

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

“Implementación de 4 antenas ubiquiti nanostation loco M5, para realizar pruebas de radio frecuencia en bandas no licenciadas en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo”

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL

ELABORADO POR:

Fernando Intriago Mora

GUAYAQUIL, ABRIL DE 2014



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. Fernando Intriago Mora como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones con Mención en Gestión Empresarial.

Guayaquil, Abril de 2014

TUTOR

Ing. Néstor Zamora Cedeño

REVISADO POR

Ing. Pedro Tutiven López

Revisor Metodológico

Ing. Washington Medina Moreira

Revisor de Contenido



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

FERNANDO INTRIAGO MORA

DECLARA QUE:

El proyecto de grado denominado “Implementación de 4 antenas ubiquiti nanostation loco M5, para realizar pruebas de radio frecuencia en bandas no licenciadas en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo”, ha sido desarrollada 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 mi autoría.

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

Guayaquil, Abril de 2014

EL AUTOR

Fernando Intriago Mora



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, FERNANDO INTRIAGO MORA

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del proyecto titulado: “Implementación de 4 antenas ubiquiti nanostation loco M5, para realizar pruebas de radio frecuencia en bandas no licenciadas en el laboratorio de Telecomunicaciones de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, Abril de 2014

EL AUTOR:

FERNANDO INTRIAGO MORA

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser fuente suprema de toda sabiduría y ser la luz y guía de este, mi propósito así como la fuerza que inspira mi camino.

A mi familia, por ser los pilares fundamentales para alcanzar tan anhelado triunfo, que representa el final de una de las etapas más importantes de mi vida y el inicio de otras que serán aún más enriquecedores.

Por último un agradecimiento especial a las personas que en esta etapa final de formación profesional han colaborado directamente con la supervisión, realización y corrección de este proyecto.

DEDICATORIA

Es justo en estos momentos donde una persona puede darse cuenta que efectivamente han pasado los años, y solo uno mismo decide si estos pasan en vano o son realmente aprovechados.

La vida trae consigo momentos buenos y no tan buenos, y es ahí donde reconoces a quienes siempre estarán a tu lado para brindarte una mano amiga, es por ello que quiero agradecer a quienes en todo momento han sido mi apoyo y guía.

Esta tesis primeramente se la dedico con todo mi amor y cariño a Dios que nos dio la oportunidad de vivir y de concederme una familia preciosa.

Adicionalmente dedico esta tesis a mis padres quienes siempre confiaron en mí ciegamente son y serán mi guía en todo momento gracias por apoyarme en todos mis proyectos y por ser mis mejores amigos.

FERNANDO INTRIAGO MORA

ÍNDICE DE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPITULO 1	18
ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO	18
1.1. ANTECEDENTES	18
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. OBJETIVOS	20
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	20
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
1.5. HIPÒTESIS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1.6. MARCO METODOLÒGICO.....	20
1.6.1. ALCANCE	20
1.6.2. PARADIGMA	21
1.6.3. ENFOQUE.....	21
1.6.4. MÉTODO	21
1.6.5. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	21
CAPITULO 2	22
EXPOSICIÓN FUNDAMENTADA	22
2.1. INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES RADIOELÉCTRICAS.....	22
2.1.1. GENERALIDADES	22
2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA RADIACIÓN DE ONDAS.....	25
2.3. SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES INALÁMBRICA	28
2.4. ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	30
2.5. COMUNICACIÓN EN CONDICIONES DE ESPACIO LIBRE	30
2.6. PROPAGACIÓN DE ONDAS DE RADIO.....	32
2.6.1. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS GENERALES.....	32
2.6.1.1. <i>Propagación</i>	32
2.6.1.2. <i>Propagación por onda terrestre</i>	33
2.6.1.3. <i>Propagación por onda directa</i>	35
2.6.1.4. <i>Principios de funcionamiento de los sistemas de transmisión por onda directa</i>	36
2.7. ANCHO DE BANDA.....	36

2.8.	MODOS DE TRANSMITIR.....	37
2.8.1.	TRANSMISIÓN SIMPLE	37
2.8.2.	TRANSMISIÓN SEMI-DÚPLEX.....	37
2.8.3.	TRANSMISIÓN DÚPLEX	38
2.9.	ATENUACIÓN E INTERFERENCIA SOBRE LA SEÑAL.....	38
2.9.1.	AMPLIFICADORES	39
2.9.2.	REPETIDORES.....	39
2.9.3.	FILTROS	39
2.10.	ANTENA	39
2.10.1.	CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS.....	40
2.10.2.	ELEMENTOS DE UNA ANTENA.....	40
2.10.3.	ELEMENTOS EN UN EQUIPO DE CAPTACIÓN TERRESTRE	41
2.10.3.1.	<i>Antena</i>	41
2.10.3.2.	<i>El dipolo</i>	42
2.10.3.3.	<i>Elementos reflectores</i>	42
2.10.3.4.	<i>Elementos directores</i>	42
2.10.3.5.	<i>Impedancia y balun</i>	43
2.11.	ANTENAS DE RADIO	43
2.11.1.	ANTENA DE RADIO ANALÓGICA FM	43
2.11.2.	ANTENA DE RADIO DIGITAL DAB	44
2.11.3.	ANTENAS TERRESTRES	44
2.11.4.	ANTENA LOGARÍTMICO-PERIÓDICA.....	45
2.12.	MICROONDAS DIGITALES	45
2.12.1.	MÉTODOS DE MODULACIÓN PARA SEÑALES DIGITALES	45
2.12.2.	LOS MÉTODOS PSK Y QAM.....	45
2.12.3.	RELACIÓN ENTRE EL MÉTODO DE MODULACIÓN Y EL ANCHO DE BANDA.....	46
2.12.4.	CARACTERÍSTICAS DE LAS MICROONDAS DIGITALES	48
2.13.	MEDIOS INALÁMBRICOS.....	48
2.13.1.	TIPOS DE REDES INALÁMBRICAS	49
2.13.1.1.	<i>IEEE estándar 802.11</i>	49
2.13.1.2.	<i>IEEE estándar 802.15</i>	50
2.13.1.3.	<i>IEEE estándar 802.16</i>	50
2.13.1.4.	<i>Sistema global para comunicaciones móviles (GSM)</i>	50
2.13.2.	LAN INALÁMBRICA.....	51
2.13.2.1.	<i>Punto de acceso inalámbrico (AP)</i>	51
2.13.2.2.	<i>Adaptadores NIC inalámbricos</i>	51
2.13.3.	ESTÁNDARES WLAN.....	52

2.13.3.1. IEEE 802.11a.....	52
2.13.3.2. IEEE 802.11b.....	52
2.13.3.3. IEEE 802.11g.....	52
2.13.3.4. IEEE 802.11n.....	53
2.14. NORMATIVIDAD	54
2.14.1. ART. 1 ÁMBITO DE LA LEY.	54
2.14.2. ART. 2 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.	54
2.14.3. ART. 3 ADMINISTRACIÓN DEL ESPECTRO.....	54
2.14.4. ART. 5 NORMALIZACIÓN Y HOMOLOGACIÓN.....	55
2.14.5. ART. 10 INTERCOMUNICACIONES INTERNAS.	55
2.14.6. ART. 11 USO PROHIBIDO.....	56
CAPITULO 3	57
METODOLOGIA DE INVESTIGACION E IMPLEMENTACION DE LOS EQUIPOS	57
3.1. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA IMPLEMENTACION.	57
3.1.1. UBIQUITI NANOSTATION LOCO M5.....	57
3.1.2. APLICACION PARA CÁLCULO DE ENLACE.....	58
3.1.3. COMPUTADORA A UTILIZAR	58
3.2. ESQUEMA GRÁFICO DE CONEXIÓN.	59
CAPITULO 4	60
INSTALACION DE EQUIPOS Y ANALISIS DE PRUEBAS DE ENVIO Y RECEPCION DE INFORMACION A TRAVES DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO	60
4.1. CONFIGURACION DE EQUIPOS.....	60
4.1.1. CONFIGURACION DEL UBIQUITI NANOSTATION LOCO M5 Y DE ADAPTADORES DE RED DE LOS COMPUTADORES.....	60
4.1.2. INSTALACION DE SOFTWARE PATCH LOSS 4.0	63
4.2. MEDICION Y ANALISIS DE LA INFORMACION ENVIADA POR EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.	67
4.2.1. MEDICION DEL ANCHO DE BANDA EN LOS PUNTOS INSTALADOS ANALISIS.....	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFIA	78
ANEXOS	79

INDICE DE FIGURAS

Figura # 2. 1 Esquema de comunicación.....	22
Figura # 2. 2 Comunicación radioeléctrica en lugar de tender cable por encima del agua.	30
Figura # 2. 3 Los problemas de terreno pueden vencerse.	31
Figura # 2. 4 Conexiones privadas para evitar la ocupación de la central del operador local	31
Figura # 2. 5 Propagación de onda Terrestre	34
Figura # 2. 6 Distancia de alcance visual y distancia al horizonte.....	36
Figura # 2. 7 Transmisión Simple	37
Figura # 2. 8 Transmisión Semi-Dúplex.....	38
Figura # 2. 9 Transmisión Dúplex.....	38
Figura # 2. 10 Componentes de una antena Yagi.....	41
Figura # 2. 11 Antena de RF.....	43
Figura # 2. 12 Antena de Radio Digital	44
Figura # 2. 13 Antena Logaritmico-periódica	45
Figura # 2. 14 Método de Modulación 4 PSK.....	46
Figura # 2. 15 Seguridad y señales de Medios Inalámbricos.....	49
Figura # 2. 16 Tipos y estándares de medios inalámbricos.....	51
Figura # 2. 17 Adaptadores y puntos de acceso en una WLAN	53
Figura # 4. 1 Esquema Gráfico de conexión de equipos.....	59
Figura # 4. 2 Configuración para un enlace punto a punto pestaña wireless.....	60
Figura # 4. 3 Configuración para un enlace punto a punto pestaña Network.....	62
Figura # 4. 4 Prueba de sincronización de las antenas en el menú main	63
Figura # 4. 5 Menú principal.....	64
Figura # 4. 6 Parámetros primarios y secundarios	64
Figura # 4. 7 Resumen de los sitios configurados	65
Figura # 4. 8 Menú Module	65
Figura # 4. 9 Parámetros terrenal de las antenas.....	66
Figura # 4. 10 Reporte completo de la conexión de las antenas.....	66
Figura # 4. 11 Herramienta Tools niveles de recepción	67
Figura # 4. 12 Nivel de recepción de los equipos	68
Figura # 4. 13 Menú Site Survey.....	69
Figura # 4. 14 Scaneo de Sitio.....	69
Figura # 4. 15 Opción Ping.....	70
Figura # 4. 16 Repuesta desde el equipo remoto con la opción PING.....	70
Figura # 4. 17 Pruebas de saturación de enlace	71
Figura # 4. 18 Pruebas de respuesta a cada equipo instalado.....	72

<i>Figura # 4. 19 Programa para saturar la red.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura # 4. 20 Visualizador de tráfico.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura # 4. 21 Visualizador de Througput.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura # 4. 22 Herramienta AirView</i>	<i>74</i>
<i>Figura # 4. 23 Analizador de espectro</i>	<i>75</i>
<i>Figura # 4. 24 Equipos Ubiquiti</i>	<i>79</i>
<i>Figura # 4. 25 Instalación del primer equipo</i>	<i>79</i>
<i>Figura # 4. 26 Instalación del segundo equipo</i>	<i>80</i>
<i>Figura # 4. 27 Configuración de equipos en estación.....</i>	<i>80</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla # 2. 1 Medios de TX y sus aplicaciones.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla # 2. 2 Frecuencias portadoras y atenuación de varios medios de enlace.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla # 2. 3 Ancho de banda según la frecuencia de portadora</i>	<i>24</i>
<i>Tabla # 2. 4 Bandas de frecuencias, medios y aplicaciones.</i>	<i>27</i>
<i>Tabla # 2. 5 Relación entre el método de modulación y el ancho de banda.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla # 2. 6 Rendimiento de los distintos modos de modulación para señales de banda base</i>	<i>47</i>

GLOSARIO

AM	Amplitud modulada
AP	Access Point (Punto de Acceso)
Balun	balanced-unbalanced lines transformer (Líneas de transmisión no balanceadas en líneas balanceadas)
Coaxial	Cable de cobre
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (Acceso múltiple con escucha de portadora y evasión de colisiones)
Duplex	Doble
FDM	Frequency Division Multiplexing (Multiflexión por división de frecuencia)
FM	Frecuencia modulada
GPRS	General Packet Radio Service (Servicio general de paquetes vía radio)
GSM	Global System for Mobile communications (Sistema global para las comunicaciones móviles)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
IP	Internet Protocol (Protocolo de Internet)
LAN	Local Area Network (Red de Área Local)
LBN	Low Noise Block (Bloque de bajo ruido)
LF	low frequency (Frecuencia baja)
LOS	Line of Sight

MAC	Media access control (Control de acceso al medio)
MF	Medium frequency (Frecuencia media)
NIC	Network Interface Card (Tarjeta de red)
PING	Packet Internet Groper (Buscador o rastreador de paquetes en redes)
PSK	Phase Shift Keying (Modulación por desplazamiento de fase)
QAM	Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de amplitud por cuadrante)
Rx	Receptor
SHF	Frecuencia supra alta
SSID	Service Set Identifier (Identificador de la red inalámbrica)
TDM	Time Division Multiplexing (Multiflexión por división de Tiempo)
Tx	Transmisor
Ubiquiti	Marca de equipos para redes de telecomunicaciones
UHF	Frecuencia ultra alta
VHF	Very High Frequency (Frecuencia muy alta)
WiFi	Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica)
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas)
WLAN	wireless local area network (Red de área local inalámbrica)
WPAN	Wireless Personal Area Network (Red Inalámbrica de Área Personal)

RESUMEN

En la actualidad la utilización de equipos y antenas de radio enlace por empresas e industrias, para transmitir información de un lugar a otro se ha tornado imprescindible, pero además estas deben conseguir permisos y pagar por la ocupación que generan los equipos al transmitir la información en bandas licenciadas del espectro radioeléctrico a los organismos de control.

En este trabajo de tesis en el capítulo uno se expone los aspectos generales del estudio como los antecedentes, se plantea el problema y se describen los objetivos.

En el capítulo dos de la tesis se realiza una breve explicación de las comunicaciones radioeléctricas, las características, definición y conceptos generales, como también el modo de transmitir y los elementos de captación terrestre, adicionalmente se describe los diferentes tipos de radio enlace, las microondas digitales y sus métodos, terminando con un extracto de los medios inalámbricos y los tipos de redes.

En el capítulo tres se aplica la metodología utilizado de investigación y realización de la tesis el cual es el método pre-experimental, del paradigma empírico analítico con un enfoque cuantitativo, también se indican los equipos utilizados en la implementación y se presenta un esquema gráfico de conexión.

En el capítulo cuatro se explica la instalación y configuración de los equipos usados, se realiza el análisis respectivo de envío y recepción de datos y se muestran las pruebas realizadas y los resultados obtenidos, con el propósito de señalar las conclusiones y recomendaciones al proyecto de tesis.

ABSTRACT

At present the use of radio equipment and antennas link business and industry, to transmit information from one place to another has become imperative , but also they must get permits and pay for the occupation generating equipment to transmit information radio spectrum bands licensed to the agencies.

In this thesis in chapter one the general aspects of the study is shown as the background, the problema arises and objectives are described. .

In chapter two of the thesis a brief explanation of radio communications , features, definition and general concepts is performed, as well as the mode of transmission and capture the elements of earth , additionally the radio link different types described , the microwave digital and methods, ending with an extract of wireless media and network types. .

In chapter three the methodology used in conducting the research and thesis which is the pre-experimental method, the empirical analytical paradigm applies a quantitative approach, the equipment used in the implementation are also given, and a graphical scheme is presented connection.

In chapter four the installation and configuration of the equipment used is explained ,the respective analysis of transmission and reception of data is performed and the tests performed and the results are shown , in order to draw conclusions and recommendations on the draft thesis .

INTRODUCCIÓN

Uno de los medios de transmisión más utilizados para proveer los diferentes servicios requeridos por la población, es el uso de radio enlaces, los cuales trabajan en la porción menos energética del espectro electromagnético, a través de la propagación de ondas electromagnéticas en el espacio libre.

Existen antenas que trabajan en bandas licenciadas las cuales deben pagar un rubro al organismo que controla el ancho del espectro radioeléctrico, lo cual implica varios trámites burocráticos. Por tal motivo para efecto de realizar prácticas y entender el comportamiento de las ondas electromagnéticas se usaran las antenas *Ubiquiti*, que trabajan en bandas no licenciadas lo que significa que no se debe pagar por el uso del espectro.

La implementación de antenas *Ubiquiti* Loco M5 en esta tesis permitirá tener una mejor perspectiva de lo que sucede en el campo laboral con enlaces en bandas no licenciadas, debido a que muchas veces la problemática de un recién graduado es la falta de experiencia sobre los diferentes equipos que se utilizan en el área de radio frecuencia.

Se quiere suministrar al estudiante la experiencia práctica de lo que pasa en un enlace de radio y a la vez se intenta que desarrolle su curiosidad científica, abordando problemas y situaciones que se le planteen para que pueda determinar una solución con los diferentes conocimientos impartidos en clase.

La implementación de las antenas que se realizara en esta tesis permitirá elevar el conocimiento de los estudiantes. Se espera con esto incentivar a los futuros profesionales, a que propongan proyectos que puedan mejorar el uso de los radio enlaces en nuestra sociedad.

CAPITULO 1

ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO

1.1. Antecedentes

Desde la creación de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones en mayo de 1998, misma que ha venido desarrollándose hasta la presente se ha producido un gran avance en la tecnología especialmente en el uso adecuado del espectro electromagnético con los diferentes enlaces de radio implementados en nuestro país. Heinrich Hertz (físico alemán) en 1887 produjo las primeras ondas de radio. Durante la segunda guerra mundial el desarrollo de sistemas de microondas recibió un gran estímulo, debido a la necesidad de un radar de alta resolución capaz de detectar aviones y barcos enemigos.

Por varias décadas las microondas formaron el corazón del sistema de transmisión telefónica de larga distancia. A pesar de las ventajas y beneficios que ofrecen los sistemas de enlaces por microondas, desde la introducción de la fibra óptica, los radioenlaces han sufrido un desplazamiento importante de aplicación, aunque aún siguen teniendo un lugar importante en el área comercial y telecomunicación a larga distancia.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad la carrera de Ingeniería En Telecomunicaciones va acaparando mayores estudiantes, es una carrera de tecnología, por lo cual siempre debemos estar innovando en conocimiento y en el uso de los diferentes dispositivos que saca el mercado.

Es necesario implementar en el laboratorio de Telecomunicaciones equipos que nos permitan realizar pruebas en radio frecuencia y así poder poner en práctica los conocimientos impartidos en clases, permitiendo al estudiante manejar tecnología de punta, elevando su perfil profesional y contando con una mayor herramienta para competir con el mundo laboral, las antenas para efecto de aprendizaje son una gran herramienta de estudio. La tecnología que se utiliza en este proyecto de investigación es del fabricante Ubiquiti posee su propia certificación lo cual es importante para aquellos estudiantes que deseen especializarse en el área de RF y poder convertirse en un proveedor de servicios privado.

1.2.1. Delimitación del problema

De acuerdo a lo indicado anteriormente esta tesis es delimitada de la siguiente manera: Se implementará, analizará y caracterizará el funcionamiento de cuatro antenas ubiquiti instaladas en cuatro puntos de diferentes distancias con línea de vista en la ciudad de Guayaquil y se comprobará la transmisión de datos en el espectro radioeléctrico permitido por la ley Ecuatoriana.

1.3. Justificación

Con el paso del tiempo y con el desarrollo de las tecnologías, la fibra óptica quizás ha acaparado un mayor índice en el mercado, que los enlaces de radio, pero cabe recalcar la importancia de tener conocimiento sobre el uso de las microondas, debido a que por factor distancia o por cuestión de permisos municipales se utilizan los enlaces de radio en gran número y los más comunes son los enlaces en bandas no licenciadas, ya que no se debe pagar por el uso del espectro electromagnético, ahorrando costos y trámites burocráticos. Por este motivo es importante contar con equipos en bandas no licenciadas en los laboratorios de la Facultad Técnica Para el Desarrollo, para poder tener un mayor entendimiento del comportamiento de las microondas y aprender la aplicación de estas antenas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar, analizar y caracterizar un enlace de radiofrecuencia en tiempo real mediante el uso de Antenas Ubiquiti Loco M5.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Describir el estudio del arte de las microondas.
2. Instalar equipos y antenas de radio enlace en cuatro puntos de diferentes distancias dentro de la ciudad de Guayaquil.
3. Obtener datos reales sobre un enlace de radio.
4. Analizar el resultado de los enlaces realizados.
5. Apoyar en el proceso de enseñanza y aprendizaje mediante ejemplos prácticos.

1.5. Hipótesis

Al implementar, analizar y caracterizar un enlace de radiofrecuencia en tiempo real mediante el uso de Antenas Ubiquiti Loco M5 se quiere comprobar si estos dispositivos transmiten datos adecuadamente en la banda de radio enlace no licenciadas.

1.6. Marco Metodológico

1.6.1. Alcance

En la presente tesis se utiliza la metodología de tipo Campo-Explicativo, porque este se realiza en el lugar de los hechos, implementando equipos de comunicación que se instalarán de un lugar a otro en la ciudad de Guayaquil, en el cual se realizarán pruebas de transferencia de información, datos, video etc., a través del espectro radioeléctrico no prohibido por el Estado Ecuatoriano y se explicará las

características, ventajas y desventajas más relevantes de este fenómeno en los equipos ubiquiti nanostation loco M5.

1.6.2. Paradigma

Empírico-Analítico

1.6.3. Enfoque

Cuantitativo

1.6.4. Método

Pre-experimental ya que se limitará sólo a la observación en condiciones naturales del fenómeno analizándolo sin modificarlo o alterarlo

1.6.5. Diseño de la Investigación

Pre-Experimental.- Puesto que no se manipularán variables de estudio, se procederá a la observación directa del fenómeno traslado de información a través del espectro radioeléctrico tal y como se da en su contexto natural, y luego se procederá a su análisis respectivo, de tal forma que sirven para estudios exploratorios.

CAPITULO 2

EXPOSICIÓN FUNDAMENTADA

2.1. Introducción a las comunicaciones Radioeléctricas

2.1.1. Generalidades

¹Desde siempre el hombre ha tenido la necesidad de comunicarse con sus semejantes y en todos los casos esa necesidad fue la de difundir o hacer conocer algún tipo de información. Recordemos que información es un conjunto organizado de datos procesados, que constituyen un mensaje. Los mensajes así definidos pueden ser de muy variada naturaleza, pero lo que siempre es una constante es la existencia de una fuente u origen del mensaje más un sumidero o destino de ese mensaje. En términos estrictamente técnicos son los que llamamos transmisor y receptor, abreviados Tx y Rx respectivamente, tal como nos indica la figura 2.1 que nos grafica un esquema de comunicación con el medio de enlace.

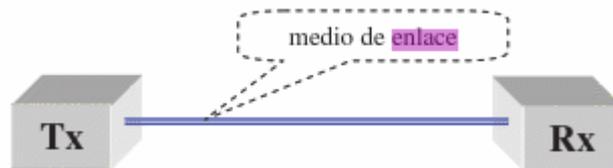


Figura # 2. 1 Esquema de comunicación

Fuente: Vargas, F. (2012). *Principios de sistemas de comunicaciones*. Buenos Aires Argentina: Universitas .

Es de suponer que entre el Tx y el Rx existe “algo” por medio del cual el mensaje pueda fluir de un lugar a otro; este algo es precisamente el “medio de enlace” representado en la figura anterior con línea doble. Es el vínculo físico que denominamos canal de comunicación y que tiene fundamental importancia tanto para la comprensión del funcionamiento de los sistemas, como para diseño del equipamiento. Además, es el lugar donde se origina la principal limitación de las

¹ Vargas, F. (2012). *Principios de sistemas de comunicaciones*

comunicaciones: el RUIDO. Si hacemos un listado de los principales medios de comunicación podemos escribirlo como nos indica el cuadro 2.1 el medio, el uso más frecuente y el rango de frecuencia.

Medio	Usos más frecuentes	Rango de f
Par de cobre	Voz en telefonía fija; Internet, otros	300 Hz a 3 MHz
Cable multipar	conexiones en LAN; otros	300 Hz a 3 MHz
Aire atmosférico	TV y radio difusión; telefonía móvil, etc.	9 KHz a 40 GHz
Vacío	Comunicaciones entre satélites, sondas espaciales	9 KHz a 40 GHz
Cable coaxial	TV doméstica y video cámaras de seguridad; otros	100 KHz a 1 GHz
Guía de onda	Tramo antena-equipo en Com. Satélite-Tierra	2 a 30 GHz
Fibra óptica	Cualquier señal digital (por tierra o subacuática)	$300 \cdot 10^{-9} \text{ m}^{-1}$

Tabla # 2. 1 Medios de TX y sus aplicaciones

Fuente: Vargas, F. (2012). *Principios de sistemas de comunicaciones*. Buenos Aires Argentina: Universitas

Se considera que rango no es lo mismo que ancho de banda. El rango para los cables de cobre es también función de la longitud y del diámetro de los mismos ya que de ella depende la atenuación α y por ende la calidad del sistema. Por ejemplo en las LAN el protocolo Ethernet recomienda un máximo de 90 metros con UTP (0,40mm), el ADSL 500 metros y telefonía 3000 metros con pares de 0,40mm. Claro que los anchos de banda son diferentes Es claro que en la tabla anterior no se han descrito todos los usos y aplicaciones de los medios de enlaces listados, es simplemente una ilustración. Tampoco rango significa ancho de banda. En general y en los pares de cobre en particular, tendrán incidencia la longitud, el diámetro ya que por ejemplo en las LAN la longitud máxima es de 0,090 [Km] mientras que las líneas de teléfono (para voz analógica) pueden superar los 3 [Km]. Sin embargo las líneas “digitalizadas” para Internet no debe superar los 0,5 [Km] para lograr los objetivos de calidad y velocidad digital. También resulta interesante conocer la atenuación α producida por el medio, que es cuánto se degrada la potencia de la señal en el receptor frente a la misma señal del transmisor, por unidad de longitud.

MEDIO	f DE PORTADORA [KHZ]	α [DB/KM]
Línea aérea 2 hilos 3 mm	100	0,5
Cable multipar	10	2
	100	3
	300	6
Coaxial 10 mm Ø	100	1
	1.000	2
	3.000	4
Coaxial 150mm Ø	100.000	1,5
Guía de onda 50x25 mm	10.000.000	5
Guía helicoidal 50 mm Ø	100.000.000	1,5
Espacio libre	10 a 10 ⁸	variable ^c
Fibra óptica	10 ¹¹	0,2 ^d

Tabla # 2. 2 Frecuencias portadoras y atenuación de varios medios de enlace.

Fuente: Vargas, F. (2012). *Principios de sistemas de comunicaciones*. Buenos Aires Argentina: Universitas .

Se puede observar en la tabla 2.2 que a medida que es mayor la frecuencia de portadora, el medio se va adecuando consecuentemente desde el par de cobre hasta la fibra óptica. Entiende el alumno que cuanto mayor sea la frecuencia de la portadora más cantidad de información podrá portar, ya que el ancho de banda disponible será proporcionalmente mayor, tal como refiere la tabla 2.3 que hace referencia a lo indicado anteriormente.

Sistema	f portadora	Ancho de Banda
Radio AM	600 kHz	8 kHz
Radio FM	100 MHz	150 kHz
TV	79 ó 177 MHz	6 MHz
VHF	100 MHz	2 MHz
μ ondas	5 GHz	100 Mhz
F. óptica	5 10 ¹⁴ Hz	10 ¹³ Hz *

Tabla # 2. 3 Ancho de banda según la frecuencia de portadora

Fuente: Vargas, F. (2012). *Principios de sistemas de comunicaciones*. Buenos Aires Argentina: Universitas .

Así, una línea de cobre podía portar doce canales telefónicos de ancho de banda 4 kHz, mientras que la fibra óptica es capaz de “conducir” alrededor de 300 millones de conversaciones simultáneas. Claro, el avance tecnológico llevó a pasar de *FDM*

a TDM (*Frequency Division Multiplexing a Time Division Multiplexing*) gracias a las ventajas de las técnicas digitales.

Al cabo de estas pocas líneas se han introducido varias palabras de muy importante significado en el ámbito de las comunicaciones y cuyo uso será frecuente en lo posterior, tales como mensaje, ancho de banda, canal de comunicación, portadora, atenuación, ruido. Pueden pertenecer a muchos y variados tipos. Por ejemplo los mensajes pueden ser de voz, de texto, imágenes, fotos, datos binarios, etc. También parece evidente y en efecto lo es, que cada medio es apto para algún tipo de señal en particular, no para todas. A nadie se le ocurriría enviar un mensaje de voz hablando por un tubo coaxial o alumbrando con una linterna el extremo de una fibra óptica o gritando por una guía de onda.

2.2. Características de la radiación de ondas

²Ya que una corriente continua, en rigor las variaciones de esa corriente, pueden “desplazarse” desde un extremo a otro de un cable (par de cobre) y que además es posible interpretarlas correctamente y recuperar de ellas la información original, (funciones del telégrafo primitivo), todas las investigaciones se orientaron a las señales electromagnéticas como elemento portador de la información a transmitir.

Esta transmisión es en banda base puesto que no hay traslación de frecuencia del espectro del mensaje. Las frecuencias vocales son del orden de 0,3 a 10 KHz. y su propagación por el espacio se atenúa tanto con la distancia que solo es recuperable (escuchada) a unas decenas de metros de la fuente.

² Vargas, F. (2012). *Principios de sistemas de comunicaciones*

Las propiedades de las ondas electromagnéticas prevén que éstas se pueden radiar eficientemente en el aire cuando el elemento radiante o antena, tiene una altura comprendida entre: $0,1 \lambda \leq h \leq \lambda$ (Longitud de onda) $\leq h \leq \lambda$ (Altura de la Antena).

Entonces, considerando que una señal de voz en promedio tiene como máxima frecuencia 10 KHz resulta que la antena tendría una altura técnicamente irrealizable. Ejemplo 1 Estimar la altura de una antena para radiar la voz en banda base. Solución: Consideramos que se puede acotar el punto AB de frecuencia a 4 KHz, entonces se calcula λ (longitud de onda) como $\lambda = c/f$ (Velocidad de la luz/frecuencia) = $3 \times 10^8 / 1 \times 10^4 = 30.000 \text{ m} \rightarrow h \geq 3.000 \text{ [m]}$.

Un valor decididamente irrealizable en la práctica. Esa es una de las razones por las que se buscó una corriente de frecuencia “elevada”, apta para poder radiarse y propagarse por el aire o por el vacío mediante una antena de dimensiones físicas realizable. Como ejemplo, las emisiones de FM comercial con un ancho de banda de 200 KHz operan en una banda de 88 a 108 MHz denominada *VHF (Very High Frequency)* así que a la mitad de ella, se necesitarían antenas de $h \approx 33 \text{ [cm]}$. Lo que es práctico de realizar, por lo que efectivamente, así se hace. La señal de TV analógica por aire con un ancho de banda de 6 MHz tiene asignada tres bandas denominadas I-VHF; II-VHF y III-UHF:

I-VHF 54 a 88 MHz (Canal 2 a Canal 6)

II-VHF 174 a 216 MHz (Canal 7 a Canal 13)

III-UHF 512 a 806 MHz (Canal 21 a Canal 69) reservadas para TV digital.

A mayores frecuencias, entre 4 y 40 GHz aproximadamente que es la banda de SHF (*Supra High Frequency*) se denominan micro ondas y las antenas dipolos se transforman en parabólicas. Se usan por ejemplo en las comunicaciones

satelitales. Los cables coaxiales también son aptos para transmitir señales de alta frecuencia y son eficientes atenuación tolerable y ancho de banda significativo, como indica la tabla 2.4 entre 100 KHz y 1 GHz aproximadamente. En cambio, para micro ondas, se hace necesario la utilización de “conductores” especiales denominados guías de onda.

λ	ESPECTRO	Medio de transmisión		Aplicación	f	
		Físico	Espacio libre			
100 km	Audio	pares de alambre	radio de onda larga	Telefonía fija	1 kHz	
10 km	VLF			Aeronáutica Cable submarino Navegación	10 kHz	
1 km	LF			100 kHz		
100 m	MF	cable coaxial	radio de onda corta	Radiodifusión AM	1 MHz	
10 m	HF			Banda Civil	10 MHz	
1 m	VHF			Móvil - TV - FM	100 MHz	
10 cm	UHF			TV en UHF	1 GHz	
1 cm	SHF	guía de onda	radio de μ onda	Radar	10 GHz	
millimétricas				Repetidora μ onda	100 GHz	
				Satélite - satélite		
1 mm	infrarrojo	fibra	Láser	servicios digitales Experimental	10 ¹⁴ Hz	
300 nm	visible	óptica				
	ultravioleta					10 ¹⁵ Hz

Tabla # 2. 4 Bandas de frecuencias, medios y aplicaciones.

Fuente: Vargas, F. (2012). *Principios de sistemas de comunicaciones*. Buenos Aires Argentina: Universitas

Mayores frecuencias, de entre 10¹⁴ y 2·10¹⁵ Hz no son eficientes en otro medio que no sea fibra una óptica apropiada. Ya vimos que en este caso se acostumbra a cambiar el término frecuencia por el de longitud de onda: λ , razón por la cual los valores anteriores corresponden a 3.000 y 300 nanómetros [nm]. Estas ondas, ahora llamados rayos, y cuyos espectros están dentro del infrarrojo-visible ultravioleta, “viajan” por la fibra óptica con baja atenuación y sin limitación en la capacidad de información (ancho de banda). La tabla 2.4 intenta resumir la denominación de cada banda del espectro electromagnético, su designación, el medio de transmisión y las aplicaciones de cada una. Debe entenderse que un sistema en particular pertenece a una banda determinada cuando la frecuencia de

portadora está dentro de la misma. Como ejemplos, la señal de una emisora de radiodifusión de AM tiene una portadora de 590 KHz, mientras que una emisora de FM tiene una portadora de 107.5 MHz . La telefonía móvil (celulares) tiene dos bandas, una en los 800 MHz y otra en 1.900 MHz, ambas en UHF.

2.3. Sistemas de Radiocomunicaciones inalámbrica.

³Una de las tecnologías más interesantes actualmente es probablemente el mundo de las comunicaciones inalámbricas, la evolución de esta tecnología ha hecho que nos liberemos de los tradicionales cables que proporcionan las comunicaciones actuales. Sin embargo, las comunicaciones inalámbricas han estado durante décadas a nuestro alrededor, en una variedad de usos y técnicas. Las nuevas aplicaciones ahora se inspiran en servicios triviales como son los anchos de banda y aspectos legales de las comunicaciones inalámbricas. Hoy en día, toda la gente habla sobre el futuro del mundo inalámbrico y de las posibilidades para comunicarnos en general.

Las comunicaciones inalámbricas no son nuevas. Desde los primeros días de la civilización, tuvieron lugar diversas formas de comunicación sin la necesidad de una conexión física. En el entorno de la jungla tribal, los tambores eran el recurso primario para comunicarse. A medida que los remitentes golpeaban en tambores o en troncos ahuecados, los sonidos reverberantes se interpretaban en el otro extremo. En muchas ocasiones, el toque del tambor sólo recorría una distancia limitada, así que eran necesarios diversos puntos de retransmisión.

³ Bates (Jr.), R. J. (2010). *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*. México: McGraw-Hill Interamericana .

En los orígenes de Norteamérica, las tribus nativas utilizaban señales de humo como medio de comunicación limitado por la distancia. Los inconvenientes de estas señales, además de las restricciones de la distancia, se encontraban en las condiciones de visión directa, en un alfabeto limitado y en los errores causados por el viento. La comunicación se perdía si la bocanada de humo salía volando o se disipaba demasiado pronto.

⁴En el siglo XIX, se empleaban haces de luz para las comunicaciones en trayectos cortos, sobre todo en contextos militares. Se podían transmitir mensajes muy detallados en código Morse este método sólo era eficaz sobre distancias limitadas y se mantenía silencioso, pero era visible, la seguridad siempre fue recelosa, así que se introdujo como protección un método de encriptación del alfabeto. Esto exigía un juego de códigos que siempre cambiara, junto con un manejo especial y un tiempo adicional para descifrar manualmente el mensaje transmitido.

En la transmisión por radio, la voz humana primero debe convertirse en señal eléctrica. Esta señal es análoga a la composición de los cambios de presión del sonido producido por la voz humana; corresponde al período de las comunicaciones analógicas. El análisis de las ondas de sonido es una parte clave de la teoría de las radiocomunicaciones. El conocimiento de los principios radioeléctricos es crítico para comprender cómo funcionan las diversas técnicas de comunicaciones inalámbricas. En los primeros sistemas de telecomunicación (especialmente en el ámbito de la telefonía), la propagación radioeléctrica formaba parte del desarrollo de la red. A medida que surgían sistemas nuevos, las modificaciones y mejoras permitían que las redes transportaran todo tipo de comunicación: voz, datos, telegrafía, imagen, fax y vídeo.

⁴ Bates (Jr.), R. J. (2010). *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*. México: McGraw-Hill Interamericana .

2.4. Espectro Radioeléctrico.

⁵El sector estratégico del espectro radioeléctrico es un conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin necesidad de guía artificial utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora y televisión, seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, así como para un elevado número de aplicaciones industriales científicas y medicas.

2.5. Comunicación en condiciones de espacio libre

Los sistemas radioeléctricos propagan información en condiciones de espacio libre, esto evita algunos de los problemas a los que se enfrentan otros sistemas de transmisión como el cable que requieren un medio físico y son difíciles de instalar en ciertas zonas geográficas. Entre las ventajas de los sistemas radioeléctricos se incluyen:

- La capacidad de cruzar zonas de agua, tales como lagos o ríos, donde una instalación de cable necesitaría un trato especial para prevenir filtraciones sobre los conductores de cobre, tal como lo indica gráficamente la fig. 2.2. que refiere a una comunicación radioeléctrica.

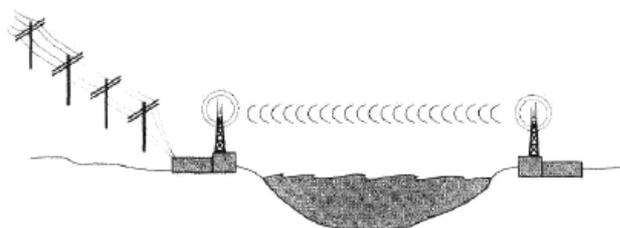


Figura # 2. 2 Comunicación radioeléctrica en lugar de tender cable por encima del agua (por el aire).

Fuente: Bates (Jr.), R. J. (2010). *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*. México: McGraw-Hill Interamericana .

⁵ Plan Nacional de Frecuencia Ecuador 2012

- La capacidad de superar los obstáculos en la transmisión causados por la presencia de montañas y valles profundos, donde los costes de la instalación de cable serían prohibitivos y difícil de mantener, tal como lo indica la fig. 2.3, donde hace referencia a los problemas de terreno que se pueden vencer.



Figura # 2. 3 Los problemas de terreno pueden vencerse.

Fuente: Bates (Jr.), R. J. (2010). *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*. México: McGraw-Hill Interamericana .

- La capacidad de evitar la interconexión al proveedor de telefonía local (Telco) o a la compañía de Correos, teléfono y telégrafo (PTT, Post Telephone and Telegraph). Bates (Jr.), Regis J. (Bud). *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*, como lo refiere la fig. 2.4

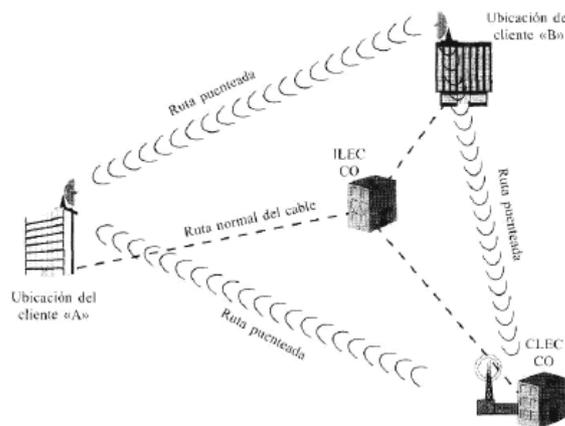


Figura # 2. 4 Conexiones privadas para evitar la ocupación de la central del operador local (ILEC, Incumbent Local Exchange Carrier).

Fuente: Bates (Jr.), R. J. (2010). *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*. México: McGraw-Hill Interamericana .

2.6. ⁶Propagación de Ondas de Radio

2.6.1. Definición y conceptos generales.

Las comunicaciones entre dos equipos a través de ondas electromagnéticas se producen debido a un proceso denominado propagación.

2.6.1.1. Propagación

Es el conjunto de fenómenos por el cual las ondas electromagnéticas producidas por los equipos de radiocomunicaciones permiten enlazar puntos geográficos distantes a través de diferentes medios dieléctricos. La propagación de las ondas dependerá de las distintas zonas geográficas por las que se transmiten. No es lo mismo que las distancias por cubrir tengan un camino que pase sobre la superficie del mar o sobre una zona desértica. En ciertos entornos, tales como elevaciones, edificios elevados en ciudades o montañas, se pueden provocar reflexiones. Así, también, trayectorias cubiertas por importantes arboledas originan atenuaciones por absorción de las ondas electromagnéticas emitidas. Finalmente, también se pueden mencionar los efectos de los fenómenos atmosféricos, tales como lluvias intensas, nieve, altas temperaturas, etc., que pueden alterar y generar mecanismos que dificulten el alcance de las señales. También es muy importante la consideración de la longitud de onda de las señales. Los mecanismos de propagación de una onda en el espectro de las ondas medias pueden ser muy diferentes de los que se dan en las ondas ultracortas. Por ello, cada caso requiere consideraciones particulares. Las ondas de radio, como se expresó, se propagan básicamente en función a su frecuencia de emisión. Se pueden propagar de acuerdo a los siguientes modos:

⁶ Castro Lechtaler, A. R. (2013). *Comunicaciones: una introducción a las redes digitales de transmisión de datos y señales isócronas*. México: Alfaomega Grupo Editor .

- Propagación por onda terrestre.
- Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica.
- Propagación por onda directa.

En muchos casos, puede existir una combinación de estas variantes.

2.6.1.2. Propagación por onda terrestre

Este tipo de propagación es una combinación de la propagación por onda de superficie y por onda espacial.

A su vez, la onda espacial está compuesta por dos componentes: una que se propaga por onda directa (o transmisión por línea de vista) y otra por onda reflejada en la superficie de la Tierra.

Como ambas parten en forma simultánea de la antena transmisora, producen que el rayo que se refleja en la tierra llegue a la antena receptora con cierto retraso por recorrer una mayor distancia. Esta diferencia entre la distancia recorrida por uno y por el otro determina la intensidad de la señal en el receptor. La misma está condicionada por un fenómeno que se denomina interferencia de ondas.

Las ondas de superficie se propagan en forma adyacente a la tierra, siguiendo su curvatura por un proceso de difracción. Las mismas mantienen un contacto permanente con la tierra desde la antena transmisora hasta la receptora. es por ello que cuando se utiliza este tipo de propagación, la antena transmisora, y si es posible la receptora, deben tener una sólida conexión a tierra. Esta se logra instalando cables de cobre desnudos bajo tierra conectados a la antena.

Cuando la distancia es grande (del orden del horizonte radioeléctrico), el ángulo de incidencia del rayo reflejado tiende a cero y ocurre que los rayos directos y reflejados se cancelan entre sí.

La propagación por onda terrestre es utilizada fundamentalmente en las bandas de LF (*low frequency*) y MF (*medium frequency*), y en algunos casos también en HF (*high frequency*), es decir, entre 30 kHz y 30 MHz . Su aplicación más conocida son las señales de las estaciones de radio comerciales de onda media que trabajan en frecuencias comprendidas entre 550 y 1.750 kHz . En ese orden de frecuencias este tipo de propagación es especialmente efectivo.

A estas frecuencias, normalmente las antenas no tienen visión directa. el campo responsable de la comunicación es el radiado por la antena en presencia de la tierra. La Fig. 2.5. se muestra las distintas ondas que componen la propagación por onda terrestre.

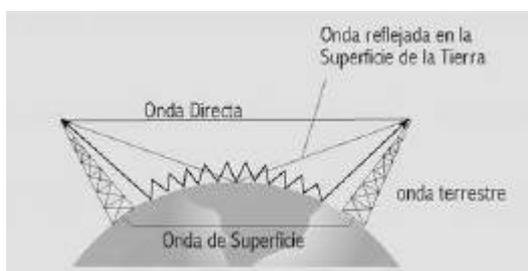


Figura # 2. 5 Propagación de onda Terrestre

Fuente: Castro Lechtaler, A. R. (2013). *Comunicaciones: una introducción a las redes digitales de transmisión de datos y señales isócronas* . México: Alfaomega Grupo Editor .

Además, como las dimensiones de las antenas a utilizar son proporcionales a la longitud de onda de la señal a transmitir, el caso de las frecuencias comprendidas en las bandas de LF y MF obliga a emplear antenas de dimensiones importantes.

Ellas están construidas a partir de mástiles radiantes verticales que permiten obtener un diagrama de radiación adecuado. Los mástiles de ese tipo permiten que la antena transmisora transmita con polarización vertical. La onda de superficie solamente presenta alcances útiles ya que todo componente horizontal es rápidamente absorbido por el suelo. En estas condiciones, la antena radia energía en la mayoría de los casos en forma omnidireccional, es decir en todas las direcciones. Por otra parte, debido a su condición vertical y a su altura, parte de esta energía incide en la superficie de la Tierra con un ángulo, tal que le permite reflejarse.

Por otra parte, la propagación por onda espacial exclusivamente resulta apta a corta distancia en la banda de HF y es el modo fundamental de propagación en las frecuencias superiores a los 30 MHz.

2.6.1.3. Propagación por onda directa

La propagación en línea recta se caracteriza porque la onda emitida desde la antena transmisora viaja en forma directa a la antena receptora sin tocar el terreno ni la ionósfera.

Este tipo de radiación se utiliza, como ya se señaló, principalmente en bandas de frecuencias muy elevadas - VHF , frecuencias ultra elevadas - UHF y superiores

Un ejemplo práctico de esta forma de transmisión lo constituyen los Servicios de Televisión - TV y de Radiodifusión de Frecuencia Modulada - FM.

En este tipo de propagación, las alturas de las antenas transmisora y receptora y su distancia tienen una importancia fundamental en la comunicación.

2.6.1.4. Principios de funcionamiento de los sistemas de transmisión por onda directa.

Para comprender el principio de funcionamiento de la transmisión en línea recta, introduciremos los siguientes conceptos:

Distancia al horizonte: es la distancia cubierta por una onda que se propaga en línea recta desde la antena transmisora hasta rozar tangencialmente la superficie de la Tierra.

Distancia de alcance visual: es la máxima distancia a la cual pueden instalarse dos antenas, de alturas determinadas, sobre la superficie de la Tierra si se desea que se establezca entre ambas una comunicación en línea recta.



Figura # 2. 6 Distancia de alcance visual y distancia al horizonte

Fuente: Castro Lechtaler, A. R. (2013). *Comunicaciones: una introducción a las redes digitales de transmisión de datos y señales isócronas*. México: Alfaomega Grupo Editor .

2.7. Ancho de Banda

El ancho de banda de un sistema de comunicaciones es la banda de paso mínima (rango de frecuencias) requerida para propagar la (López Badilla, 2009) información de la fuente a través del sistema. El ancho de banda de un sistema de comunicaciones debe ser lo suficientemente grande (ancho) para pasar todas las frecuencias significativas de la información.

⁷El ancho de banda de la señal o su espectro de frecuencias es una medida de la velocidad de la señal. Cuando se quiere transmitir mucha información en poco tiempo se requiere señales con gran ancho de banda. Estas señales deben transmitirse a través de vínculos o enlaces que puedan responder a todas las frecuencias de la señal y para ello deben tener un ancho de banda adecuado a efectos de poder reproducir fielmente la señal a transmitir.

2.8. ⁸Modos de Transmitir

Los sistemas de comunicaciones pueden diseñarse para manejar la transmisión solamente en una dirección, en ambas direcciones pero solo uno a la vez, o en ambas direcciones al mismo tiempo. Esto se llama modos retransmisión. Cuatro modos son posibles: Simple, *semi-Duplex* y *Duplex*.

2.8.1. Transmisión Simple

Es cuando el transmisor y el receptor están definidos y la comunicación es en un sola sentido. Este tipo de comunicaciones se emplean usualmente en redes de radiodifusión, donde los receptores no necesitan enviar dato de regreso al transmisor.



Figura # 2. 7 Transmisión Simple

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

2.8.2. Transmisión Semi-Duplex

La transmisión se lleva a cabo en ambos sentidos, de manera alternativa, es decir no al mismo tiempo: los *walkie talkies* son un ejemplo de esta forma de

⁷ Ruben, K. (2005). *Introducción a las Telecomunicaciones*. Buenos Aires: Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

⁸ José Manuel Huidobro, J. M. (2005). *Sistemas Telemáticos*. Madrid: Editorial Paraninfo.

comunicación, donde el canal de ancho de banda se ocupa con uno de ellos, mientras el otro debe esperar hasta que se libere y poder transmitir.



Figura # 2. 8 Transmisión Semi-Dúplex

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

2.8.3. Transmisión Dúplex

Esta transmisión se da cuando esta lo realiza en ambos sentidos en el mismo instante o simultáneamente, donde el transmisor y receptor no necesitan de ningún protocolo para alternar la comunicación en uno u otro sentido.

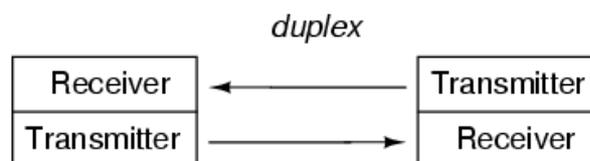


Figura # 2. 9 Transmisión Dúplex

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/redes/comunicaciones/modos>

2.9. Atenuación e interferencia sobre la señal

⁹Las señales que se transmiten a través de un medio guiado o de forma inalámbrica, experimentan dos fenómenos que pueden degradar la información que transmiten, por una parte, el debilitamiento de la señal, una disminución de su potencia debido a la resistencia que ofrece el medio de transmisión frente a su avance; por otra la interferencia con diversas clases de ruido. Para contrarrestar

⁹ Moro Vallina, M. (2013). *Infraestructuras de redes de datos y sistemas de telefonía*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.

estos efectos se emplean varios tipos de dispositivos para que la señal no se degrade.

2.9.1. Amplificadores

Reciben la señal que les llega e incrementan su potencia. Colocados en puntos diferentes de la red, permiten contrarrestar la pérdida de la señal transmitida, pero posee una limitante importante, que la señal llega al amplificador mezclada con ruido, el dispositivo amplifica las dos señales.

2.9.2. Repetidores

Los repetidores regeneran la señal que reciben y reenvían esta nueva señal, sin el ruido ni la atenuación con las que les haya llegado, a través del siguiente tramo del canal de transmisión. Es un dispositivo más útil que un simple amplificador, pues contrarresta tanto la atenuación como al ruido de la señal.

2.9.3. Filtros

Son dispositivos que eliminan determinadas frecuencias no deseadas de la señal, estos pueden ser filtros de paso alto y filtros de paso bajo, que atenúan respectivamente los componentes de baja y alta frecuencia.

2.10. Antena

Una antena es un dispositivo recíproco pasivo, porque no amplifica una señal (sin embargo una antena puede tener una ganancia), y recíproco en cuanto a que las características de transmisión y recepción de una antena son idénticas, excepto donde las corrientes de alimentación al elemento de la antena se limitan a la modificación del patrón de transmisión.

2.10.1. Características de las antenas

¹⁰Este consiste en determinar sus parámetros eléctricos dependiendo en donde funcionará para verificar su eficiencia y su aporte dentro del radioenlace, una de su principal característica es:

Patrón de Radiación: Permite visualizar como esta emite o recibe las ondas electromagnéticas en diferentes direcciones. (Montes Granada, 2009)

¹¹Otros de los principales parámetros de caracterización vitales a la hora de pronosticar y analizar la eficiencia de la antena dentro de un enlace punto a punto son: (Jáuregui Cantón, 2012)

Poseer una buena captación de señal, en particular, en las zonas alejadas del transmisor, donde la ganancia debe ser la mayor posible.

Evitar reflexiones de señal en el propio sistema, dimensionando la antena convenientemente.

Evitar la captación de señales reflejadas en edificios, montes, etc., que son causa de imágenes fantasmas o múltiples, característica denominada directividad.

Captar el mínimo posible de interferencias y señales no deseadas.

Ser útil para captar el mayor número de canales, siempre y cuando no sea un inconveniente para el normal funcionamiento de todo el sistema.

2.10.2. Elementos de una Antena.

Dependiendo del tipo de antena de radio, televisión terrestre o satélite, se encontrarán diferentes elementos dentro de ella.

¹⁰ Montes Granada, W. F. (2009). *Sistema de adquisición de datos para la medición de parámetros Radioeléctricos en antenas lineales en la banda de TV de VHF y UHF*. Colombia : Red Ingeniería y Ciencia .

¹¹ Jáuregui Cantón, E. (2012). *Recepción y distribución de señales de radiodifusión*. España: IC Editorial .

Puede afirmarse de manera general que, en sistemas de TV y radio terrestre, el equipo de captación está constituido por:

Antena.

Preamplificador.

Sistema de sujeción (mástiles, torretas, elementos de sujeción).

En sistemas satélites, el equipo de captación está constituido por:

Reflector parabólico (antena).

Unidades exteriores (normalmente LBN).

Sistema de sujeción (mástiles, torretas, elementos de sujeción).

2.10.3. Elementos en un equipo de captación terrestre

Los principales elementos que intervienen en la captación de señal para su posterior envío al equipo de cabecera.

2.10.3.1. Antena

En la difusión de señales de televisión, el tipo de antena empleado influye en la calidad de la señal recibida. Los elementos más significativos en una antena terrestre son el dipolo, los elementos reflectores y los elementos directores. También hay que tener en cuenta la impedancia.

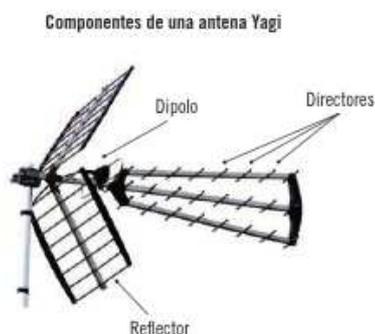


Figura # 2. 10 Componentes de una antena Yagi

Fuente: Jáuregui Cantón, E. (2012). Recepción y distribución de señales de radiodifusión. España: IC Editorial.

2.10.3.2. El dipolo

La antena debe satisfacer ciertas características que permitan obtener una señal de intensidad suficiente para el canal que sea posible captar en la zona donde esté situada. En particular, será necesario un elemento distinto (llamado dipolo) para captar la señal de cada canal. Un dipolo es simplemente un elemento conductor, pero el dipolo es el elemento esencial (a él se halla conectada la línea de bajada).

Posee la característica de ser directivo, es decir, que para poder captar la máxima intensidad de señal se debe orientar exactamente en dirección al punto de procedencia de la propia señal.

La longitud de la antena viene determinada por la frecuencia de emisión que debe captar:

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{300}{f}$$

Siendo V la velocidad de propagación y f la frecuencia de recepción en MHz.

2.10.3.3. Elementos reflectores

El reflector se sitúa detrás del elemento activo y es generalmente más largo que media longitud de onda. Su funcionamiento se basa en la reflexión de las ondas electromagnéticas, por lo cual las ondas que inciden paralelamente al eje principal se reflejan y van a parar al dipolo y, además, bloquean las señales que llegan por detrás.

2.10.3.4. Elementos directores

Estrechan el haz o lóbulo de recepción a la vez que lo prolongan. De esta forma, se consigue recibir a mayor distancia y, al ser la antena más directiva, se pueden eliminar con mayor facilidad las señales laterales indeseables, aumentando al

mismo tiempo la ganancia de la misma. Cuanto mayor sea el número de elementos directores, mayor será la ganancia. Los elementos directores se colocan delante del elemento activo y son algo más cortos de media longitud de onda. Cuanto mayor sea el número de elementos directores, mayor la longitud de la antena.

2.10.3.5. Impedancia y balun

La norma de televisión establece que la impedancia de entrada y salida de todos los elementos activos y pasivos simétricos sea de 300Ω , que es el caso de las antenas utilizadas normalmente para la recepción de televisión. Como el cable coaxial de bajada tiene una impedancia de 75Ω , se necesita un adaptador de impedancia denominado balun. El balun (*balanced-unbalanced*) se encuentra alojado en el interior de la caja de conexiones de la antena y permite conectar el dipolo con el cable de bajada en óptimas condiciones.

2.11. Antenas de Radio

Las particularidades de cada una de ellas son las siguientes:

2.11.1. Antena de radio analógica FM

Este servicio se ha diseñado para la recepción móvil, por lo que las potencias transmitidas son muy grandes y son diseñadas con forma de círculo. Están diseñadas para recibir señales en la banda FM o Banda II (87 MHz-110 MHz).

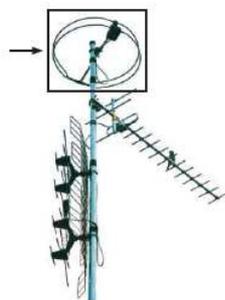


Figura # 2. 11 Antena de RF

Fuente: Fuente: Jáuregui Cantón, E. (2012). Recepción y distribución de señales de radiodifusión. España: IC

2.11.2. Antena de radio digital DAB

Estas antenas están diseñadas para captar señales en la banda B III (174230 MHz), que es donde se ha establecido este servicio en toda Europa. También se pueden utilizar antenas mixtas UHF/VHF.

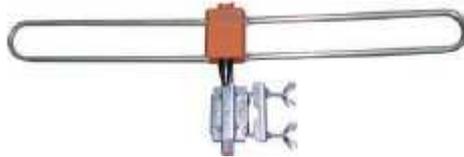


Figura # 2. 12 Antena de Radio Digital

Fuente: Fuente: Fuente: Jáuregui Cantón, E. (2012). Recepción y distribución de señales de radiodifusión. España: IC

2.11.3. Antenas terrestres

Atendiendo a su constitución física, se pueden encontrar las siguientes antenas: Antenas Yagi Las antenas Yagi están formadas por un elemento captador llamado dipolo, un reflector y uno o varios elementos directores. La función del dipolo es de captación de la señal y tendrá las dimensiones adecuadas para que resuene a la frecuencia del canal a recibir.

El reflector colocado detrás del dipolo impide, en mayor o menor medida, la recepción posterior y refuerza la anterior. Este reflector puede ser sencillo, doble o incluso puede ser una especie de pantalla metálica para aumentar su eficacia.

Los directores que se colocan delante del dipolo estrechan el haz o lóbulo de recepción a la vez que lo prolongan. De esta forma, se consigue recibir a mayor distancia y, al ser la antena más directiva, se pueden eliminar con mayor facilidad las señales laterales indeseables, aumentando al mismo tiempo la ganancia de la misma.

2.11.4. Antena logarítmico-periódica

Esta antena está formada por una serie de dipolos activos, cada uno sintonizado a una frecuencia distinta.



Figura # 2. 13 Antena Logarítmico-periódica

Fuente: Jáuregui Cantón, E. (2012). Recepción y distribución de señales de radiodifusión. España: IC

2.12. Microondas digitales

Con el advenimiento de la transmisión de datos surgió la necesidad de adecuar las microondas a la transmisión de señales digitales. Para ello se utilizaron métodos de modulación adecuados para señales digitales.

En la actualidad, la totalidad de los sistemas de microondas que se instalan son de características digitales.

2.12.1. Métodos de modulación para señales digitales

Los métodos de modulación para señales digitales son los siguientes: 2 PSK, 4 PSK, 8 PSK, 16 QAM y 64 QAM y muy recientemente 128 QAM, 256 QAM y 512 QAM.

2.12.2. Los métodos PSK y QAM

Los métodos PSK (*Phase Shift Keying*), denominados modulación por desplazamiento de fase , consisten en la variación de la fase de la portadora según se transmita un uno o un cero .

En la Fig. 2.14 se ejemplifica el método de modulación 4 PSK . En este, la portadora puede tomar 4 fases diferentes que corresponderán a 4 secuencias

binarias posibles. En el método 8 PSK se toman 8 fases diferentes y, por último, en los métodos 16 QAM y 64 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) se varía la amplitud de dos portadoras, desplazadas entre sí 90° en sus fases.

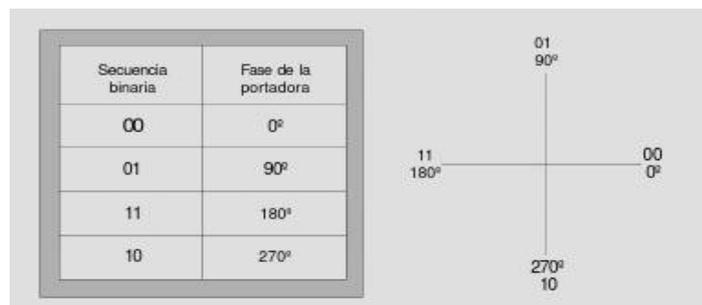


Figura # 2. 14 Método de Modulación 4 PSK

Fuente: Jáuregui Cantón, E. (2012). Recepción y distribución de señales de radiodifusión. España: IC

En los métodos N QAM , se utiliza una combinación de modulación por desplazamiento de fase y modulación por amplitud .

2.12.3. Relación entre el método de modulación y el ancho de banda.

En la Tabla 2.5, se puede observar que, a medida que se utilizan métodos de modulación más sofisticados, el ancho de banda necesario disminuye para una misma velocidad de transmisión.

Por ejemplo, para un ancho de banda de 17,2 MHz , utilizando como método de modulación 4 PSK , la velocidad máxima de transmisión será de 34 Mbps. Sin embargo, si empleamos 16 QAM , manteniendo el mismo ancho de banda, la misma velocidad de transmisión aumenta hasta un valor del orden de los 100 Mbps.

Sistema de modulación	Ancho de banda necesario (MHz)			
	34 Mbps	68 Mbps 34 Mbps x2	100 Mbps 34 Mbps x3	140 Mbps 34 Mbps x 4
2 PSK	34,4	68,8	103,2	139,3
4 PSK	17,2	34,4	51,6	69,7
8 PSK	11,5	22,9	34,4	46,4
16 QAM	8,6	17,2	25,8	34,8
64 QAM	5,7	11,5	17,2	23,2

Tabla # 2. 5 Relación entre el método de modulación y el ancho de banda

Fuente: Jáuregui Cantón, E. (2012). Recepción y distribución de señales de radiodifusión. España: IC

En la Tabla 2.6, se pueden observar los mismos resultados analizados desde otro punto de vista. Si deseamos obtener una velocidad de transmisión de 140 Mbps, para cada tipo de modulación cambia la cantidad de bit por Baudio transmitido y, por lo tanto, también cambia el ancho de banda que es necesario usar. A medida que la cantidad de bit por Baudio aumenta, disminuye el ancho de banda necesario para llegar a la velocidad de 140 Mbps.

Método de modulación	Número de bits por baudio	Ancho de banda necesario
2 PSK	1	140 MHz
4 PSK	2	70 MHz
8 PSK	3	47 MHz
16 QAM	4	35 MHz
32 QAM	5	28 MHz
64 QAM	6	23 MHz
128 QAM	7	20 MHz
256 QAM	8	14 MHz
512 QAM	9	10 MHz

Tabla # 2. 6 Rendimiento de los distintos modos de modulación para señales de banda base a 140 Mbps

Fuente: Jáuregui Cantón, E. (2012). Recepción y distribución de señales de radiodifusión. España: IC

Obsérvese que con 256 QAM , y un ancho de banda de solamente 14 MHz , se podrá llegar a transmitir a una velocidad de 140 Mbps.

2.12.4. Características de las microondas digitales

Las microondas digitales, como todo sistema de estas características, permiten la regeneración de los pulsos que son transmitidos por el sistema de comunicaciones.

La regeneración de la señal posibilita mayor tolerancia al ruido y a las interferencias, dado que en cada repetidora de microondas se regenera nuevamente la señal digital. Por ello, no se propagan las sucesivas adiciones de ruido y/o distorsión, como ocurre en los sistemas analógicos, en los cuales no es posible regenerar la señal sino solamente amplificarla.

2.13. Medios Inalámbricos

Los medios inalámbricos transportan señales electromagnéticas mediante frecuencias de microondas y radiofrecuencias que representan los dígitos binarios de las comunicaciones de datos.

Como medio de red, el sistema inalámbrico no se limita a conductores o canaletas, como en el caso de los medios de fibra o de cobre.

Las tecnologías inalámbricas de comunicación de datos funcionan bien en entornos abiertos. Sin embargo, existen determinados materiales de construcción utilizados en edificios y estructuras, además del terreno local, que limitan la cobertura efectiva. El medio inalámbrico también es susceptible a la interferencia y puede distorsionarse por dispositivos comunes como teléfonos inalámbricos domésticos, algunos tipos de luces fluorescentes, hornos microondas y otras comunicaciones inalámbricas.

Los dispositivos y usuarios que no están autorizados a ingresar a la red pueden obtener acceso a la transmisión, ya que la cobertura de la comunicación

inalámbrica no requiere el acceso a una conexión física de los medios. Por lo tanto, la seguridad de la red es el componente principal de la administración de redes inalámbricas.

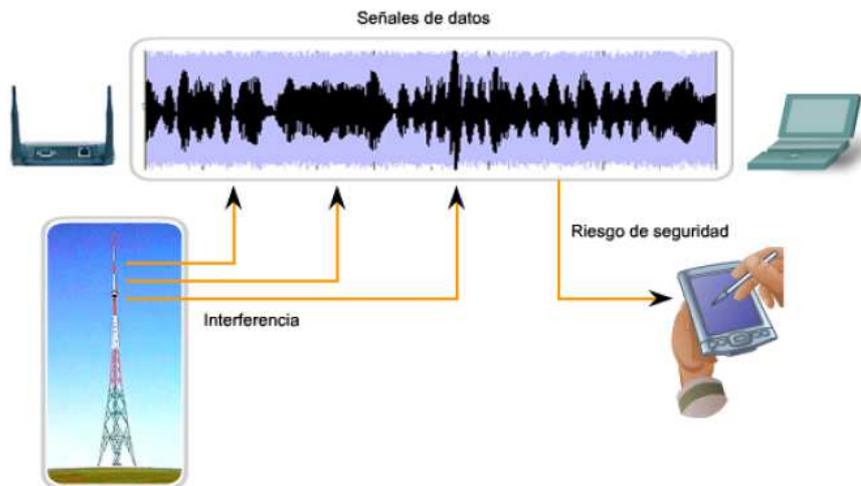


Figura # 2. 15 Seguridad y señales de Medios Inalámbricos
Fuente: CCNA exploration 4.0 Aspectos básicos de Networking

2.13.1. Tipos de redes inalámbricas

Los estándares de IEEE y de la industria de las telecomunicaciones sobre las comunicaciones inalámbricas de datos abarcan las capas física y de Enlace de datos. Los cuatro estándares comunes de comunicación de datos que se aplican a los medios inalámbricos son:

2.13.1.1. IEEE estándar 802.11

Comúnmente denominada Wi-Fi, se trata de una tecnología LAN inalámbrica (Red de área local inalámbrica, WLAN) que utiliza una contención o sistema no determinista con un proceso de acceso a los medios de Acceso múltiple con detección de portadora/Prevención de colisiones (CSMA/CA).

2.13.1.2. IEEE estándar 802.15

Red de área personal inalámbrica (WPAN) estándar, comúnmente denominada "Bluetooth", utiliza un proceso de emparejamiento de dispositivos para comunicarse a través de una distancia de 1 a 100 metros.

2.13.1.3. IEEE estándar 802.16

Comúnmente conocida como WiMAX (Interoperabilidad mundial para el acceso por microondas), utiliza una topología punto a multipunto para proporcionar un acceso de ancho de banda inalámbrico.

2.13.1.4. Sistema global para comunicaciones móviles (GSM)

Incluye las especificaciones de la capa física que habilitan la implementación del protocolo Servicio general de radio por paquetes (GPRS) de capa 2 para proporcionar la transferencia de datos a través de redes de telefonía celular móvil.

Otros tipos de tecnologías inalámbricas, como las comunicaciones satelitales, ofrecen una conectividad de red de datos para ubicaciones sin contar con otros medios de conexión. Los protocolos, incluso GPRS, permiten la transferencia de datos entre estaciones terrestres y enlaces satelitales.

En cada uno de los ejemplos anteriores, las especificaciones de la capa física se aplican a áreas que incluyen: datos para la codificación de señales de radio, frecuencia y poder de transmisión, recepción de señales y requisitos decodificación y diseño y construcción de la antena.

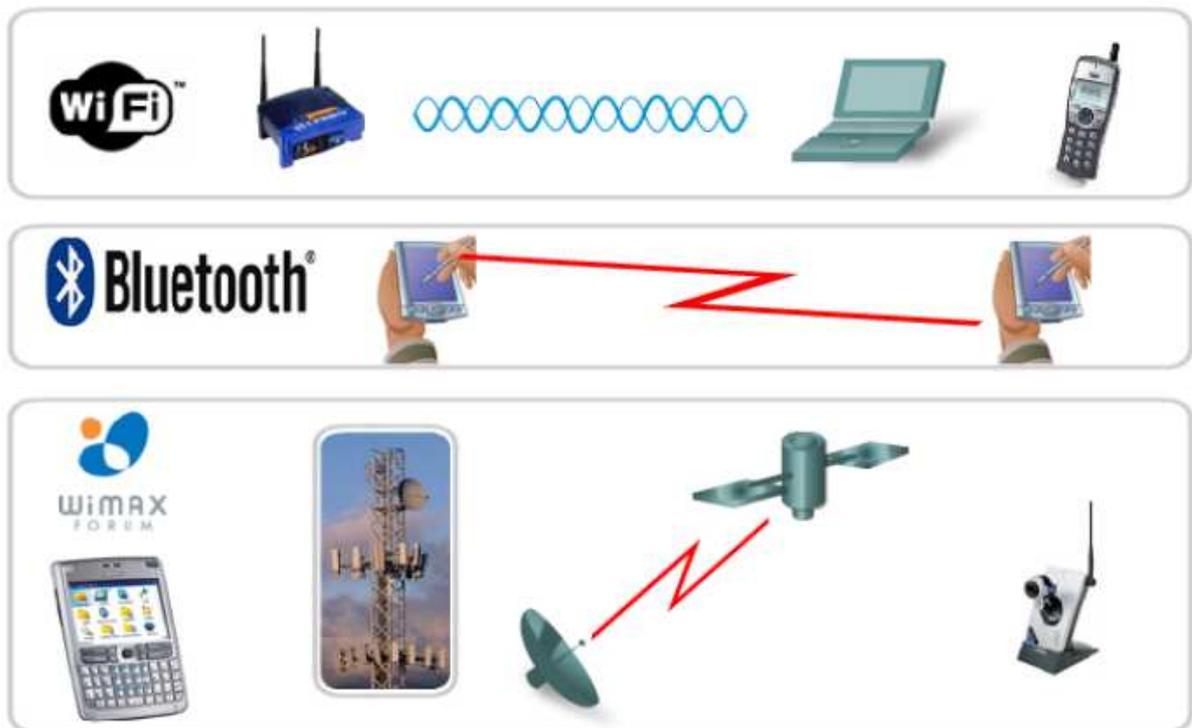


Figura # 2. 16 Tipos y estándares de medios inalámbricos

Fuente: CCNA *exploration* 4.0 Aspectos básicos de *Networking*

2.13.2. LAN inalámbrica

Una implementación común de transmisión inalámbrica de datos permite a los dispositivos conectarse en forma inalámbrica a través de una LAN. En general, una LAN inalámbrica requiere los siguientes dispositivos de red:

2.13.2.1. Punto de acceso inalámbrico (AP)

Concentra las señales inalámbricas de los usuarios y se conecta, generalmente a través de un cable de cobre, a la infraestructura de red existente basada en cobre, como Ethernet.

2.13.2.2. Adaptadores NIC inalámbricos

Proporcionan capacidad de comunicación inalámbrica a cada host de la red.

2.13.3. Estándares WLAN

A medida que la tecnología ha evolucionado, ha surgido una gran cantidad de estándares WLAN basados en Ethernet.

Se debe tener precaución al comprar dispositivos inalámbricos para garantizar compatibilidad e interoperabilidad.

Los estándares incluyen:

2.13.3.1. IEEE 802.11a

Opera en una banda de frecuencia de 5 GHz y ofrece velocidades de hasta 54 Mbps. Posee un área de cobertura menor y es menos efectivo al penetrar estructuras edilicias ya que opera en frecuencias superiores. Los dispositivos que operan conforme a este estándar no son interoperables con los estándares 802.11b y 802.11g descritos a continuación.

2.13.3.2. IEEE 802.11b

Opera en una banda de frecuencia de 2.4 GHz y ofrece velocidades de hasta 11 Mbps. Los dispositivos que implementan este estándar tienen un mayor alcance y pueden penetrar mejor las estructuras edilicias que los dispositivos basados en 802.11a.

2.13.3.3. IEEE 802.11g

Opera en una frecuencia de banda de 2.4 GHz y ofrece velocidades de hasta 54 Mbps. Por lo tanto, los dispositivos que implementan este estándar operan en la misma radiofrecuencia y tienen un alcance de hasta 802.11b pero con un ancho de banda de 802.11a.

2.13.3.4. IEEE 802.11n

El estándar IEEE 802.11n se encuentra actualmente en desarrollo. El estándar propuesto define la frecuencia de 2.4 Ghz o 5 GHz. La velocidad típica de transmisión de datos que se espera es de 100 Mbps a 210 Mbps con un alcance de distancia de hasta 70 metros.

Los beneficios de las tecnologías inalámbricas de comunicación de datos son evidentes, especialmente en cuanto al ahorro en el cableado costoso de las instalaciones y en la conveniencia de la movilidad del host. Sin embargo, los administradores de red necesitan desarrollar y aplicar procesos y políticas de seguridad rigurosas para proteger las LAN inalámbricas del daño y el acceso no autorizado.



Figura # 2. 17 Adaptadores y puntos de acceso en una WLAN

Fuente: CCNA *exploration* 4.0 Aspectos básicos de *Networking*

2.14. Normatividad

Para el enlace que se tiene propuesto, será necesario tener en consideración la ley que rige para Ecuador entorno a las telecomunicaciones, se hace referencia a la Ley Especial de Telecomunicaciones, Ley 184 Registro Oficial 996 de 10-ago-1992 con Última modificación: 13-oct-2011, estado actual de vigente, aprobado por el Congreso Nacional El plenario de las Comisiones Legislativas, en el cual se debe considerar los siguientes artículos:

2.14.1. Art. 1 Ámbito de la ley.

La presente Ley Especial de Telecomunicaciones tiene por objeto normar en el territorio nacional la instalación, operación, utilización y desarrollo de toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, imágenes, sonidos e información de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.

Los términos técnicos de telecomunicaciones no definidos en la presente Ley, serán utilizados con los significados establecidos por la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

2.14.2. Art. 2 Espectro Radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado.

2.14.3. Art. 3 Administración del Espectro

Las facultades de gestión, administración y control del espectro radioeléctrico comprenden, entre otras, las actividades de planificación y coordinación, la atribución del cuadro de frecuencias, la asignación y verificación de frecuencias, el

otorgamiento de autorizaciones para su utilización, la protección y defensa del espectro, la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas, la identificación, localización y eliminación de interferencias perjudiciales, el establecimiento de condiciones técnicas de equipos terminales y redes que utilicen en cualquier forma el espectro, la detección de infracciones, irregularidades como perturbaciones y la adopción de medidas tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro a restablecerlo en caso de perturbación o irregularidades.

2.14.4. Art. 5 Normalización y Homologación.

El Estado formulará, dictará y promulgará reglamentos de normalización de uso de frecuencias, explotación de servicios, industrialización de equipos y comercialización de servicios, en el área de telecomunicaciones, así como normas de homologación de equipos terminales y otros equipos que se considere conveniente acordes con los avances tecnológicos, que aseguren la interconexión entre las redes y el desarrollo armónico de los servicios de telecomunicaciones.

2.14.5. Art. 10 Intercomunicaciones Internas.

No será necesaria autorización alguna para el establecimiento o utilización de instalaciones destinadas a intercomunicaciones dentro de residencias, edificaciones e inmuebles públicos o privados, siempre que para el efecto no se intercepten o interfieran los sistemas de telecomunicaciones públicos.

Si lo hicieran, sus propietarios o usuarios estarán obligados a realizar, a su costo, las modificaciones necesarias para evitar dichas interferencias o interceptaciones, sin perjuicio de la aplicación de las sanciones previstas en esta Ley.

En todo caso, también estas instalaciones estarán sujetas a la regulación y control por parte del Estado.

2.14.6. Art. 11 Uso Prohibido.

Es prohibido usar los medios de telecomunicación contra la seguridad del Estado, el orden público, la moral y las buenas costumbres. La contravención a esta disposición será sancionada de conformidad con el Código Penal y más leyes pertinentes.

CAPITULO 3

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS EQUIPOS.

3.1. Equipos utilizados en la Implementación.

Los equipos usados para realizar las pruebas de traslado de información en el espectro radioeléctrico son de marca UBIQUITI, esta empresa está cerrando la brecha digital mediante la creación de plataformas de comunicación de red para todos y en todas partes, tal como lo indica su página web en <http://www.ubnt.com> , con más de 10 millones de dispositivos implementados en más de 180 países

3.1.1. Ubiquiti Nanostation Loco M5

Ubiquiti Nanostation Loco M5 cuenta con standard 150 Mbps de velocidad real al aire libre y hasta 5 km + gama. Con la tecnología MIMO 2x2, el nuevo *M Loco Station* trabaja bajo vínculos mucho más rápido y a más distancia.

Ubiquiti Nanostation loco M5, incorpora una nueva antena con ganancia de 13dBi, diseños de doble polaridad de 5GHz con aislamiento optimizado y cruz de polaridad de formas de factores compactos.

El Ubiquiti Nanostation loco M5 incorpora tecnología POE *Power Over Ethernet* que permite la transmisión de la electricidad y datos a través del cable UTP, hasta 100 metros de distancia, esto permite instalar estos equipos en sitios de difícil accesos y con la necesidad de estar conectados a una toma eléctrica como a la red de datos.

Las características adicionales de este equipo son las siguientes:

Procesador: Atheros MIPS 24KC, 400MHz

Memoria: 32MB SDRAM, 8MB Flash

Interface de Red: 1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface

Peso: 0.18kg

Tamaño: 163 x 31 x80

Máximo poder de consumo: 5.5 watts

Operación a intemperie: -30C a 80C

Operación sobre humedad: 5 a 95% de humedad

Fuente de alimentación: 110-240VAC 15VDC 0.8A US-styleplug

3.1.2. Aplicación para cálculo de enlace

Ubiquiti facilita un programa en línea en su página web llamado *outdoor wireless link calculator*, que ayuda a calcular los enlaces, esto permite determinar la distancia que este tendrá para las pruebas.

En este aplicativo se debe ingresar las coordenadas en decimales de ambos puntos en las cuales se colocaran las antenas, ingresar el modelo de la antena y en la frecuencia en que se va a trabajar y la potencia, el simulador calcula la factibilidad exhibiendo un gráfico en el cual se determina la zona de *Fresnel* (*distancia entre el emisor de una onda electromagnética y el receptor*), la cual no debe estar afectada y detalla los niveles de recepción en que estarán las antenas.

3.1.3. Computadora a utilizar

En ambos extremos donde estará colocado un equipo ubiquiti se instalará un computador, en el lado del centro de telecomunicaciones tenemos un computador portable, en el otro extremo instalaremos también un computador portable para probar los datos que estaremos enviando desde el centro de telecomunicaciones este puede ser la extensión del internet hacia el otro sitio y el traspaso de dato

como archivos, fotos o video a través de una configuración tipo punto a punto o *bridge*.

3.2. Esquema gráfico de conexión.

En la figura 4.1 se tiene un esquema básico de la instalación de los equipos, en él se puede observar la colocación de estos en dos puntos distantes con línea de vista, donde se utilizò en cada extremo de la red los Access Point un switch de cuatro puertos una computadora portable y un router, con sus respectivas identificaciones, utilizando diferentes direcciones Ip para cada punto en conexión, además se utilizó una vivienda alta para conectar en ese extremo una antena, mientras que en el otro extremo se utilizó una torre de una operadora telefónica de la ciudad.

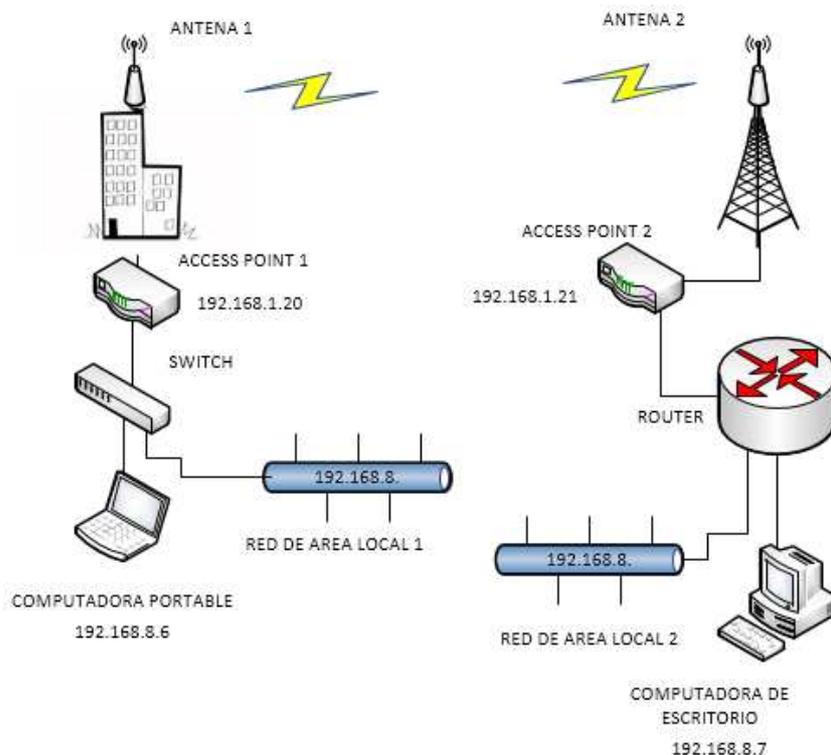


Figura # 4. 1 Esquema Gráfico de conexión de equipos

Fuente: Autor

CAPITULO 4

INSTALACIÓN DE EQUIPOS Y ANÁLISIS DE PRUEBAS DE ENVÍO Y RECEPCIÓN DE INFORMACIÓN A TRAVÉS DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO.

4.1. Configuración de Equipos.

4.1.1. Configuración del Ubiquiti Nanostation Loco M5 y de Adaptadores de red de los computadores.

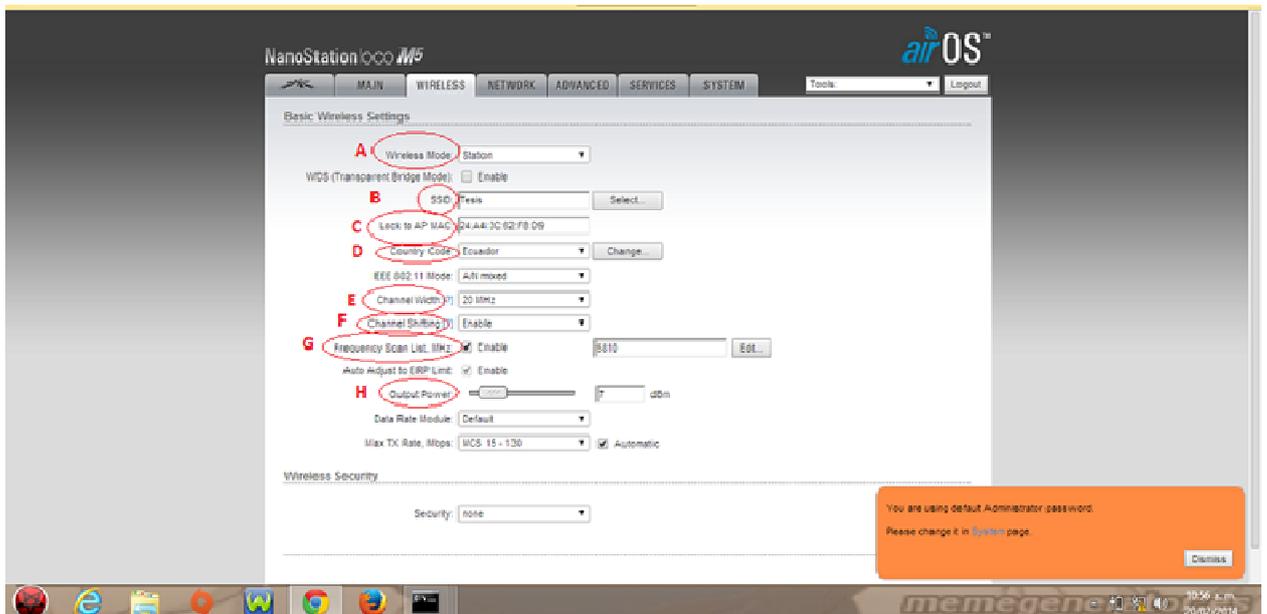


Figura # 4. 2 Configuración para un enlace punto a punto pestaña wireless

Fuente: Autor

Se configuraron los siguientes parámetros en la pestaña wireless:

- A. **Wireless Mode:** En el enlace una antena debe ser configurada como Station (Estación) y la otra como Access Point (punto de acceso).

- B. **SSID:** Es el nombre que se le asigna a una red, ambas antenas deben tener el mismo SSID para que puedan sincronizarse, caso contrario no podrían comunicarse.
- C. **Lockto AP Mac :** se debe colocar la MAC address del equipo remoto para que se puedan acoplar.
- D. **Country Code:** Se coloca el país en el que nos encontramos, eso determinara el rango de frecuencia que nos muestre.
- E. **Channel width:** se determina el ancho del canal que vamos utilizar, en este caso hemos usado 20 Mhz, se debe colocar el mismo canal en el sitio remoto.
- F. **Channel shifting:** aquí se debe colocar habilitado (enable) para habilitar el canal que viene configurado de fabrica (default) que aparece deshabilitado (disable).
- G. **Frequency Scan List Mhz:** aquí debemos colocar en habilitado (enable) para poder habilitar el listado de frecuencias existentes, se debe configurar la misma frecuencia en ambas antenas, en este caso hemos utilizado la frecuencia 5810, para efectos de prueba.
- H. **Output Power:** aquí se debe colocar la potencia de acuerdo a la distancia existente, en este caso colocamos 7 dBm.

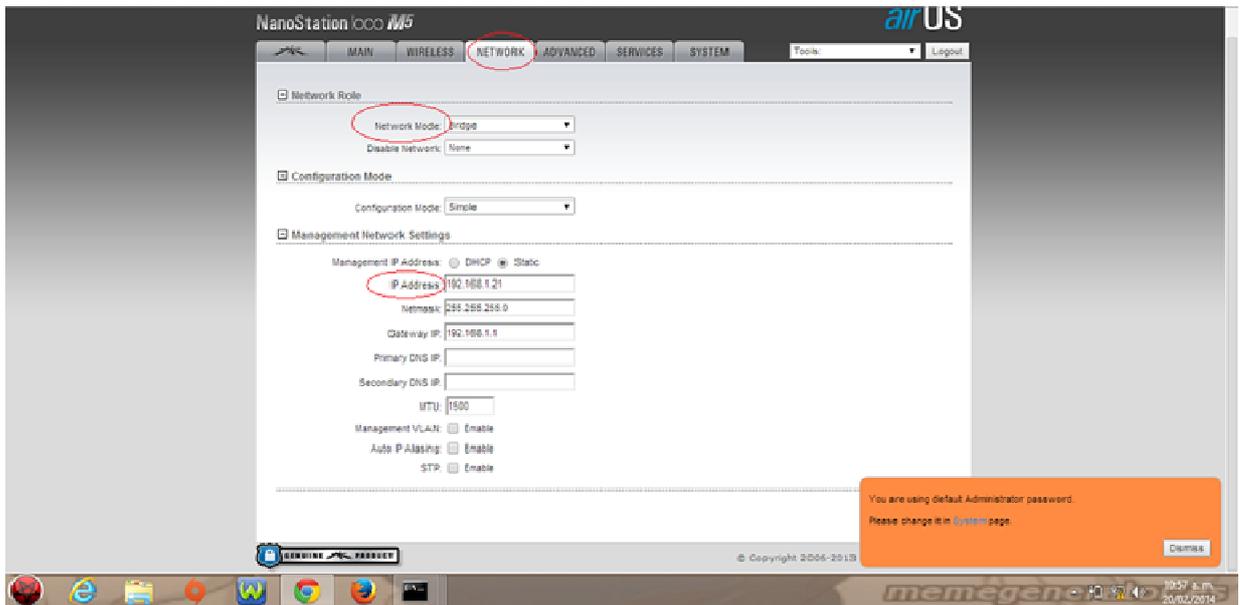


Figura # 4. 3 Configuración para un enlace punto a punto pestaña Network

Fuente: Autor

En la pestaña de *network* por default viene *network mode: bridge*.

La ip por defecto de fabrica (default) de cada equipo ubiquiti es: 192.168.1.20, esta ip nos permite administrar los equipos, por lo que se le debe cambiar la ip al equipo remoto a: 192.168.1.21

Una vez configurado el SSID, agregada la *MAC adres* del equipo remoto, asignado el canal, el rango de frecuencia en que vamos a trabajar y agregada la *Mac adres* del equipo remoto, las antenas deben sincronizarse.

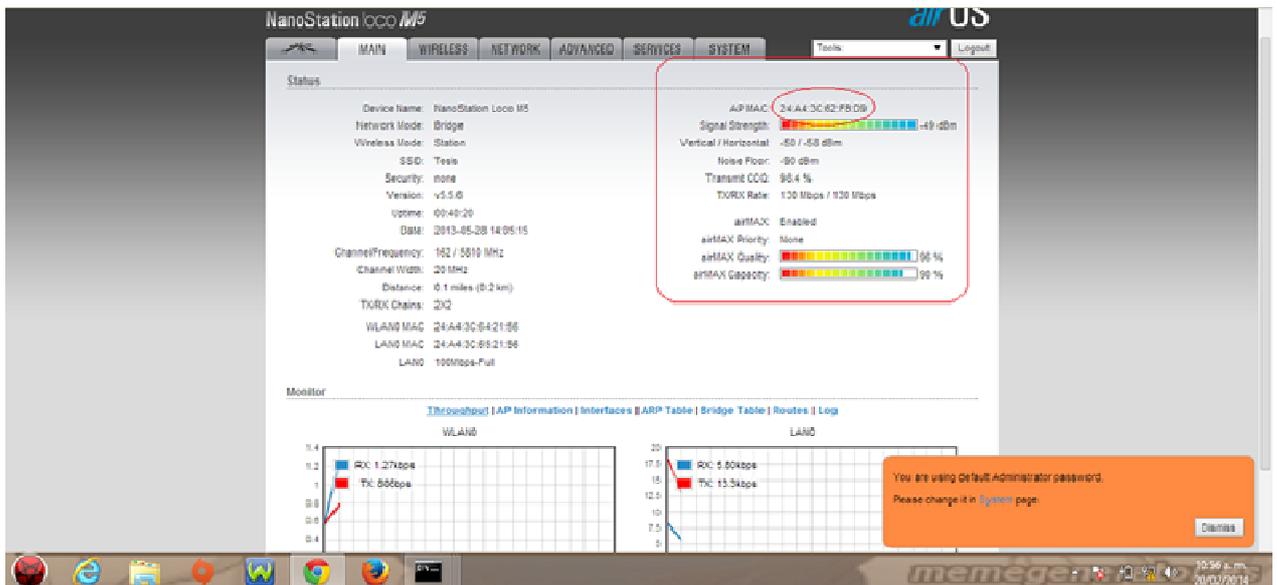


Figura # 4. 4 Prueba de sincronización de las antenas en el menú main

Fuente: Autor

Se puede observar las antenas sincronizadas, en el cuadro 4.4 se ve el nivel de señal y la *mac adrees* del equipo remoto.

4.1.2. Instalación de software Patch Loss 4.0

Se facilita la instalación en cada máquina el software PatchLoss 4.0, el cual nos permitirá realizar las factibilidades de enlaces de radio en los 23 Ghz y los 5.8 Ghz.

El programa carga todos los mapas del ecuador el cual permite realizar los cálculos, no solo muestra la zona de Fresnel sino también a realizar un site survey de manera completa, ingresando el metraje de cable que se va a utilizar, las perdidas en el cable, las ganancias de las antenas. A continuación se detalla en la figura 4.5 y 4.6 la función del patchloss 4.0, el cual será de una gran utilidad para que los estudiantes puedan comprobar cómo se hace un estudio de ingeniería en la vida real realizándolo de manera física y mediante el programa.

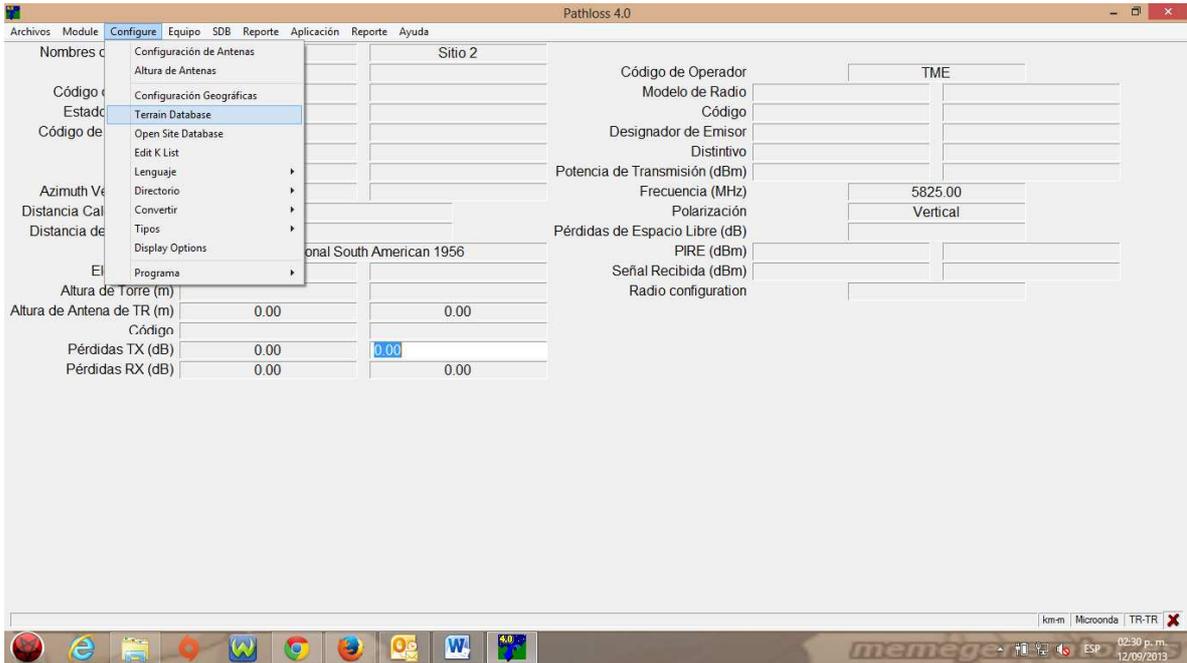


Figura # 4.5 Menú principal

Fuente: Autor

Configura el menú principal y se coloca en Terreno base de dato

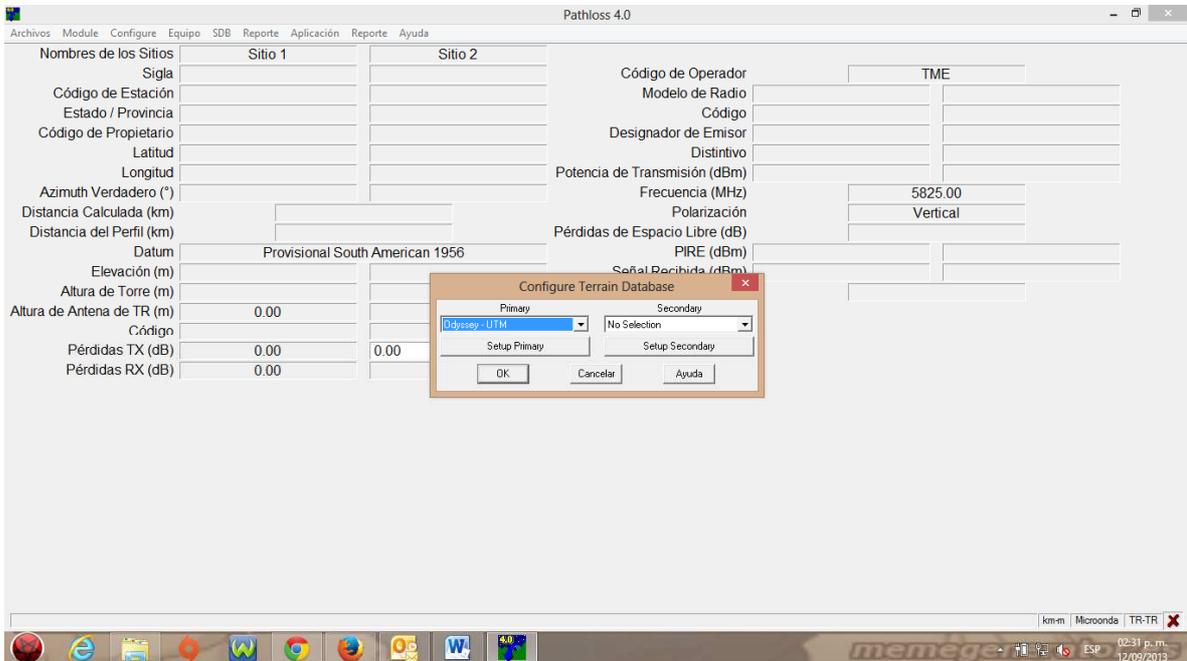


Figura # 4.6 Parámetros primarios y secundarios

Fuente: Autor

En las figuras 4.7 se observa la configuración de los parámetros primarios y secundarios, mientras que en la fig. 4.8, se ingresa a menú módulo luego tablas de cálculo.

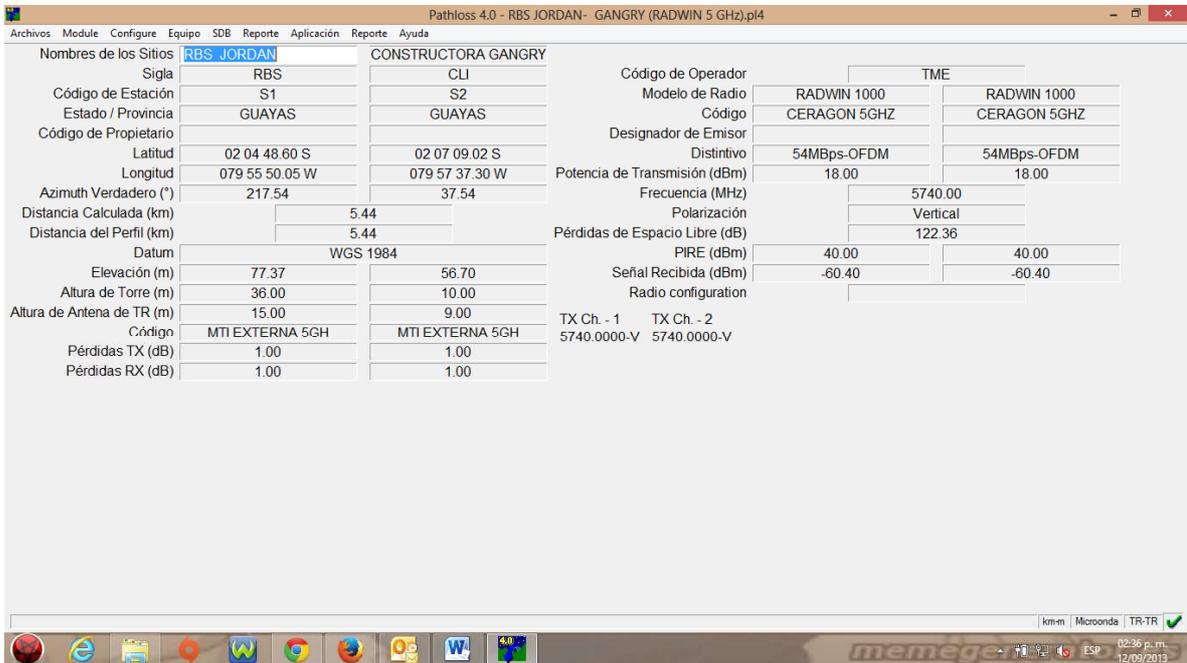


Figura # 4. 7 Resumen de los sitios configurados

Fuente: Autor

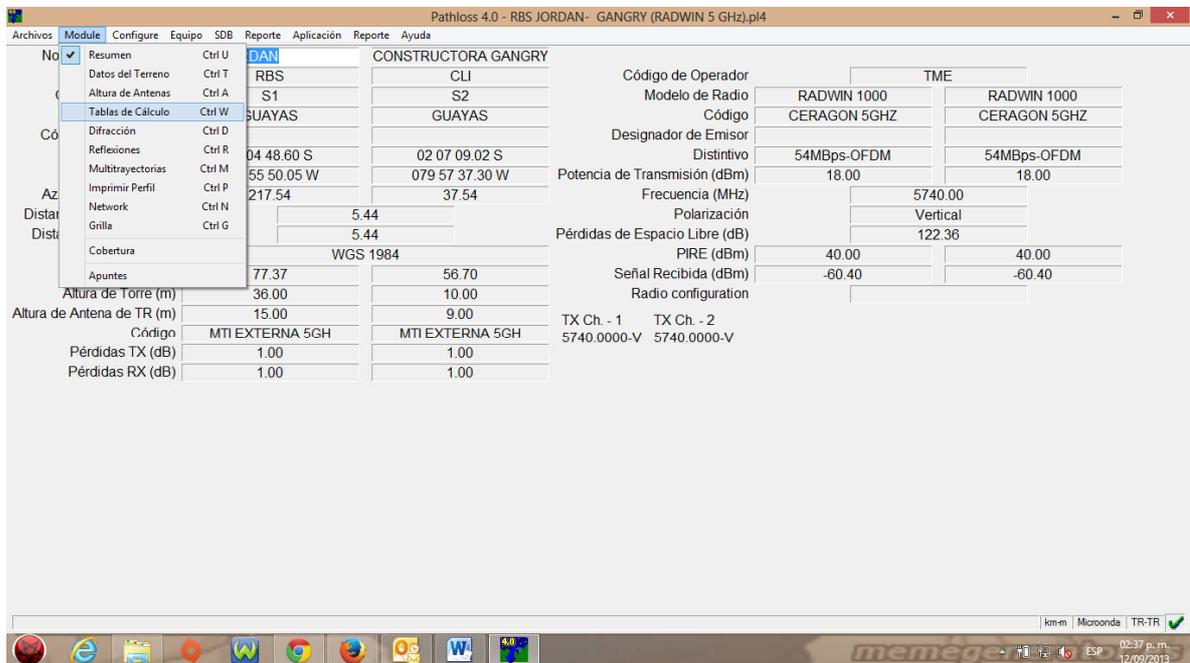


Figura # 4. 8 Menú Module

Fuente: Autor

En la figura 4.9, se observa el ingreso a tablas de cálculo en el menú Module, donde indica un resumen de los parámetros terrenal de las antenas, mientras que en la fig 4.10 se observa que en el menú reporte completo (full report) me muestra un informe completo de la conexión de las antenas.

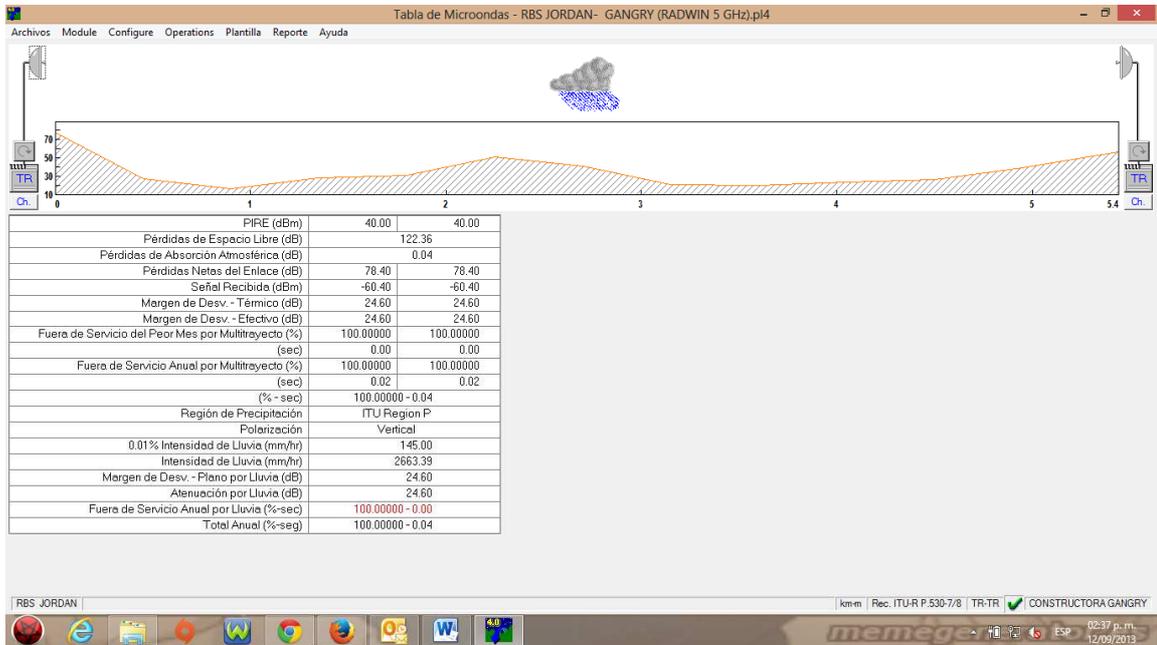


Figura # 4. 9 Parámetros terrenal de las antenas

Fuente: Autor

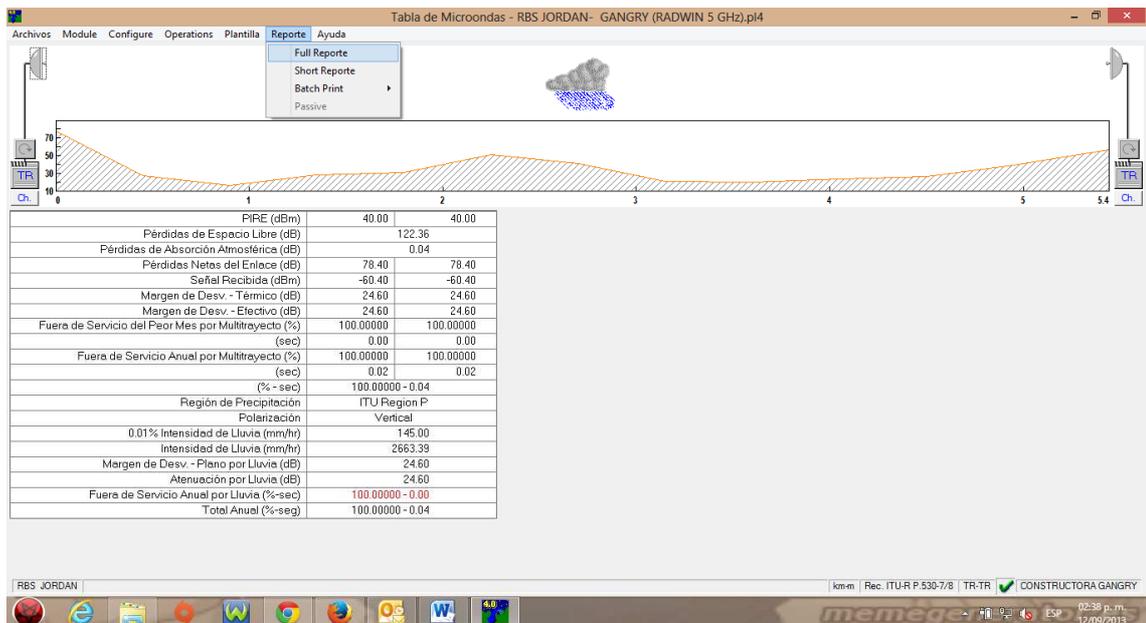


Figura # 4. 10 Reporte completo de la conexión de las antenas

Fuente: Autor

4.2. Medición y análisis de la información enviada por el espectro radioeléctrico.

4.2.1. Medición del ancho de banda en los puntos instalados análisis

En la figura 4.11 podemos indicar que el menú de configuración de los equipos Ubiquiti trae un apartado llamado tools o Herramientas la cual ayuda a obtener los datos relevantes como niveles de recepción en que se encuentra el enlace.

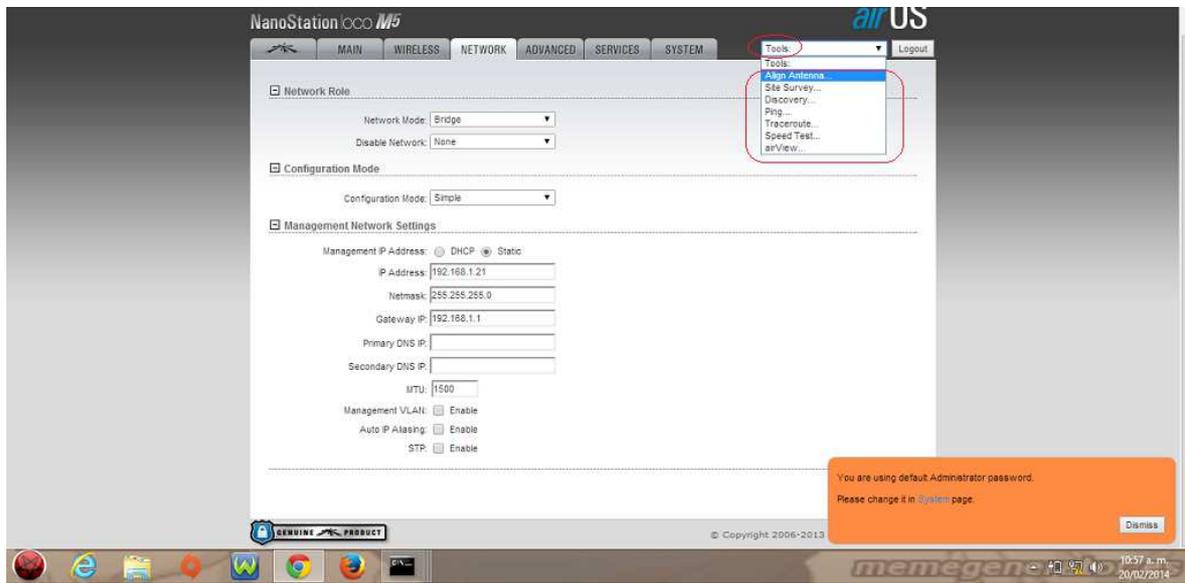


Figura # 4. 11 Herramienta Tools niveles de recepción

Fuente: autor

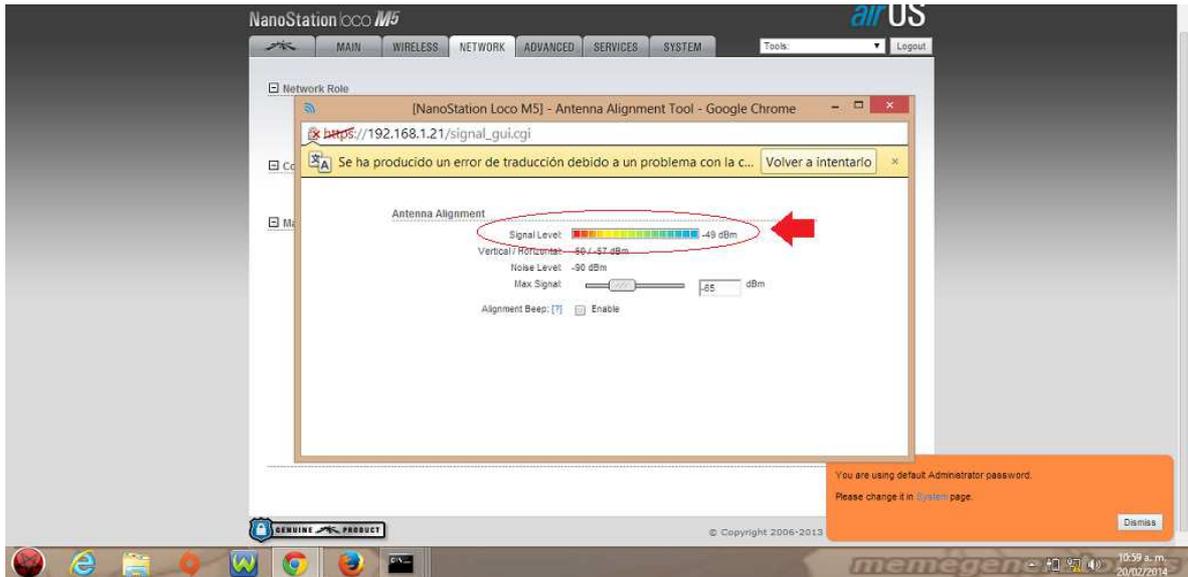


Figura # 4. 12 Nivel de recepción de los equipos

Fuente: Autor

Por lo que podemos apreciar en la figura 4.12 que los niveles son altos -49dBm, esto debido a la distancia existente, pero un enlace máximo debe estar en el lumbral de -65 o -70 dBm para tener un buen funcionamiento y evitar pérdidas.

Menu Site Survey Esta opción nos permite realizar un escaneo del sitio en busca de otros dispositivos ubiqutis, como podemos observar en la figura 4.13 y 4.14 solo nos muestra la mac adres de nuestro equipo remoto.

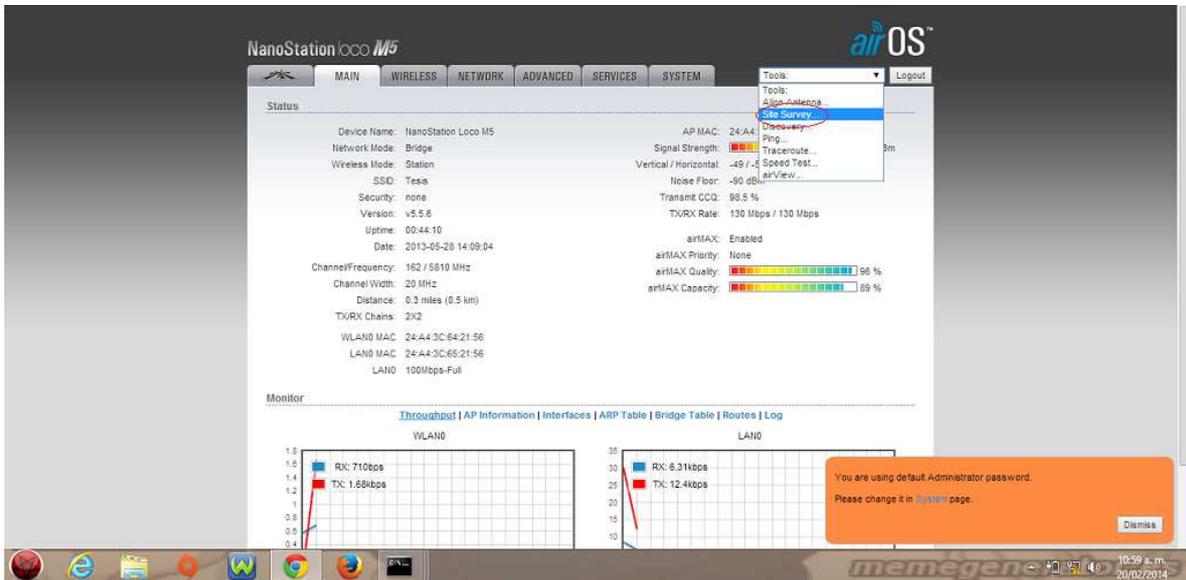


Figura # 4. 13 Menú Site Survey

Fuente: Autor

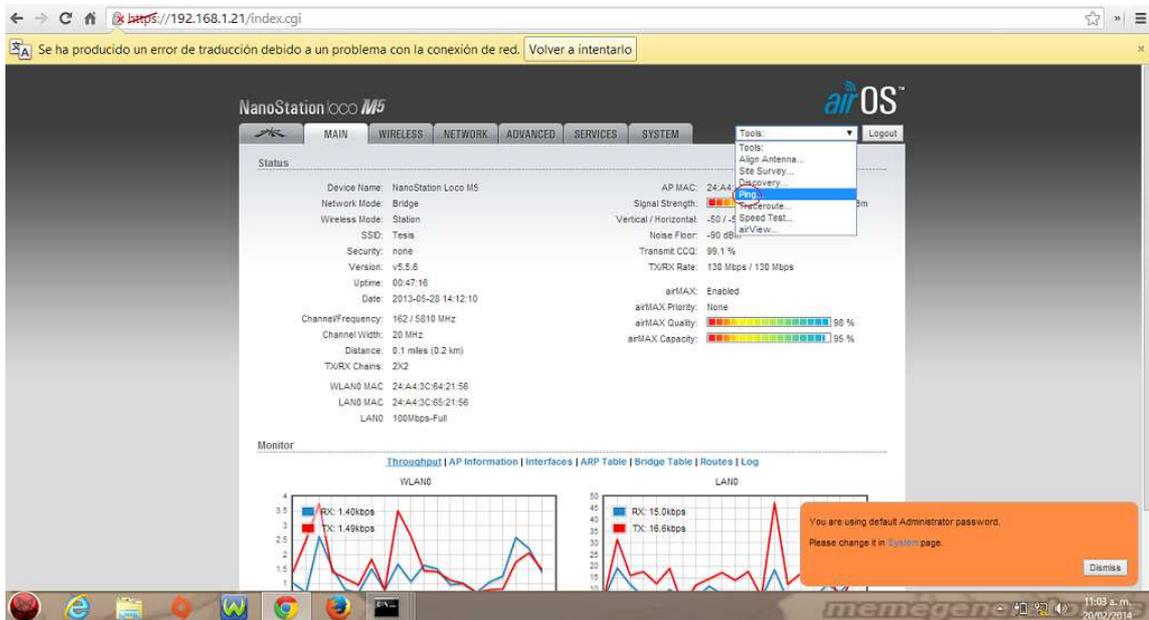


Figura # 4. 14 Scaneo de Sitio

Fuente: Autor

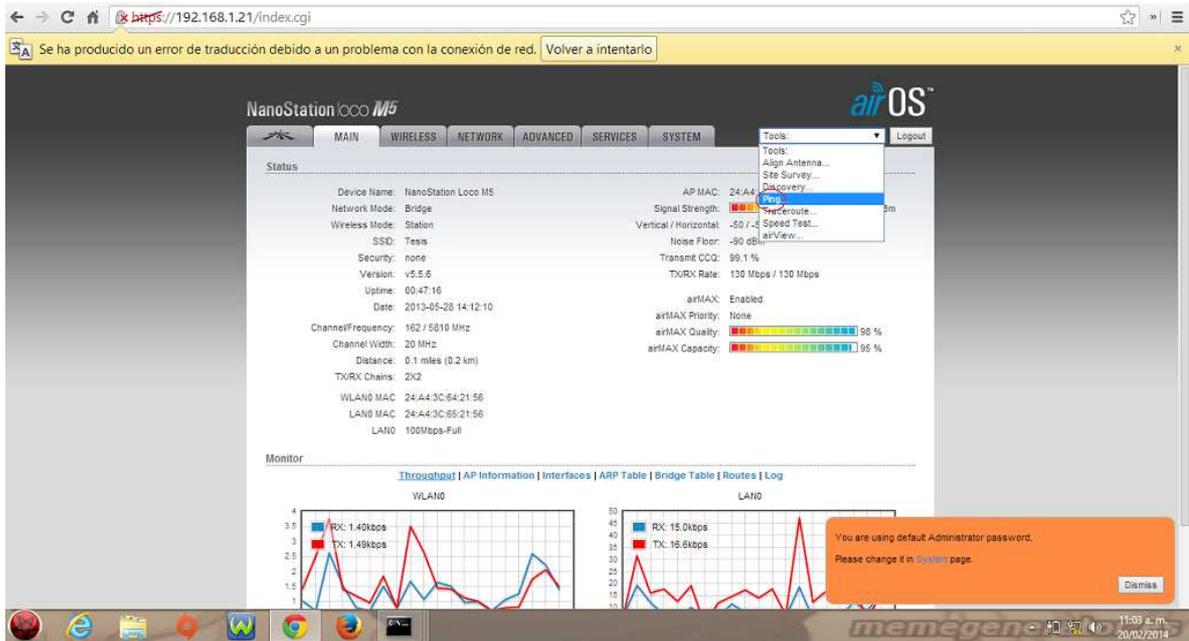


Figura # 4. 15 Opción Ping

Fuente: Autor

En la figura 4.15 nos muestra la opción de ping, esta nos permite realizar pruebas de respuesta de nuestro equipo remoto, se puede visualizar tiempos de respuesta y verificar si no existen perdidas de paquetes, tal como lo ilustra el gráfico 4.16

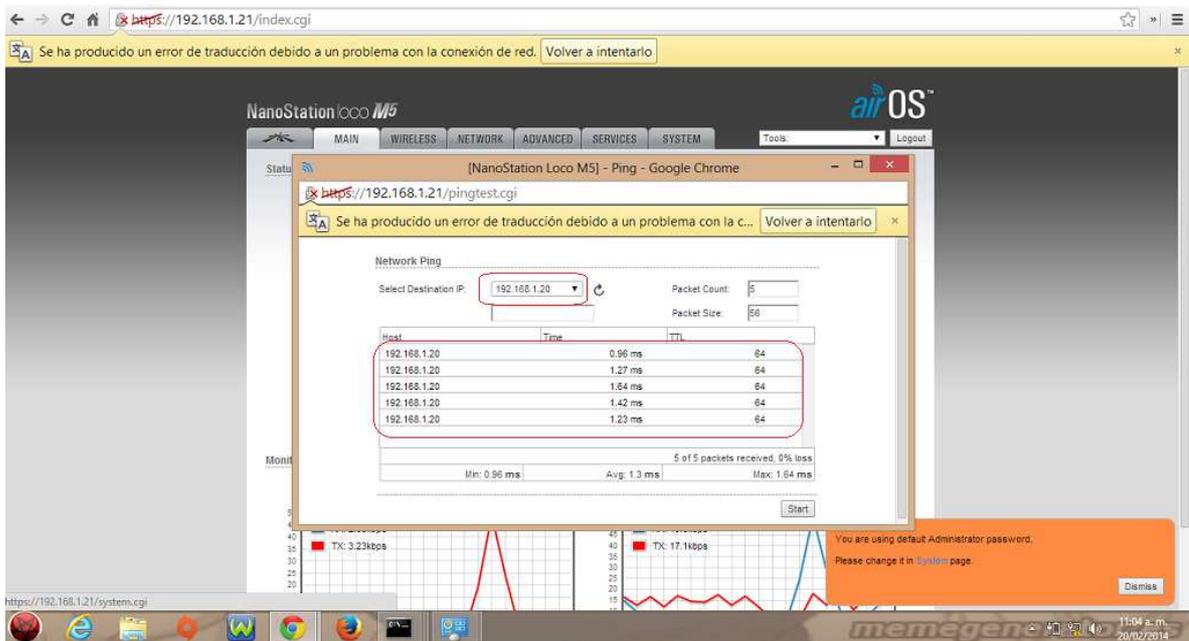


Figura # 4. 16 Repuesta desde el equipo remoto con la opción PING

Fuente: Autor

Saturación del enlace.

Para determinar que el enlace está operativo y en óptimas condiciones, realizaremos una prueba de saturación, se colocó una laptop en el sitio remoto asignándole una ip, configuración que se muestra en la fig 4.17, en otro rango de red distinto del administrativo. Para efectos de prueba se utilizó un saturador llamado WAN KILLER.

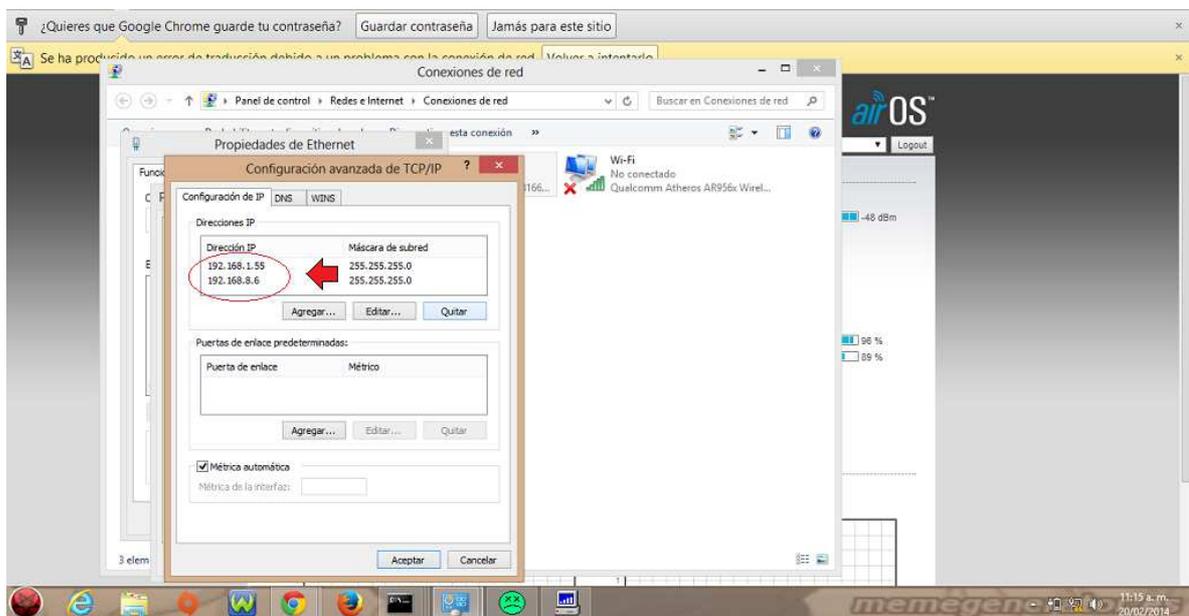


Figura # 4. 17 Pruebas de saturación de enlace

Fuente: Autor

Nos colocamos la ip 192.168.1.55 para tener gestión de los equipos ubiquiti, y la 192.168.8.6 para poder estar en red con la máquina que se encuentra en el sitio remoto la cual posee la ip 192.168.8.7., las respuestas fueron las mostradas en el gráfico 4.18, los tiempos de repuesta fueron de hasta un máximo de 3ms.

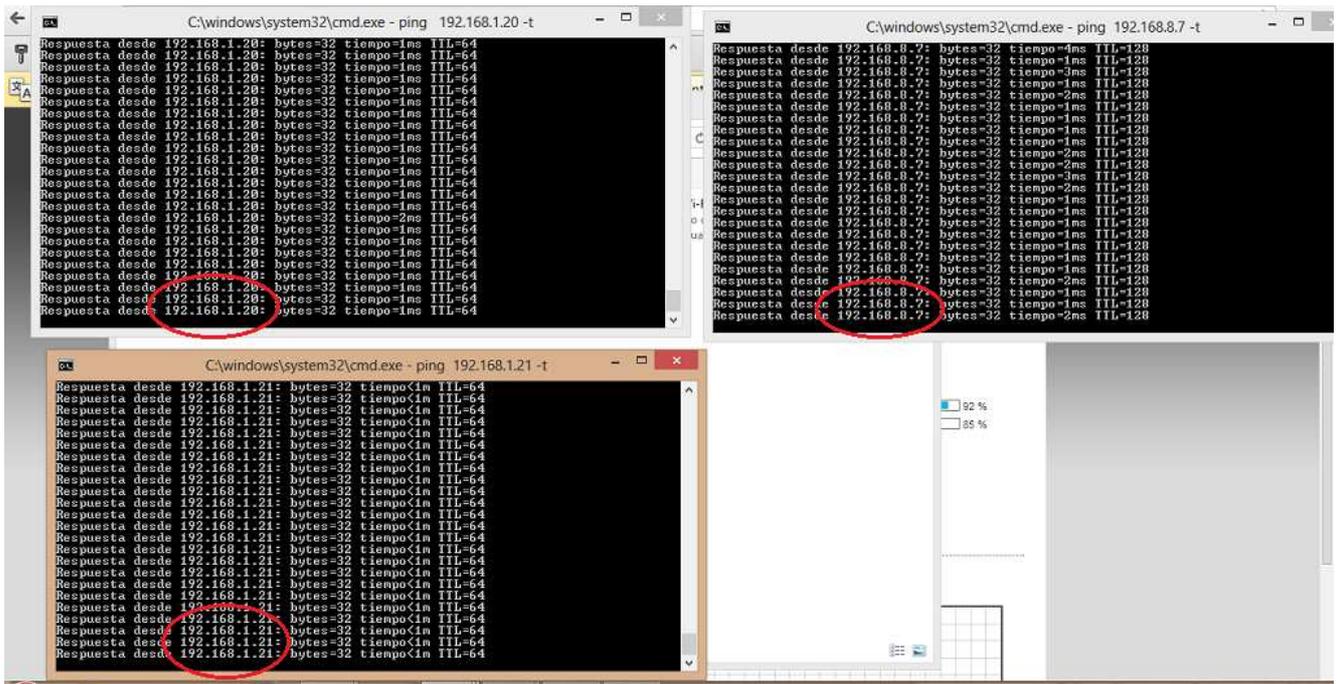


Figura # 4. 18 Pruebas de respuesta a cada equipo instalado.

Fuente: Autor

Configuramos el programa WAN KILLER que sirve para generar tráfico en la red ,con la ip de la laptop remota tal como lo muestra la figura 4.19 y con un ancho de banda de 2024kbps para efectos de prueba de saturación.

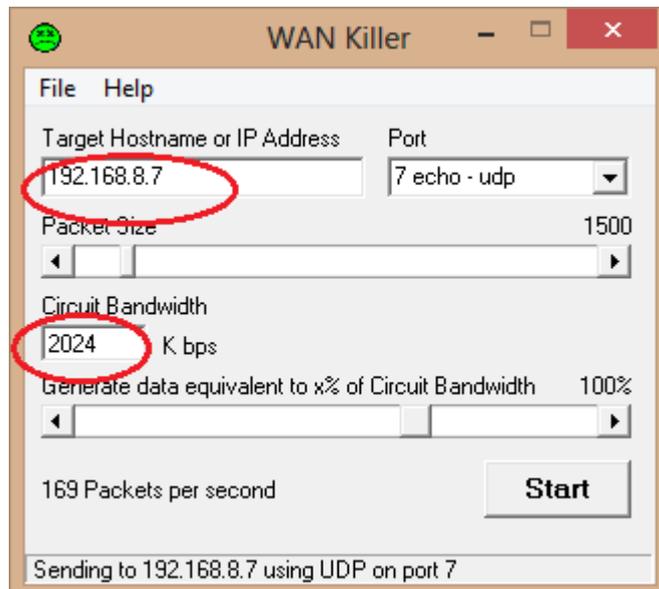


Figura # 4. 19 Programa para saturar la red

Fuente: Autor

Adicionalmente utilizamos el netpersec para visualizar el tráfico existente y podemos apreciar que obtenemos 2 Mbps de bajada y 2.1 Mbps de subida, no se presentan perdidas, tal como se observa en la fig. 4.20.

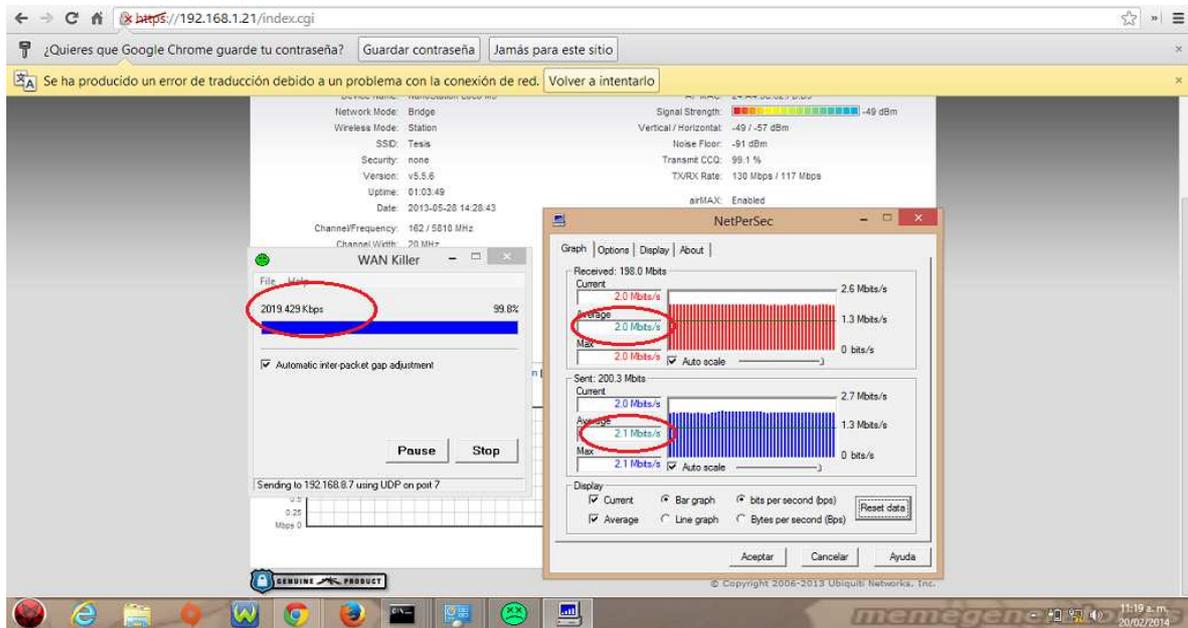


Figura # 4. 20 Visualizador de tráfico

Fuente: Autor

En la fig. 4.21 nos muestra que el software del equipo ubiquiti poseen un visualizador de rendimiento (Throughput) incorporados.

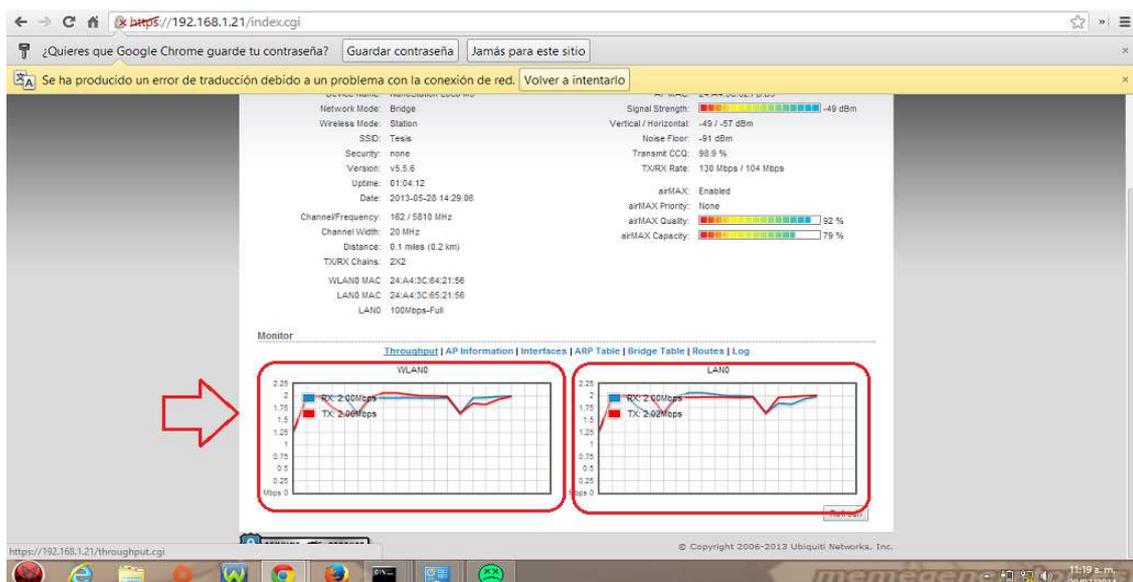


Figura # 4. 21 Visualizador de Throughput

Fuente: Autor

Una vez finalizado las pruebas con resultados satisfactorios en la figura 4.22 muestra como se procede a utilizar el AirView, esta herramienta es un analizador de espectro que se encuentra en el menú *tools*, el cual nos permite determinar la frecuencia más óptima que deberíamos utilizar, en el visualizador se determina por colores, los colores (amarillo, naranja, rojo) indica que esos canales están ocupados lo cual no sería recomendable configurarlo ya que podría causar interferencias y por consiguiente pérdida de paquetes.

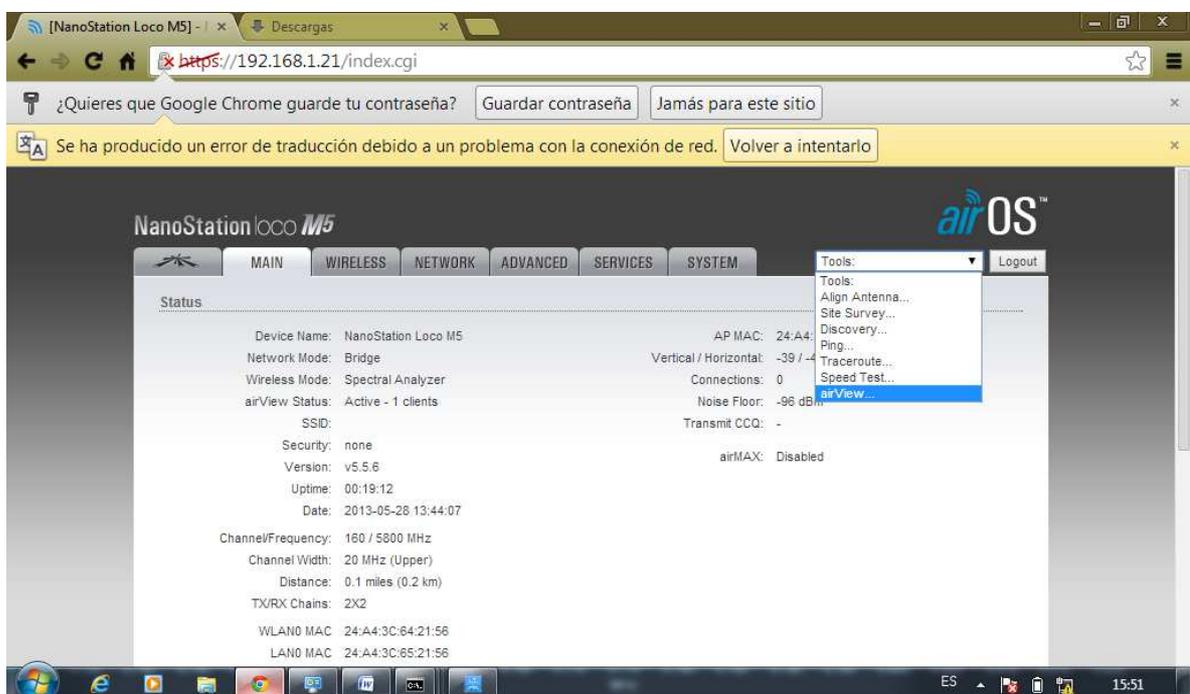


Figura # 4. 22 Herramienta AirView

Fuente: Autor

Se puede visualizar en el analizador de espectro de la fig.4.23, que la frecuencia que utilizamos (5810Mhz) para efecto de prueba se encuentra en colores cálidos lo cual indica que está saturada, esto con el tiempo podría generar pérdidas en nuestro enlace.

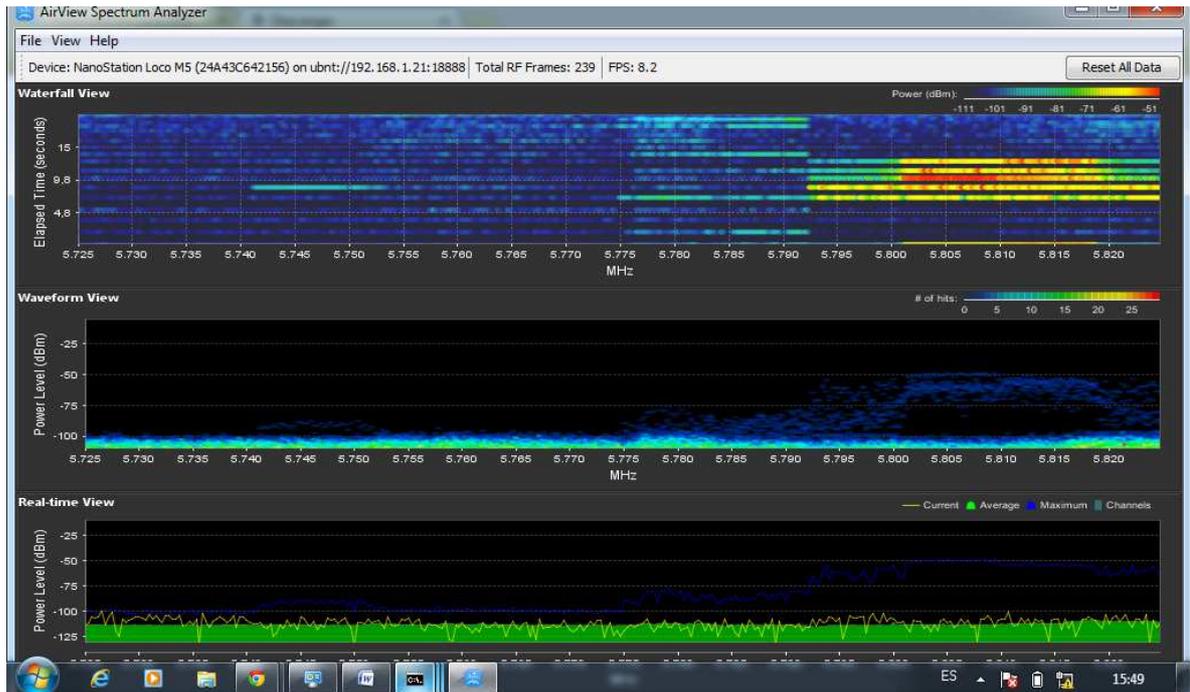


Figura # 4. 23 Analizador de espectro

Fuente: Autor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se puede concluir que los equipos Ubiquiti son una buena alternativa al momento de realizar un enlace de radio frecuencia, ya que incorporan en su programa de configuración herramientas que son muy útiles en el momento realizar proyectos de conexión de esta naturaleza.

Se puede concluir que a más distancia que tenga el enlace, menor serán los niveles de recepción obtenidos.

También se puede concluir que al momento de poner en funcionamiento el enlace este no interfirió con ningún otro cerca, esto significa que al no ser fuente de interferencia de otros enlaces, no es necesario tener permiso ni tampoco pagar por el uso del espectro utilizado, como lo indica la ley.

La implementación de antenas de microondas como tesis mejorara el aprendizaje de los alumnos, teniendo una mejor percepción de cómo funcionan los radio enlaces en la vida real, esto permitirá que nuestros ingenieros tengan a la mano un manual de consulta que les ayude a entender y comprender los fenómenos suscitados en enlaces de banda 23 Ghz y 5.8 Ghz permitiendo así tener una mayor competitividad en el área laboral.

Recomendaciones

Antes de asignar la frecuencia para un radio enlace se debe realizar un análisis del espectro para elegir la mejor frecuencia en ese lugar específico.

Es importante en lo posible tener línea de vista para la conexión de las antenas, caso contrario los niveles de recepción también serán pobres.

Es necesario y muy importante tener a la mano adicionalmente otras herramientas que ayuden a verificar el buen funcionamiento del enlace, el tráfico existente en la red y también las frecuencias que están en el aire en el lugar de conexión.

BIBLIOGRAFIA

Bates (Jr.), R. J. (2010). *Comunicaciones inalámbricas de banda ancha*. México: McGraw-Hill Interamericana .

Castro Lechtaler, A. R. (2013). *Comunicaciones: una introducción a las redes digitales de transmisión de datos y señales isócronas* . México: Alfaomega Grupo Editor .

Jáuregui Cantón, E. (2012). *Recepción y distribución de señales de radiodifusión*. España: IC Editorial .

José Manuel Huidobro, J. M. (2005). *Sistemas Telemáticos*. Madrid: Editorial Paraninfo.

López Badilla, G. V. (2009). *Análisis de señales eléctricas*. Argentina: El Cid Editor.

Montes Granada, W. F. (2009). *Sistema de adquisición de datos para la medición de parámetros Radioeléctricos en antenas lineales en la banda de TV de VHF y UHF*. Colombia : Red Ingeniería y Ciencia .

Moro Vallina, M. (2013). *Infraestructuras de redes de datos y sistemas de telefonía*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.

Ruben, K. (2005). *Introducción a las Telecomunicaciones*. Buenos Aires: Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

Sarmiento, J. (2012). *Principios de sistemas de comunicaciones*. Buenos Aires Argentina: Universitas .

ANEXOS



Figura # 4. 24 Equipos Ubiquiti

Fuente: Autor



Figura # 4. 25 Instalación del primer equipo

Fuente: Autor



Figura # 4. 26 Instalación del segundo equipo

Fuente: Autor



Figura # 4. 27 Configuración de equipos en estación

Fuente: Autor