalizados) 937 - 940, 941 - 942 EQA.45: FIJO (enlaces radioeléctricos radiodifusión sonora)
942 - 960 FIJO MÓVIL MOD 5.317A	942 - 960 FIJO MÓVIL MOD 5.317A	942 - 951; 956-960 EQA.45: FIJO (enlaces radioeléctricos radiodifusión sonora) 951 - 956 EQA. 50: FIJO
960 - 1164 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA 5.328 MÓVIL AERONÁUTICO (R) MOD 5.327A	960 - 1164 RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA 5.328 MÓVIL AERONÁUTICO (R) MOD 5.327A	

En el Plan Nacional de Frecuencias, en cuanto a la atribución de bandas de frecuencia (Capítulo II), establece para los Sistemas Troncalizados, la canalización y distribución de frecuencias para asignación y uso en el territorio nacional. El artículo 6 en cuanto a las bandas de 902-904 MHz y 932-934 MHz establece que:

Las bandas de frecuencias de 902 - 904 MHz y 932 - 934 MHz, se dividen en 80 canales tanto para transmisión (Tx) como para recepción (Rx), con separación entre transmisión y recepción de 30 MHz. La banda de 902 - 904 MHz será

utilizada para transmisión y la banda 932 - 934 MHz será utilizada para recepción en la estación de abonado o estación terminal.

En la Norma para la Implementación y Operación de los Sistemas MDBA descrita por el CONATEL, en el Anexo 1 dice que una de las características técnicas de los Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha para la banda de frecuencia de 902 – 928 MHz, para sistemas punto a punto, punto multipunto y móviles, se deberá tener una potencia pico máxima del transmisor de 250 mW.

En el Anexo 2 para límites de emisiones no deseadas en las bandas de operación de los sistemas MDBA descrito por el CONATEL especifica que las emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia de operación deberán ser atenuadas de acuerdo con los siguientes límites:

- En las bandas de 902-928 MHz y 2400-2483.5 MHz, para cualquier ancho de banda de 100 kHz fuera de la banda de frecuencias de operación de los sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha, la potencia radiada por el equipo deberá estar al menos 20 dB por debajo de dicha potencia en el ancho de banda de 100 kHz que contenga el mayor nivel de potencia deseada.

#### **2.4. Trabajos relacionados.**

Las redes de área local inalámbrica se implementaron por primera vez en 1979 por IBM, que creó una LAN en una fábrica utilizando enlaces infrarrojos. En Marzo de 1985 el FCC(Comisión Federal de Comunicaciones en Estados Unidos), asignó a

los sistemas WLAN las bandas de frecuencia 902-928 MHz, 2.400-2.4835 GHz y 5.725-5.850 GHz, así las redes inalámbricas se introdujeron en el mercado.

Debido a que la banda de frecuencia de 902 a 928 MHz está considerada como una banda de frecuencia ICM, las aplicaciones que fueron estudiadas y analizadas en esta banda de frecuencia comprenden a todo lo relacionado como industria, ciencia y medicina, también se han realizado trabajos que determinen el nivel de ocupación de esta banda de frecuencia para así determinar las posibles interferencias que se tendrían utilizando este medio de transmisión para una aplicación específica.

En Colombia, se han realizado trabajos orientados en disminuir la Brecha Digital y contribuir con el desarrollo de las TICs utilizando nuevas tecnologías que permitan ser implementadas en sectores rurales y que su costo de implementación sea accesible para su normal desarrollo. Siendo así se han realizado enlaces radioeléctricos para dotar de internet a sectores rurales utilizando equipos de bajo costo que operan en la banda de 902 a 928 MHz.

Las pruebas realizadas en esta banda de frecuencia también han sido implementadas en regiones urbanas donde otras bandas especificadas para aplicaciones de industria, ciencia y medicina, como es la banda de 2,4 y 5 GHz, se encuentran saturadas y se necesita tener una alternativa que nos brinde características similares en cuanto al desempeño de estas redes.

Se han realizado también enlaces de larga distancia, utilizando otras bandas de frecuencia ICM, como son las bandas de 2,4 y 5 GHz en la región sierra del Ecuador (provincias de Tungurahua y Cotopaxi), los cuales dieron a conocer la utilización del estándar IEEE 802.11 para establecer comunicación entre las zonas rurales, para este estudio, se definió los parámetros técnicos que se deben cumplir y las modificaciones en la capa MAC<sup>5</sup> necesarias para alcanzar largas distancias, además se detallan las consideraciones para el establecimiento de un enlace WiLD y las modificaciones en los tiempos de propagación como son; el *acktimeout*, *clear to send* y *slottime* para el enlace de larga distancia. Se realizaron también pruebas similares en la región costa.

Con este tipo de estudios, se desea incrementar el desarrollo y la calidad de vida de las personas que se encuentran habitando las áreas de las zonas rurales, debido a que estas zonas poseen una baja densidad de población por lo que no existen soluciones de conectividad óptimas, ya que la mayoría de los estudios sobre interconexión se encuentran enfocados hacia zonas urbanas e industriales.

Los enlaces de larga distancia, son muy útiles para el monitoreo de lugares de difícil acceso o que se encuentren separados a grandes distancias. Es por esto que en la banda de frecuencia de 5 GHz, donde la probabilidad de interferencia es menor, se han realizado enlaces que sirven para monitorear volcanes y nevados, en los cuales se instala una cámara con el objetivo de transmitir imágenes y grabaciones tomadas en periodos de tiempo específicos.

---

<sup>5</sup> **MAC**, *Media Access Control*, capa de control de acceso al medio.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### MATERIALES

##### **3.1. Equipos para la banda de 902-928 MHz.**

En el Ecuador no existe oferta o empresas que distribuyan equipos que operan en la banda de 902 – 928 MHz ya que como se pudo observar en el capítulo anterior, esta banda de frecuencia en el Plan Nacional de Frecuencias está destinada para radio localización, y para enlaces radioeléctricos que utilizan técnicas MDBA (Sistema de Modulación Digital de Banda Ancha). Por esta razón en el Ecuador no se ha invertido en equipos que operen en esta banda de frecuencia como en Europa o Estados Unidos, donde esta banda de frecuencia es utilizada para operadoras de telefonía celular y para proveedores de servicios de Internet.

##### **3.2. Fabricantes de equipos para la banda de 902 -928 MHz.**

###### **3.2.1 Ubiquiti Referencia de la empresa.**

*Ubiquiti Networks* entró formalmente en el mercado de la tecnología inalámbrica en junio de 2005, después de anunciar su serie de tarjetas de radio. El SR2 y SR5 tarjetas fueron adoptados rápidamente por los fabricantes de equipos

originales en todo el mundo debido a su precio y versatilidad. Operando a los 2,4 y 5,8 GHz, los de amplia cobertura sería el primero de una larga línea de productos Ubiquiti por usar el chipset *Atheros*. En enero de 2006, *Ubiquiti Networks* anunció una nueva tecnología: Frecuencia libertad, que permite la ejecución de las frecuencias de hasta 60 GHz en sus módulos de radio. Esto alentó a la liberación de la SR9, con una tarjeta por separado operando a 900 MHz sin en el estándar 802.11.

Después de extender las frecuencias soportadas a la banda de 4.9 GHz con la tarjeta SR4, Ubiquiti anuncia la nueva serie con otras dos tarjetas mini-PCI, el XR2 y XR5. Robert J. Pera, director general de Ubiquiti, atribuyó la mejora a la calificación de la temperatura, sensibilidad y resistencia a las perturbaciones a las interacciones con los clientes y las experiencias compartidas pruebas de campo así como escenarios del mundo real utilizando el Linux del driver de MadWifi.

*Ubiquiti Networks* se dedica al diseño, fabricación y venta de soluciones innovadoras de redes inalámbricas de banda ancha para establecer enlaces inalámbricos externos de punto a punto y multipunto utilizando frecuencias no licenciadas o ICM. Ubiquiti es un *Partner* oficial, desarrollador de tecnología de *Cisco Systems*. Por esta razón es una marca de gran prestigio y respaldo, además de ser una de las compañías que más distribuyen equipos de Telecomunicaciones a través de Sudamérica por sus bajos costos y alto rendimiento de sus equipos.

En 2010 y 2011, *Ubiquiti Networks* fue elegido como el fabricante del año debido a su línea de productos populares y nuevos productos innovadores

### 3.2.2 Ubiquiti NanoStation LOCO M900.



Figura 4. Ubiquiti NanoStation LOCO M900.

El NanoStation LOCO M900 no requiere línea de vista, además ha conseguido consolidarse como el primer CPE (Equipo Local del Cliente) por su bajo costo y alto rendimiento. Las nuevas antenas de doble polaridad de 8dBi en 900 MHz están diseñadas para optimizar el aislamiento de polaridad de una manera compacta. El NanoStation M900 dispone del hardware necesario para que pueda ser reseteado en remoto desde la fuente de alimentación. En la Figura 5 se puede visualizar el plano del equipo a utilizar.

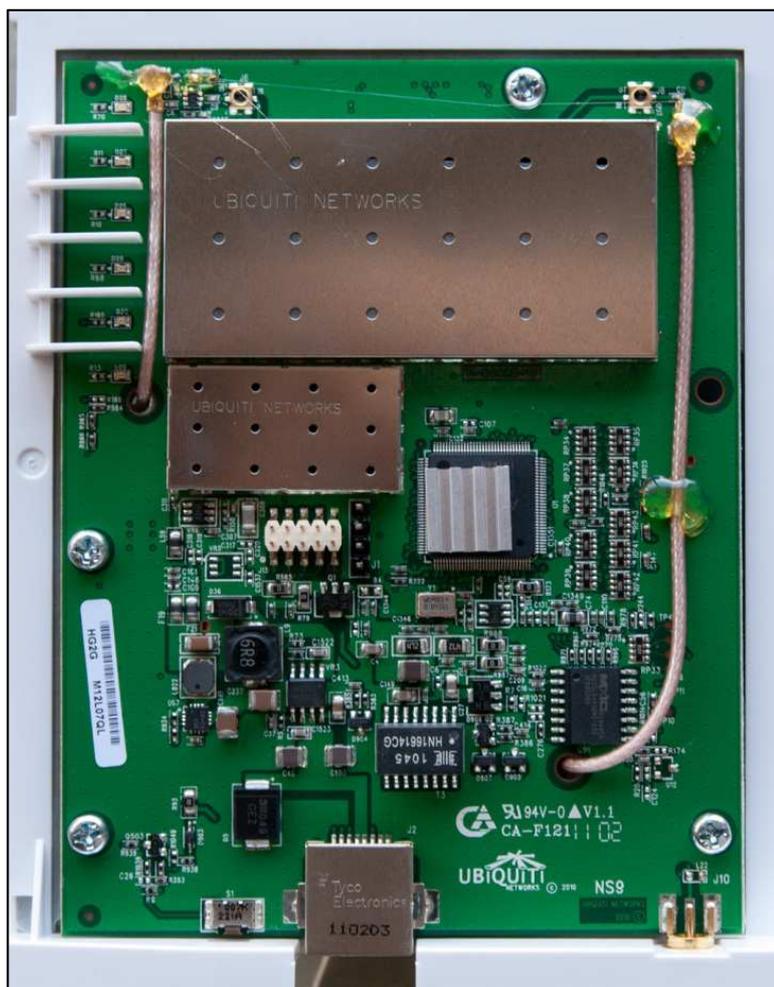


Figura 5. Tarjeta Ubiquiti NanoStation LOCO M900.

Fuente: [www.ecured.cu](http://www.ecured.cu), 5 de marzo del 2012.

#### Partes del Hardware.



Figura 6. Conectores de Hardware.

En la Figura 6 se puede visualizar los conectores del NanoStation LOCO M900 los cuales son los siguientes:

1. Conector de antena SMA
2. Puerto Ethernet
3. Botón de *reset*

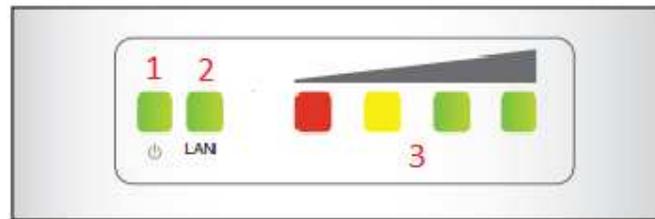


Figura 7. Indicadores Leds.

En la Figura 7 se puede visualizar los indicadores leds del NanoStation LOCO M900 los cuales son los siguientes:

1. Indicador de *Power*, el *led* se pone de color verde cuando el equipo se encuentra encendido.
2. Indicador *Ethernet*, el *led* se coloca de color verde cuando una conexión *Ethernet* es activada
3. Indicador del nivel de la señal.

### 3.2.3. Ubiquiti Rocket M900.



Figura 8. Ubiquiti Rocket M900.

El Rocket M900 ofrece un rango de funcionamiento de 50 km, y una velocidad de transferencia de datos de 150 Mbps TCPI/IP. El dispositivo fue diseñado específicamente para los usos al aire libre con enlaces punto a punto y punto multipunto. Las antenas del Rocket no requiere ninguna herramienta especial simplemente se las instala en su respectivo montaje. En la Figura 9 se puede visualizar el plano del equipo a utilizar.



Figura 9. Tarjeta Rocket M900.

Fuente: [http://dl.ubnt.com/guides/Rocket\\_M](http://dl.ubnt.com/guides/Rocket_M), 6 de marzo del 2013.

## Partes del Hardware.



Figura 10. Partes del Hardware.



Figura 11. Conectores del Hardware.

En la Figura 10 y en la Figura 11 se puede observar las partes y conectores del Hardware del Rocket M900.

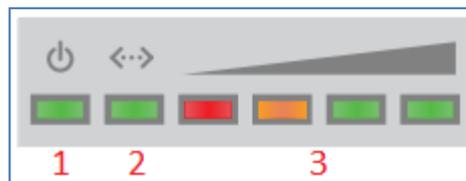


Figura 12. Indicadores Leds.

En la Figura 12 se puede visualizar los indicadores leds del Rocket M900 los cuales son los siguientes:

1. Indicador de *Power*, el *led* se pone de color verde cuando el equipo se encuentra encendido.
2. Indicador *Ethernet*, el *led* se coloca de color verde cuando una conexión *Ethernet* es activada
3. Indicador del nivel de la señal.

### 3.3. Sistema Operativo airOS.

AirOS v5.5.2. es la última evolución de la interfaz de configuración *AirOS Ubiquiti Network*™. AirOS v5.5.2. proporciona nuevas características, incluyendo:

- DFS (*Dynamic Frequency Selection*) el apoyo a determinados dispositivos de 5 GHz (sujeto a las regulaciones de su país)
- VLAN (*Virtual Local Area Network*)<sup>6</sup>
- Gestión de ACL (*Access Control List*)<sup>7</sup>
- Anchos de banda para canales personalizados.
- Funcionalidad DHCP<sup>8</sup>

<sup>6</sup> **VLAN**, Redes Virtuales de Área Local

<sup>7</sup> **ACL**, Listas de Control de Acceso

- Universal *Plug and Play* (UPnP)
- Versión Kernel de Linux actualizada
- Soporta LOCO M900 y Rocket M900

AirOS es un sistema operativo avanzado capaz de configurar redes inalámbricas de gran alcance y características de enrutamiento, construido sobre un cimiento de interfaz de usuario sencilla e intuitiva.

### 3.4. RF Explorer.



Figura 13. RF Explorer.

RF Explorer es un analizador de espectro portátil diseñado para las necesidades específicas de comunicaciones en bandas de frecuencia ISM. El RF Explorer está limitado a mostrar los datos de un único punto de máxima potencia, su uso es muy similar a la de un analizador de espectros digital común y corriente en el cual para analizar una banda de frecuencia específica se debe configurar los parámetros de

---

<sup>8</sup> **DHCP**, Protocolo de Configuración de Host Dinámicos.

frecuencia inicial y frecuencia final en el menú. Pose un software fácil de configurar en el cual se puede guardar los resultados del escaneo de frecuencias para un más fácil análisis de resultados. Para que el software funcione correctamente se debe instalar los componentes necesarios en la página oficial del RF Explorer.

### **3.5. Estudio del Software de Simulación.**

#### **3.5.1. Sirenet.**



Figura 14. Sirenet.

Es una herramienta de planificación y gestión radioeléctrica que permite el manejo de recursos espectrales de manera rápida y eficiente. Esta herramienta incorpora las más modernas tecnologías para gestionar de forma instantánea toda la información geográfica necesaria. La herramienta se basa en la simulación de entornos reales apoyándose en un sistema avanzado de información geográfica, en la reproducción exacta del comportamiento de equipos radioeléctricos y en los algoritmos más avanzados y actuales para la predicción de la propagación en distintos entornos. La aplicación presenta un entorno de trabajo amigable sobre plataforma Windows. El manejo es simple e intuitivo y su funcionalidad se adapta a las necesidades de distintos perfiles de usuario.

### **Características:**

Entre las principales características se tiene:

- Realizar una planificación teórica de la red
- Calibra las simulaciones con medidas de campo
- Analiza el costo de cada configuración
- Presenta la solicitud de frecuencias
- Supervisa la calidad de red
- Gestiona el inventario técnico
- Facilita el servicio de atención al cliente

El programa es ideal tanto para supervisar las redes ya en servicio como para planificar las que se vayan a desplegar en el futuro. Sus algoritmos cubren todas las bandas de frecuencias y servicios de la radiocomunicación, incluyendo los nuevos sistemas digitales como DAB, DVB, TETRA, DECT, Punto-Multipunto, GSM, DCS, UMTS, WiMax, WiFi.

Se escogió esta herramienta de planificación radioeléctrica debido a las bondades que posee la misma, además se tomó en cuenta un gran beneficio que es el de tener mayor precisión con los cálculos de propagación pues Sirenet posee mapas geográficos más actuales y reales para un óptimo estudio de una planificación de red.

#### **3.5.2. Radio Mobile.**

Radio Mobile es un programa de simulación de radio propagación gratuito desarrollado por Roger Coudé para predecir el comportamiento de sistemas radio,

simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, entre otras funciones<sup>9</sup>. El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (*Irregular Terrain Model*) o modelo *Longley-Rice*. Radio Mobile utiliza datos de elevación del terreno que se descargan gratuitamente de Internet para crear mapas virtuales del área de interés, vistas estereoscópicas, vistas en 3-D y animaciones de vuelo. Los mapas con información de elevaciones pueden ser superpuestos a imágenes con mapas topográficos, mapas de carreteras o imágenes satelitales.

Debido a la facilidad de instalación y a que Radio Mobile es un *software* libre, a diferencia de *Sirenet*, el cual necesita un *Dongle* para su instalación y funcionamiento, el cual no se lo tiene a disposición, se escogió *Radio Mobile* como el *software* para realizar las simulaciones de la planificación de la red para este proyecto.

### 3.5.3.NS2.

NS2 es un simulador de redes de eventos discretos cuyo principal objetivo es la investigación sobre redes cableadas e inalámbricas. Una de sus características es la de proveer soporte sustancial para la simulación de TCP, ruteo, y protocolos multicast tanto en redes cableadas como inalámbricas. NS2 es escrito en C++ empleando una versión orientada de Tcl llamada OTcl.

---

<sup>9</sup> **Radio Mobile**, herramienta de simulación radioeléctrica

Tcl (originalmente llamado *Tool Command Language*, convencionalmente representado como "Tcl. en lugar de "TCL", se pronuncia como *tickle o Tee-Cee-ele*), fundamentalmente es un lenguaje de scripting creado por John Ousterhout. Originalmente, nace de la frustración de su autor en la programación para la elaboración idiomas destinados a ser incorporados en aplicaciones, Tcl ha ganado aceptación por su cuenta. Es comúnmente usado para creación rápida de prototipos, aplicaciones de secuencias de mandatos, interfaces gráficas de usuario y de pruebas. Tcl se utiliza en plataformas de sistemas embebidos, tanto en su forma completa y en varias otras versiones. Tcl se utiliza también para scripts CGI. La combinación del kit de herramientas Tcl y Tk GUI se conoce como Tcl/Tk.

#### **3.5.4.D-ITG.**

D-ITG (*Distributed Internet Traffic Generator*) es el software más utilizado y recomendado para realizar mediciones de desempeño y simular tráfico de diversos protocolos. D-ITG es una plataforma de código abierto para la generación de tráfico, capaz de producir tráfico IPv4 e IPv6 para paquetes con tamaño determinado y es capaz de calcular el retardo de ida (OWD - *One Way Delay*) y de ida y vuelta (RTT - *Round Trip Time*). D-ITG sigue el modelo cliente-servidor. Hay cuatro ejecutables básicos que implementan los componentes de la plataforma: ITGSend, ITGRecv, ITGLog, e ITGDec.

Está concebida para ser usada como una herramienta distribuida de medición de rendimiento, capaz de calcular el retardo, la tasa de pérdida de paquetes, el *jitter* y el *throughput*. Lo novedoso que brinda este programa, es su versatilidad ya que se

desarrolla en un ambiente gráfico mediante una plataforma basada en Java, por eso posee la ventaja de analizar todos los parámetros de una manera amigable con el usuario mediante los cuales se podrá determinar la calidad del servicio que proporciona la red.

D-ITG es particularmente interesante por varias razones, entre ellas D-ITG dispone de una interfaz gráfica que puede simplificar su uso, dispone de un "manager" que permite enviar órdenes a fuentes y sumideros de tráfico remotos, así como de un servidor de *logs* que se puede ubicar en cualquier máquina que convenga (coincida o no con las fuentes o sumideros de tráfico), además permite caracterizar estadísticamente el tráfico inyectado, y mide todos los parámetros de Calidad de Servicio (QoS) antes citados, por estas razones fue escogido el inyector de tráfico D-ITG para este proyecto de tesis.

## MÉTODOLOGÍA

### 3.6. Configuración de parámetros generales del inyector de tráfico.

#### 3.6.1. Configuración del Transmisor.

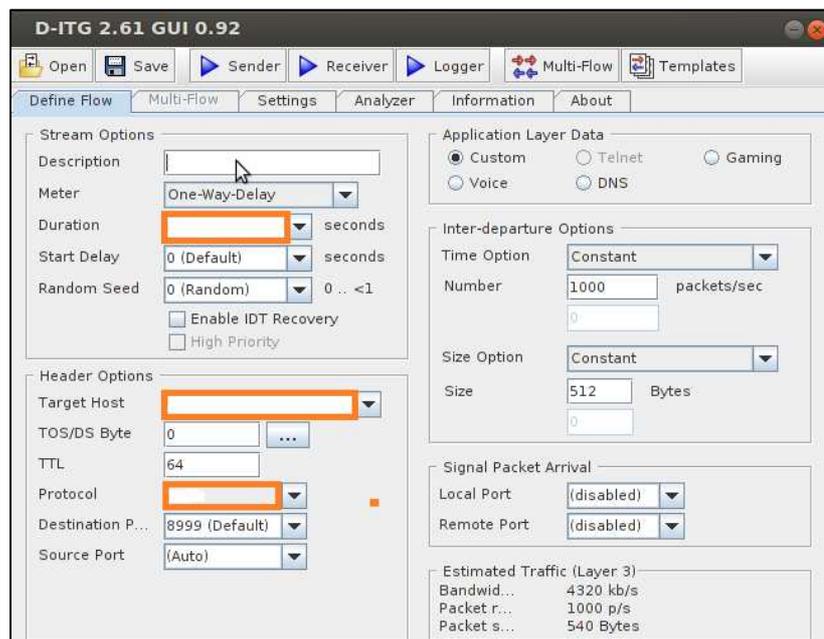


Figura 15. Configuración de TX: *Define Flow*.

En la pestaña *Define flow* configuramos la duración de la simulación, en *target host* se coloca la dirección IP de la máquina destino, el protocolo a usar en nuestro caso TCP y UDP y el tamaño de paquetes, definido en bytes. La Figura 15 muestra la configuración de esta pestaña.

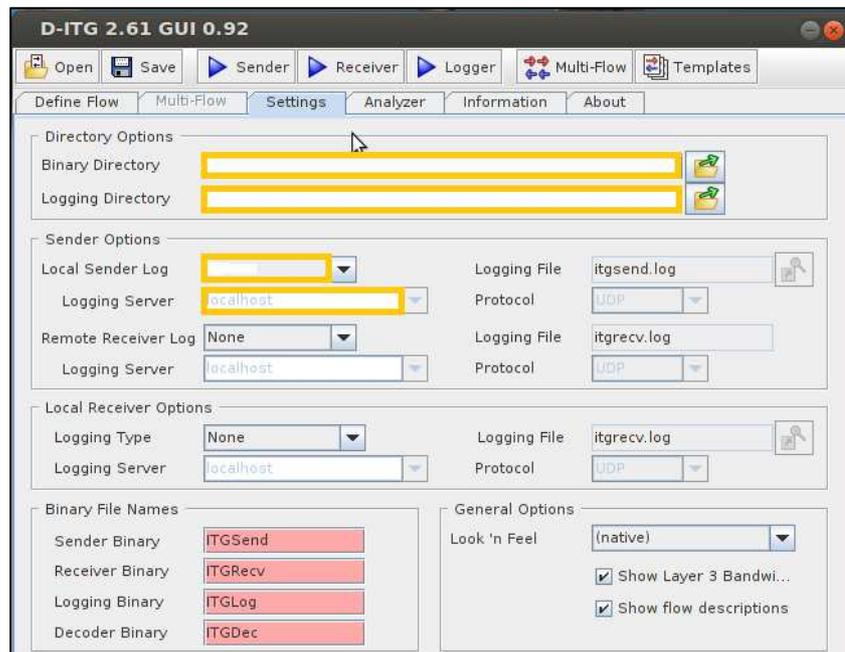


Figura 16. Configuración de Tx: *Settings*.

En la pestaña *Settings* se especifica los directorios donde se encuentran los binarios y donde se guardarán los ficheros de información que se generaran. Si queremos que el archivo .log se guarde en el transmisor seleccionamos la opción *Local*, en el caso de que se desee guardar en el receptor seleccionamos *Server* y ponemos la dirección IP de esta máquina. La Figura 16 muestra la configuración de esta pestaña.



Figura 17. Configuración de Tx: *Analyzer*.

En la pestaña *Analyzer* nos sirve para la obtención de resultados, a la que tendremos que configurarle el fichero que anteriormente generamos con los logs de la comunicación, el fichero de salida del analizador y si queremos un fichero de *octave* para realizar un análisis gráfico de retardo, paquetes perdidos, *throughput*, entre otros. La Figura 17 muestra la configuración de esta pestaña.

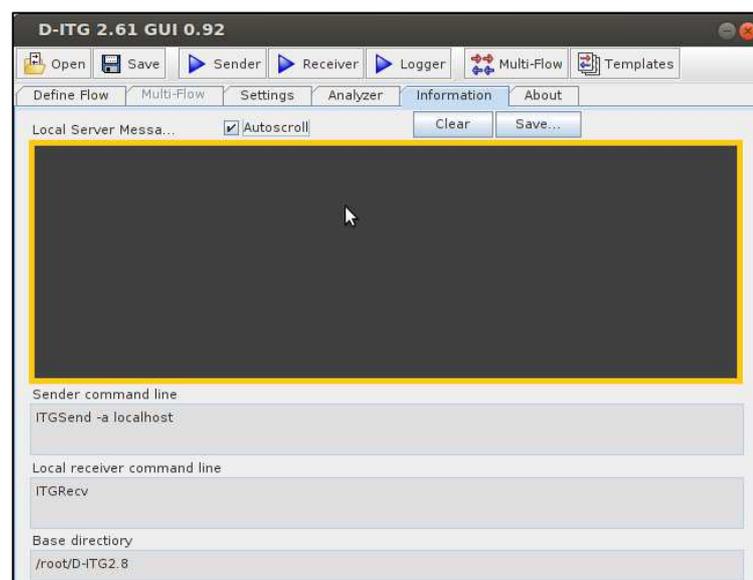


Figura 18. Configuración de Tx: *Information*.

En la pestaña *Information* simplemente observamos si se produjo algún error en la transmisión o se transmitió correctamente. La Figura 18 muestra la configuración de esta pestaña.

### 3.6.2. Configuración del Receptor

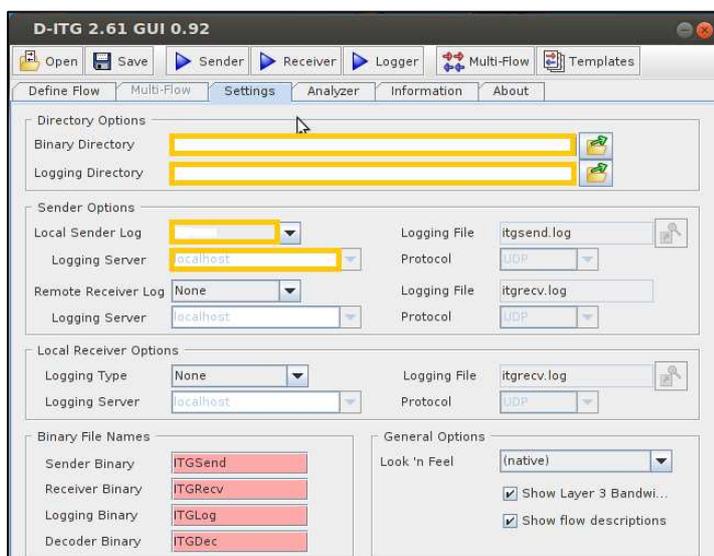


Figura 19. Configuración de Rx: *Settings*.

En el receptor configuramos en la pestaña *Settings* los directorios de *Bin* y *Logs* respectivamente como en el caso del transmisor. La Figura 19 muestra la configuración de esta pestaña.

En la pestaña *Analizer* podemos ver el momento en que el receptor escucha el canal y en que puerto está trabajando, igualmente esta pestaña nos indica el momento en que se finalizó la transmisión.

### 3.7. Configuración de los equipos.

Antes de realizar la configuración del Ubiquiti Nanoestation M900 es necesario indicar cuál es la forma correcta de conectar el mismo. Es importante no conectar la salida PoE<sup>10</sup> con la tarjeta de red del PC, para evitar tener problemas con la tarjeta Ethernet, ya que esta salida lleva la alimentación al Nanoestation.

La tecnología Power over Ethernet PoE describe un sistema para transferir de forma segura potencia eléctrica junto con datos, a dispositivos remotos sobre un cableado categoría 3, 5, 5e o 6 en una red Ethernet, sin necesidad de modificar el cableado existente.

La configuración correcta del PoE, junto con el PC y el Nanoestation se la puede visualizar en la Figura 20 para lo cual hay que seguir con los siguientes pasos.

- ✓ El cable de alimentación se conecta directamente al inyector del PoE.
- ✓ El puerto LAN se conecta al PC (Modo configuración o cliente)
- ✓ El puerto PoE se conecta al puerto principal del Nanoestation.

---

<sup>10</sup> PoE, Power Over Ethernet,

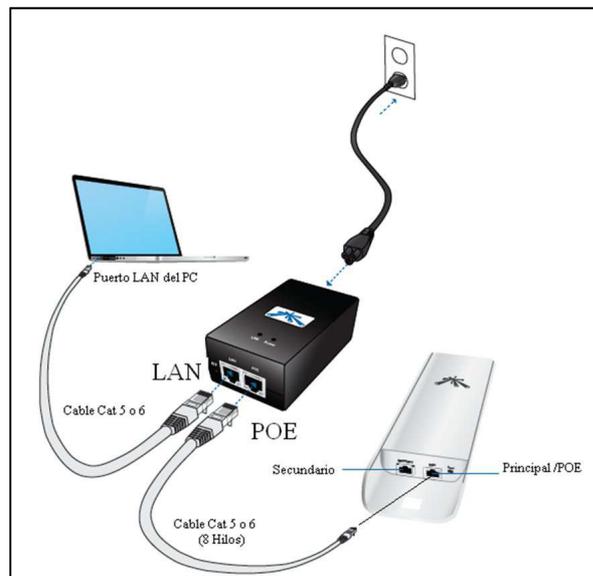


Figura 20. Conexión de Dispositivos.

Fuente: [http://dl.ubnt.com/guides/Rocket\\_M](http://dl.ubnt.com/guides/Rocket_M), 6 de marzo del 2013.

Si hemos realizado la conexión correctamente, en la parte posterior del Nanostation deben estar iluminados los dos primeros LEDs, el de Power y la conexión LAN 1, después de realizar la conexión correcta de los dispositivos.

Otro aspecto a ser considerado antes de la configuración del equipo, es el software necesario, para lo cual debemos descargar el airOS de la página oficial de Ubiquiti, junto con su correcta versión de Firmware.

Después de descargar el software, y conectar correctamente el Nanoestation al Pc, debemos detectar el dispositivo con Ubiquiti Discovery, dando clic en el botón de Scan, con lo cual visualizaremos el nombre del Hardware conectado. En este caso N9N.

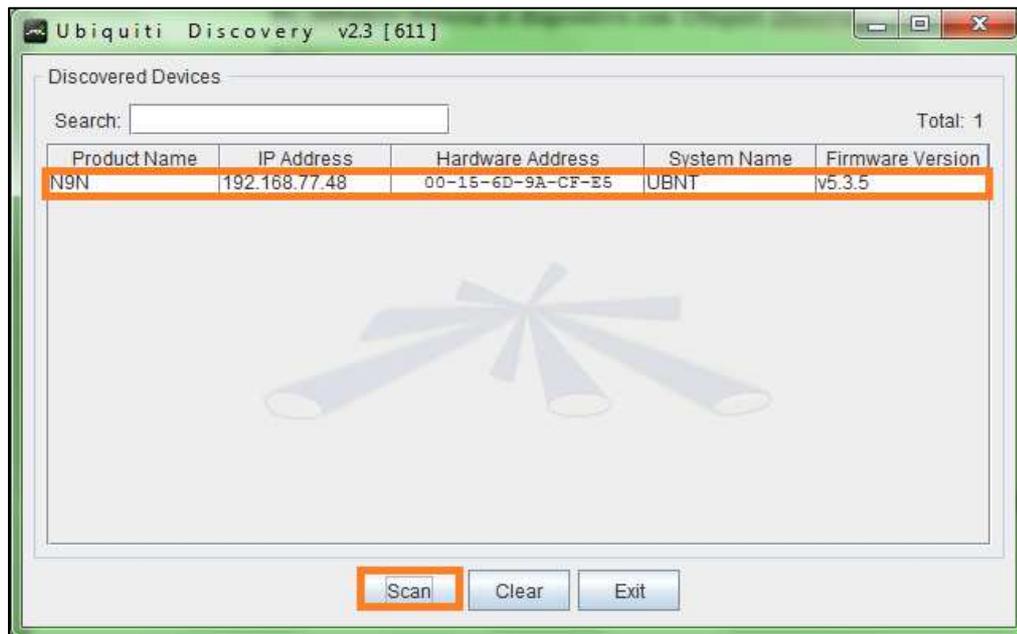


Figura 21. Ubiquiti Discovery.

Luego de detectar el dispositivo conectado, damos doble clic para obtener información sobre la dirección IP, la misma que nos ayudará a ingresar a la configuración de parámetros.

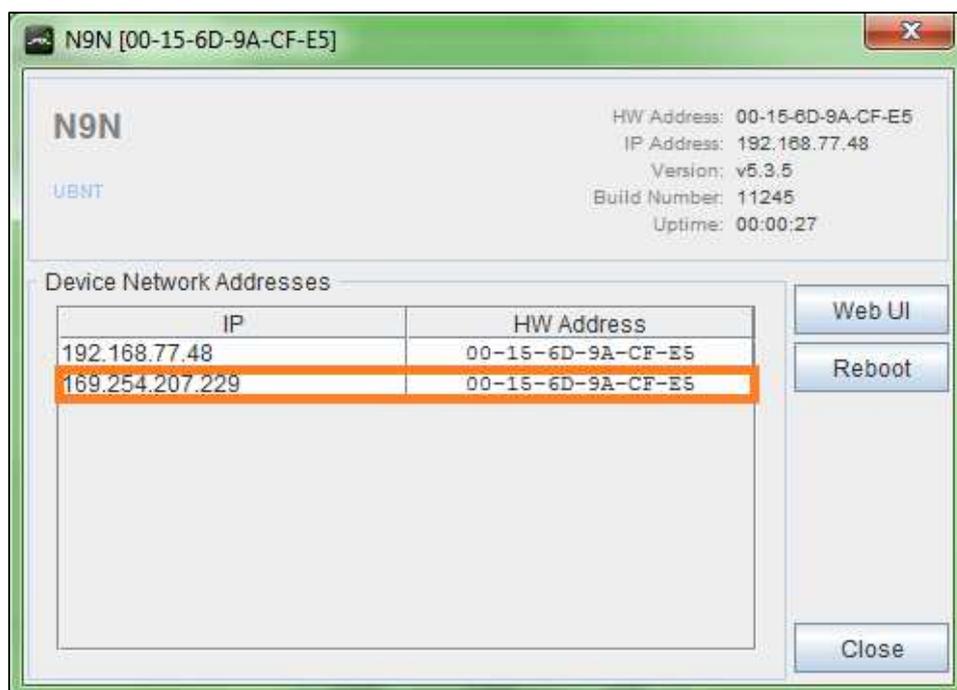


Figura 22. Dirección IP del NanoStation.

Se debe ingresar la dirección IP del Hardware en un Explorador, al igual que el usuario y la clave configurados por defecto: *Username* y *Password: ubnt*. Con esto se tiene acceso a las ventanas de configuración del Nanoestation.

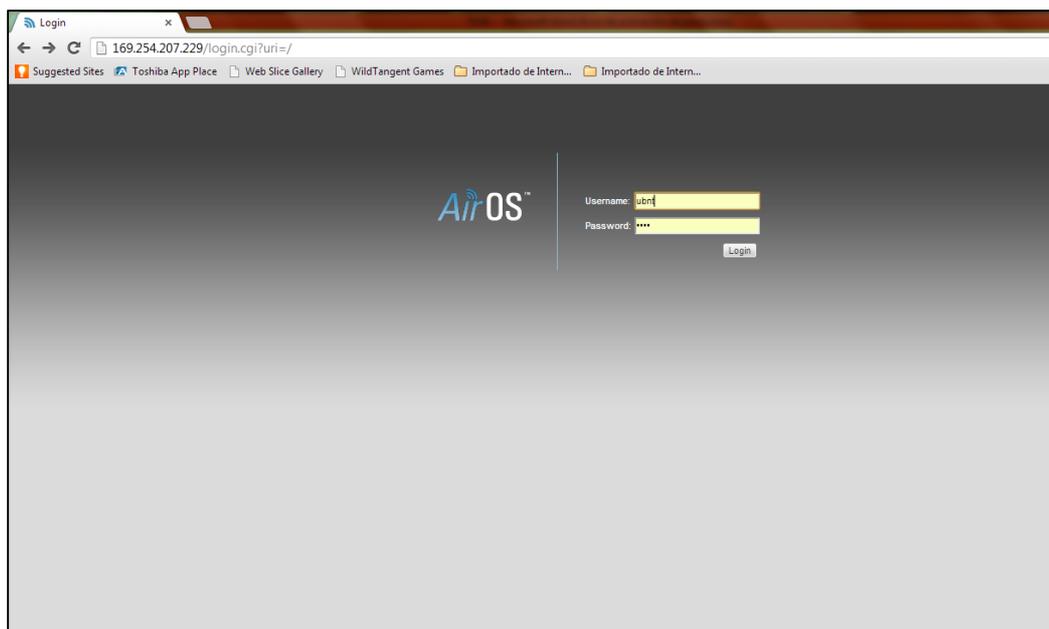


Figura 23. Ventana de Configuración.

### 3.8. Configuración de un enlace Punto a Punto.

Para la configuración de un enlace punto a punto se requiere configurar los siguientes parámetros del equipo:

- ✓ Configuración unidad base:
  - Configuración de red.
  - Configuración wireless.
  - Configuración avanzada.
  - Configuración de servicios.
  - Configuración del sistema.

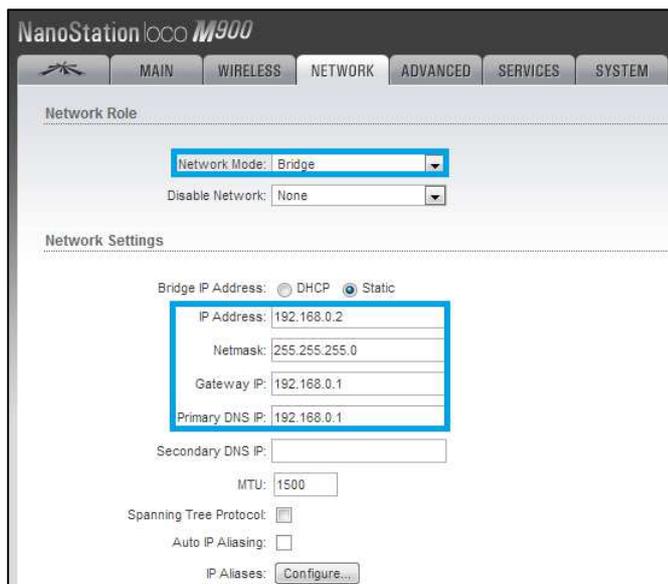
- ✓ Configuración unidad remota.
- Configuración de red.
- Configuración wireless.
- Configuración avanzada.
- Configuración de servicios.
- Configuración del sistema.

### 3.8.1. Configuración Unidad Base.

Llamamos Unidad Base al dispositivo que va a hacer las tareas de NODO, es decir, la sede central del enlace.

#### Configuración de Red.

El primer paso es asignar el direccionamiento a nuestra unidad base. Para ello se debe seleccionar la pestaña *Network* y se configuran los siguientes parámetros:



NanoStation loco M900

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM

Network Role

Network Mode: Bridge

Disable Network: None

Network Settings

Bridge IP Address:  DHCP  Static

IP Address: 192.168.0.2

Netmask: 255.255.255.0

Gateway IP: 192.168.0.1

Primary DNS IP: 192.168.0.1

Secondary DNS IP:

MTU: 1500

Spanning Tree Protocol:

Auto IP Aliasing:

IP Aliases:

Figura 24. Configuración de Red.

Es recomendable cerrar el explorador y volver a iniciar sesión pero esta vez a la nueva IP de gestión (192.168.0.2). Ya que se configuró una IP estática en el Nanoestation, se debe configurar una dirección IP estática en la PC con la que se está realizando la configuración. Esta dirección IP debe estar en el mismo rango que la configurada en el Nanoestation.

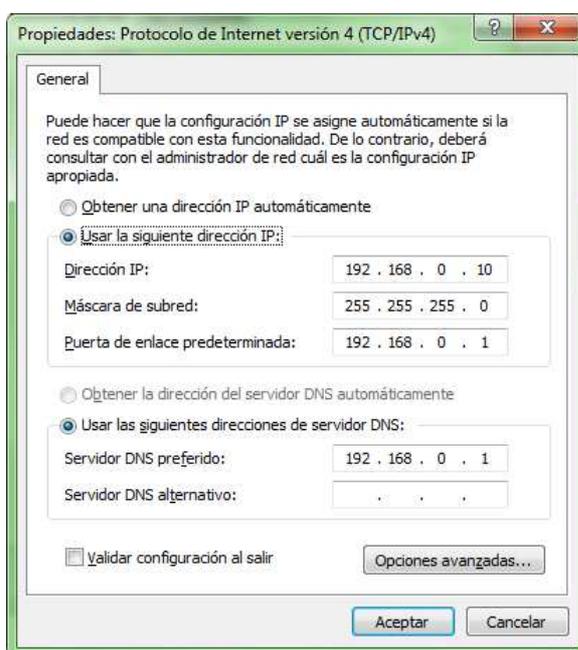


Figura 25. Configuración IP Estática.

## Configuración Wireless.

En esta sección, se configura la frecuencia central, ancho del canal, SSID<sup>11</sup>, seguridad y otros parámetros. Para ello nos situamos en la pestaña *Wireless* y configuramos los parámetros del apartado configuración básica y seguridad *Wireless*:

<sup>11</sup> **SSID**, *Service Set Identifier*, es un nombre incluido en todos los paquetes de una red inalámbrica, para identificarlos como parte de esa red.

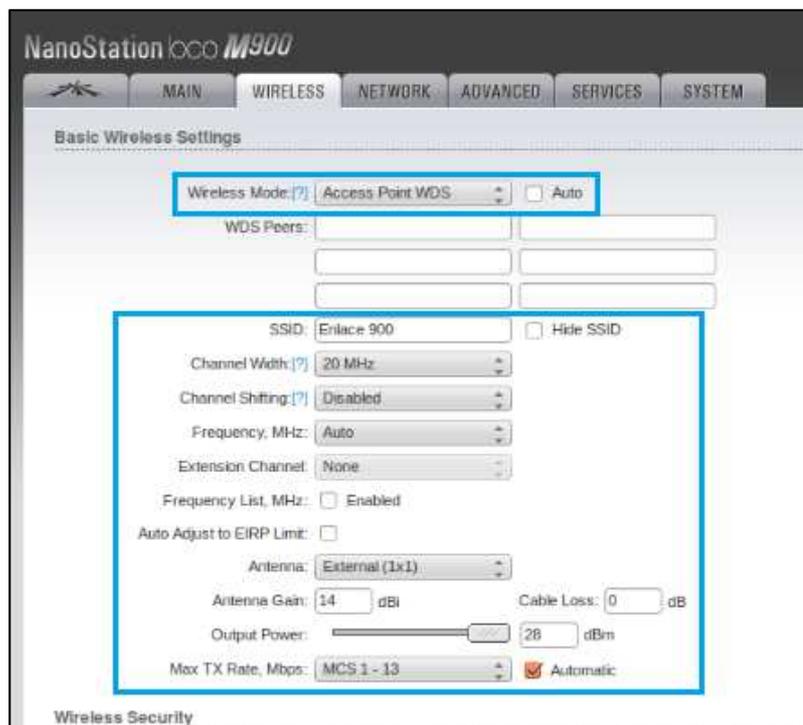


Figura 26. Configuración *Wireless*.

Para esta configuración no se usa ningún tipo de seguridad *Wireless* por motivos de pruebas, pero se recomienda configurar un tipo de seguridad según la aplicación que se dé al enlace inalámbrico.

En caso de que se utilice una antena externa, se debe escoger la opción apropiada para la configuración en el campo *Antenna*.

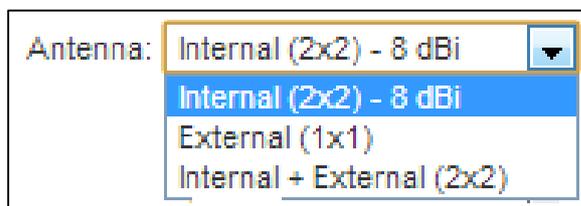


Figura 27. Configuración de la Antena.

## Configuración Avanzada.

Ahora nos situamos en la pestaña *Advanced* y configuramos los siguientes parámetros:

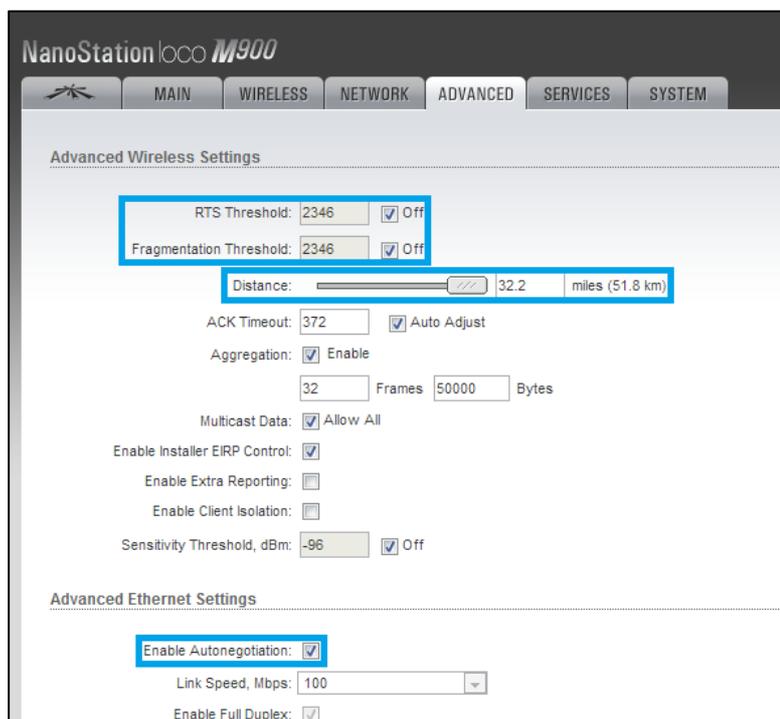


Figura 28. Configuración Avanzada.

## Configuración de Servicios.

Seleccionamos la pestaña *Services* y configuramos los siguientes parámetros:

NanoStation loco M900 AirOS™

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Tools: Logout

**Ping Watchdog**

Enable Ping Watchdog:

IP Address To Ping:

Ping Interval: 300 seconds

Startup Delay: 300 seconds

Failure Count To Reboot: 3

**SNMP Agent**

Enable SNMP Agent:

SNMP Community: public

Contact:

Location:

**Web Server**

Use Secure Connection (HTTPS):

Secure Server Port: 443

Server Port: 80

Session Timeout: 15 minutes

**SSH Server**

Enable SSH Server:

Server Port: 22

Enable Password Authentication:

Authorized Keys:

**Telnet Server**

Enable Telnet Server:

Server Port: 23

**NTP Client**

Enable NTP Client:

NTP Server: 192.168.0.1

**Dynamic DNS**

Enable Dynamic DNS:

**System Log**

Enable Log:

Figura 29. Configuración de Servicios.

## 🚦 Configuración del Sistema.

Por último seleccionamos la pestaña *System* y se configura los siguientes parámetros:

NanoStation loco M900 AirOS™

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Tools: Logout

**Device**

Device Name: UBNT Unidad Base

Interface Language: English

**Date Settings**

Timezone: (GMT-06:00) Central Sta

Enable Startup Date:

Startup Date:

**System Accounts**

Administrator Username: ubnt

Enable Read-Only Account:

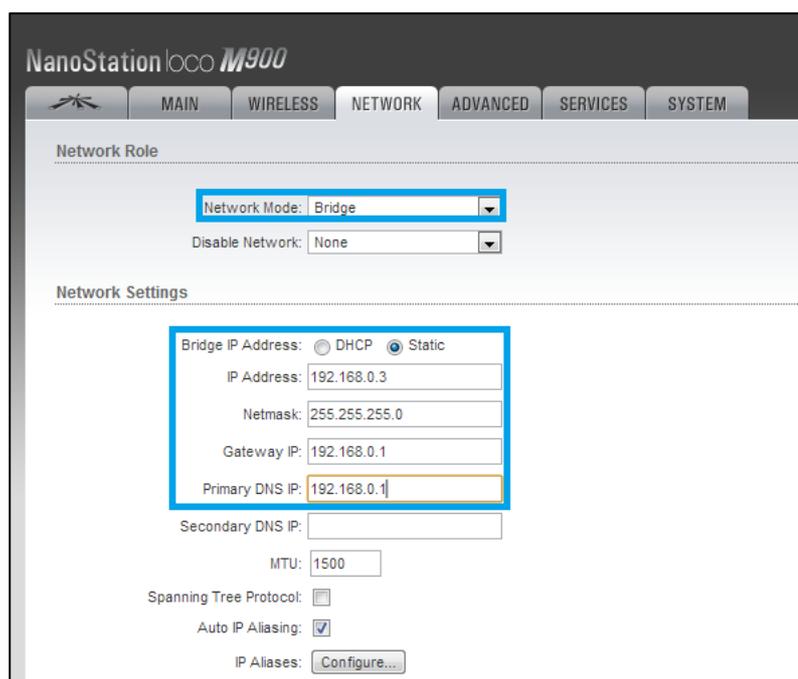
Figura 30. Configuración del Sistema.

### 3.8.2. Configuración Unidad Remota.

Una vez configurada la unidad base es hora de configurar la unidad remota, la cual va a ser una estación cliente. Los pasos que se deben seguir son los mismos, cambiando pocos parámetros respecto a la unidad base.

#### Configuración de Red.

Es similar a la configuración de la unidad de ued con la diferencia que la dirección IP del dispositivo va a ser diferente a la de la Unidad Base para evitar conflicto de IPs.



NanoStation loco M900

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM

Network Role

Network Mode: Bridge

Disable Network: None

Network Settings

Bridge IP Address:  DHCP  Static

IP Address: 192.168.0.3

Netmask: 255.255.255.0

Gateway IP: 192.168.0.1

Primary DNS IP: 192.168.0.1

Secondary DNS IP:

MTU: 1500

Spanning Tree Protocol:

Auto IP Aliasing:

IP Aliases:

Figura 31. Configuración de Red.

En este caso, también es recomendable cerrar el explorador y volver a iniciar sesión pero esta vez a la nueva IP de gestión (192.168.0.3). Ya que se configuró una

IP estática en el Nanoestation, se debe configurar una dirección IP estática en la PC. Esta dirección IP debe estar en el mismo rango que la configurada en el Nanoestation.

### Configuración Wireless.

Se configura la frecuencia, ancho del canal, SSID, seguridad y otros parámetros al igual que en la Unidad Base. Para ello se selecciona la pestaña *Wireless* y se configura los siguientes parámetros en el apartado configuración básica y seguridad *Wireless*.

Es importante en la configuración de SSID, colocar el mismo nombre que en la configuración de la Unidad Base.

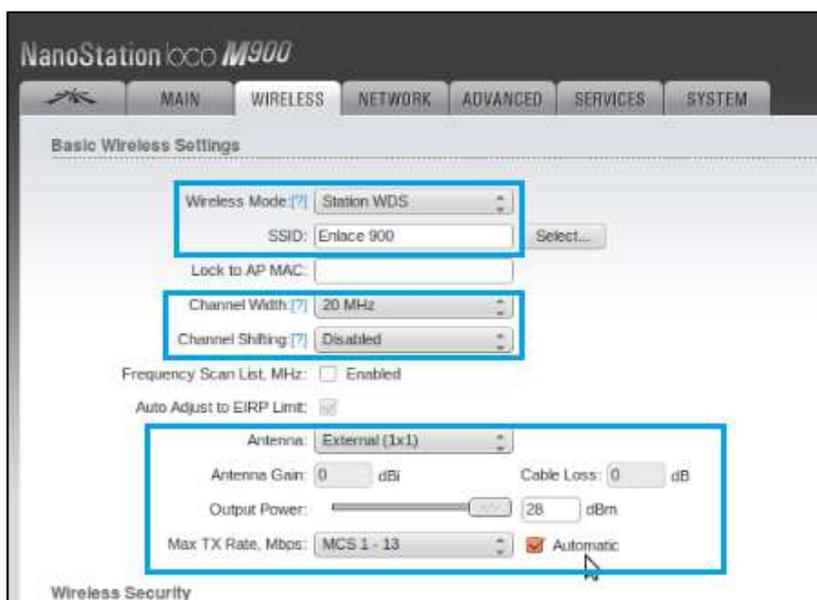


Figura 32. Configuración *Wireless*.

## Configuración Avanzada.

Nuevamente en este apartado se introduce los mismos parámetros que en la Unidad Base.

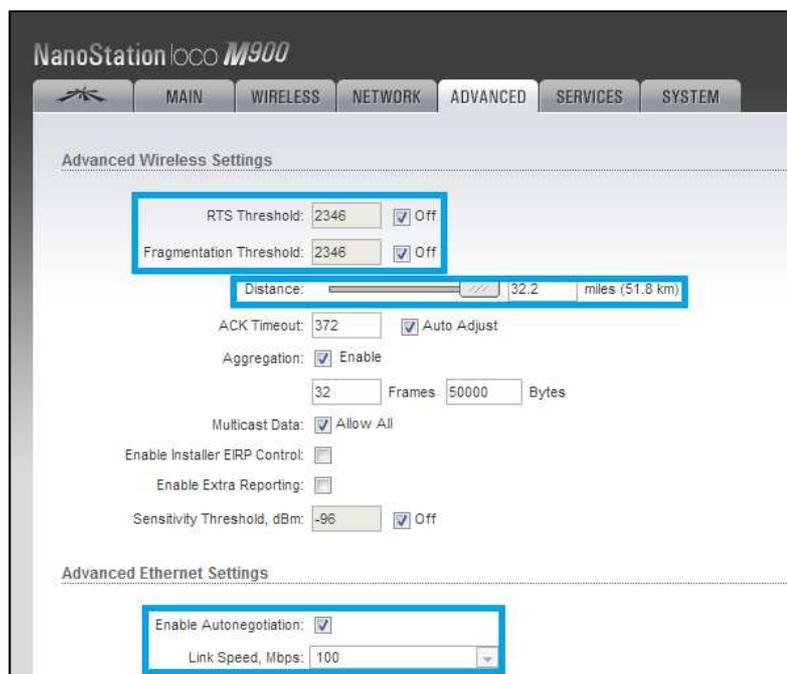


Figura 33. Configuración Avanzada.

## Configuración de Servicios.

Se usa la misma configuración que en la Unidad Base, además de los siguientes parámetros que realizan un reinicio de la Unidad Remota si pierde comunicación con la Unidad Base.

NanoStation loco M900 AirOS

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Tools: Logout

**Ping Watchdog**

Enable Ping Watchdog:

IP Address To Ping: 192.168.0.2

Ping Interval: 300 seconds

Startup Delay: 300 seconds

Failure Count To Reboot: 3

**SNMP Agent**

Enable SNMP Agent:

SNMP Community: public

Contact:

Location:

**Web Server**

Use Secure Connection (HTTPS):

Secure Server Port: 443

Server Port: 80

Session Timeout: 15 minutes

**SSH Server**

Enable SSH Server:

Server Port: 22

Enable Password Authentication:

Authorized Keys: Edit...

**Telnet Server**

Enable Telnet Server:

Server Port: 23

**NTP Client**

Enable NTP Client:

NTP Server: 192.168.0.1

Figura 34. Configuración de Servicios.

#### 🚦 Configuración del Sistema.

Se realiza los mismos pasos que en la unidad base pero cambiando el nombre del dispositivo:

NanoStation loco M900 AirOS

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Tools: Logout

**Device**

Device Name: UBNT Unidad Remota

Interface Language: English

**Date Settings**

Timezone: (GMT-06:00) Central Sta

Enable Startup Date:

Startup Date:

**System Accounts**

Administrator Username: ubnt

Enable Read-Only Account:

Figura 35. Configuración del Sistema.

## **CAPÍTULO IV**

### **PLANIFICACIÓN DE LA RED**

#### **4.1. Mediciones del Espectro Radioeléctrico en la Banda de 900 MHz.**

Para realizar un breve análisis en la banda de 902 a 928 MHz se tomó como referencia la ciudad de Quito y el Valle de los Chillos, en las cuales se tomaron mediciones en los sectores más importantes de estos 2 lugares, utilizando el equipo RF Explorer, con el cual se pudo medir la intensidad de las portadoras en esta banda de frecuencia para así determinar el nivel de utilización de esta banda de frecuencia. Estos resultados serán útiles para determinar en qué sector se deben realizar las pruebas en esta banda de frecuencia y también para determinar si existe interferencia externa.

Se obtuvieron los siguientes resultados en las mediciones:

## Aeropuerto Mariscal Sucre.



Figura 36. Antiguo Aeropuerto Mariscal Sucre.

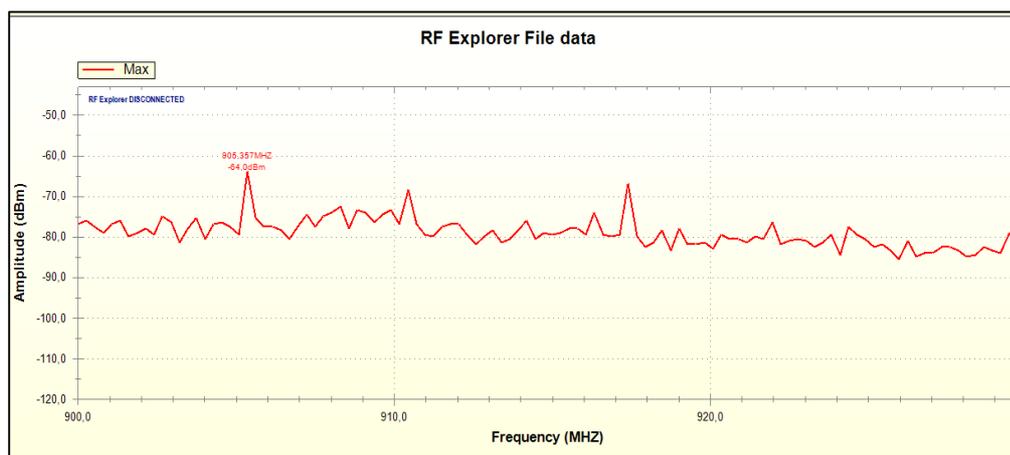


Figura 37. Portadora Antiguo Aeropuerto Mariscal Sucre.

Como se puede observar en la gráfica anterior, en la medición tomada en el antiguo aeropuerto Mariscal Sucre, no se encuentran portadoras que operen en la banda de frecuencia de 902 a 928 MHz.

 **Centro Comercial Ipiales.**



Figura 38. Centro Comercial Ipiales.

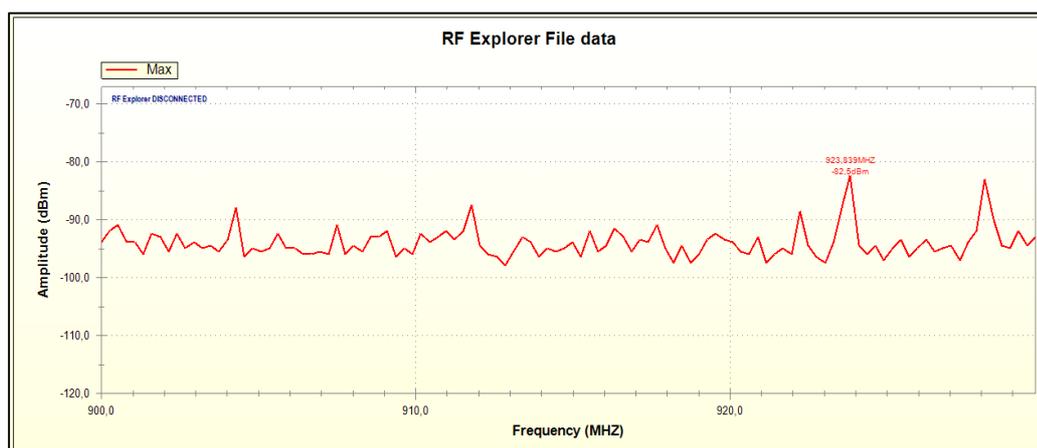


Figura 39. Portadora CCI.

Analizando los resultados obtenidos en la medición tomada en el Centro Comercial Ipiales (CCI), tampoco se encontró portadoras que operen en la banda de frecuencia de estudio.

## Cotocollao.



Figura 40. Cotocollao.

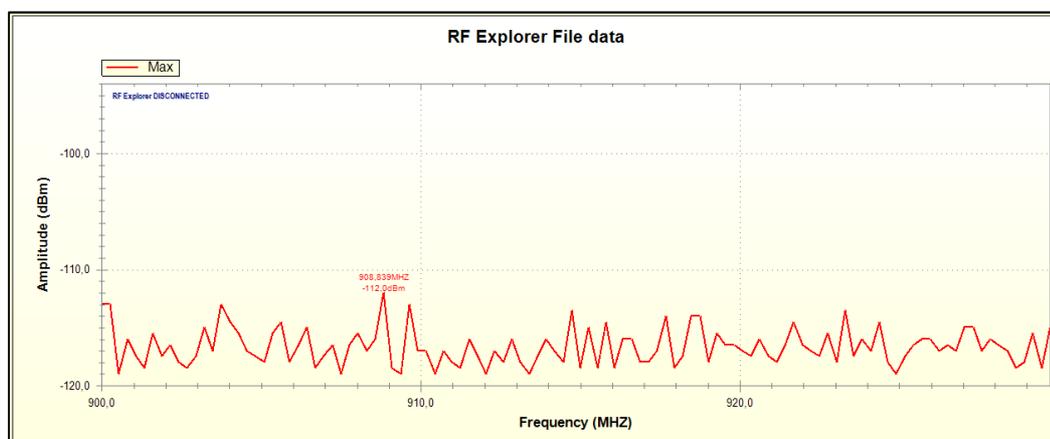


Figura 41. Portadora Cotocollao.

En el gráfico se puede observar que el valor de -112 dBm encontrado en la medición tomada en el barrio Cotocollao, no se lo puede considerar como una portadora que trabaje en la banda de frecuencia antes mencionada, por lo que se considera como un valor de ruido.

 **Escuela Politécnica Nacional.**



Figura 42. Escuela Politécnica Nacional.

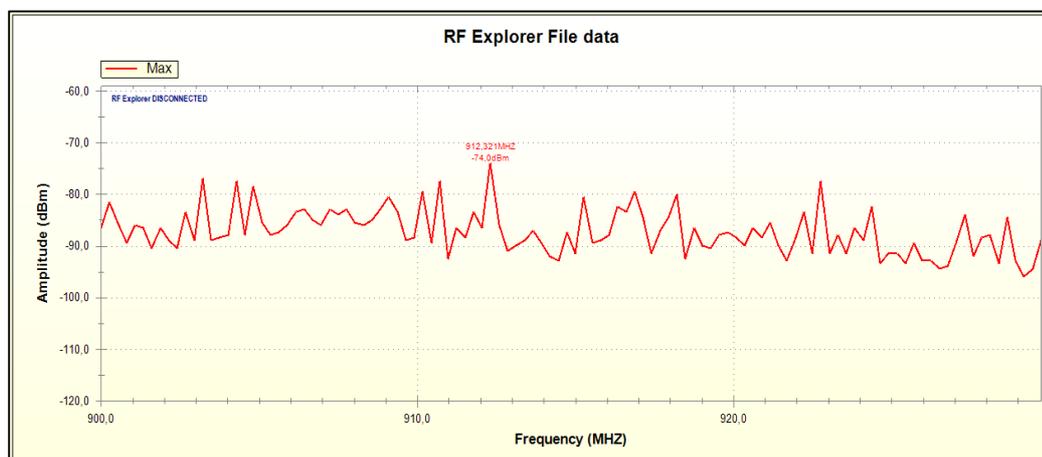


Figura 43. Portadora Escuela Politécnica Nacional.

En la muestra tomada en la Escuela Politécnica Nacional se midió un valor de -74 dBm, este valor es la primera portadora encontrada que trabaja en el rango de frecuencia de 902 a 928 MHz.

## Estadio Olímpico Atahualpa.



Figura 44. Estadio Olímpico Atahualpa.

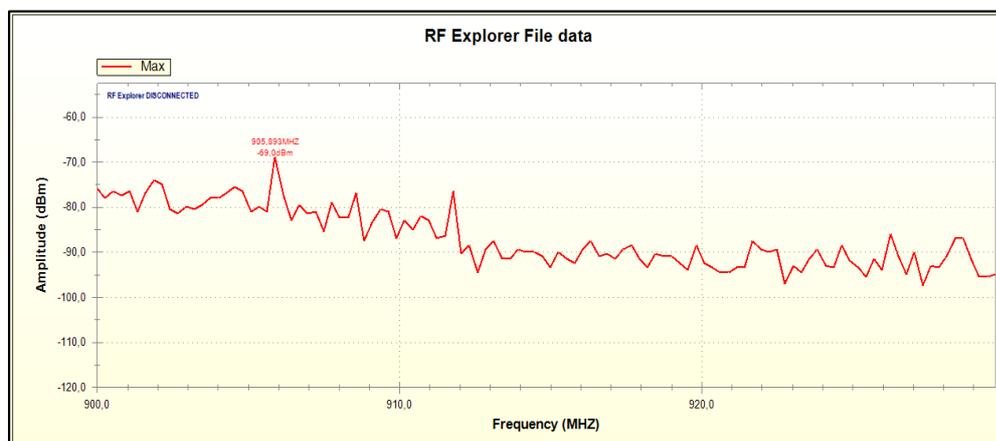


Figura 45. Portadora Estadio Olímpico Atahualpa.

En la muestra tomada en el Estadio Olímpico Atahualpa, se midió un valor de -69 dBm, este valor también se lo considera como una portadora que trabaja en el rango de frecuencia de 902 a 928 MHz.

## Estadio Casa Blanca.



Figura 46. Estadio Casa Blanca.

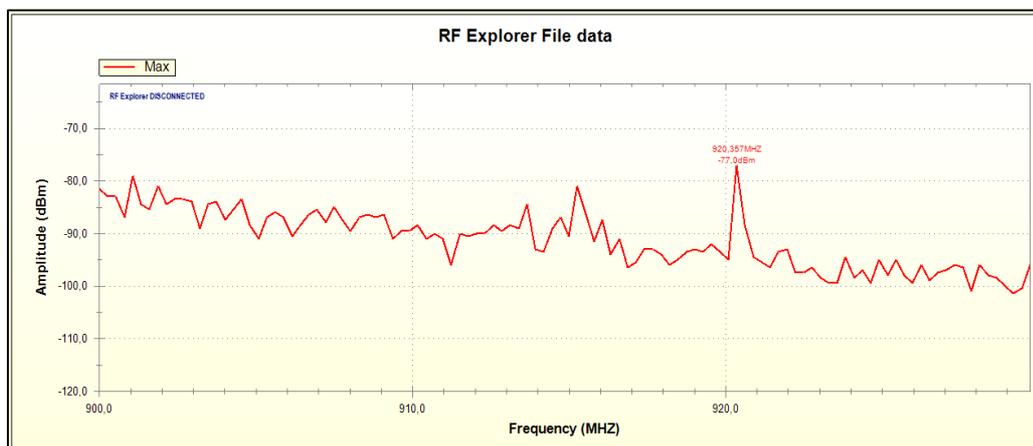


Figura 47. Portadora Estadio Casa Blanca.

En la muestra tomada en el Estadio Olímpico Atahualpa, se midió un valor de -77 dBm, este valor también se lo considera como una portadora que trabaja en el rango de frecuencia de 902 a 928 MHz.

## Parque Inglés.

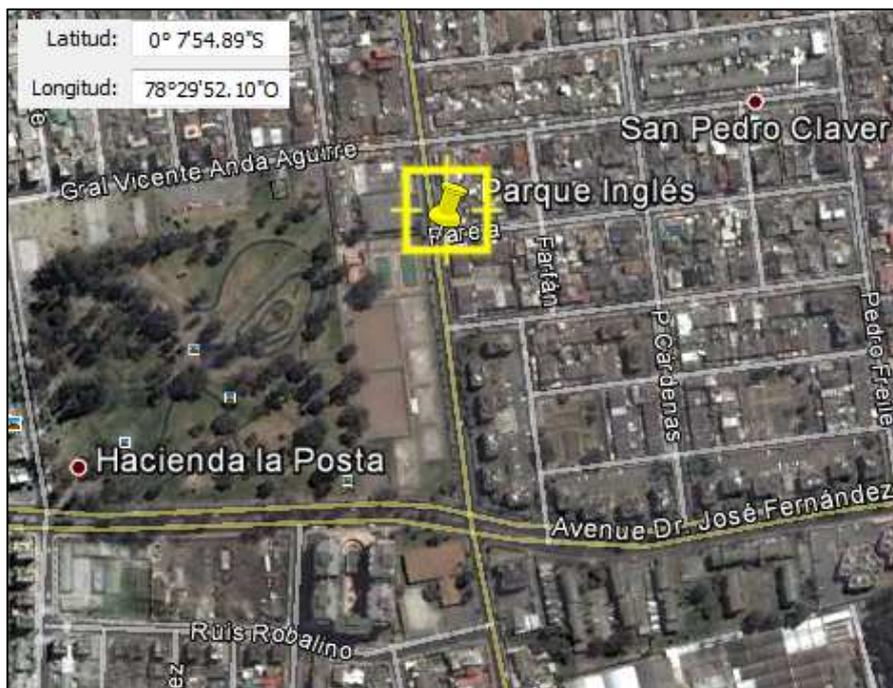


Figura 48. Parque Inglés.

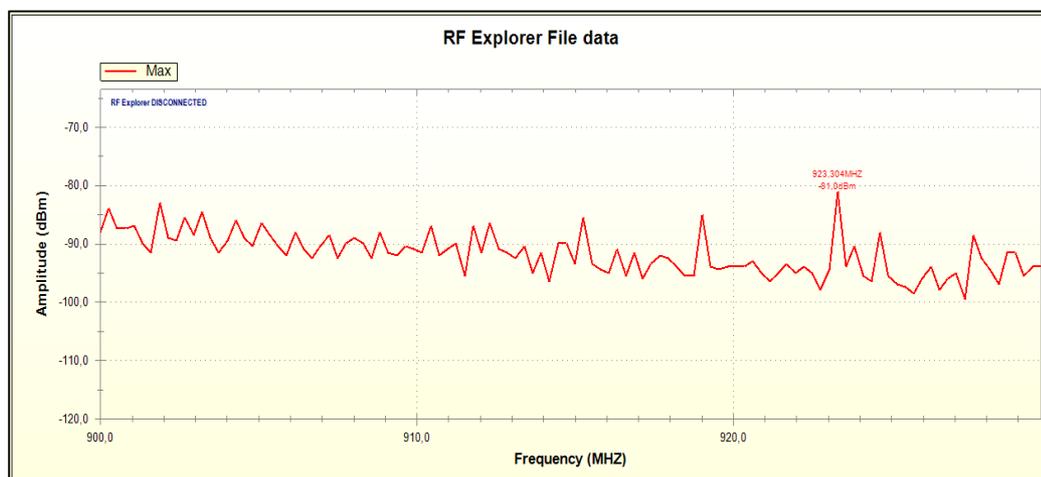


Figura 49. Portadora Parque Inglés.

En el gráfico se puede observar que el valor de -81 dBm encontrado en la medición tomada en el Parque Inglés, no se lo puede considerar como una portadora que trabaje en la banda de frecuencia antes mencionada debido a su baja intensidad.

### Peaje Autopista General Rumiñahui.

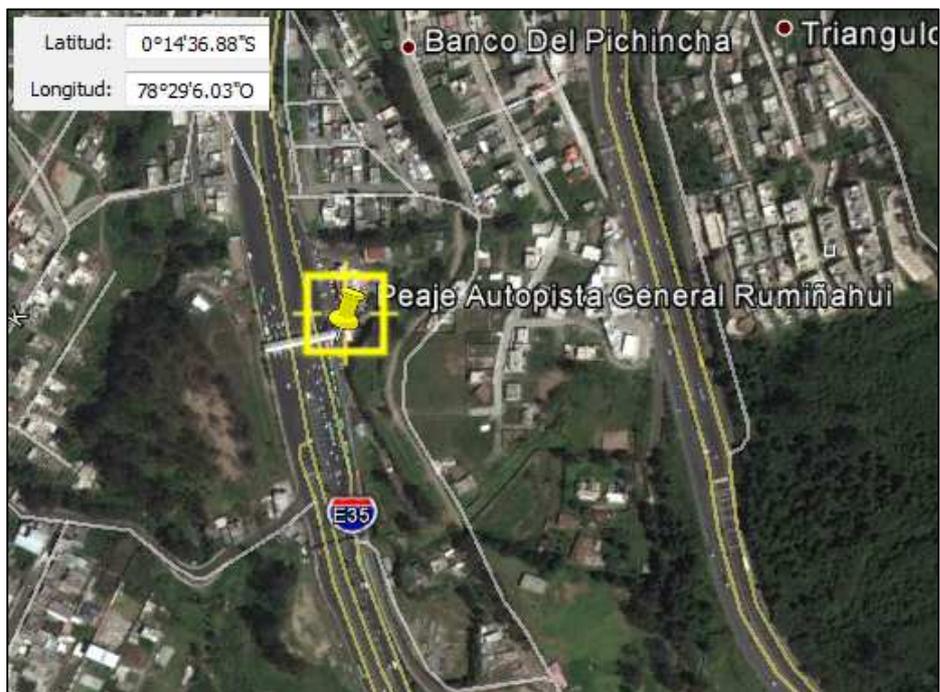


Figura 50. Peaje Autopista General Rumiñahui.

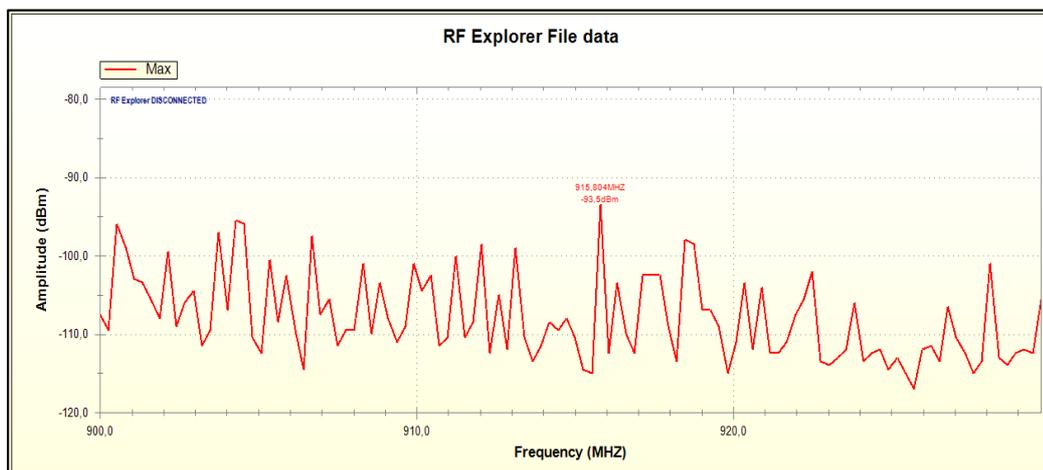


Figura 51. Portadora Peaje Autopista General Rumiñahui.

Como se puede observar en la gráfica anterior, en la medición tomada en la autopista General Rumiñahui, no se encuentran portadoras que operen en la banda de frecuencia de 902 a 928 MHz.

## Plaza de Toros.

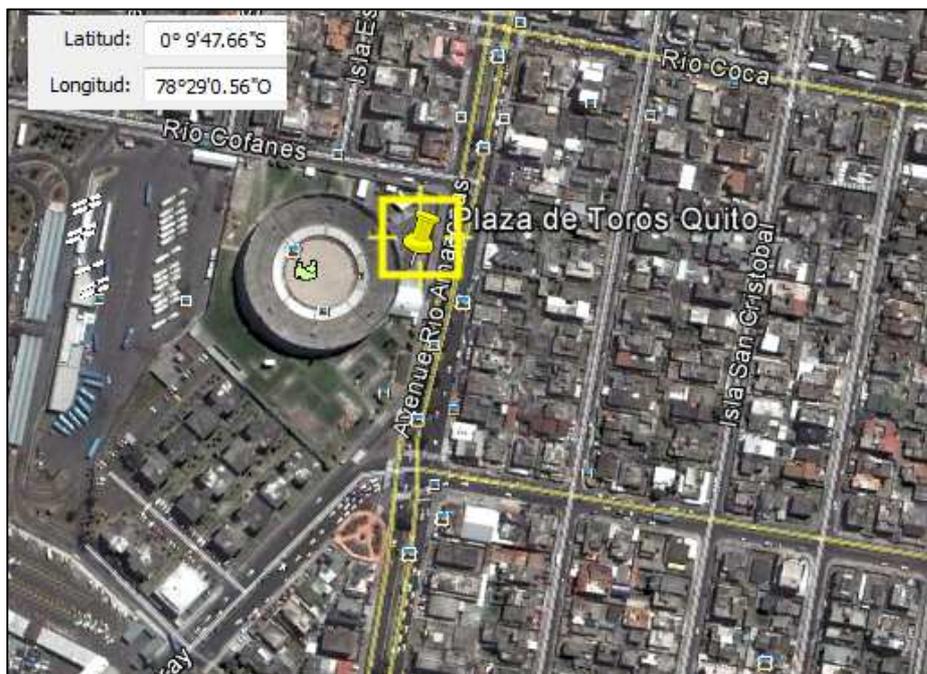


Figura 52. Plaza de Toros Quito.

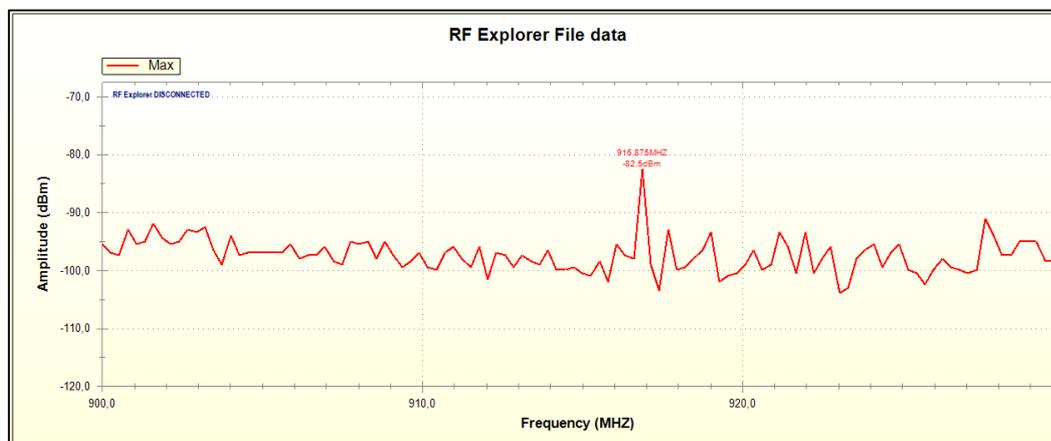


Figura 53. Plaza de Toros Quito.

Como se puede observar en la gráfica anterior, en la medición tomada en la Plaza de toros Quito, no se encuentran portadoras que operen en la banda de frecuencia de 902 a 928 MHz.

## San Luis Shopping.

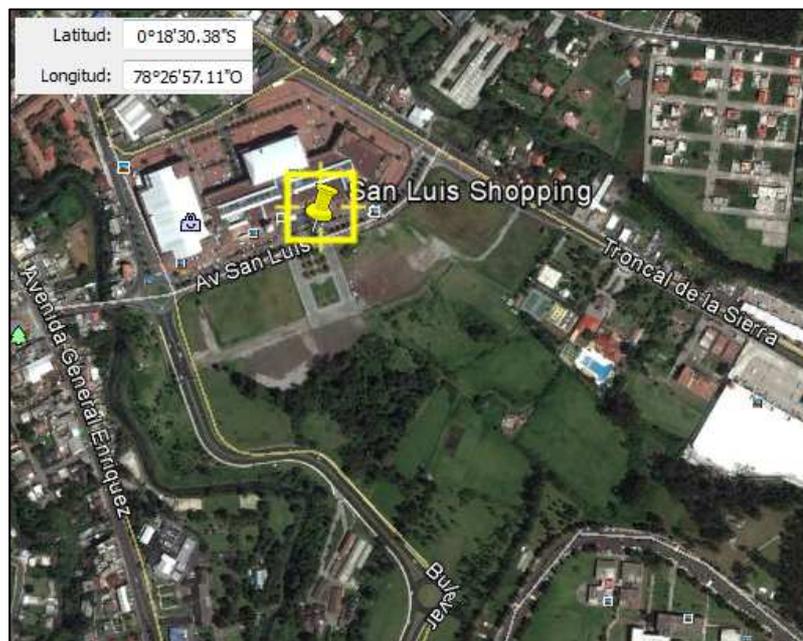


Figura 54. San Luis Shopping.

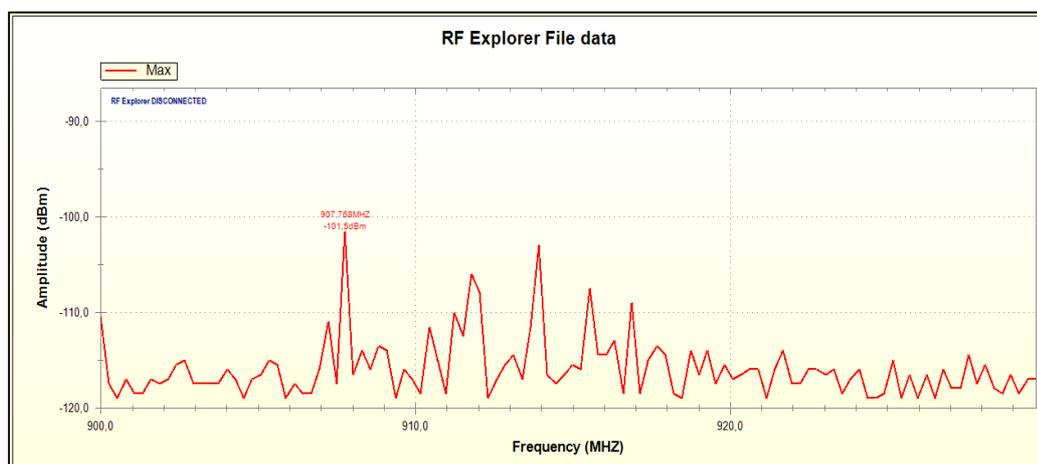


Figura 55. Portadora San Luis Shopping.

En el gráfico se puede observar que el valor de -101 dBm encontrado en la medición tomada en el San Luis Shopping, no se lo puede considerar como una portadora que trabaje en la banda de frecuencia antes mencionada, por lo que se considera como un valor de ruido.

## El Triángulo.

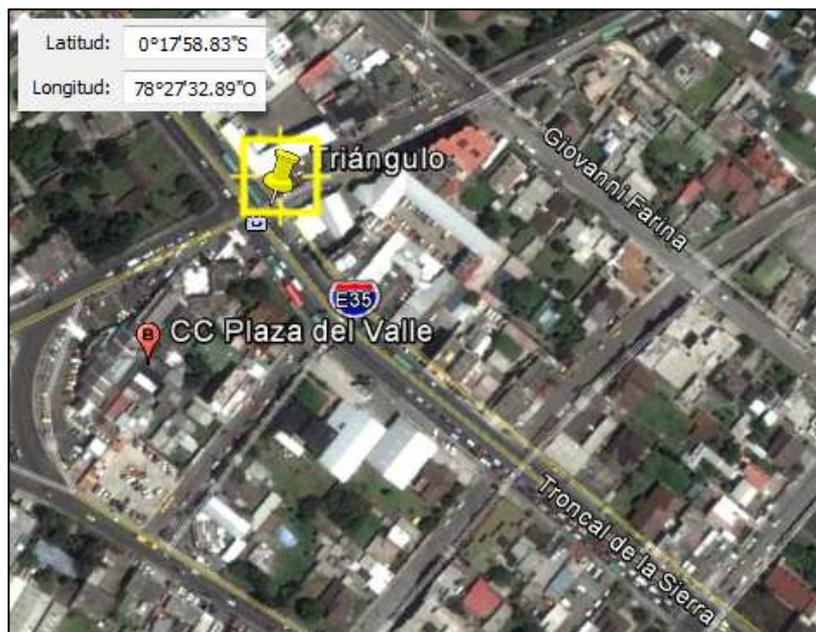


Figura 56. El Triángulo.

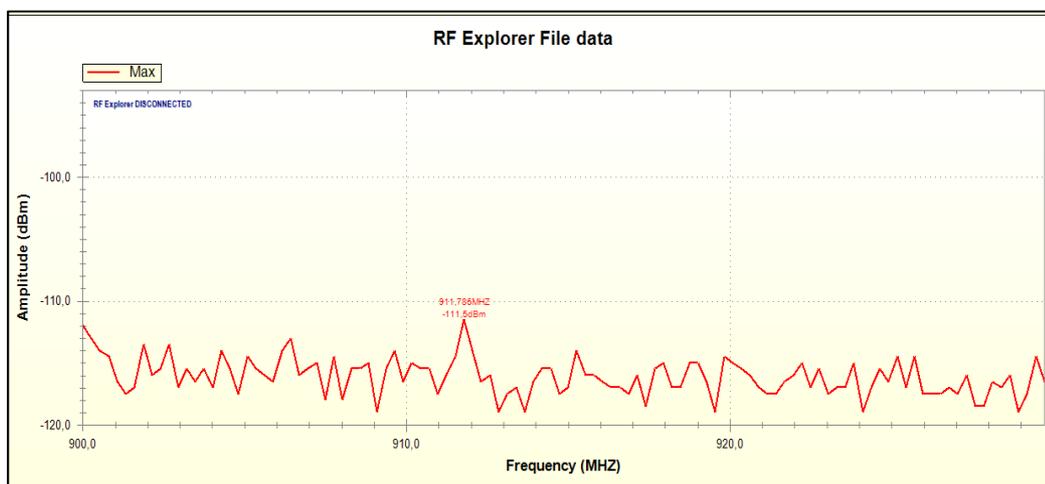


Figura 57. Portadora El Triángulo.

En el gráfico se puede observar que el valor de -111 dBm encontrado en la medición tomada en el sector del Triángulo, no se lo puede considerar como una portadora que trabaje en la banda de frecuencia antes mencionada, por lo que se considera como un valor de ruido.

En la Tabla 4 puede observar los sectores de la ciudad de Quito y del Valle de los Chillos en las cuales se tomaron mediciones en la banda de 902 a 928 Mhz.

Tabla 4. Mediciones Banda 900 MHz Quito.

Sector	Latitud	Longitud	Frecuencia (MHz)	Potencia (dBm)
Aeropuerto Mariscal Sucre	0° 8' 47,74" S	78° 29' 24,17" O	905,35	-64
Centro Comercial Ipiales	0° 10' 38,47" S	78° 29' 6,90" O	923,83	-82,5
Cotocollao	0° 73' 60" S	78° 29' 40,16" O	908,83	-112
Escuela Politécnica Nacional	0° 12' 35,39" S	78° 29' 19,65" O	912,32	-74
Estadio Olímpico Atahualpa	0° 10' 41,77" S	78° 28' 40,05" O	905,89	-69
Estadio Casa Blanca	0° 6' 30,62" S	78° 29' 18,64" O	920,35	-77
Parque Inglés	0° 7' 54,89" S	78° 29' 52,10" O	923,3	-81
Peaje Autopista General Rumiñahui	0° 14' 36,80" S	78° 29' 6,03" O	915,8	-93,5
Plaza de Toros	0° 9' 47,66" S	78° 29' 0,56" O	916,8	-82,5
San Luis Shopping	0° 19' 30,38" S	78° 26' 57,11" O	907,76	-101,5
Triángulo	0° 10' 38,47" S	78° 27' 32,89" O	911,78	-111,5

Como se puede observar en la tabla, el punto donde se encontró la mejor portadora es en el antiguo Aeropuerto Mariscal Sucre, en el cual existe una portadora de -64 dBm. La mayoría de las mediciones tienen una intensidad de potencia demasiado baja, motivo por el cual se las considera como señales de ruido. Con estas mediciones se llega a la conclusión que en el Valle de los Chillos, no existen señales que puedan interferir con la implementación y las pruebas a desarrollarse para determinar el rendimiento de la red.

#### 4.2. Planificación del Enlace.

Para realizar las pruebas con las que se determinó el rendimiento de la banda de 902 a 928 MHz, se realizó dos enlaces, en sectores urbanos y rurales, el uno de corta distancia y el otro de larga distancia. Se realizó un enlace sin línea de vista ya

que el *Nanostation* M900 tiene como característica enlazar puntos que no posean línea de vista hasta una distancia de 5 km.

### 4.3. Enlace de corta distancia.

El enlace a estudiar se realizó en los puntos: Escuela Politécnica del Ejército (Sangolquí) – Iglesia Los Bajos del Ilaló; con una distancia de 3.33 km aproximadamente sin utilizar antenas externas.

La Tabla 5 contiene la información de coordenadas de los puntos seleccionados.

Tabla 5. Coordenadas Enlace 1.

	Latitud	Longitud	Altura
ESPE (Sangolquí)	0°18'46.15"S	78°26'43.11"O	2501 m
Iglesia Los Bajos del Ilaló	0°17'1.51"S	78°26'14.00"O	2546 m

En la Figura 58 se puede observar la distancia total del enlace, cuyo valor es de 2.67 km.

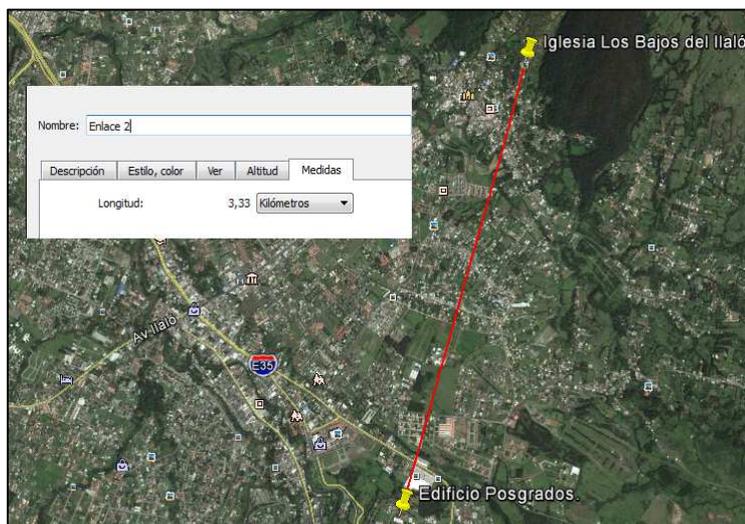


Figura 58. Distancia Enlace de Corta Distancia.

### 4.3.1. Perfil Topográfico.

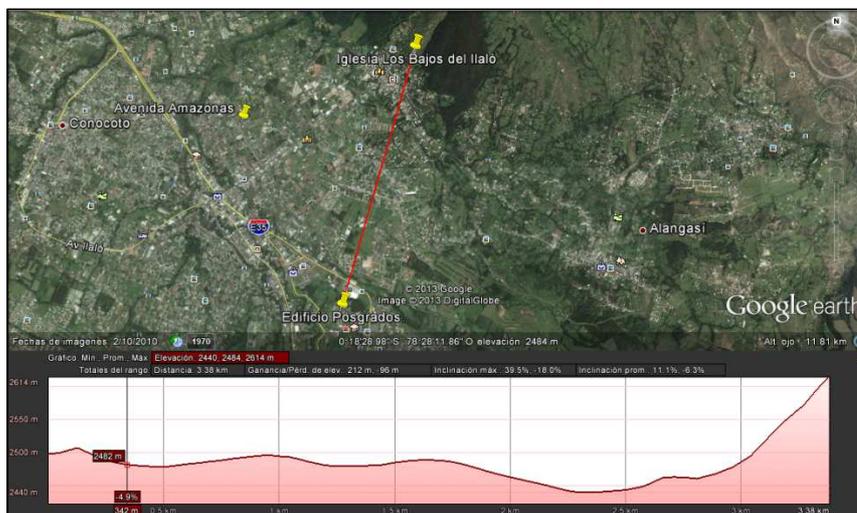


Figura 59. Perfil Topográfico ESPE – Iglesia Los Bajos del Ilaló.

La presencia de obstáculos como edificaciones y vegetación que presenta la zona, nos ayudan con la condición de no tener línea de vista en el enlace propuesto.



Figura 60. Vista ESPE – Iglesia los Bajos del Ilaló.

### 4.3.2. Factibilidad del Lugar.

Para analizar la factibilidad de los puntos tomados en cuenta para realizar el enlace, se tiene en consideración tomar mediciones para determinar que no existen señales interferentes en la banda de 902 a 928 MHz en estos lugares. También se debe considerar la facilidad del acceso a energía eléctrica, la cual es necesaria para energizar los equipos. A continuación se muestran las gráficas tomadas con el RF Explorer en los 2 puntos donde se va a realizar el enlace.

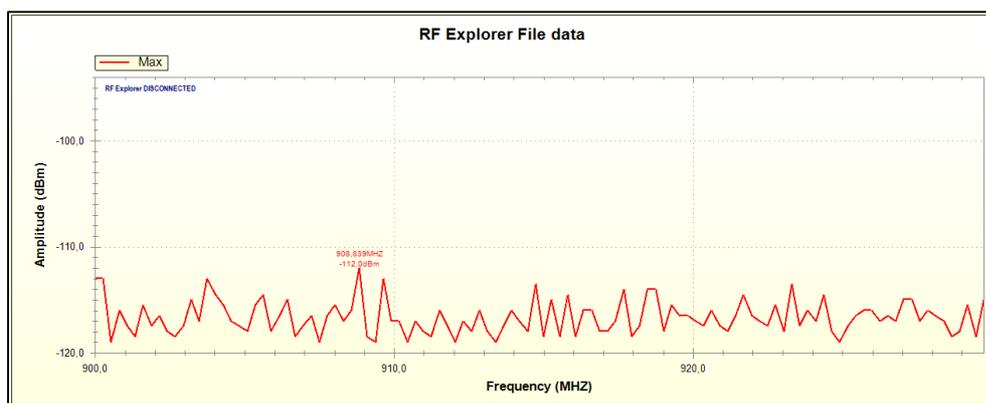


Figura 61. Señal Iglesia Los Bajos del Ilaló.

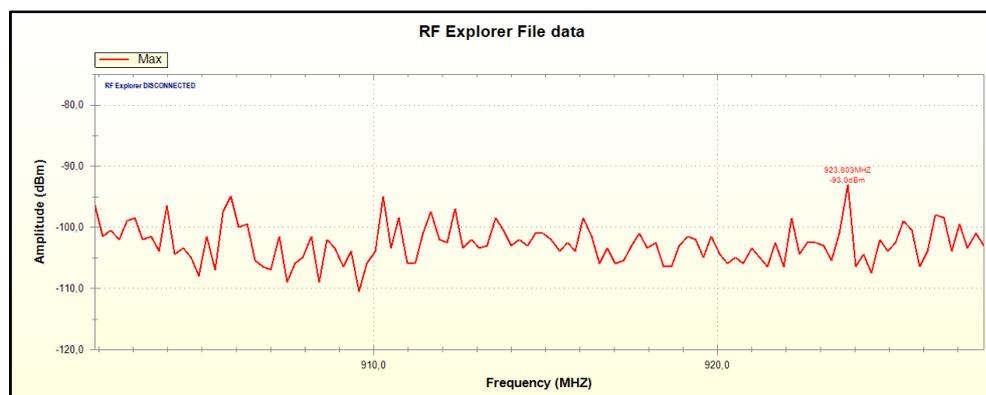


Figura 62. Señales ESPE.

Analizando las Figuras 61 y 62, se puede observar que no se tiene señales interferentes en los dos puntos tomados en consideración para realizar el enlace, sumado a la facilidad de acceso a la energía eléctrica se comprueba que existe factibilidad para realizar el enlace.

#### 4.3.3. Diseño del Enlace.

Para el diseño del enlace se utilizó la herramienta gratuita *Radio Mobile*, el cual nos permite diseñar cualquier tipo de enlaces radioeléctricos, este software aplica el modelo de propagación ITM (Modelo para Terrenos Irregulares) para estimar las pérdidas de propagación en el medio. La altura de las antenas se determinó en la visita a los lugares donde se realizó la implementación.

En la Tabla 6 se muestran los datos de la simulación del enlace.

Tabla 6. Datos de la Simulación.

Lugar	Potencia de Tx	Umbral de sensibilidad	Ganancia de las Antenas	Altura de las Antenas	Frecuencia
ESPE (Sangolquí)	28 dBm	-95 dBm	7.5 dBi	30 m	915 MHz
Iglesia Los Bajos del Ilaló	----	-95 dBm	7.5 dBi	3 m	915 MHz

La Tabla 7 muestra los resultados de la simulación del enlace desde la ESPE (Sangolquí) hacia la Av. Amazonas.

Tabla 7. Resultados de la Simulación.

Servicio	Enlace 900
Tipo de antena	Antena interna directiva 7.5 dBi de ganancia
Distancia	3.47 km
Azimut ESPE	14°, elevación 0.24°
Azimut Iglesia	194°, elevación -0.24°
Mínimo despeje	2.5 F1 a 1,12 km
Frecuencia promedio	915 MHz
Pérdidas Espacio Libre	102.07 dB
Pérdidas Totales	120,4 dB
Nivel de Rx	-78,4 dBm

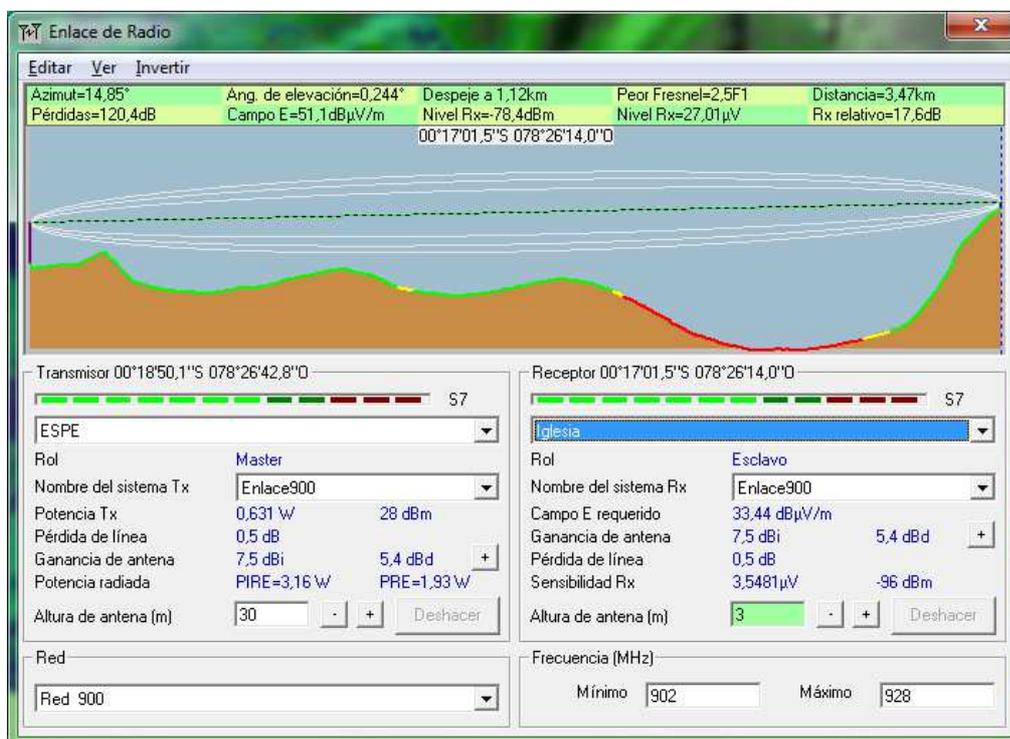


Figura 63. Resultados de la Simulación.

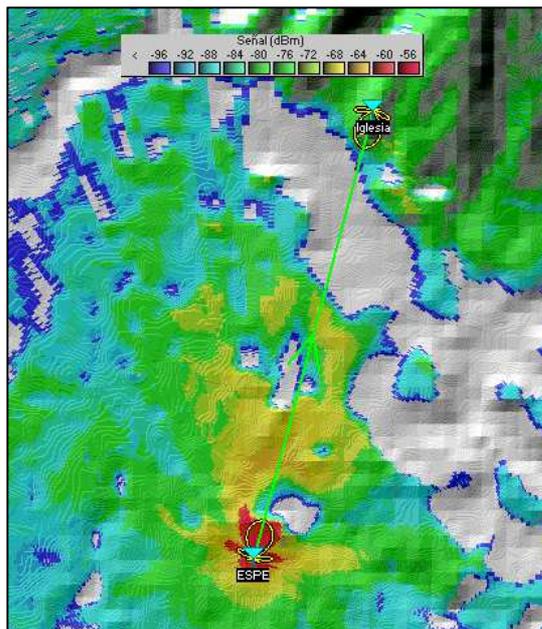


Figura 64. Gráfico del Propagación del Enlace.

#### 4.3.4. Topología de la Red.

En la Figura 65 se muestra esquemáticamente el tendido de la red que enlaza los puntos ubicados en la ESPE Sangolquí con la Iglesia Los Bajos de Ilaló. Estos dos puntos están unidos por un enlace punto a punto.

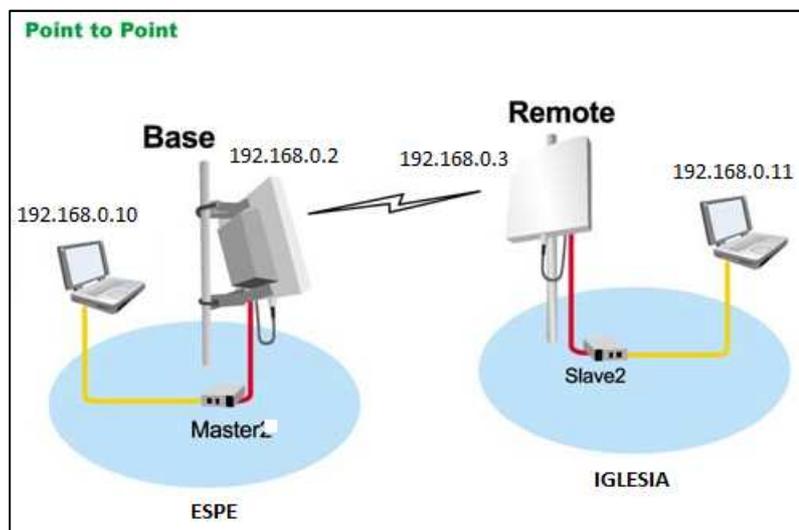


Figura 65. Topología de Red.

La Tabla 8 muestra el esquema de direccionamiento para la red. Es importante que las direcciones IP de los equipos se encuentren dentro del mismo grupo.

Tabla 8. Esquema de Direccionamiento.

	Dirección IP	Mascara de Red	Dirección de Gateway
<b>Unidad Base</b>	192.168.0.2	255.255.255.0	192.168.0.1
<b>Unidad Remota</b>	192.168.0.3	255.255.255.0	192.168.0.1
<b>PC 1</b>	192.168.0.10	255.255.255.0	192.168.0.1
<b>PC 2</b>	192.168.0.11	255.255.255.0	192.168.0.1

#### 4.3.5. Selección de Equipos y Materiales.

La selección de equipos y materiales se basan en parámetros tales como la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, temperatura y humedad soportada en operación, como se puede observar en la Tabla 9.

Tabla 9. Equipos y Materiales.

Equipos y Materiales	Fabricante	Modelo	Características
<p><b><u>Nanoestation</u></b></p> 	Ubiquiti	M900	Antena interna 7.5 dBi de ganancia
<p><b><u>Cable UTP</u></b></p> 	----	Categoría 6	Conector RJ4

<b><u>RF Explorer</u></b>			
	RF Explorer	ISM Combo	240 – 960 MHz
<b><u>GPS</u></b>			
	Garmin	GPS60	Conexión USB No requiere antena externa
<b><u>Brújula</u></b>			
	Brumton	Wind	-----

#### 4.3.6. Implementación de la Red.

##### 4.3.6.1. Lugares.

Es muy importante definir el lugar donde se va a implementar la red, por lo que se debe tener en cuenta que exista factibilidad para poder llegar con los equipos al sitio de la implementación, así también realizar un estudio del alcance del enlace que se desea obtener, y en este caso observar que no se cumpla con la condición de tener línea de vista; teniendo en cuenta que los árboles, los edificios, tendidos eléctricos, etc. influyen en la recepción de la señal, debido que se refleja en los objetos sólidos y llega con retardo de fase a la antena receptora, pudiendo provocar

pérdidas de señal. La lluvia en sí tiene poco impacto sobre la pérdida por propagación.

La instalación de los puntos en los lugares seleccionados, en teoría permitirá tener una conexión entre dos puntos, de acuerdo a la simulación realizada con el software *Radio Mobile*, para poder compartir información y recursos, la distancia entre los puntos a instalar es de 3.33 km aproximadamente. Se buscó un lugar alto para la instalación de la antena a fin de mejorar la calidad de la recepción.

#### **4.3.6.2. Utilización de Equipos.**

Mediante la visita realizada en el estudio de campo se debe tomar en cuenta la utilización de los equipos: GPS y Brújula para la toma exacta de las coordenadas de los puntos donde se va a realizar la implementación, esto se debe a que entre los dos puntos seleccionados existe una gran distancia de separación, motivo por el cual se dificulta el trabajo del alineamiento de las antenas, así también conocer a que ángulo de elevación se encuentran las torres con respecto a la línea de vista que posee entre los dos puntos.

Las Herramientas más aconsejables que se nota para tener una gran factibilidad de implementación son:

- a. Radio de dos vías o teléfono celular
- b. Laptop dotado del software.

- c. Analizador de Espectros o equipo que permita medir la intensidad de la señal recibida.
- d. Radios Ubiquiti que se van a utilizar en el enlace con sus respectivos cables.
- e. Abrazaderas para sujetar la antena al tubo mástil
- f. Binoculares o larga vistas.
- g. Brújula y GPS
- h. En caso de que la instalación se deba realizar a cierta altura, arnés, guantes, casco y correa de seguridad para sujetarse a la torre.

#### **4.3.6.3. Suministro de Energía.**

Para la instalación de los equipos se utilizó un sistema de alimentación de energía eléctrica con corriente alterna de 110 voltios, además se hizo uso de energía a través de cable Ethernet vía *POE*.

#### **4.3.6.4. Alineación de las Antenas.**

En un enlace de larga distancia punto a punto uno de los objetivos grandes a cumplir es alinear las antenas lo mejor posible. Para alinear las antenas se necesita inicialmente; conocer el ángulo de elevación y el azimut, la Tabla 10 resume los requerimientos mencionados, y encontrar la mejor posición apoyados por instrumentos como son; brújulas y GPS. Además en la Figura 66, se puede observar que existe un medidor de señal en la parte externa del radio Ubiquiti lo cual nos ayuda con esta tarea.

Tabla 10. Configuración Física de los Equipos.

	Azimut	Ángulo de elevación
<b>Estación Base</b>	14°	0.24°
<b>Estación Remota</b>	194°	0.24°

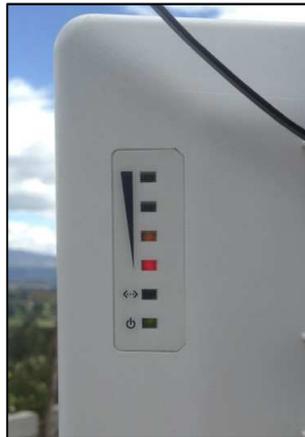


Figura 66. Medidor de la Intensidad de Señal.

#### 4.4. Enlace de larga distancia.

El enlace a estudiar se realizó en los puntos: Cerro Pilisurco – ESPE Latacunga; con una distancia de 24.27 km, utilizando antenas externas de 900 MHz, con una ganancia de 14 dBi.

La Tabla 11 contiene la información de coordenadas de los puntos seleccionados.

Tabla 11. Coordenadas Enlace de Larga Distancia.

	Latitud	Longitud	Altura
<b>Pilisurco</b>	1°8'49.42"S	78°40'19.09"O	4078 m
<b>ESPE Latacunga</b>	0°56'9.35"S	78°36'42.55"O	2780 m

Pilisurco

ESPE Latacunga

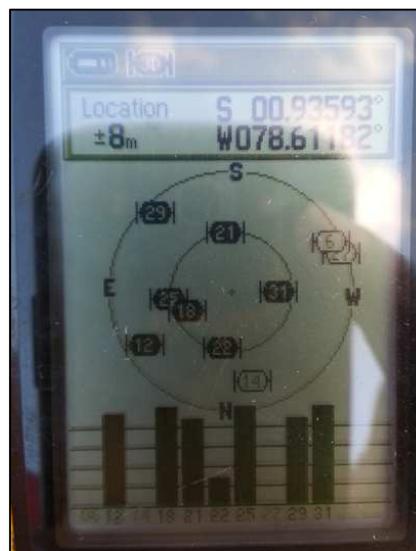


Figura 67. Ubicación Pilisurco y ESPEL.

En la Figura 68 se puede observar la distancia total del enlace, cuyo valor es de 24.27 km.

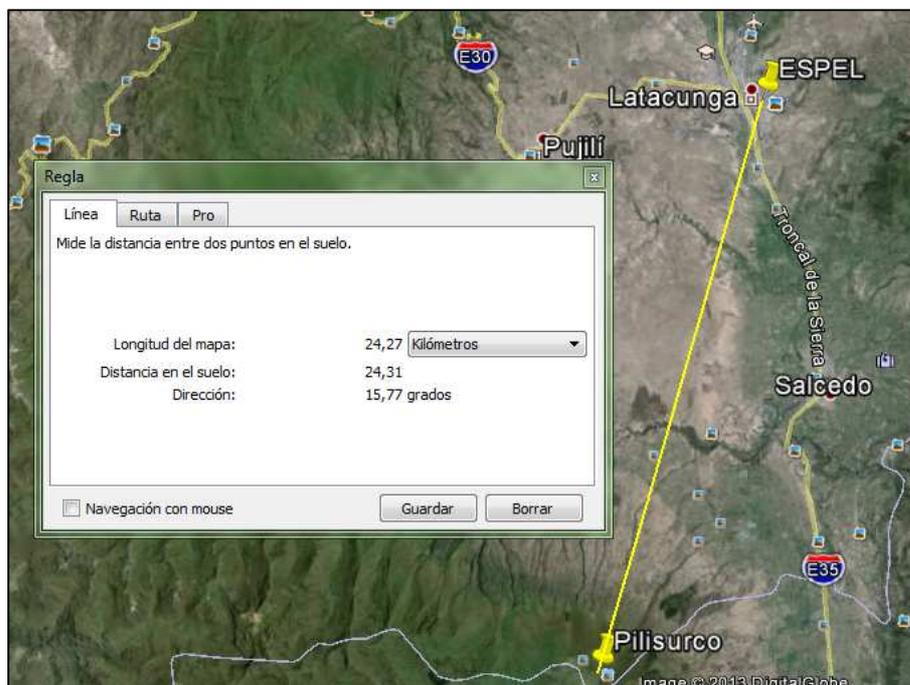


Figura 68. Distancia Enlace de Larga Distancia.

#### 4.4.1. Perfil Topográfico.

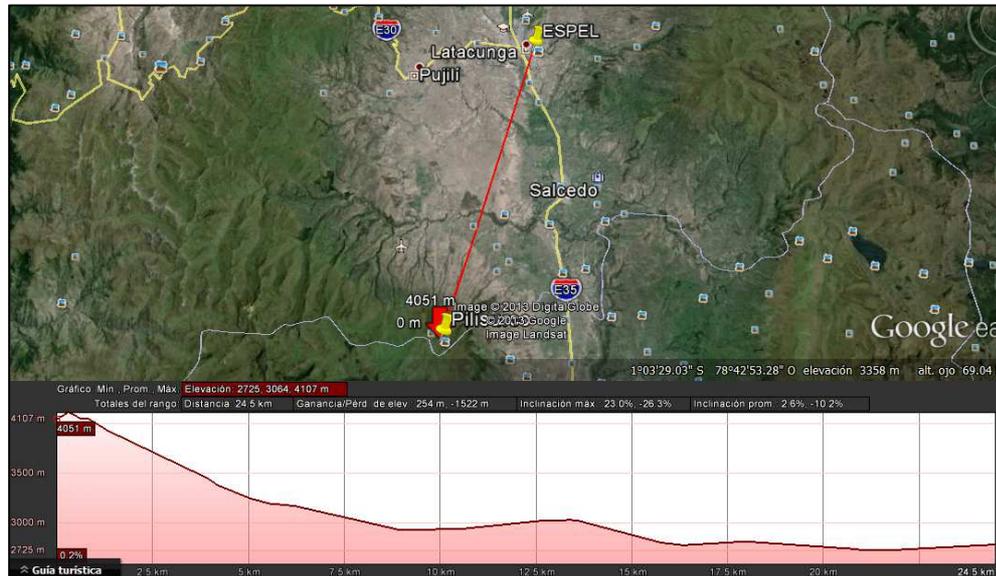


Figura 69. Perfil Topográfico Pilisurco - ESPEL.

Revisando el perfil topográfico se observa que existe línea de vista para implementar el enlace propuesto.

#### 4.4.2. Diseño del Enlace.

De igual manera, para el diseño del enlace con línea de vista se utilizó la herramienta de simulación *Radio Mobile*. La altura de las antenas se determinó en la visita a los lugares donde se realizó la implementación.

En la Tabla 12 se muestran los datos de la simulación del enlace.

Tabla 12. Datos de la Simulación.

Lugar	Potencia de Tx	Umbral de sensibilidad	Ganancia de las Antenas	Altura de las Antenas	Frecuencia
Pilisurco	28 dBm	-95 dBm	14 dBi	11 m	915 MHz
ESPEL	----	-95 dBm	14 dBi	11 m	915 MHz

La Tabla 13 muestra los resultados de la simulación del enlace desde el Cerro Pilisurco hacia la ESPE Latacunga.

Tabla 13. Resultados de la Simulación.

Servicio	Enlace 900
Tipo de antena	Antena externa direcciva 14 dBi de ganancia
Distancia	24.73 km
Azimut Pilisurco	14°, elevación - 3.32°
Azimut ESPEL	194°, elevación 3.1°
Mínimo despeje	2.9 F1 a 24,52 km
Frecuencia promedio	915 MHz
Pérdidas Espacio Libre	119.33 dB
Pérdidas Totales	130,1 dB
Nivel de Rx	-76,1 dBm

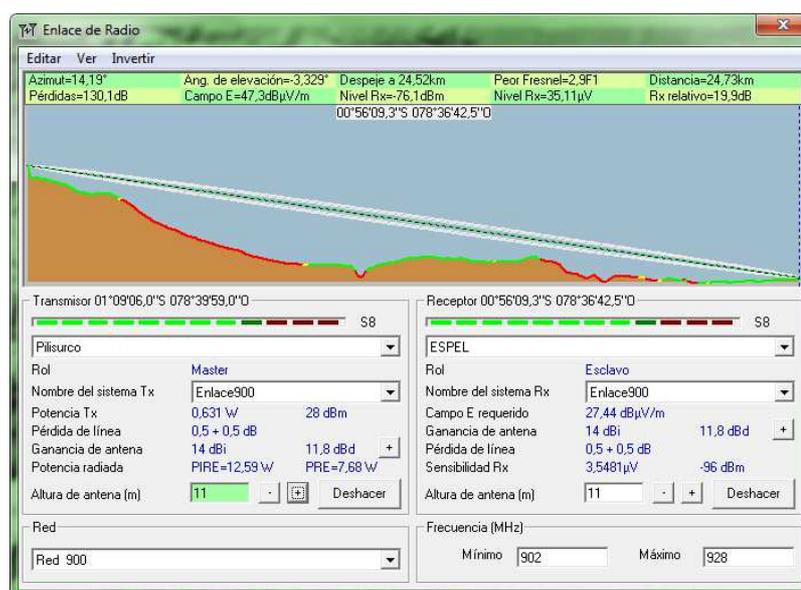


Figura 70. Resultados de la Simulación.

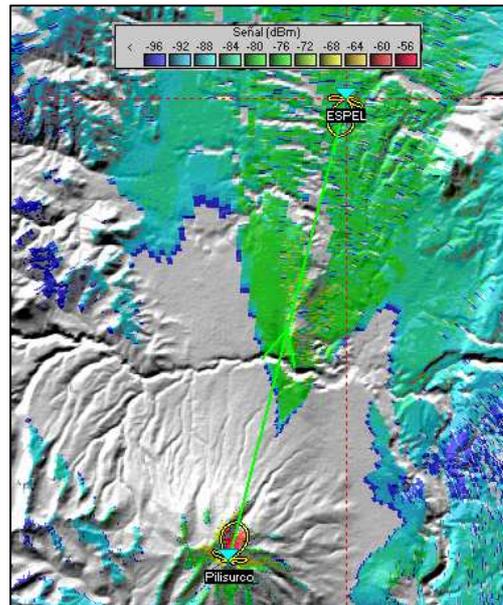


Figura 71. Gráfica de Propagación del Enlace.

#### 4.4.3. Topología de la Red.

En la Figura 72 se muestra esquemáticamente el tendido de la red que enlaza los puntos ubicados en el Cerro Pilisurco con la ESPE Latacunga. Estos dos puntos están unidos por un enlace punto a punto.

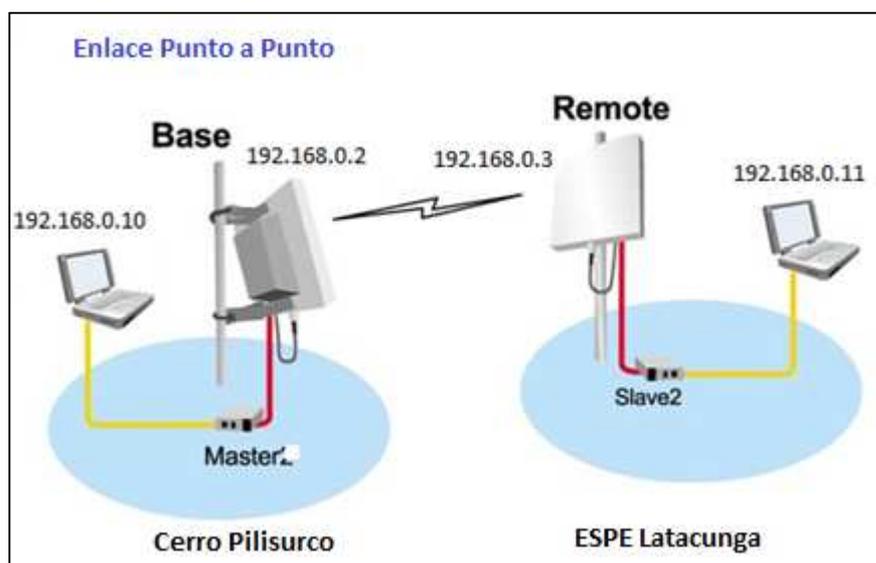


Figura 72. Topología de Red.

La Tabla 14 muestra el esquema de direccionamiento para la red. Es importante que las direcciones IP de los equipos se encuentren dentro del mismo grupo.

Tabla 14. Esquema de Direccionamiento.

	Dirección IP	Mascara de Red	Dirección de Gateway
<b>Unidad Base</b>	192.168.0.2	255.255.255.0	192.168.0.1
<b>Unidad Remota</b>	192.168.0.3	255.255.255.0	192.168.0.1
<b>PC 1</b>	192.168.0.10	255.255.255.0	192.168.0.1
<b>PC 2</b>	192.168.0.11	255.255.255.0	192.168.0.1

#### 4.4.4. Selección de equipos y materiales.

La selección de equipos y materiales se basan en parámetros tales como la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, temperatura y humedad soportada en operación, como se puede observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Equipos y Materiales.

Equipos y Materiales	Fabricante	Modelo	Características
<p><b><u>Nanoestation</u></b></p> 	Ubiquiti	M900	Antena interna 7.5 dBi de ganancia 902 a 928 MH
<p><b><u>Cable UTP</u></b></p> 	----	Categoría 6	15 metros de longitud Conector RJ45

**RF Explorer**

RF Explorer

ISM Combo

240 – 960 MHz

**GPS**

Garmin

GPS60

Conexión USB

No requiere antena  
externa

Portable

**Brújula**

Brumton

Wind

-----

**Antena Externa**

-----

Yagui

14 dBi de ganancia

**Cable Coaxial**

-----

RG58

50 oms

#### 4.4.5. Implementación de la Red

##### 4.4.5.1. Lugares.

En este caso se debe observar que se cumpla con la condición de tener línea de vista; teniendo en cuenta que los árboles, los edificios, tendidos eléctricos, etc. influyen en la recepción de la señal, debido que se refleja en los objetos y llega con retardo de fase a la antena receptora, pudiendo provocar pérdidas de señal. La lluvia en sí tiene poco impacto sobre la pérdida por propagación.



Figura 73. Vista Pilisurco – ESPEL.



Figura 74. Vista ESPEL – Pilisurco.

La instalación de los puntos en los lugares estudiados permitirá tener una conexión entre los mismos, teniendo un sistema de comunicación, para poder compartir información y recursos, con la característica de que la distancia entre los puntos a instalar es de 24.27 km aproximadamente. La situación de buscar un lugar alto para la instalación de la antena es debido a la calidad de la recepción.

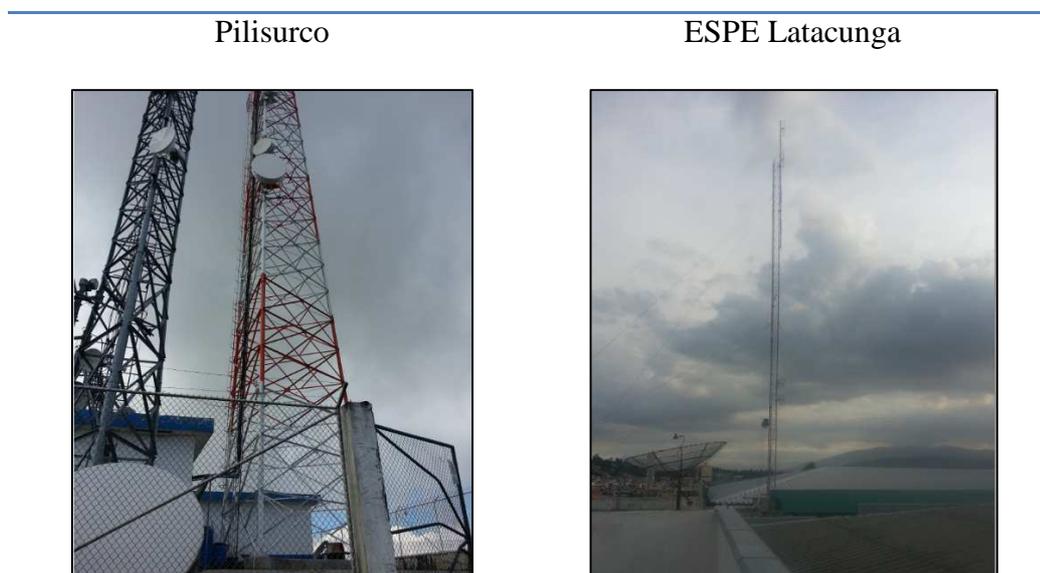


Figura 75. Infraestructura utilizada.

#### 4.4.5.2. Utilización de Equipos.

Mediante la visita realizada en el estudio de campo se debe tomar en cuenta la utilización de los equipos: GPS y Brújula para la toma exacta de las coordenadas de los puntos donde se va a realizar la implementación, esto se debe a que entre los dos puntos seleccionados existe una gran distancia de separación, motivo por el cual se dificulta el trabajo del alineamiento de las antenas, así también conocer a que ángulo de elevación se encuentran las torres con respecto a la línea de vista que posee entre los dos puntos.

Las Herramientas más aconsejables que se nota para tener una gran factibilidad de implementación son:

- a. Radio de dos vías o teléfono celular
- b. Laptop dotado del software.
- c. Analizador de Espectros o equipo que permita medir la intensidad de la señal recibida.
- d. Radios Ubiquiti que se van a utilizar en el enlace con sus respectivos cables.
- e. Abrazaderas para sujetar la antena al tubo mástil
- f. Binoculares o larga vistas.
- g. Brújula y GPS
- h. En caso de que la instalación se deba realizar a cierta altura, arnés y correa de seguridad para sujetarse a la torre.

#### **4.4.5.3. Suministro de Energía.**

Para la instalación de los equipos se utilizó un sistema de alimentación de energía eléctrica con corriente alterna de 110 voltios, además se hizo uso de energía a través de cable Ethernet o *POE*.

Pilisorco



ESPE Latacunga




---

 Figura 76. Suministro de Energía Pilisorco – ESPEL.
 

---

#### 4.4.5.4. Alineamiento de las antenas.

En un enlace de larga distancia punto a punto uno de los objetivos grandes a cumplir es alinear las antenas lo mejor posible. Para esta tarea se necesita inicialmente; conocer el ángulo de elevación, el azimut, y encontrar la mejor posición apoyados por instrumentos como son; brújulas y GPS. En la Figura 77, se puede observar que existe un medidor de señal en la parte externa del radio Ubiquiti lo cual nos ayuda con esta tarea. La Tabla 16 resume los requerimientos mencionados.

Tabla 16. Configuración Física de Equipos.

	Azimut	Ángulo de elevación
<b>Estación Base</b>	14°	3.32°
<b>Estación Remota</b>	194°	-3.32°



Figura 77. Medidor de la Intensidad de la Señal.

En total se realizaron dos enlaces, el primero de corta distancia sin línea de vista debido a la presencia vegetación y edificaciones con una distancia de 3.33 km comprendidos entre los puntos ESPE (Sangolquí) - Iglesia los Bajos del Ilaló. El segundo enlace de larga distancia y con línea de vista con una distancia de 24.27 km, comprendidos entre los puntos Cerro Pilisurco y ESPE Latacunga.

## **CAPÍTULO V**

### **PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **5.1. Cálculos de Propagación.**

Es necesario realizar cálculos con los mismos datos utilizados para realizar la planificación de la red, los cuales pueden ser comparados con los datos reales arrojados en la implementación del enlace.

Los principales datos a ser considerados son:

##### **5.1.2 Pérdidas en el cable.**

La utilización de cable coaxial es uno de los factores importantes en la instalación de enlaces radioeléctricos, debido a que va conectado desde la antena hasta la ubicación de los equipos utilizados. Se debe tomar en cuenta que cuanto más largo sea el cable coaxial, mayor será la pérdida de señal, debido que por cada 1 metro de cable existe 0.57 dB de pérdida.

En el enlace de corta distancia no se utilizó cable coaxial debido a que el enlace se utilizó la antena interna del Nanostation. En el enlace de larga distancia si se utilizó cable coaxial en los 2 puntos del enlace para conectar el Nanostation con la

antena externa de 900 MHz. Se utilizó 11 metros de cable coaxial en cada punto del enlace por lo cual las pérdidas por cable coaxial fueron de 6.27 dB.

### 5.1.1 Pérdidas por Propagación.

Conociendo la distancia que se desea cubrir en entre los dos puntos a analizar se debe tomar en cuenta que cuanto mayor sea la distancia entre antenas, mayor será la pérdida de señal.

Se puede calcular la pérdida de señal por propagación entre antenas mediante la ecuación 1:

Ecuación 1. Pérdidas en el espacio libre.

$$P_p = 32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$$

Dónde:

$P_p$  es las pérdidas por propagación en dB.

$d$  es la distancia entre las antenas en metros.

$f$  frecuencia de transmisión.

#### Enlace de corta distancia.

$$d = 3.33 \text{ Km}$$

$$P_p = 32.4 + 20 \log(3.33) + 20 \log(900)$$

$$P_p = 32.4 + 20(0.52) + 20(2.95)$$

$$P_p = 101.8 \text{ dB}$$

### Enlace de larga distancia.

$$FSL_{dB} = 32.4 + 20 \log d + 20 \log f$$

Dónde:  $d$  = distancia en km;  $f$  = frecuencia en MHz

$$FSL_{dB} = 32.4 + 20 \log 24.27 + 20 \log 915$$

$$FSL_{dB} = 32.4 + 27.7 + 59.23$$

$$FSL_{dB} = 119.33 \text{ dB}$$

### 5.1.3 Nivel de Recepción.

Se puede calcular el nivel de recepción de señal, en función de todos los factores que se establecen en la realización del enlace de la red inalámbrica.

#### Ecuación 2. Nivel de Rx

$$N_R = P_t - P_{co_t} - P_{co_r} - P_{ca_t} - P_{ca_r} - P_p + G_{a_t} + G_{a_r}$$

Dónde:

$N_R$  = Nivel de Recepción.

$P_t$  = Potencia de Transmisión.

$P_{co_t}$  = Pérdida de conectores, antena de transmisión.

$P_{co_r}$  = Pérdida de conectores, antena de recepción.

$P_{ca_t}$  = Pérdida del cable, antena de transmisión.

$P_{ca_r}$  = Pérdida del cable, antena de recepción.

$P_p$  = Pérdidas por propagación.

$G_{a_t}$  = Ganancia antena transmisora.

$G_{a_r}$  = Ganancia antena receptora.

### **Enlace de corta distancia.**

Debido a que en la práctica no se utilizó antenas externas, en este caso no se tiene pérdidas por cable coaxial ni pérdidas por conectores, por lo que la fórmula de nivel de recepción queda de la siguiente manera.

$$N_R = P_t - P_{co_t} - P_{co_r} - P_{ca_t} - P_{ca_r} - P_p + G_{a_t} + G_{a_r}$$

$$N_R = P_t - P_p + G_{a_t} + G_{a_r}$$

$$N_R = 28 \text{ dBm} - 110.45 \text{ dB} + 7.5 \text{ dBi} + 7.5 \text{ dBi}$$

$$N_R = -67.45 \text{ dBm}$$

### **Enlace de larga distancia.**

$$N_R = P_t - P_{co_t} - P_{co_r} - P_{ca_t} - P_{ca_r} - P_p + G_{a_t} + G_{a_r}$$

$$N_R = 28 \text{ dBm} - 1 - 1 - 6.27 - 6.27 - 119.33 \text{ dB} + 14 \text{ dBi} + 14 \text{ dBi}$$

$$N_R = -76.87 \text{ dBm}$$

## **5.2. Pruebas y Mediciones en el enlace de larga distancia.**

### **5.2.2 Funcionamiento de los equipos.**

Para determinar el funcionamiento de los *Nanostation* es necesaria la utilización de un equipo el cual compruebe que los radios se encuentran trabajando en la banda de frecuencia especificada. Además de medir la potencia con la cual

funcionan los equipos, para lo cual se utilizó el analizador de espectros portable *RF Explorer*.

En los siguientes gráficos se puede observar lo mencionado anteriormente, comparando la medición en la cual los equipos se encuentran apagados con la medición con los equipos encendidos.

### Unidad Base.

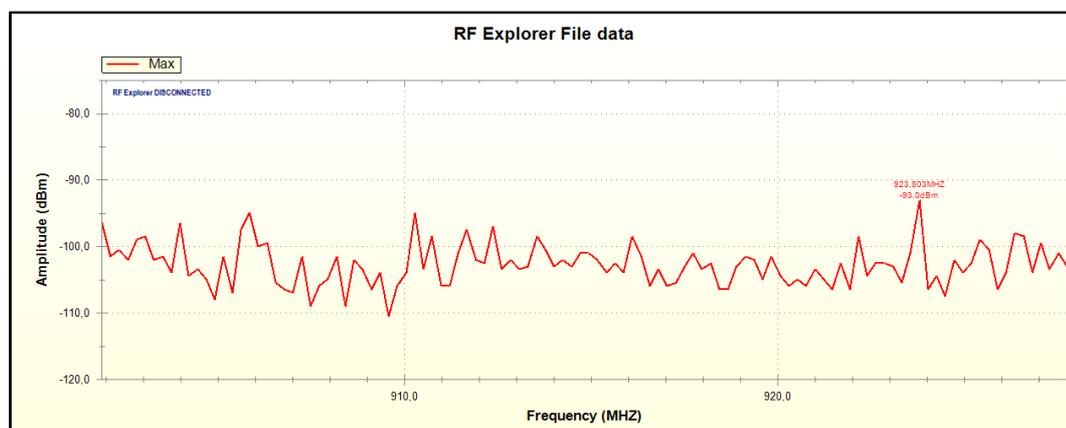


Figura 78. Medición Unidad Base Apagada.

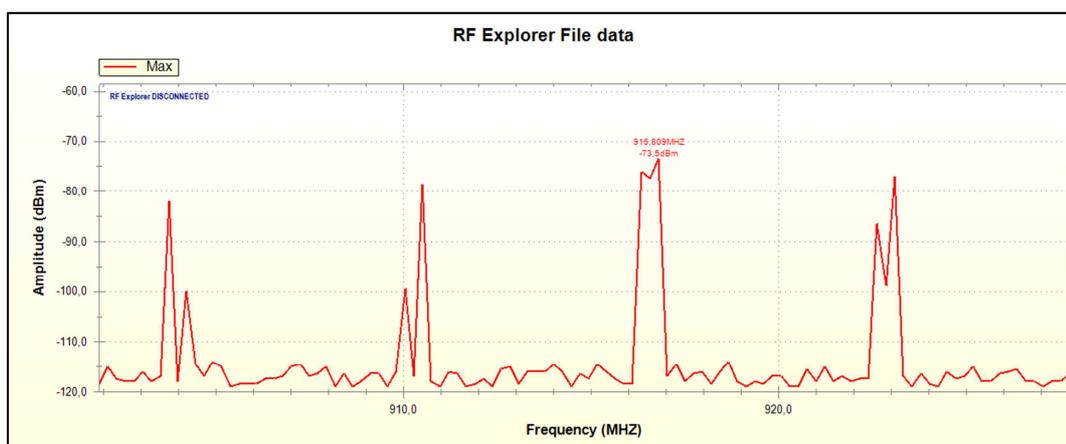


Figura 79. Medición Unidad Base Encendida.

## Unidad Receptora.

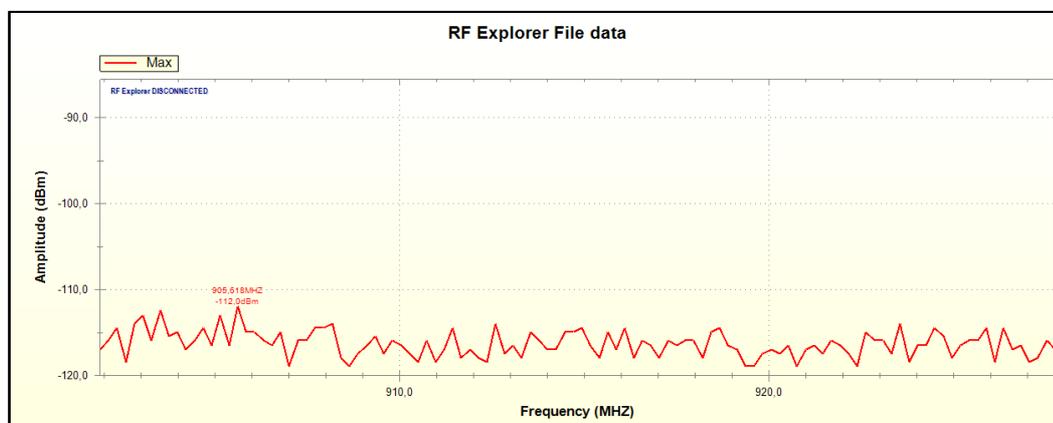


Figura 80. Unidad Receptora Apagada.

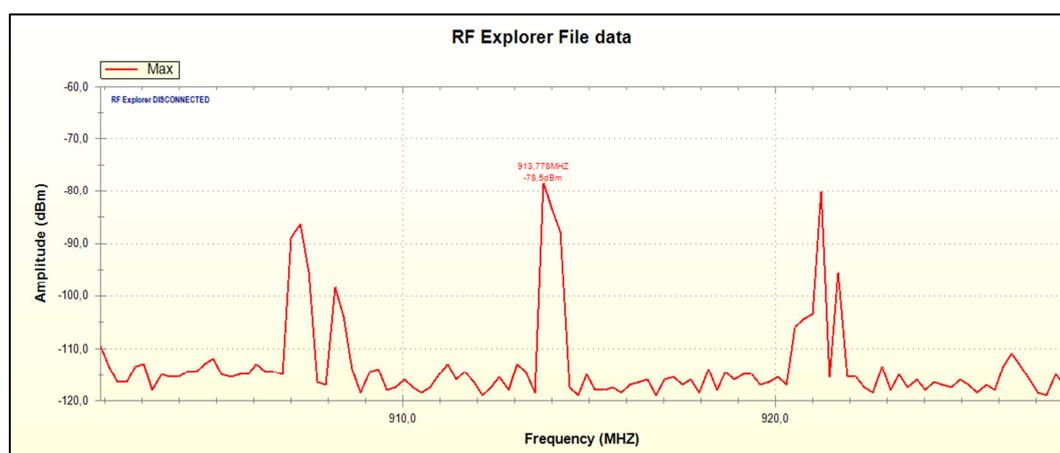


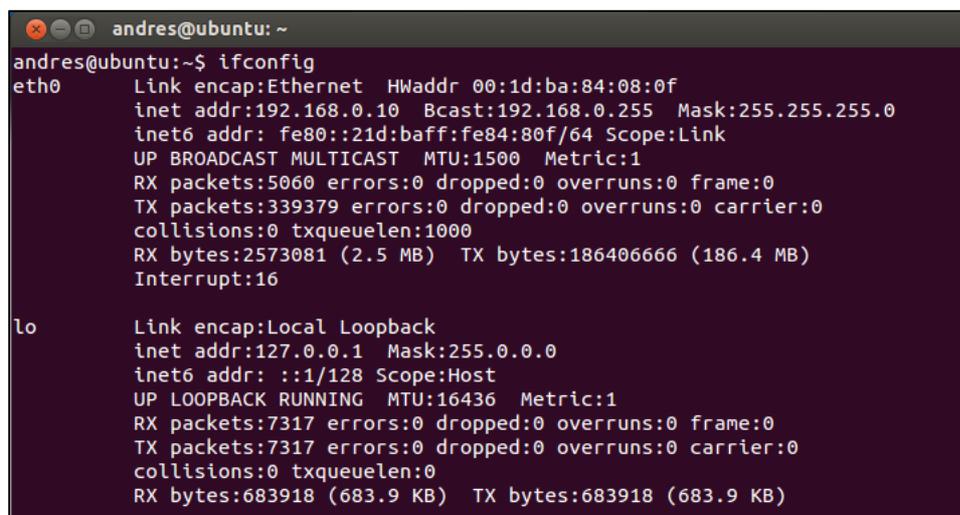
Figura 81. Unidad Receptora Encendida.

Con la medición del espectro radioeléctrico en los lugares donde se realizaron las pruebas y la verificación del correcto funcionamiento de los equipos se puede comenzar a realizar las pruebas y mediciones necesarias.

### 5.2.2 Prueba de ping entre las interfaces del enlace.

En el enlace de larga distancia, si se consiguió que las estaciones se enlacen y puedan intercambiar datos. Los resultados que se muestran a continuación son los conseguidos en el enlace de larga distancia.

Antes de realizar la prueba de *ping* es necesario revisar las direcciones IPs configuradas en las computadoras, tanto en la PC1 y en la PC2, con el comando *ifconfig* el cual es utilizado en sistemas operativos de *Linux*, en nuestro caso *Ubuntu*.



```
andres@ubuntu: ~  
andres@ubuntu:~$ ifconfig  
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr 00:1d:ba:84:08:0f  
          inet addr:192.168.0.10  Bcast:192.168.0.255  Mask:255.255.255.0  
          inet6 addr: fe80::21d:baff:fe84:80f/64 Scope:Link  
          UP BROADCAST MULTICAST  MTU:1500  Metric:1  
          RX packets:5060 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0  
          TX packets:339379 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0  
          collisions:0 txqueuelen:1000  
          RX bytes:2573081 (2.5 MB)  TX bytes:186406666 (186.4 MB)  
          Interrupt:16  
  
lo        Link encap:Local Loopback  
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0  
          inet6 addr: ::1/128 Scope:Host  
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:16436  Metric:1  
          RX packets:7317 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0  
          TX packets:7317 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0  
          collisions:0 txqueuelen:0  
          RX bytes:683918 (683.9 KB)  TX bytes:683918 (683.9 KB)
```

Figura 82. Dirección IP PC1.

En este gráfico se observa que la dirección IP configurada en la PC1 es 192.168.0.10 con mascara de red 255.255.255.0.

```

andres@andres: ~
andres@andres:~$ ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  direcciónHW e8:9a:8f:84:b4:b4
Direc. inet:192.168.0.11  Difus.:192.168.0.255  Másc:255.255.255.0
Dirección inet6: fe80::ea9a:8fff:fe84:b4b4/64  Alcance:Enlace
ACTIVO DIFUSIÓN FUNCIONANDO MULTICAST  MTU:1500  Métrica:1
Paquetes RX:336119 errores:0 perdidos:0 overruns:0 frame:0
Paquetes TX:1374 errores:0 perdidos:0 overruns:0 carrier:1
colisiones:0 long.colaTX:1000
Bytes RX:185992167 (185.9 MB)  TX bytes:222237 (222.2 KB)
Interrupción:44

lo        Link encap:Bucle local
Direc. inet:127.0.0.1  Másc:255.0.0.0
Dirección inet6: ::1/128  Alcance:Anfitrión
ACTIVO BUCLE FUNCIONANDO  MTU:16436  Métrica:1
Paquetes RX:920 errores:0 perdidos:0 overruns:0 frame:0
Paquetes TX:920 errores:0 perdidos:0 overruns:0 carrier:0
colisiones:0 long.colaTX:0
Bytes RX:61592 (61.5 KB)  TX bytes:61592 (61.5 KB)

```

Figura 83. Dirección IP PC2.

En este gráfico se observa que la dirección IP configurada en la PC1 es 192.168.0.11 con máscara de red 255.255.255.0

La utilización del comando *ping*, es la prueba más común que se realiza para verificar que todos los elementos de la red se encuentren correctamente configurados, además, con este comando, se puede observar la conectividad de las interfaces entre los extremos del enlace.

A continuación se muestran los gráficos donde se observa que el comando *ping* fue exitoso desde la PC1 hacia el otro extremo del enlace (PC2), y viceversa.

```

andres@ubuntu: ~
andres@ubuntu:~$ ping 192.168.0.11
PING 192.168.0.11 (192.168.0.11) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_req=1 ttl=64 time=15.2 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_req=2 ttl=64 time=3.36 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_req=3 ttl=64 time=9.73 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_req=4 ttl=64 time=7.04 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_req=5 ttl=64 time=4.91 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_req=6 ttl=64 time=5.46 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_req=7 ttl=64 time=4.20 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_req=8 ttl=64 time=9.26 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_req=9 ttl=64 time=16.9 ms
64 bytes from 192.168.0.11: icmp_req=10 ttl=64 time=6.79 ms
^C
--- 192.168.0.11 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9013ms
rtt min/avg/max/mdev = 3.363/8.301/16.934/4.368 ms
andres@ubuntu:~$ █

```

Figura 84. Ping PC1 – PC2.

```

andres@andres: ~
andres@andres:~$ ping 192.168.0.10
PING 192.168.0.10 (192.168.0.10) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 192.168.0.10: icmp_req=1 ttl=64 time=1.77 ms
64 bytes from 192.168.0.10: icmp_req=2 ttl=64 time=1.82 ms
64 bytes from 192.168.0.10: icmp_req=3 ttl=64 time=1.98 ms
64 bytes from 192.168.0.10: icmp_req=4 ttl=64 time=1.53 ms
64 bytes from 192.168.0.10: icmp_req=5 ttl=64 time=1.46 ms
64 bytes from 192.168.0.10: icmp_req=6 ttl=64 time=5.95 ms
64 bytes from 192.168.0.10: icmp_req=7 ttl=64 time=1.81 ms
64 bytes from 192.168.0.10: icmp_req=8 ttl=64 time=1.91 ms
64 bytes from 192.168.0.10: icmp_req=9 ttl=64 time=1.91 ms
64 bytes from 192.168.0.10: icmp_req=10 ttl=64 time=1.61 ms
^C
--- 192.168.0.10 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9013ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.463/2.178/5.959/1.271 ms
andres@andres:~$ █

```

Figura 85. Ping PC2 – PC1.

### 5.2.3 Medición del rendimiento del enlace.

La prueba con ping se la realiza simultáneamente con la prueba del rendimiento que presenta la herramienta del software de los Radios *Ubiquiti*; y estas dos están relacionados directamente con la distancia configurada. Grandes distancias entre el trasmisor y el receptor comunicadas a través de una repetidora causará el deterioro del *throughput* debido a que el aumento en el número de errores (*bit error rate*, BER) crea la necesidad de retransmisiones.

Es interesante notar que en las redes inalámbricas, la presencia de interferencias severas provoca que el desempeño de la red decaiga, el resultado de esa acción es que disminuye la capacidad de la red inalámbrica.

Considerando que en los Nanostation, la máxima tasa disponible de transmisión de datos que es de 13 Mbps, en la Figura 86 se observa que el mejor desempeño de la red medido en el enlace de larga distancia es de 6,08 Mbps, en este caso el 46.7% de la tasa máxima.

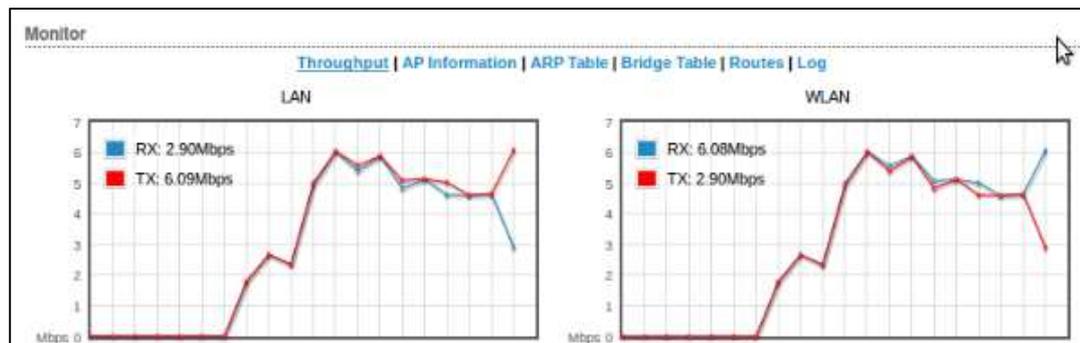


Figura 86. Rendimiento Enlace de Larga Distancia.

#### 5.2.4 Medición del Nivel de Recepción.

Es importante analizar el nivel de recepción que se tiene en la Unidad Remota, comparando los valores que se obtuvieron en la simulación, con los valores reales que fueron medidos por el *Nanostation* en el enlace realizado. A continuación se muestra en la Figura 87 y en la Figura 88 los valores del nivel de recepción para la simulación realizada en Radio Mobile y para el valor obtenido en la práctica respectivamente.

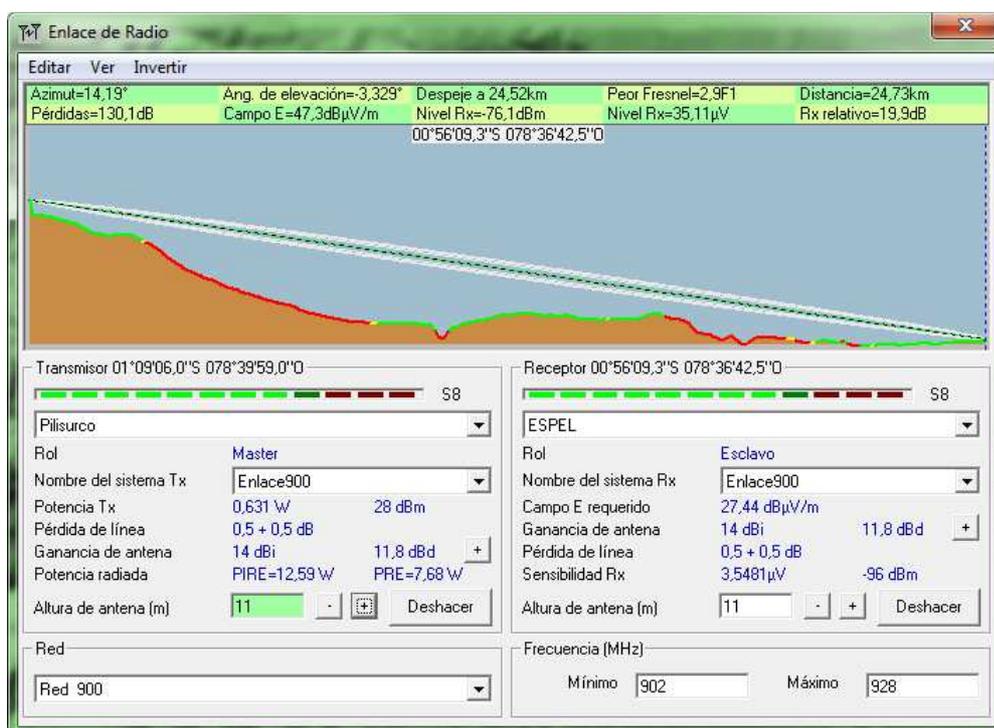


Figura 87. Nivel de Rx Simulación *Radio Mobile*.

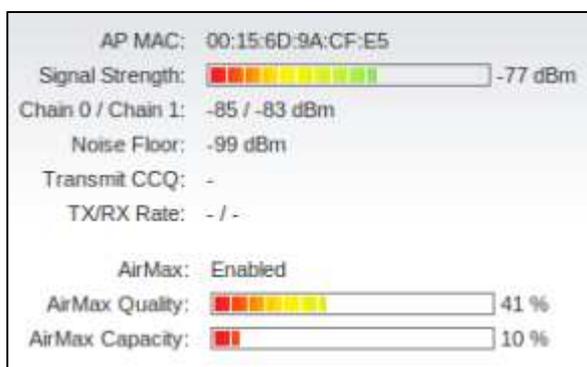


Figura 88. Nivel de Rx Enlace de Larga Distancia.

En los gráficos se puede observar que el nivel de Rx calculado en el software de simulación es de -76.1 dBm y que el valor de Rx obtenido en el enlace realizado es de -77 dBm, 0.9 dBm menos que el valor de la simulación, los que equivalen a 1.23 mW que pueden ser perdidos en la transmisión por las condiciones climáticas que presenta la zona.

### 5.3. Inyección de Tráfico en el enlace de larga distancia.

Una vez implementada la red, se utilizó el *software* DITG (*Distributed Internet Traffic Generator*) especificado en el Capítulo III, con el cual se comenzará a inyectar tráfico. Las pruebas realizadas tuvieron tiempos de duración de 60 segundos utilizando el protocolo UDP y TCP, con lo cual se determinó en cada tiempo el valor promedio del *bit rate*, *delay*, *jitter*, *throughput* y *packet loss*.

Para realizar las diversas pruebas es necesario configurar los equipos que intervendrán en la comunicación correctamente, cada vez que se haga una prueba se debe copiar el *log* resultante y sus análisis obtenidos mediante la herramienta *Analyzer*, en una carpeta distinta a la original ya que la información se sobre escribe, o también se puede cambiar el nombre del *log* y guardarlo en la misma carpeta.

#### 5.3.2 Configuración del Transmisor.

Para la configuración del equipo transmisor primero se debe definir el flujo de datos con los parámetros resumidos en la Tabla 17.

Tabla 17. Parámetros del Transmisor.

Parámetro	Valor
Dirección de Destino	192.168.0.11
TTL	64
Tiempo de simulación	1 minuto
Protocolo	UDP y TCP
Número de Paquetes por segundo	30000
Tamaño ( <i>bytes</i> )	512

En la Figura 89 se observa la configuración del protocolo de transmisión, en este caso UDP y de la configuración del número de paquetes enviados.

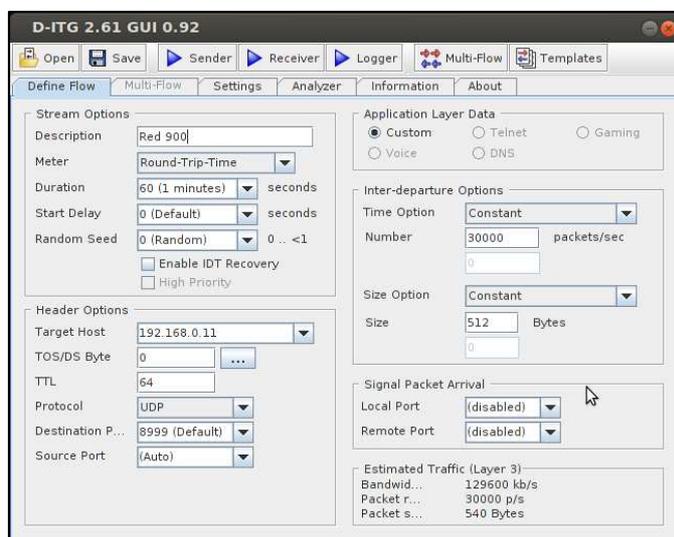


Figura 89. *Define Flow* Transmisor.

En la Figura 90; se especifica la dirección binaria y la dirección del *log*, el registro a enviar se denomina *enviold.log*, mientras que el registro a recibir se denomina *repcionld.log*.

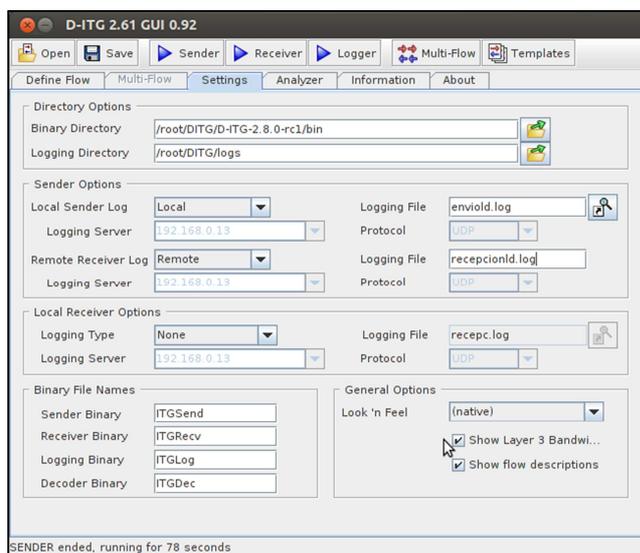


Figura 90. *Settings* Transmisor.

En la pestaña *Analyzer* como se muestra en la Figura 91, se determina las direcciones del archivo de entrada y de salida, además se señalan los ficheros que se desean generar, en este caso se obtuvieron archivos .txt (*resultado.txt*) que resume los resultados de la simulación, y los archivos .txt que posteriormente servirán para obtener las gráficas de *delay*, *jitter*, *packet loss* y *throughput* con la herramienta *ITGplot*.

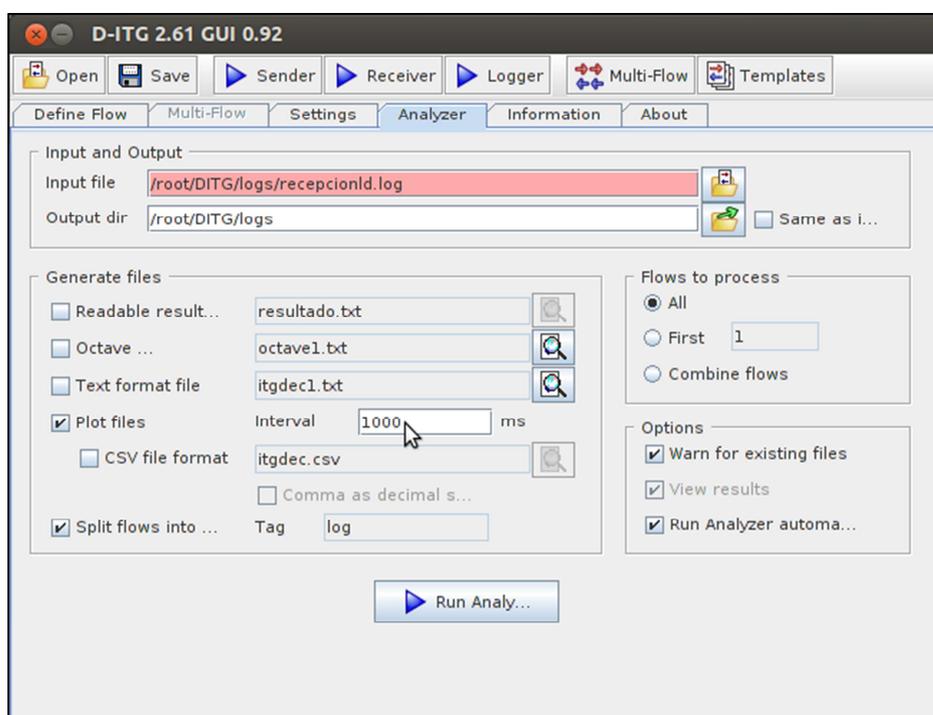


Figura 91. Analyzer Transmisor.

### 5.3.2 Configuración del Receptor.

Ya que el log con la información necesaria para el análisis se almacena en el computador destino, se debe configurar la pestaña *Analyzer* para procesar el log, como se muestra en la Figura 92.

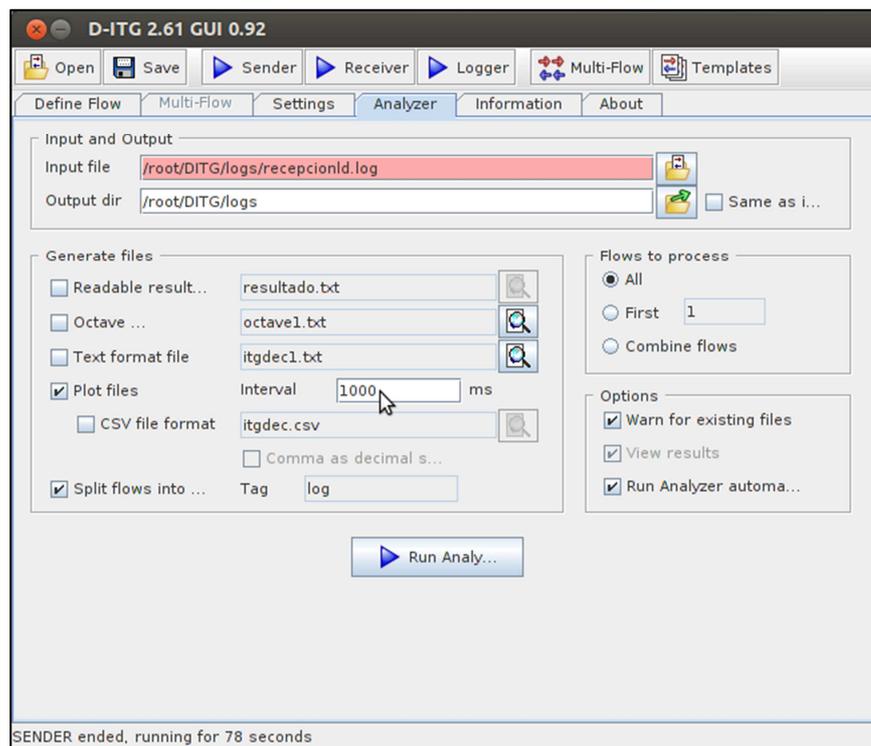


Figura 92. Analyzer Receptor.

#### 5.4. Análisis de Gráficas.

*QoS* es un conjunto de parámetros de calidad de transmisión que delimitan las características de cierto flujo de información y gracias a esto se puede dimensionar la capacidad de la red. Un objetivo de este proyecto es medir el desempeño de la banda de 902 a 928 MHz por medio de parámetros de Calidad de Servicio *QoS* como son; *delay*, *throughput*, porcentaje de paquetes perdidos y *jitter*.

Durante cada inyección de tráfico, se guardaron los ficheros con información sobre los resultados, llamados ficheros de *logs*. Estos ficheros se almacenan en un servidor de *logs* que en estos experimentos fue el ordenador transmisor del tráfico. La información recogida en los ficheros de *logs* se procesa mediante comandos de

*D-ITG* para obtener unos ficheros *.txt* que contienen la información sobre el *throughput*, la latencia, los paquetes perdidos y el *jitter*.

Estos ficheros pueden ser fácilmente procesados con cualquier herramienta de análisis de datos para generar las gráficas de resultados, en este caso se utilizó la herramienta de *Matlab*, en la cual se pueden importar las tablas con los resultados arrojados por *DITG*.

#### **5.4.1 Delay.**

En la Figura 93 se muestra la evolución de la latencia frente al tiempo, el retardo existente en la red fue obtenido después de realizar las pruebas con el inyector *D-ITG*. La inyección del tráfico corresponde al flujo de paquetes que se envían desde la dirección 192.168.0.10 del equipo emisor a la dirección destino 192.168.0.11, el flujo agregado entregó como resultado un retardo promedio de 732.06 ms, con un pico máximo de 870.09 ms, tiempos en los cuales no se recomienda el desarrollo de aplicaciones en tiempo real, ya que no se tendrá una buena experiencia en el usuario.

El retardo del tiempo RTT (round-trip time) experimentado es causado por el protocolo MAC, la carga de tráfico, las colisiones de paquetes, la variación en el nivel de RX, el retardo de procesamiento entre los nodos finales, y la presencia de señales interferentes que en este caso son ausentes, también afectan a este sistema. El retardo es un parámetro muy importante, debido a que es fundamental para el desarrollo de aplicaciones a tiempo real.

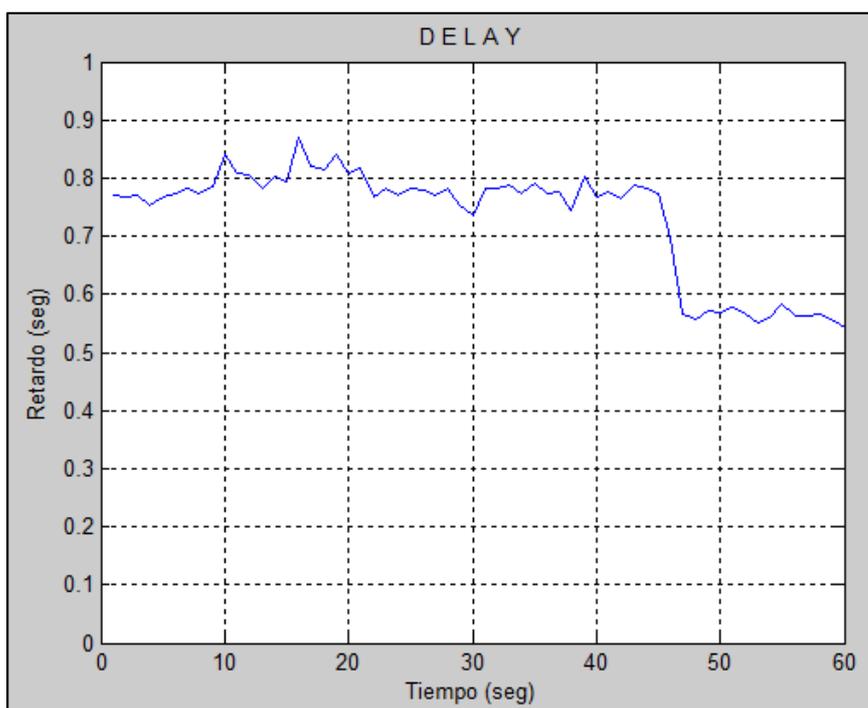


Figura 93. *Delay*.

En la Figura 93 se puede observar que a los 45 segundos de la transmisión existe una notable variación en el retardo, esto se debe a la variación del nivel de recepción que incremento a los 45 segundos, con lo cual se puede determinar que mientras mejor sea el nivel de recepción en los equipos el retardo disminuye.

#### 5.4.2 *Jitter*.

*Jitter* es una variación o perturbación en los pulsos de una transmisión digital, ya que puede considerarse, en cierto sentido, como pulsos irregulares. *Jitter* puede manifestarse a través de variaciones en la amplitud, variaciones en la intensidad de la señal. Las causas más comunes incluyen tiempos de espera de conexión, congestión del tráfico de datos, y la interferencia.

En la Figura 94, se puede observar que existe una mayor diferencia de amplitud al inicio de la transmisión de datos, ya que en los periodos en el cual se envía la información existe congestión en la red, por causa de pérdida de sincronización.

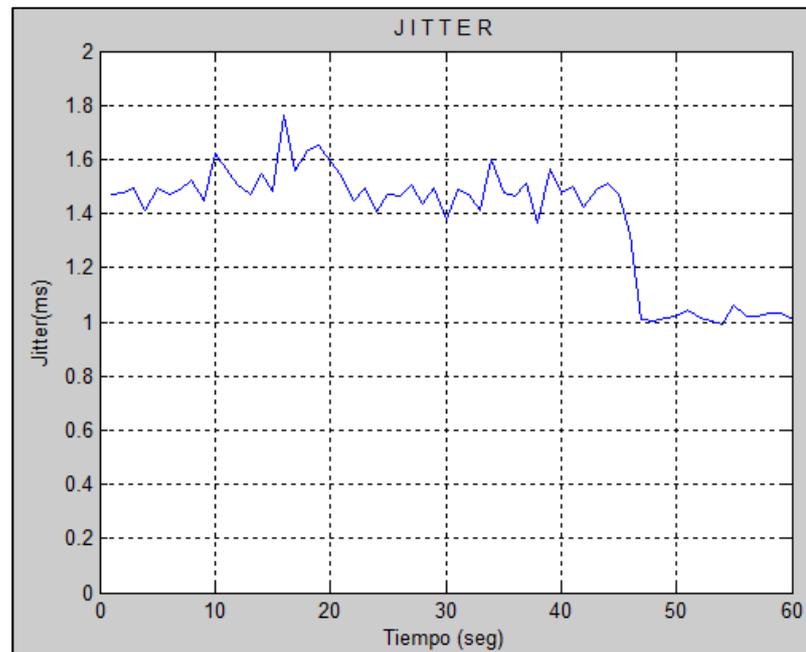


Figura 94. *Jitter*.

Se observa que el promedio del *jitter* es de 1.38 ms, el valor de *jitter* fue mayor cuando se aumentó el flujo, esto se presenta cuando el tráfico es más denso y desordenado, provocando que los paquetes lleguen con retardos, ya que el transmisor como el receptor son diferentes, teniendo en cuenta que en algunos lapsos de tiempo no se encuentran sincronizados.

### 5.4.3 Paquetes Perdidos.

Antes de analizar los paquetes perdidos en la red, se debe tomar en cuenta que la falta de sincronización de los equipos y el bajo nivel de recepción, afectan

fundamentalmente a este parámetro, ya que al momento en que la información viaja por el aire, va perdiendo su potencia de transmisión lo que en algunos casos provoca que los paquetes lleguen incompletos o que lleguen con errores, más aún cuando se utilizó un protocolo como UDP para la inyección de tráfico. También se debe tomar en cuenta que los paquetes perdidos son la suma de los paquetes caídos con los paquetes que llegaron incorrectos al receptor.

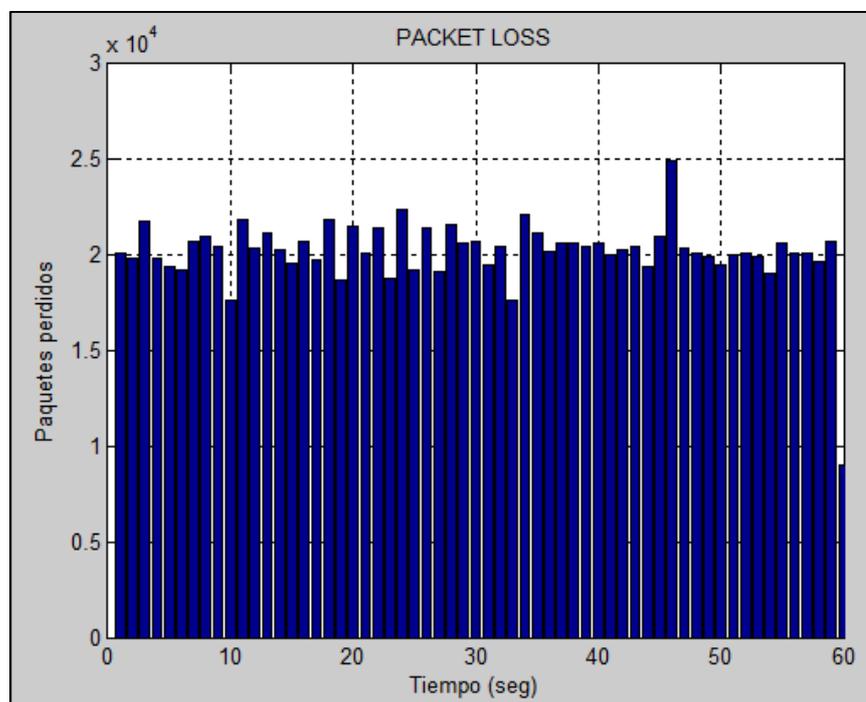


Figura 95. *Packetloss*.

Se observa que el promedio de paquetes perdidos en la transmisión de la red es de 20110 paquetes. Si en la inyección de tráfico se envían 30000 paquetes por segundo entonces se tiene que el 67.03% de los paquetes enviados cada segundo se están perdiendo, lo que es perjudicial para un sistema de transmisión de datos, ya que se debe realizar la retransmisión de esos paquetes lo cual afecta en tiempo y

más consumo del ancho de banda lo que afecta al rendimiento de la red, causando una disminución en el *throughput*.

#### **5.4.4 Throughput.**

*El throughput* o rendimiento de una red de datos está dado por el número de bits que pueden ser transmitidos sobre la red en cierto período de tiempo. El *throughput* es un término comúnmente utilizado en ámbitos de telecomunicaciones aunque recibe múltiples definiciones según el entorno o aplicación. Típicamente se define como medida de la tasa de transferencia de datos a través de un sistema de comunicaciones. Por lo tanto, las unidades del *throughput* son bits por segundo.

En el análisis del *throughput* de la red, se debe tomar en cuenta que el canal no se encuentra compartido entre diversos usuarios, debido a que es uno de los parámetros más relevantes en la medida de la eficiencia de la red. En el entorno de la red, el *throughput* dependerá de la relación entre los intervalos destinados a la transmisión de datos (*slot* de datos). Por lo tanto, cuanto mayor sean los paquetes transmitidos en el *slot* de datos, mayor será el *throughput*.

Se realizaron medidas del *throughput* en función del tiempo de trama, mediante el cual se realizó un flujo de datos con 512 bytes. La inyección de tráfico se realizó mediante la herramienta DITG con tráfico UDP. Para cada tiempo de trama se midió simultáneamente el *throughput* con 30000 paquetes por segundo.

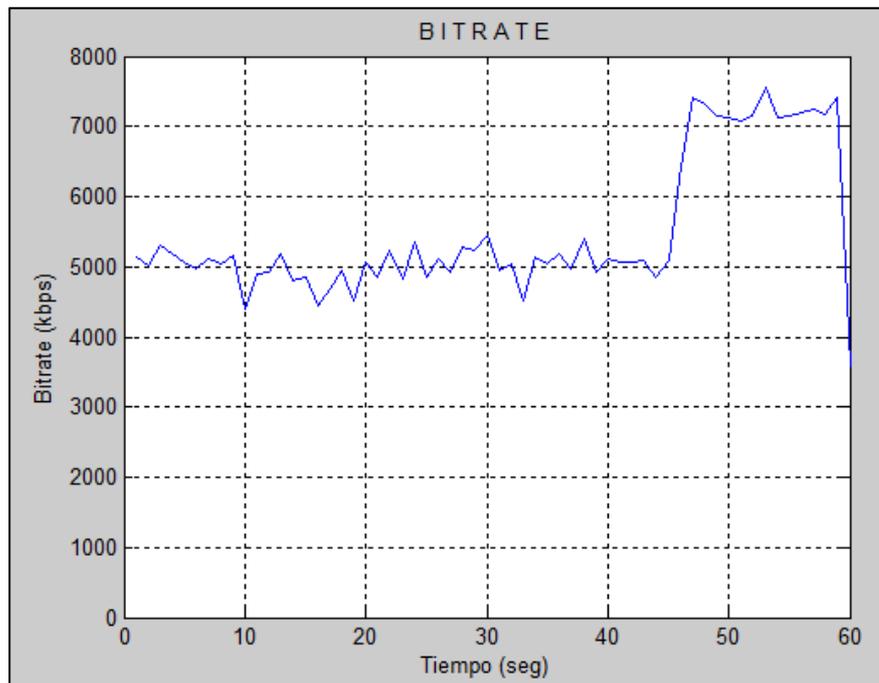


Figura 96. *Throughput*.

Mediante la observación de la Figura 96 se observa que el *bit rate* máximo es de 7.55 Mbps. Si este valor se compara con los 13 Mbps que es el valor máximo de la capacidad del enlace, se tiene que representa el 58.07%.

Se realizó una prueba de inyección de tráfico con protocolo TCP en el cual se obtuvo un *Throughput* de 4.5 Mbps, la disminución del *Throughput* se debe a que con un protocolo de transmisión en el cual se re transmiten los paquetes perdidos y los paquetes erróneos se incrementa el tiempo de procesamiento y se consume un mayor ancho de banda lo que afecta considerablemente al rendimiento del enlace.

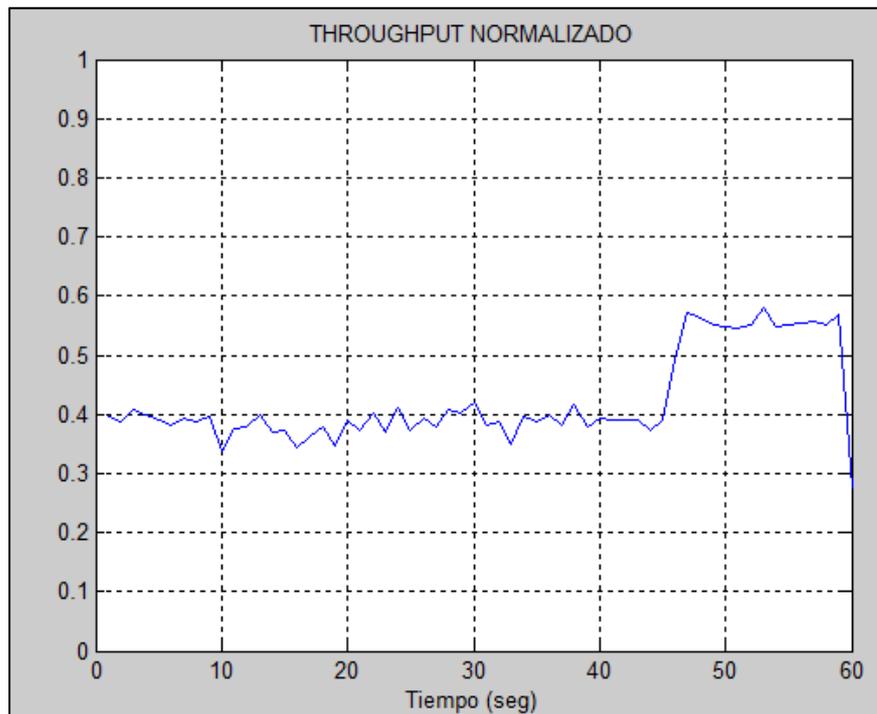


Figura 97. *Throughput* Normalizado.

En la Figura 97 se observa que el rendimiento mejora a los 45 segundos de la transmisión debido a la mejora en el nivel de recepción durante la inyección de tráfico.

Se realizó una segunda inyección de tráfico utilizando protocolo de transmisión UDP pero saturando el canal a 8 Mbps, en el cual se consiguió un *Throughput* máximo de 7.65 Mbps. En cuanto a los paquetes perdidos se consiguió un promedio de 3.1% de paquetes perdidos, siendo un porcentaje aceptable teniendo en cuenta que es un mínimo número de tramas las que se deberán retransmitir sin tener una gran afectación en el consumo del ancho de banda y el rendimiento.

### 5.5. Pruebas y Mediciones en el enlace de corta distancia.

Los resultados obtenidos en esta prueba fueron útiles para determinar que utilizando la banda de 900 MHz se consigue superar obstáculos como vegetación o edificaciones que dificultan el funcionamiento y limitan el rendimiento de la red en enlaces de corta distancia inferiores a los 5 km.



Figura 98. Obstáculos Enlace de Corta Distancia.

En la Figura 98 se puede notar que existe la presencia de obstáculos como vegetación y edificaciones para realizar el enlace.

Es importante analizar el nivel de recepción que se tiene en la Unidad Remota, comparando los valores que se obtuvieron en la simulación, con los valores reales que fueron medidos por el *Nanostation* en el enlace realizado.

A continuación se muestra en la Figura 99 y en la Figura 100 los valores del nivel de recepción para la simulación realizada en *Radio Mobile* y para el valor obtenido en la práctica respectivamente.

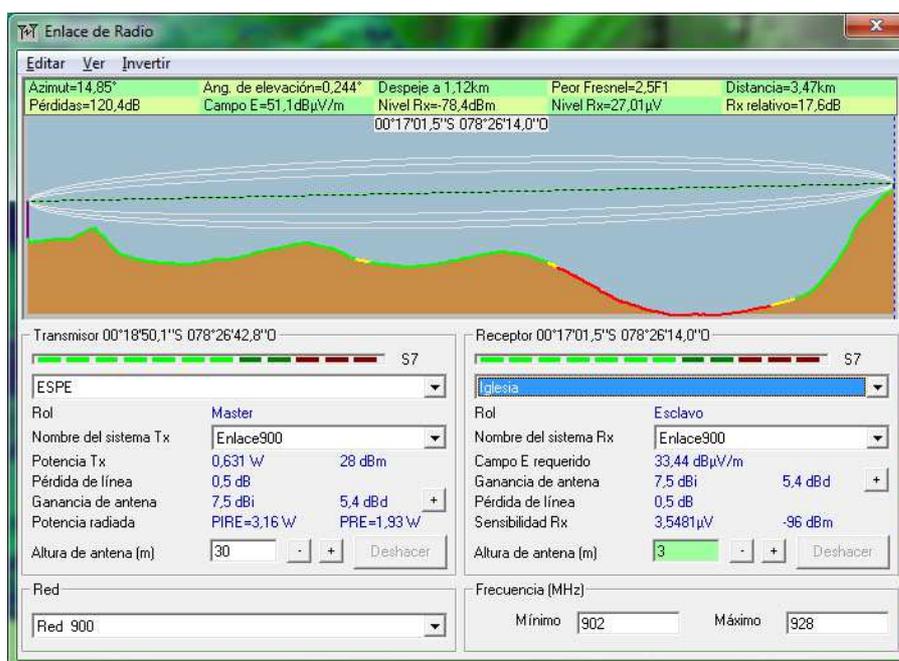


Figura 99. Simulación *Radio Mobile* enlace de corta distancia.

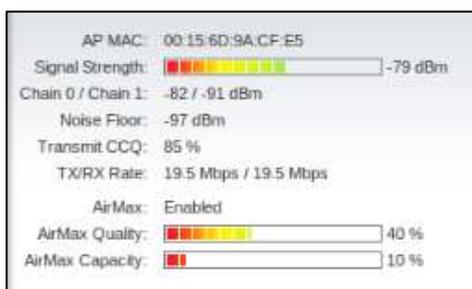


Figura 100. Nivel de Rx enlace de Corta Distancia.

En los gráficos se puede observar que el nivel de Rx calculado en el software de simulación es de -78.4 dBm y que el valor de Rx obtenido en el enlace realizado es de -79 dBm, 0.6 dBm menos que el valor de la simulación, los que equivalen a 0.87

mW que pueden ser perdidos en la transmisión por las condiciones climáticas que presenta la zona.

## 5.6. Simulación en NS2.

Para realizar la comparación con simulaciones realizadas en el *software* ns2 en la banda ICM de 2.4 GHz, se tomó en consideración el proyecto de tesis realizado en el 2011 en el Centro de Investigaciones de Redes AdHoc. Se utilizó un archivo.tcl similar al utilizado en el proyecto mencionado anteriormente, en el cual se modificó la frecuencia de trabajo y la potencia de transmisión del equipo.

Una vez instalado el *software* ns2 y xgraph, el cual nos ayudará a graficar el *Throughput*, *delay* y los paquetes perdidos, datos necesarios para realizar el cálculo del rendimiento de la red, corremos el archivo.tcl con el comando: ns archivo.tcl, con lo cual se genera un archivo.nam y un archivo.tr, los cuales contienen los resultados de la simulación.

Para realizar el cálculo del rendimiento de la red, necesitamos conocer el *Throughput*, el cual calculamos con la siguiente formula.

Ecuación 3. Cálculo del Throughput.

$$n = \frac{8xNe(1 - \gamma)}{\tau}$$

Donde:

Ne = Número de bytes enviados

$\gamma$  = Probabilidad de error del paquete

$$\gamma = \frac{\text{número de paquetes perdidos}}{\text{número de paquetes enviados}}$$

$\tau$  = Tiempo de simulación

Una vez calculado el *Throughput*, se puede obtener el valor del rendimiento de la red, para lo cual se realizaron varias simulaciones en NS-2 variando la distancia entre los dos nodos con un tiempo de simulación de 175 segundos. En la cual se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 18.

.Tabla 18. Rendimiento 900 MHz vs Rendimiento 2.4 GHz.

Distancia (m)	Rendimiento 900 MHz	Rendimiento 2.4 GHz	Diferencia
1000	1	1	
2500	0,998	0,997	0,10%
5000	0,996	0,995	0,10%
7500	0,983	0,981	0,20%
10000	0,893	0,758	13,90%
12500	0,879	0,738	14,10%
15000	0,779	0,681	9,80%
20000	0,713	0,641	7,20%
25000	0,635	0,567	6,80%

En la tabla se puede observar que el rendimiento en la banda de 900 MHz es mejor que el rendimiento en 2.4 GHz, y se puede observar que existe una mejoría notable en el rendimiento hasta los 12.5 Km, a partir de esta distancia la diferencia en el rendimiento empieza a disminuir, pero sigue siendo mejor que el rendimiento en 2.4 GHz.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones.

- ✚ Se realizó el estudio de una red inalámbrica de larga distancia en la banda de 902 a 928 MHz y con los resultados obtenidos se puede llegar a la conclusión que esta banda de frecuencia es apta para aplicaciones que se desarrollen en tiempo real, como el servicio de video conferencia, debido a su mínima variación del retardo de 1.38 ms obtenido en las pruebas, además de ser apta para dotar internet en sectores rurales.
  
- ✚ Se determinó que la banda de 902 a 928 MHz se encuentra con un bajo nivel de utilización en el Ecuador, debido a las características de transmisión de datos y a las regulaciones existentes en el Plan Nacional de Frecuencias.
  
- ✚ Se recopiló información sobre trabajos relacionados con el tema del proyecto, en el cual se pudo concluir que en su mayoría no se han realizado pruebas para el desarrollo de aplicaciones en la banda de 902 a 928 MHz en el Ecuador, a diferencia de la banda ICM de 2.4 GHz en la cual se han realizado pruebas tanto para ambientes urbanos como rurales los cuales han sido orientados en su mayoría al desarrollo de las TICs.

- ✚ Se analizaron los equipos que trabajan en la frecuencia de 902 a 928 MHz disponibles en el mercado, con lo cual se conoció la correcta configuración y manipulación de los *Nanostation M900* tanto para la Unidad Base como para la Unidad Remota.
  
- ✚ En la simulación del enlace se calculó el nivel de Rx obteniendo un valor de -76.1 dBm y en las pruebas de campo se obtuvo un valor del nivel de Rx de -77 dBm, siendo un cálculo muy aproximado el que se realizó con la herramienta de simulación elegida para el trabajo desarrollado, la cual presenta un error de 0.9 dBm del valor real.
  
- ✚ Si bien la diferencia entre la banda de frecuencia de 902 a 928 MHz con la banda frecuencia de 2.4 GHz, es que la primera banda de frecuencia antes mencionada no necesita línea de vista para enlaces de hasta los 5 km de distancia. En las pruebas de campo se determinó que la banda de 900 MHz supera obstáculos en enlaces de corta distancia debido a su mayor índice de penetración lo que permite superar obstrucciones como la vegetación y edificaciones.
  
- ✚ Comparando la banda ICM de 902 a 928 MHz con la banda ICM de 2.4 GHz, se puede llegar a la conclusión que esta banda de frecuencia no es útil para las aplicaciones que nos brinda WiFi debido a su bajo *Throughput* de 7.55 Mbps el cual está muy por debajo de los resultados obtenidos en enlaces WiFi de larga distancia en el que se obtuvo un *Throughput* de 30.563 Mbps.

## 6.2. Recomendaciones.

- ✚ Se recomienda antes de realizar cualquier enlace radio eléctrico, primero consultar en el Plan Nacional de Frecuencias y en el Reglamento Digital de Banda Ancha, todas las regulaciones existentes en cuanto a potencia y altura de las antenas, para que las pruebas realizadas estén dentro de las normas optimas de trabajo y no ser sujeto a sanciones impuestas por el ente regulador.
- ✚ Se recomienda la utilización de varios *software*, tanto para la planificación de la red como para la inyección de tráfico, a fin de comparar resultados tanto para los obtenidos en el enlace real, con los obtenidos en las simulaciones.
- ✚ Antes de realizar pruebas de radio frecuencia se recomienda realizar un análisis espectral en los puntos del enlace, para determinar que no exista señales interferentes, las cuales afectan con el rendimiento del enlace.
- ✚ A fin de disminuir las perdidas por la utilización del cable coaxial, se recomienda utilizar en su mayoría cable UTP.
- ✚ Para la implementación del enlace, se debe coordinar una visita de inspección en los lugares a implementar, a fin de que los lugares escogidos cumplan con todos los requerimientos necesarios como línea de vista, suministro de energía y fácil acceso, para la normal implementación del proyecto, con esto se conseguirá que los resultados obtenidos sean los más óptimos para su análisis.

- 📌 En las pruebas de inyección de tráfico es importante considerar una herramienta que nos permita sincronizar los ordenadores, a fin de tener mejores resultados en el retardo con que llega la información de un punto a otro.
  
- 📌 Se recomienda para futuros trabajos, la utilización de una antena externa con mayor ganancia, a fin de obtener mejores resultados, y poder aprovechar todas las ventajas que nos brinda esta banda de frecuencia.

### 6.3. Bibliografía.

- Bandas de Frecuencia ICM.* (20 de 12 de 2012). Obtenido de <http://www.brazilfw.com.br/forum/viewtopic.php?f=23&t=64324>
- Bandas no licenciadas.* (18 de 12 de 2012). Obtenido de <http://comunicaciones-upc.blogspot.com/2011/01/bandas-no-licenciadas-o-ism.html>
- Reglamento de radio comunicaciones de la ITU.* (16 de 12 de 2012). Obtenido de [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu/oth/02/02/S020200001A4501PDFS.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu/oth/02/02/S020200001A4501PDFS.pdf)
- Topologías de redes inalámbricas.* (29 de 12 de 2012). Obtenido de [http://boards5.melodysoft.com/s4\\_02/topologias-de-redes-inalambricas-5.html](http://boards5.melodysoft.com/s4_02/topologias-de-redes-inalambricas-5.html)
- Configurar enlace punto a punto Ubiquiti.* (12 de 3 de 2013). Obtenido de <http://blog.e2h.net/2010/05/10/configurando-un-enlace-punto-a-punto-inalambrico-con-ubiquiti-nanostation-m5>
- Equipos Ubiquiti.* (1 de 3 de 2013). Obtenido de <http://www.ecured.cu/index.php?title=Especial:Pdfprint&page=Ubiquiti>
- Es la Red.* (19 de 8 de 2013). Obtenido de [http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/13-Enlaces\\_de\\_Larga\\_Distancia-es-v1.4.pdf](http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/13-Enlaces_de_Larga_Distancia-es-v1.4.pdf)
- Rocket M900.* (25 de 2 de 2013). Obtenido de [http://dl.ubnt.com/guides/Rocket\\_M/RocketM\\_Series\\_QSG.pdf](http://dl.ubnt.com/guides/Rocket_M/RocketM_Series_QSG.pdf)
- Sirenet.* (2 de 4 de 2013). Obtenido de <http://www.aptica.es/?op=productos/sirenet>.
- (2012). En M. R. Ana, *Introducción a las Redes Inalámbricas*. (págs. 90 - 93). Quito: Anaya Multimedia.
- (2013). En R. Carlos, *Introducción a los sistemas de Información y Telecomunicaciones* (pág. 56). Quito: Idea propias.
- Tamayo Viviana, E. B. (5 de 12 de 2012). *Repositorio Digital ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2934>

## ANEXOS

## ANEXO 1

## CARACTERISTICAS NANOSTATION LOCO M900

Tabla 19. Características de Ubiquiti NanoStation M900.

INFORMACIÓN DEL SISTEMA							
<b>Especificaciones del Procesador</b>		Atheros MIPS 24KC, 400MHz					
<b>Información de la Memoria</b>		64MB SDRAM, 8MB Flash					
<b>Interface de Red</b>		1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface					
INFORMACIÓN REGLAMENTARIA							
<b>Aprobaciones Wireless</b>		FCC Part 15.247, IC RS210					
<b>Conformidad RoHS</b>		Si					
FRECUENCIA DE OPERACIÓN 902-928 MHz							
AirMax	MCS0	28 dBm	+/-2dB	AirMax	MCS0	-96 dBm	+/-2dB
	MCS1	28 dBm	+/-2dB		MCS1	-95 dBm	+/-2dB
	MCS2	28 dBm	+/-2dB		MCS2	-92 dBm	+/-2dB
	MCS3	28 dBm	+/-2dB		MCS3	-90 dBm	+/-2dB
	MCS4	28 dBm	+/-2dB		MCS4	-86 dBm	+/-2dB
	MCS5	24 dBm	+/-2dB		MCS5	-83 dBm	+/-2dB
	MCS6	22 dBm	+/-2dB		MCS6	-77 dBm	+/-2dB
	MCS7	21 dBm	+/-2dB		MCS7	-74 dBm	+/-2dB
	MCS8	28 dBm	+/-2dB		MCS8	-95 dBm	+/-2dB
	MCS9	28 dBm	+/-2dB		MCS9	-93 dBm	+/-2dB
	MCS10	28 dBm	+/-2dB		MCS10	-90 dBm	+/-2dB
	MCS11	28 dBm	+/-2dB		MCS11	-87 dBm	+/-2dB
	MCS12	28 dBm	+/-2dB		MCS12	-84 dBm	+/-2dB
	MCS13	24 dBm	+/-2dB		MCS13	-79 dBm	+/-2dB
	MCS14	22 dBm	+/-2dB		MCS14	-78 dBm	+/-2dB
MCS15	21 dBm	+/-2dB	MCS15	-75 dBm	+/-2dB		
CARACTERISTICAS FÍSICAS / ELÉCTRICAS / MEDIO AMBIENTE							
<b>Dimensiones</b>		164mm largo x 199mm ancho x 72cm altura					
<b>Peso</b>		0.9 kg					
<b>Conector RF</b>		SMA Externo					
<b>Características del material</b>		Plástico Ultravioleta					
<b>Kit de montaje</b>		Kit de montaje incluido					
<b>Máximo consumo de energía</b>		6.5 Watts					
<b>Suministro de energía</b>		24V, 1A POE Incluido					
<b>Método de alimentación</b>		Energía pasiva sobre Ethernet					
<b>Temperatura de funcionamiento</b>		-30°C hasta 75°C					
<b>Humedad de funcionamiento</b>		5 hasta 95% de Condensación					
<b>Choque y vibración</b>		ETSI300-019-1.4					

<b>ANTENA INTEGRADA 2x2 MIMO</b>			
<b>Rango de frecuencia</b>	902-928MHz	<b>VSWR máximo</b>	1.3:1
<b>Ganancia</b>	7.5 dBi	<b>Polarización -X-</b>	60 deg.
<b>Polarización</b>	Dual lineal	<b>Polarización -Y-</b>	60 deg.
<b>Aislamiento</b>	Mínimo 28dB	<b>Polarización -Z-</b>	60 deg.

## ANEXO 2

## CARACTERISTICAS NANOSTATION ROCKET M900

Tabla 20. Características Ubiquiti Rocket M900.

INFORMACIÓN DEL SISTEMA							
<b>Especificaciones del Procesador</b>		Atheros MIPS 24KC, 400MHz					
<b>Información de la Memoria</b>		64MB SDRAM, 8MB Flash					
<b>Interface de Red</b>		1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface					
INFORMACIÓN REGLAMENTARIA							
<b>Aprobaciones Wireless</b>		FCC Part 15.247, IC RS210					
<b>Conformidad RoHS</b>		Si					
FRECUENCIA DE OPERACIÓN 902-928 MHz							
<b>AirMax</b>	MCS0	28 dBm	+/-2dB	<b>AirMax</b>	MCS0	-96 dBm	+/-2dB
	MCS1	28 dBm	+/-2dB		MCS1	-95 dBm	+/-2dB
	MCS2	28 dBm	+/-2dB		MCS2	-92 dBm	+/-2dB
	MCS3	28 dBm	+/-2dB		MCS3	-90 dBm	+/-2dB
	MCS4	28 dBm	+/-2dB		MCS4	-86 dBm	+/-2dB
	MCS5	24 dBm	+/-2dB		MCS5	-83 dBm	+/-2dB
	MCS6	22 dBm	+/-2dB		MCS6	-77 dBm	+/-2dB
	MCS7	21 dBm	+/-2dB		MCS7	-74 dBm	+/-2dB
	MCS8	28 dBm	+/-2dB		MCS8	-95 dBm	+/-2dB
	MCS9	28 dBm	+/-2dB		MCS9	-93 dBm	+/-2dB
	MCS10	28 dBm	+/-2dB		MCS10	-90 dBm	+/-2dB
	MCS11	28 dBm	+/-2dB		MCS11	-87 dBm	+/-2dB
	MCS12	28 dBm	+/-2dB		MCS12	-84 dBm	+/-2dB
	MCS13	24 dBm	+/-2dB		MCS13	-79 dBm	+/-2dB
	MCS14	22 dBm	+/-2dB		MCS14	-78 dBm	+/-2dB
MCS15	21 dBm	+/-2dB	MCS15	-75 dBm	+/-2dB		
CARACTERISTICAS FÍSICAS / ELÉCTRICAS / MEDIO AMBIENTE							
<b>Dimensiones</b>		164cm largo x 8cm ancho x 3cm altura					
<b>Peso</b>		0.5 kg					
<b>Conector RF</b>		2x RPSMA a prueba de agua					
<b>Características del material</b>		Plástico Ultravioleta					
<b>Kit de montaje</b>		Kit de montaje incluido					
<b>Máximo consumo de energía</b>		6.5 Watts					
<b>Suministro de energía</b>		24V, 1A POE Incluido					
<b>Método de alimentación</b>		Energía pasiva sobre Ethernet					
<b>Temperatura de funcionamiento</b>		-30°C hasta 75°C					
<b>Humedad de funcionamiento</b>		5 hasta 95% de Condensación					
<b>Choque y vibración</b>		ETSI300-019-1.4					

## ANEXO 3

### INSTALACIÓN DE RADIO MOBILE

Todos los archivos necesarios para la instalación se encuentran en la página de descargas de Radio Mobile. El software del programa no incluye un instalador.

Los siguientes pasos permiten completar la instalación del programa:

-  **Paso 1:** Cree una carpeta o directorio donde se guardarán los archivos correspondientes al software: C:/Archivos de Programa/Radio Mobile
  
-  **Paso 2:** Descargue los siguientes archivos comprimidos y descomprímalos en el directorio que ha creado, respetando este orden:
  - rmw794.zip archivos ejecutables de Radio Mobile.
  
  - sup.zip suplementos para Radio Mobile.
  
  - net.zip ejemplo de red.
  
-  **Paso 3:** Para obtener funcionalidades extra puede descargar las siguientes librerías:
  - freeimage.zip, permite guardar imágenes en formatos jpeg, tiff y png.
  
  - unzip32.zip, permite la descarga automática de archivos SRTM comprimidos.

- geoStarsLib.zip, para establecer el Azimut relativo al Norte Magnético.

## ANEXO 4

### INSTALACIÓN DE D-ITG

La instalación del software D-ITG 2.7.0-Beta se la realizará en el Sistema Operativo Ubuntu 12.04, para lo cual se recomienda actualizar los repositorios virtuales del Gestor de Paquetes Synaptic. Para que D-ITG funcione correctamente se debe tener instalado los siguientes programas que pueden ser descargados de Synaptic:

- Sun-java6-jre
- g++
- Octave 3.0

Ahora bien, continuamos con la instalación siguiendo con los pasos que se mostrarán a continuación.

 **Paso 1:** Se debe descargar el inyector y la interface gráfica de la siguiente página web: <http://www.semken.com/projekte/index.html>

 **Paso 2:** Descomprimos el paquete F que se encuentra en /root/Descargas con el comando: `tar xvzf D-ITG-2.7.0-Beta.tar.gz`

 **Paso 3:** Creamos una carpeta de nombre DITG en /root con el comando:  
`mkdir DITG`

- ✚ **Paso 4:** Copiamos la carpeta descomprimida dentro de /root/DITG
  
- ✚ **Paso 5:** En la ubicación /root/DITG/D-ITG-2.7.0-Beta/src ejecutamos el comando: make
  
- ✚ **Paso 6:** Los archivos que se encuentran en la carpeta /root/DITG/D-ITG-2.7.0-Beta/bin copiamos en la dirección /usr/local
  
- ✚ **Paso 7:** Copiando los archivos membretados por ITG al directorio /usr/local/bin y los membretados por lib a /usr/local/lib
  
- ✚ **Paso 8:** Se crea el directorio mediante mkdir /root/DITG/logs. En esta carpeta se guardaran los *logs*, cuando se haga uso del inyector.
  
- ✚ **Paso 9:** Descomprimimos la interface ITGGUI y también la copiamos en la carpeta /root/DITG
  
- ✚ **Paso 10:** Ejecutamos la interface gráfica con el comando: java-jar ITGGUI.jar

### **Obtención de Gráficas en DITG.**

DITG genera cuatro archivos con extensión .txt los cuales son útiles para el análisis tanto *de jitter*, *packetloss*, *delay*, *bitrate*, cuando se generen estos archivos, se recomienda copiarlos a una carpeta específica debido a que DITG sobrescribe los archivos en cada simulación.

La herramienta propia de DITG para graficar los parámetros de *jitter*, *packetloss*, *delay*, *bitrate* se llama ITGPlot, pero para poder utilizar correctamente esta herramienta primero se debe realizar los siguientes pasos después de la instalación.

- ✚ **Paso 1:** En una ventana de comandos ubicamos el archivo ITGplot, en este caso se encuentra en: `dir /home/DITG/D-ITG-2.8.0-rc1/src/ITGPlot`.
- ✚ **Paso 2:** hacemos ejecutable a ITGplot con el comando `chmod +x ITGplot`.
- ✚ **Paso 3:** copiamos los archivos .txt en la carpeta ITGPlot.
- ✚ **Paso 4:** ejecutamos ITGplot con el comando `./ITGplot jitter.txt`, de igual manera para `delay.txt`, `bitrate.txt`, `packetloss.txt`. Al ejecutar este comando se generan las gráficas en la misma carpeta de ITGPlot.

## ACTA DE ENTREGA

El proyecto de grado titulado **“Estudio y diseño de una red inalámbrica en la banda de 900 MHz para largas distancias en la región Sierra”** fue entregado en el Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Sangolquí, \_\_\_\_\_

---

Andrés Cevallos Del Castillo

1718945601

---

Ing. Paul Bernal

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRONICA Y  
TELECOMUNICACIONES