



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

**Análisis de una red punto a multipunto con espectro ensanchado de 5ghz para proveer servicio de Internet al recinto Marcelino Maridueña**

**AUTOR:**

**PASTOR PONCE HERNÁN RAMIRO**

**Tesis previa a la obtención del Título de:  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**TUTOR:**

**M. Sc. NÉSTOR ZAMORA CEDEÑO**

**Guayaquil, Ecuador**

**2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Hernán Ramiro Pastor Ponce**, como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

**TUTOR**

---

**M.Sc. NÉSTOR ZAMORA CEDEÑO**

**DIRECTOR DE CARRERA**

---

**M. Sc. MIGUEL ARMANDO HERAS SÁNCHEZ**

**Guayaquil, a los 10 del mes de Septiembre del año 2015**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Hernán Ramiro Pastor Ponce**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación **“Análisis de una red punto a multipunto con espectro ensanchado de 5ghz para proveer servicio de Internet al recinto Marcelino Maridueña”**, previa a la obtención del **Título de Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado 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 total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 10 del mes de Septiembre del año 2015**

**EL AUTOR**

---

**HERNÁN RAMIRO PASTOR PONCE**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Hernán Ramiro Pastor Ponce**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **“Análisis de una red punto a multipunto con espectro ensanchado de 5ghz para proveer servicio de Internet al recinto Marcelino Maridueña”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 10 del mes de Septiembre del año 2015

EL AUTOR

---

HERNÁN RAMIRO PASTOR PONCE

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco con todo mi corazón a mis padres, Ing. Hernán Pástor y Mariana Ponce, por el aguante desde mi nacimiento, a mi hermana Mariana Pástor por el apoyo, a mis tías Graciela Ponce y Teresa Romero por todo lo que hacen por mi, a mi tío el Ab. Alcivar Olmedo por siempre estar cuando lo necesito, y al Ing. Néstor Zamora por el apoyo brindado para la realización de esta tesis.

Hernán Pástor

## DEDICATORIA

Esto va dedicado a mis padres Hernán y Mariana, por haberme dado la vida y darme la educación para convertirme en un profesional, a mi hermana Mariana Pástor porque también sin ella no lo hubiera logrado, a mis tías Graciela y Teresa por siempre brindarme acogida y apoyo en todo lo que he requerido, ellas son mis otras 2 madres y a mi tío el Ab. Alcivar Olmedo que siempre esta ahí para lo que necesite.

También debo agradecer a la música, sin ella no habría podido sobrellevar tiempos en los que tuve problemas y quise rendirme, la música siempre me llena de alegría, la música es vida.

“Recuerda porque viniste y porque estas vivo”

Brandon Boyd- Incubus

Hernán Pástor

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
CAPÍTULO I	
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 TÍTULO .....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3 OBJETIVOS .....	1
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.4 HIPÓTESIS .....	2
CAPÍTULO II	
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE RADIOENLACE.....	3
2.1 DEFINICIÓN DE RADIOENLACE .....	3
2.2 TOPOLOGÍA DE RADIOENLACE .....	3
2.2.1 Punto a punto .....	4
2.2.1.1 Características .....	5
2.2.1.2 Ventajas .....	6
2.2.1.3 Desventajas.....	6
2.2.2 Punto - multipunto .....	7
2.2.2.1 Características.....	8
2.2.2.2 Ventajas.....	9
2.2.2.3 Desventajas.....	9
2.2.3 Multipunto a multipunto.....	9
2.2.3.1 Características.....	10
2.2.3.2 Ventajas.....	10

2.2.3.3 Desventajas .....	11
2.3 CAPACIDAD DE RADIOENLACES.....	11
2.4 PLANIFICACIÓN DE RADIOENLACES .....	12
2.4.1 Objetivo de la planificación de radioenlace.....	13
2.4.2 Estructura.....	13
2.4.3 Terminales .....	14
2.4.4 Repetidoras.....	14
2.4.5 Cálculo de presupuesto.....	14
2.5 TECNOLOGÍAS DE ENLACE .....	15
2.5.1 Radioenlaces por microondas.....	15
2.5.1.1 Ventajas.....	16
2.5.1.2 Desventajas .....	16
2.5.2 Radioenlaces por espectro ensanchado .....	17
2.5.2.1 Características.....	18
2.5.2.2 Ventajas.....	19
2.5.2.3 Desventajas.....	19
2.6 MODELO DE PROPAGACIÓN .....	20
2.6.1 Modelo de propagación con línea de vista - LOS.....	20
2.6.2 Modelo de propagación sin línea de vista - NLOS .....	21
2.6.3 Ventajas de la propagación NLOS respecto a LOS .....	21
2.7 TRAYECTORIA DE UNA SEÑAL DE RADIO .....	21
2.7.1 Ondas de tierra o de superficie .....	22
2.7.2 Ondas de cielo.....	22
2.7.3 Ondas directas o de espacio .....	23
2.8 REPETIDORAS.....	24
2.9 REDES INALÁMBRICAS WLAN .....	26
2.9.1 Estándares .....	27
2.10WIMAX.....	29
2.10.1 Características técnicas de Wimax .....	30
2.10.2 Estándares Wimax.....	31
2.11WIMAX FORUM.....	34
2.12APLICACIONES WIMAX.....	34
2.12.1 Celular backhaul .....	35
2.12.2 Empresas pequeñas y medianas .....	35
2.12.3 Redes de educación .....	35
2.12.4 Redes de bancarias.....	36
2.12.5 Redes de seguridad pública.....	36
2.13ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA .....	36
2.13.1 Espectro sin licencia.....	37
2.13.2 Plan Nacional de Frecuencia .....	38
2.14ZONA FRESNEL.....	39
2.15ANTENAS .....	44
2.15.1 Clasificación de las antenas.....	47
2.15.1.1 Clasificación según la geometría .....	47
2.15.1.2 Clasificación según su comportamiento .....	51
2.15.2 Tipos de antenas .....	52
2.15.2.1 Antena omnidireccional .....	52
2.15.2.2 Antena direccional .....	53
2.15.3 Parámetros fundamentales de las antenas .....	53
2.15.4 Antenas elementales .....	56



### CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA UTILIZADA .....	62
3.1 ALCANCE .....	59
3.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	59
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	60
3.4 EQUIPOS UTILIZADOS.....	60
3.4.1 <i>Ubiquiti Nanostation M5</i> .....	61
3.4.1.1 Aplicación para cálculo de enlace.....	64
3.4.2 Terminales PC para monitoreo y visualización del espectro RF.....	65
3.5 ESQUEMA BÁSICO DE RADIOENLACE PUNTO A MULTIPUNTO ....	65

### CAPÍTULO IV

4. DISEÑO, PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LA RED PROPUESTA PARA MARCELINO MARIDUEÑA .....	66
4.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO DE INTERNET EN EL RECINTO MARCELINO MARIDUEÑA .....	66
4.1.1 Configuración de equipos <i>Ubiquiti Nanostation M5</i> y computadores para análisis de espectro.....	67
4.2 DISEÑO DE RED INALÁMBRICA PARA EL RECINTO MARCELINO MARIDUEÑA.....	73
4.2.1 Diseño de red inalámbrica propuesta.....	73
4.3 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA SEÑAL ENVIADA POR EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....	76
4.3.1 Monitoreo del espectro en la banda de 5 GHz.....	76
4.3.2 Análisis de la medición del espectro en los puntos establecidos	78
4. CONCLUSIONES .....	64
5. RECOMENDACIONES .....	66
6. BIBLIOGRAFÍA.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Aplicación de transmisión de requerimientos que se realizan en la red por los usuarios .....	13
Tabla N° 2. Evolución de estándares Wimax .....	33
Tabla N° 3. Radio de frecuencias del espectro de radiofrecuencias.....	37
Tabla N° 4. Cálculo de la primera zona de Fresnel para casos críticos.....	44
Tabla N° 5. Ubicación De los equipos <i>NanoStation M5</i> .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Radioenlace .....	3
<b>Figura 2.</b> Enlace punto a punto .....	5
<b>Figura 3.</b> Enlace punto - multipunto .....	7
<b>Figura 4.</b> Enlace multipunto a multipunto .....	10
<b>Figura 5.</b> Espectro de frecuencia electromagnética.....	18
<b>Figura 6.</b> Zona Fresnel.....	40
<b>Figura 7.</b> Teoría de Huygens y Fresnel .....	41
<b>Figura 8.</b> Despejamiento del 60% de la zona de Fresnel .....	43
<b>Figura 9.</b> Campo magnético formado por una corriente en un conductor ....	45
<b>Figura 10.</b> Efecto de la corriente entregada por un transmisor a una antena	46
<b>Figura 11.</b> Campos existentes en una antena .....	46
<b>Figura 12.</b> Antenas de hilo .....	48
<b>Figura 13.</b> Configuración de las antenas de apertura.....	48
<b>Figura 14.</b> Configuración típica de reflectores .....	49
<b>Figura 15.</b> Típicas configuraciones de antenas de lente .....	50
<b>Figura 16.</b> Configuración y apertura de array .....	50
<b>Figura 17.</b> Las antenas de los satélites tienen amplios anchos de banda ...	51
<b>Figura 18.</b> Dr. Yagi y su antena.....	58
<b>Figura 19.</b> Equipo <i>NanoStation M5</i> .....	61
<b>Figura 20.</b> Vista posterior de <i>NanoStation M5</i> .....	62
<b>Figura 21.</b> Especificaciones técnicas de <i>NanoStation M5</i> .....	62
<b>Figura 22.</b> Pantalla del <i>airOs</i> .....	63
<b>Figura 23.</b> <i>Waterfall View-Waveform View-Real Time View</i> .....	64
<b>Figura 24.</b> Red punto a multipunto .....	65
<b>Figura 25.</b> Configuración de propiedades IP de laptop.....	67
<b>Figura 26.</b> Ping de laptop a <i>NanoStation M5</i> .....	68
<b>Figura 27.</b> Pantalla inicial al conectarse a la dirección IP del <i>NanoStation M5</i> .....	68
<b>Figura 28.</b> Pantalla <i>airOs</i> para configuración <i>NanoStation M5</i> .....	69
<b>Figura 29.</b> Pantalla <i>airOs</i> mostrando opción <i>Tools</i> .....	69

<b>Figura 30.</b>	Pantalla <i>airOs</i> mostrando transmisión y recepción .....	70
<b>Figura 31.</b>	Pantalla abriendo el <i>airView</i> .....	70
<b>Figura 32.</b>	Pantalla Preferencias <i>airView</i> .....	71
<b>Figura 33.</b>	Pantalla de configuración de frecuencia de operación .....	71
<b>Figura 34.</b>	Configuración para un enlace punto a punto, pestaña <i>wireless</i> .....	72
<b>Figura 35.</b>	Configuración para un enlace punto a punto, pestaña <i>network</i> .....	73
<b>Figura 36.</b>	Torre de 90 m ubicada en San Carlos.....	75
<b>Figura 37.</b>	Red punto – multipunto propuesta .....	75
<b>Figura 38.</b>	Ubicación sectorial de la red propuesta.....	76
<b>Figura 39.</b>	<i>List box</i> de herramientas .....	78
<b>Figura 40.</b>	Nivel de recepción de los equipos.....	78
<b>Figura 41.</b>	Menú <i>Site Survey</i> para sondeo de sitio .....	79
<b>Figura 42.</b>	Herramienta <i>Ping</i> .....	79
<b>Figura 43.</b>	Respuesta del <i>Ping</i> desde el equipo remoto .....	80
<b>Figura 44.</b>	Análisis de saturación de enlace .....	80
<b>Figura 45.</b>	Análisis de respuesta de cada equipo .....	81
<b>Figura 46.</b>	Prueba de saturación .....	81
<b>Figura 47.</b>	Visualizador de tráfico.....	82
<b>Figura 48.</b>	Visualizador de rendimiento .....	82
<b>Figura 49.</b>	Herramienta <i>AirView</i> .....	83
<b>Figura 49.</b>	Espectro de prueba.....	83

## **RESUMEN**

El propósito de esta tesis, en la cual la investigación de campo se realizó en el recinto Marcelino Maridueña es para darle opciones a la gente que desea acceder al servicio de internet de una manera más eficiente y rápida, que esto no implique que deban pagar altas cantidades de dinero, ya que todos tenemos derecho al acceso de la información, sin necesidad de que ésta se convierta en lujo, sea cual sea el medio de transmisión. El medio de transmisión por Radioenlace normalmente es caro, se realiza este análisis en el cual se utilizan equipos de última tecnología y lo más importante, tienen bajo costo y son fáciles de implementar.

**Palabras Claves:** Radioenlace, Costo, Implementación, Eficiencia, Rapidez, Transmisión.

## **ABSTRACT**

The purpose of the work, carries a field investigation that was realized in Marcelino Maridueña, is to give people of the community that want and need another options to access to the internet in an efficient and fast way, without paying a large amount of money, because we all have the right to access of the information, without the need that the access becomes a luxury whatever the transmission access will be. Radio, that is the transmission access, normally is expensive, but this investigation is for the reason that this

equipment has great and advanced technology, easy implementation and the most important thing, is cheap.

**Keywords:** Radio, Money, Implementation, Efficiency, Fast, Transmission.

# **CAPÍTULO I**

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. TÍTULO**

Análisis de una red punto a multipunto con espectro ensanchado de 5ghz para proveer servicio de Internet al recinto rural Marcelino Maridueña.

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Deficiencia del servicio de internet que llega a través de red de cobre por el único proveedor, aunque es accesible económicamente, es necesario una propuesta de un diseño de red por medio de radioenlace que brinde servicios inalámbricos óptimos y eficientes para dar el servicio de manera masiva y asequible.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Analizar el diseño de una red punto a multipunto por radioenlace y los beneficios que se pueden lograr para proveer el servicio de internet al recinto rural Marcelino Maridueña con equipos de radioenlace *Ubiquiti* que trabajen en 5ghz y dar una propuesta para que otro proveedor brinde un servicio de Internet por radioenlace óptimo y asequible a todo el recinto.



### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Aplicar tecnología de radioenlace en frecuencia 5ghz para realizar un enlace punto a multipunto en la zona rural Marcelino Maridueña.
- Proponer el diseño de una red de radioenlace para que se implemente y se provea de un servicio óptimo de Internet.
- Analizar el factor costo-beneficio de dar servicio masivo por medio de radioenlace en la zona rural Marcelino Maridueña.
- Comparar los beneficios y ventajas de la red de radioenlace propuesta en contraste con el servicio por medio de ADSL existente.
- Analizar el nivel de ruido e interferencia del espectro de frecuencia a utilizar en la red propuesta.

### **1.4. HIPÓTESIS**

La tecnología de equipos de radioenlace en 5GHz hará que mejore el servicio de internet del recinto.

La problemática a resolver es aplicar tecnología de radioenlace en un sector rural donde normalmente no llegan servicios de internet, y los que llegan son deficientes, por lo cual el diseño de un punto a multipunto resolvería la deficiencia y daría mayor apertura para clientes que se encuentran aledaños y reciban el servicio de manera masiva.

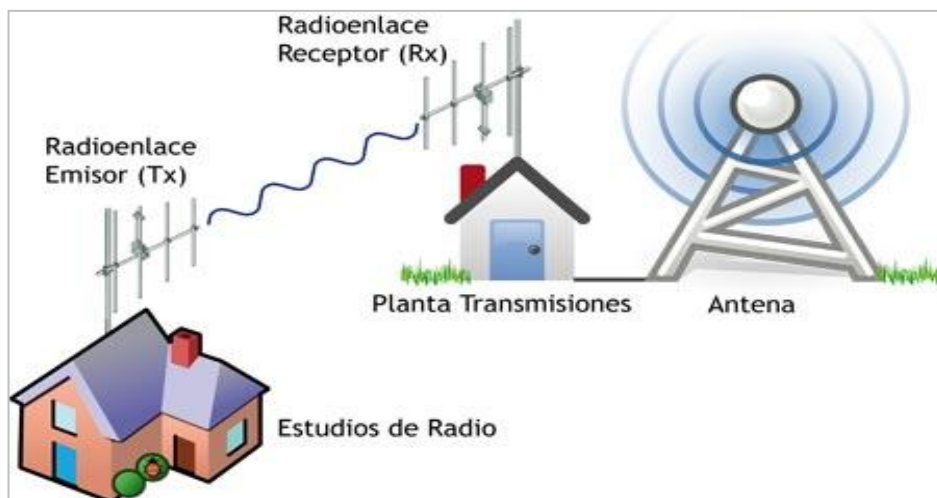
## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE RADIOENLACE

#### 2.1. DEFINICIÓN DE RADIOENLACE

Debemos entender primero que significa un radioenlace el cual se puede definir que es una conexión entre diferentes terminales de telecomunicaciones usando ondas electromagnéticas, proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas.

Existen varios tipos de radioenlace que se pueden aplicar dependiendo de cómo uno visualiza realizar la topología de red.



**Figura 1.**Radioenlace

**Fuente:**<http://www.analfatecnicos.net/pregunta.php?id=24>

#### 2.2. TOPOLOGÍA DE RADIOENLACE

Para poder realizar un radioenlace se debe tener en cuenta que existen varios tipos, es decir, la topología de la comunicación que se aplica, ésta se clasifica en:

- Punto a Punto (**PTP:***Point to Point*)
- Punto a Multipunto (**PTM:** *Point to multipoint*)
- Punto Multipunto-Multipunto (**MTM:***Multipoint to multipoint*)

### 2.2.1. Punto a punto.

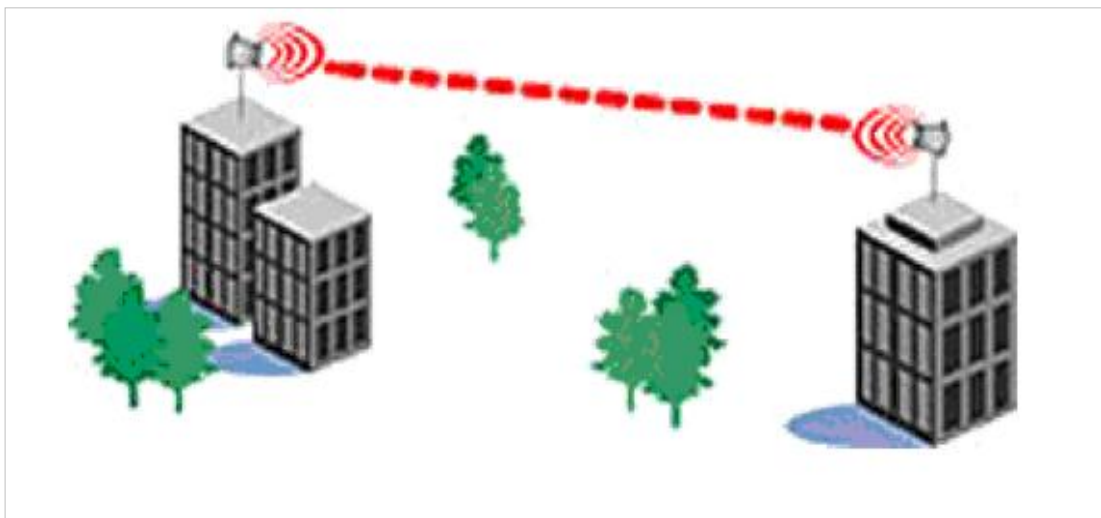
Las redes punto a punto son aquellas que responden a un tipo de diseño de red en las que cada canal de datos es usado para comunicar solamente dos nodos, en contraposición a las redes multipunto, en las cuales cada canal de datos se puede usar para comunicarse con diversos nodos. Permiten que las computadoras sean tanto clientes como servidores al mismo tiempo. Este enlace se lo usa comunmente para conectarse a Internet donde dicho acceso no esta disponible de otra forma. Los sistemas punto a punto están formados por pequeños grupos de trabajo que conectan un número pequeño de computadoras (de 2 a 20); los sistemas basados en servidores normalmente conectan más de 100 computadoras. Las redes punto a punto son relativamente fáciles de instalar y operar. Con antenas apropiadas y existiendo línea visual, se puede hacer enlaces punto a punto seguros de más de 30 km. Su eficiencia decrece rápidamente a medida que la cantidad de dispositivos en la red aumenta. Por ejemplo, una Universidad puede tener una conexión *FrameRelay* o una conexión VSAT dentro del campus, pero difícilmente podrá justificar otra conexión de la misma índole a un edificio muy importante fuera del campus. Si el edificio principal tiene una visión libre de obstáculos hacia el lugar remoto, una conexión punto a punto puede ser utilizada para unirlos. Ésta puede complementar o incluso reemplazar enlaces discados existentes.

Esta red tiene tres tipos de enlaces que interconectan los nodos, estos son:

- **Simplex:** la transacción sólo se efectúa en un solo sentido.

- **Half-duplex:** la transacción se realiza en ambos sentidos, pero de forma alternativa.
- **Full-duplex:** la transacción se puede llevar a cabo en ambos sentidos simultáneamente.

Se dice que es un enlace simétrico, en caso contrario se dice que es un enlace asimétrico.



**Figura 2.** Enlace punto a punto

**Fuente:** [http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/Comunicacion/Wifi/Topologia\\_LMDS.html](http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/Comunicacion/Wifi/Topologia_LMDS.html)

### 2.2.1.1. Características.

- Son utilizadas en redes de largo alcance WAN
- Los retardos se deben al tránsito de los mensajes a través de los nodos intermedios.
- Los pasos de encaminamiento suelen ser complejos, y el control de errores se realiza en los nodos intermedios además de los extremos.
- La conexión extremo a extremo se realiza a través de los nodos intermedios, por lo que depende de su fiabilidad.

- Las estaciones reciben sólo los mensajes que les entregan los nodos de la red. Estos previamente identifican a la estación receptora a partir de la dirección de destino del mensaje.
- La conexión entre los nodos se puede realizar con uno o varios sistemas de transmisión de diferente velocidad, trabajando en paralelo.
- La seguridad es propia a una estructura en malla de la red en la que cada nodo se conecta a dos o más nodos.
- Los costes del cableado dependen del número de enlaces entre las estaciones.

#### **2.2.1.2. Ventajas.**

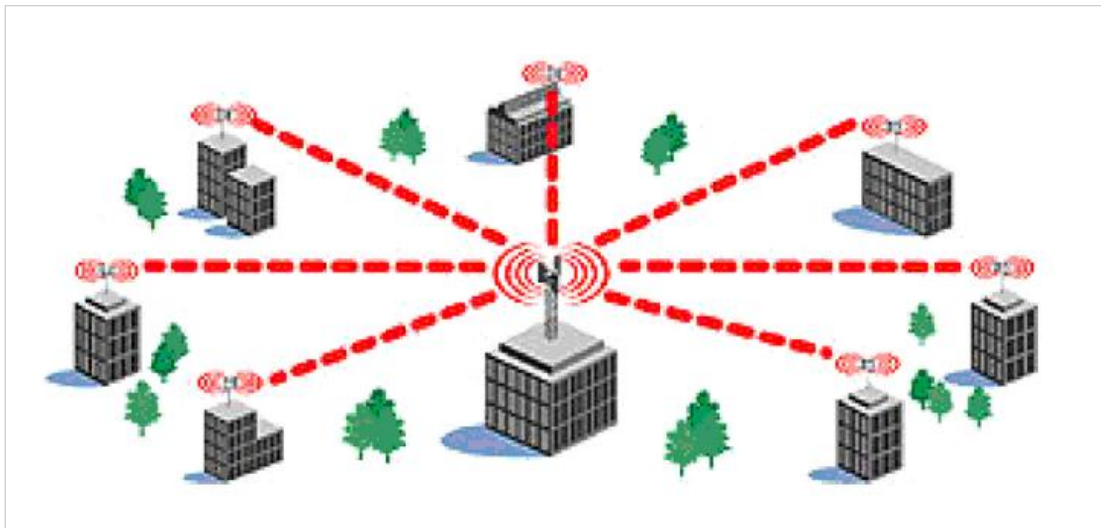
- Los dispositivos en red actúan como socios iguales, o pares entre sí.
- Son fácil de instalar y operar.
- Es barata.
- Permite compartir datos y recursos.

#### **2.2.1.3. Desventajas.**

- Capacidad limitada.
- La administración de la red debe hacerse en cada máquina.
- A medida que las redes crecen, las relaciones punto a punto se vuelven más difíciles de coordinar y operar.
- Su eficiencia decrece rápidamente a medida que la cantidad de dispositivos en la red aumenta.
- Insegura.

### 2.2.2. Punto – multipunto.

Los enlaces punto multipunto son diseñados como un sistema integrado que es sencillo de instalar y no requiere cajas externas de protección, esto representa una solución económica para proyectos inalámbricos, permiten establecer áreas de cobertura de gran capacidad para enlazar diferentes puntos remotos hacia una central para implementar redes de datos, voz y videos. El ejemplo típico de esta disposición es el uso de un punto de acceso inalámbrico que provee conexiones a varias computadoras portátiles. Es recomendable para campus universitarios y locaciones corporativas con numerosas edificaciones dispersadas sobre un área de tamaño significativo, también es ideal para locaciones gubernamentales, municipalidades, operadores e ISP inalámbricos y más aún redes inalámbricas que cubren toda la ciudad. Puede ser usado para distribuir redes de fibra óptica y actuar como segmento principal de red de banda ancha para switches and routers DSL.



**Figura 3.** Enlace punto - multipunto

**Fuente:**[http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/Comunicacion/Wifi/Topologia\\_LMDS.html](http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/Comunicacion/Wifi/Topologia_LMDS.html)

### 2.2.2.1. Características.

- Son redes en las cuales existe una línea de comunicación cuyo uso está compartido por todas las terminales en la red.
- La información fluye de forma bidireccional y es distinguible para todas las terminales de la red.
- Lo tradicional es que en una conexión multipunto las terminales compiten por el uso del medio o línea de forma que el primero que lo encuentra disponible lo acopia.
- Tienen un acceso común al ordenador central por medio de una línea a la que están conectados, y que por tanto resiste todo el tráfico de la información.
- Cada terminal debe de poder detectar si el mensaje que envía el host le afecta o no. Para ello, cada mensaje llevará la dirección del terminal al que va dirigido.
- Su método de acceso al medio es el *Polling*: técnica por la cual el ordenador central hace una pasada por todos los terminales para saber si tienen información a enviar o están disponibles para recibirla.
- Abaratamiento de su costo.
- Unión de varios terminales a su correspondiente computadora.
- Pierde velocidad y seguridad.
- Requiere amplificadores y difusores de señal o de multiplexores.

La red punto a multipunto permite la transmisión de datos de una manera que permita estabilidad en la comunicación ya que necesita un punto de acceso fijo y puntos esclavos que al realizar la línea de vista puedan conectarse.

#### **2.2.2.2. Ventajas.**

- Respaldo de datos.
- Costos bajos.

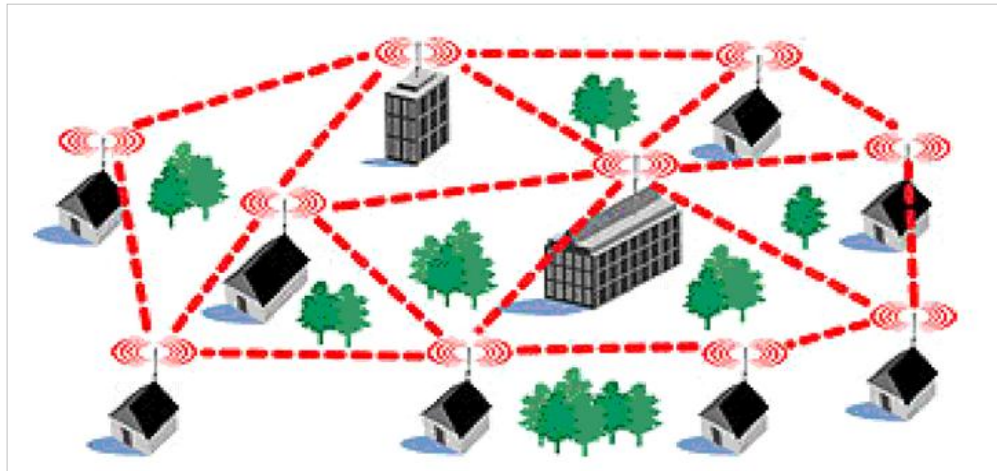
#### **2.2.2.3. Desventajas.**

- Acceso a internet.
- Virus.
- Pierde velocidad y seguridad.
- No abarca tanta distancia si hay lugares más remotos en los cuales quieran conectarse a un solo nodo, en el cual ahí serían más saltos e implicaría una redMesh.

#### **2.2.3. Multipunto a multipunto.**

Denominado *ad hoc* o en malla (*mesh*). En esta red no hay una autoridad central. Cada nodo de la red transporta el tráfico de tantos otros como sea necesario, y todos los nodos se comunican directamente entre sí. Permite una rápida instalación de una red inalámbrica de banda ancha, sin tener que definir un sitio central para una estación base. El beneficio de esta red es que aún si ninguno de los nodos es alcanzable desde el punto de acceso central, igual pueden comunicarse entre sí. Las nubes multipunto a multipunto generalmente no tienen la misma capacidad que las redes punto a punto o las redes punto a multipunto, debido a la sobrecarga adicional de administrar el enrutamiento de la red, y al uso más intensivo del espectro de radio. Las implementaciones de redes MESH son auto-reparables, detectan automáticamente problemas de enrutamiento y los corrigen.





**Figura 4.** Enlace multipunto a multipunto

**Fuente:** [http://www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/Comunicacion/Wifi/Topologia\\_LMDS.html](http://www.info-ab.uclm.es/labeledec/solar/Comunicacion/Wifi/Topologia_LMDS.html)

### 2.2.3.1. Características.

- No hay una autoridad central.
- Cada nodo de red transporta el tráfico de tantos otros como sea necesario.
- Todos los nodos se comunican entre sí.
- Puede aumentar los tiempos de respuestas frente al punto a punto.
- Si ninguno de los nodos es alcanzable desde el punto de acceso central, igual pueden comunicarse entre sí.
- Hardware y software relativamente complejos.
- Permite la conexión de mas terminales por cada procesador central.

### 2.2.3.2. Ventajas.

- Infraestructura escalable basado en la demanda, cobertura y concentración de edificios.
- Tiempo de retorno mas rapido gracias a la rápida respuesta a las oportunidades de mercado.

### 2.2.3.3. Desventajas.

- Es complejo
- Disminuye su rendimiento

## 2.3. CAPACIDAD DE RADIOENLACES

La capacidad en los radioenlaces que trabajan en 5Ghz se la mide por la velocidad de transmisión que normalmente se encuentra en los 54 Mbps, que es el ideal aunque verificando el *Throughput* (ancho de banda real), sería de 22 Mbps de velocidad de transmisión de datos. Entonces cuando vemos que usuarios empiezan a mandar más datos y la capacidad del enlace no es la adecuada se produce la latencia, esto quiere decir que es el tiempo que le toma a los datos atravesar el enlace. Mientras se saque la capacidad del enlace a los requerimientos de red que los usuarios utilizan, se puede analizar la respectiva capacidad necesaria para la transmisión con la menor latencia posible.

**Tabla N° 1**

**Aplicación de transmisión de requerimientos que se realizan en la red por los usuarios.**

<b>Aplicación</b>	<b>Ancho de Banda/ Usuario</b>	<b>Notas</b>
<b>Mensajería de texto/ IM</b>	< 1 Kbps	Como el tráfico es infrecuente y asincrónico, IM va a tolerar mucha latencia.

<b>Correo electrónico</b>	1 – 100Kbps	Al igual que IM, el correo electrónico es asincrónico e intermitente, por lo tanto va a tolerar la latencia. Los archivos adjuntos grandes, los virus y el correo no deseado aumentan significativamente la utilización del ancho de banda. Los servicios de correo web (tales como Yahoo o Hotmail) deben ser considerados como navegadores web, no como correo electrónico.
<b>Navegadores web</b>	50 - 100 Kbps	Los navegadores web sólo utilizan la red cuando se solicitan datos. La comunicación es asincrónica, por lo que se puede tolerar una buena cantidad de demora. Cuando los navegadores web, buscan datos voluminosos (imágenes pesadas, descargas largas, etc.) la utilización del ancho de banda aumenta significativamente.
<b>Flujo de audio (streaming)</b>	96 – 160Kbps	Cada usuario de un servicio de flujo de audio va a utilizar una cantidad constante de una relativamente gran cantidad de ancho de banda, durante el tiempo que está activo. Puede tolerar algo de latencia pasajera mediante la utilización de mucha memoria de almacenamiento temporal en el cliente (buffer). Pero extensos períodos de espera van a hacer que el audio “salte” o que se den fallos en la sesión.

Fuente:

## 2.4. PLANIFICACIÓN DE RADIOENLACES

Son conexiones entre diferentes equipos de telecomunicaciones usando ondas electromagnéticas. Un radioenlace consiste de un pequeño transmisor de radio que manda la señal desde los estudios a un receptor que se halla en la planta, ambos con sus antenas correspondientes. Mediante mapas y planos a diferentes escalas se define la ruta completa, mostrando la ubicación de los repetidores y el trayecto completo. Los enlaces se hacen básicamente entre puntos visibles, es decir, puntos altos de la topografía. Los radioenlaces, establecen un concepto de comunicación del tipo dúplex, de donde se deben transmitir dos portadas moduladas: una para la

transmisión y otra para la recepción. Se puede definir al radioenlace del servicio fijo, como sistema de comunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas. Típicamente estos enlaces se explotan entre los 800 MHz y 42 GHz. Para poder calcular las alturas libres debe conocerse la topografía del terreno, así como la altura y ubicación de los obstáculos que pueden existir en el trayecto.

#### **2.4.1. Objetivo de la planificación de radioenlace.**

Determinar una ruta que cumpla con las especificaciones técnicas necesarias:

- Fiabilidad del sistema.
- Observaciones sobre el número de canales necesarios y posibles ampliaciones.
- Requisito de calidad (BER) y tiempo de interrupciones (indisponibilidad).

#### **2.4.2. Estructura.**

Un radioenlace está constituido por:

- Estaciones Terminales;
- y,
- Estaciones Repetidoras

### **2.4.3 Terminales.**

Son puntos, dentro del sistema, donde las señales de banda base se originan o terminan.

### **2.4.4 Repetidoras.**

Son puntos, dentro del sistema, donde las señales de banda base se pueden volver a configurar o donde las portadoras de RF simplemente se "repiten" o se amplifican.

### **2.4.5 Cálculo de presupuesto.**

Como la comunicación de los enlaces por principio es entre puntos, siempre hay que tener en cuenta las variables que estas se encuentran y se llaman el cálculo de presupuesto del enlace, que comprende en lo siguiente:

- **Potencia de Transmisión:**

La potencia de transmisión se la mide en Milivatios (mW) O dBm, el cual normalmente se maneja entre un rango de 30 mW a 200 mW, y siempre depende de la tasa de transmisión esta potencia debe ser especificada en los manuales de los fabricantes debe indicar cuanta es la tasa máxima que puede alcanzar el equipo.

- **Ganancia de Antena:**

La antena realiza el trabajo de amplificador de señal por su forma, es decir incrementa la potencia del radio cuando se realiza el apunte, se las mide en dBi, por lo cual hay antenas omnidireccionales de 5 a 12 dBi, parabólicas de 19-24 dBi y las sectoriales de 12 a 15 dBi.

- **Mínimo de Señal Recibida:**

Esto significa la sensibilidad de receptor, es decir como se lo mide en dBi negativo, es el nivel más bajo en el cual puede recibir la señal el radio ya que si el enlace da por ejemplo 1Mbps es lo que percibe de capacidad, en lo cual esto se traduce en la señal de potencia de -75 dBm a -95 dBm según la norma.

- **Perdida de Cable:**

Esto se debe tomar en cuenta por la distancia, en radioenlaces la mayor parte se utilizan cables UTP, la norma siempre indica que hasta 100 m de cable se puede poner ya que después por la atenuación la transmisión de la señal se puede desvanecer y quedaría inhabilitado el enlace.

## 2.5 TECNOLOGÍAS DE ENLACE

Es indispensable tener claro los aspectos teóricos de los sistemas del medio de transmisión que se va a utilizar con relación a la tecnología inalámbrica. Hay dos medios que se usan en la mayoría de aplicaciones. Estos son:

- Radioenlace por microondas
- Radioenlace por espectro ensanchado.

### 2.5.1 Radioenlace por microondas.

El término “microondas” es en mención a que tienen longitudes de onda relativamente pequeñas (milimétrica o micrométrica), a causa de sus altas frecuencias. Se denomina **microondas** a las ondas electromagnéticas de frecuencias entre 3GHz y 300 GHz. La información se transmite en forma digital a través de ondas de radio de muy corta longitud. Se usa el espacio

aéreo como medio físico de transmisión. Las estaciones de microondas terrestres se basan en un par de antenas con línea de vista conectadas a un radio transmisor que difunde radiofrecuencia en el orden de 1 GHz a 50 GHz. Las principales frecuencias usadas son alrededor de los 5-10 GHz, 18, 23 y 26 GHz, las cuales pueden conectar dos localidades de hasta 24 km de distancia una de la otra. Los equipos que operan en frecuencias más bajas, entre 2 a 8 GHz pueden transmitir a distancias de 30 y 45 km. Las estaciones consisten en una antena tipo plato y de circuitos que interconectan la antena con la terminal del usuario. Para utilizar bandas de frecuencias de microondas terrestres son necesarias frecuencias para enlace punto-punto y punto-multipunto permitidas por las autoridades de telecomunicaciones.

#### **2.5.1.1 Ventajas.**

- La instalación es rápida y sencilla.
- El volumen de inversión más reducido.
- Económica
- Actuación rápida
- Puede superar las irregularidades del terreno.
- Las características del medio de transmisión son constantes en el ancho de banda de trabajo.
- La separación entre repetidores aumenta la altura de las torres.

#### **2.5.1.2 Desventajas.**

- Explotación restringida a tramos con visibilidad directa para los enlaces.
- Hay que disponer la energía y acondicionamiento para los equipos y

los servicios de conservación.

- La separación no es tan flexible como en los sistemas por cable.
- Las condiciones atmosféricas ocasionan desvanecimiento y desviación del haz.
- Supone un importante problema en diseño.

### **2.5.2 Radioenlace por espectro ensanchado.**

Es en el cual la señal transmitida es propagada en una banda de frecuencia amplia, puede coexistir en señales de banda estrecha añadiendo un pequeño incremento en el ruido de fondo que los receptores de banda estrecha pueden ver. El receptor de espectro ensanchado no ve las señales de banda estrecha, pues está escuchando en un ancho de banda mucho más amplio.

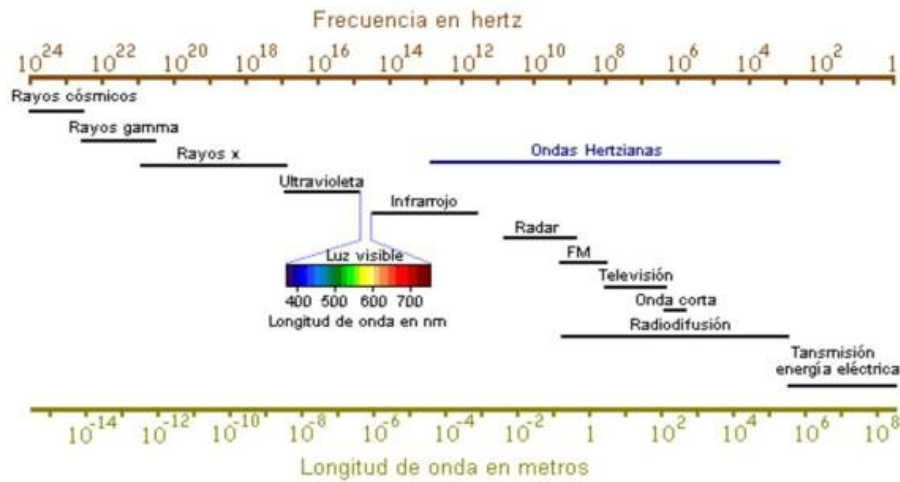
#### **a) Tecnología de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (*DirectSequence Spread Spectrum oDSSS*)**

Este sistema opera en un canal fijo y consiste en representar cada bit de la señal original por múltiples bits en la señal transmitida. Los bits transmitidos se modulan con una secuencia de 11 bits aleatorios.

**DSSS** tiene definidos dos tipos de modulaciones a aplicar a la señal resultante:

- La modulación **DBPSK** (*Differential Binary Phase Shift Keying*)
- La modulación **DQPSK** (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*)





**Figura 5.** Espectro de frecuencia electromagnética.  
**Fuente:** <http://img.over-blog.com/600x314/3/27/45/45/Dibujomag.jpg>

**b) Tecnología de Espectro Ensanchado por Salto en Frecuencia (*Frequency Hopping Spread Spectrum o FHSS*)**

Esta tecnología consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia, durante un intervalo de tiempo llamada “dwell time” e inferior a 400 ms. Pasado este tiempo, se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera, cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo.

La ventaja de estos sistemas, es que con esta tecnología podemos tener más de un punto de acceso en la misma zona geográfica sin que existan interferencias, si dos comunicaciones distintas no utilizan la misma frecuencia portadora en un mismo instante de tiempo.

**2.5.2.1 Características.**

La técnica del espectro ensanchado consiste en distribuir una señal de banda estrecha que contiene la información sobre un ancho de banda mucho mayor habiendo sido previamente modulada con ruido

pseudoaleatorio. De esta forma se puede compartir la misma región del espectro electromagnético con otros usuarios simultáneamente sin interferirse, combatir las interferencias, ser inmune al *jamming*, y asegurar la seguridad de las comunicaciones ya que la decodificación del mensaje sólo es posible si se dispone de la misma forma de onda con la cual se moduló en su origen la señal. (Olmedillas, 2012, pág. 64)

Por lo antes mencionado se pueden enumerar algunas características de la señal producida por el ensanchamiento de espectro:

- Es mucho más resistente a las interferencias de banda estrecha que otros tipos de transmisión.
- La señal es difícilmente detectable.
- La transmisión es ininteligible.
- Es resistente a las interferencias por multicamino.

#### **2.5.2.2 Ventajas.**

- Resiste todo tipo de interferencias (intencionadas y malintencionadas), siendo mas efectivo con las de banda estrecha.
- Tiene la habilidad de eliminar o aliviar el efecto de las interferencias multitrayecto.
- Se puede compartir la misma banda de frecuencia con otros usuarios.
- Confidencialidad de la informacion transmitida gracias a los codigos pseudoaleatorios.

#### **2.5.2.3 Desventajas.**

- Ineficiencia del ancho de banda.

- La implementación de los circuitos es muy compleja.

## **2.6 MODELO DE PROPAGACIÓN**

Un modelo de propagación se define como el conjunto de expresiones matemáticas que se usa para predecir la pérdida de la trayectoria que una señal de RF pueda tener entre una estación base y un receptor sea móvil o fijo. Predice lo que sucede con la señal emitida entre el transmisor y el receptor. La ruta que secunda la señal desde el origen a su destino puede ser un ambiente en el cual exista línea de vista o un ambiente con una gran cantidad de obstáculos (montañas, edificios o árboles).

La intención de emplear modelos de predicción para modelar canales de radio con la información de las características del trayecto entre su origen y destino, es comprender la viabilidad del proyecto en estudio asimismo se podrá hacer una estimación referente a las especificaciones técnicas y la capacidad de los equipos que se necesita teniendo en cuenta los costos.

### **2.6.1 Modelo de propagación con línea de vista – LOS (*Line of Sight*).**

La señal viaja a través de un camino directo. Un enlace en éstas condiciones demanda que la mayor parte de la primera zona de fresnel 60 % esté libre de cualquier tipo de obstrucción, en caso de no cumplir con esta condición la intensidad de la señal presentará una reducción significativa. Para delimitar la zona de fresnel, debemos determinar la línea de vista de radio frecuencia (RF LOS), la cual es un segmento de recta entre las antenas transmisoras y receptoras. Por lo tanto, cuando se realiza un enlace entre dos puntos con visibilidad directa se tiene que conocer la distancia y la altura de los obstáculos, así como la altura del transmisor y el receptor.

### **2.6.2 Modelo de propagación sin línea de vista - NLOS (*Non Line of Sight*).**

Las señales viajan del **Tx** a **Rx**, por medio de reflexiones, difracciones y dispersiones, estas señales poseen componentes del camino directo, también tienen distintos retardos, polarizaciones, atenuaciones y estabilidad respecto a la señal directa. La polarización de la señal cambia con el fenómeno de caminos múltiples.

### **2.6.3 Ventajas de la propagación NLOS respecto a LOS.**

- Reducir la altura de la antena: esto fuerza a las estaciones bases a operar en condiciones LOS.
- Reduce los costos de instalación
- La tecnología NLOS y las características de WiMAX permite utilizar dispositivos cliente indoor.

En los sistemas LOS al reducir la altura de la antena se pierde la línea de vista a la estación base, mientras que en un NLOS a medida que baja la altura de la antena, disminuye la interferencia co canal entre celdas adyacentes.

## **2.7 TRAYECTORIA DE UNA SEÑAL DE RADIO**

Las tres trayectorias básicas que puede seguir una señal de radio son:

### **2.7.1 Ondas de tierra o de superficie.**

Las ondas de tierra dejan una antena y permanecen cerca de la superficie de la Tierra. La onda de tierra seguirá la curvatura de la Tierra y podrá recorrer distancias más allá del horizontes. Las ondas de tierra deben tener polarización vertical para propagarse desde la tierra. Cuando las ondas son polarizadas horizontalmente estas son absorbidas o ponen en corto por la tierra. La propagación de las ondas de tierra es más fuerte en los intervalos de las frecuencias bajas y medias.

Algunas ondas de tierra son la trayectoria principal para las señales de radio en el intervalo de 30 kHz a 3 MHz. Las señales llegan a propagarse a cientos y algunos miles de kilómetros a estas frecuencias bajas. Los objetivos en su superficie y los rasgos topográficos llegan a ser del mismo tamaño que la longitud de onda de la señal y, por lo tanto, afectaran en cierto modo a la señal.

En las frecuencias por encima de 3 MHz, la Tierra empieza a disminuir las señales de radio. La propagación por onda de tierra de señales superiores a 3 MHz no es significativa, excepto a varios kilómetros desde la antena. Las señales de radiodifusión en AM se propagan principalmente por ondas de tierra durante el día, y por ondas de cielo en la noche.

### **2.7.2 Ondas de cielo.**

Es aquella que radia una antena hacia la atmósfera terrestre, donde se desvía de vuelta a la Tierra. Esta desviación de una señal de radio la produce le región de la atmósfera superior denominada ionosfera. La ionización es producida por los rayos ultravioletas del sol, cuando la atmósfera se ioniza se carga de señales eléctricas. Los átomos toman o pierden electrones para convertirse en iones negativos o positivos. También

ahí existe la presencia de electrones libres. La ionosfera en su punto más bajo se encuentra a casi 50 km sobre la superficie de la Tierra y se extiende hasta 400 km sobre la superficie.

Se considera que la ionosfera se divide en tres capas básicas: capa D, capa E, capa F. Las capas D y E son las más alejadas del sol y están levemente ionizadas. Existen durante las horas de luz diurna y durante este tiempo absorben las señales de radio en el intervalo de frecuencias medias de 300 kHz a 3 MHz.

La capa F se divide en capa  $F_1$  y  $F_2$ . Éstas están altamente cargadas ya que se encuentran más cerca del sol. Las capas F existen en el día y en la noche. El efecto principal de la capa F es causar la refracción de una señal de radio cuando las ondas cruzan una línea limítrofe entre capas de la ionosfera con diferentes niveles de ionización hacen que las ondas de radio se desvíen en forma gradual. La dirección de la desviación depende del ángulo con el que entra la onda de radio en la ionosfera, y de los diferentes grados de ionización de las capas.

### **2.7.3 Onda directa o de espacio.**

Las ondas viajan en línea recta desde la antena transmisora hasta la antena receptora. La comunicación por ondas de radio directas también se conoce como comunicación por línea de vista. Las ondas de espacio no se refractan ni siguen la curvatura de la Tierra. Debido a su naturaleza lineal, viajan en forma horizontal desde la antena hasta un límite de horizonte donde las ondas directas serán bloqueadas. La distancia de una transmisión práctica con ondas directas es función de la altura de las antenas transmisoras y receptoras.

La fórmula para calcular la distancia entre una antena transmisora y el horizonte es:

$$d = \sqrt{2h_t}$$

Donde:

$h_t$  = altura de la antena transmisora, en pies

$d$  = distancia del transmisor al horizonte, en millas

la fórmula de la distancia entre una y otra antena

$$D = \sqrt{2h_t} + \sqrt{2h_r}$$

Donde:

$h_r$  = es la altura de la antena receptora en pies

La comunicación por líneas de vista son características para las transmisiones en **VHF, UHF y microondas** y señales de radio superiores a **30 MHz**. Estas señales atraviesan la ionosfera y o se desvían.

## 2.8 REPETIDORAS

Las estaciones repetidoras son técnicas especiales utilizadas para extender el alcance de las comunicaciones en las frecuencias VHF, UHF y de microondas.

La repetidora consiste en la combinación de receptor y transmisor, su función es captar la señal de un transmisor, la amplifica y la retransmite en otra frecuencia hacia el receptor.

La repetidora se ubica entre las estaciones transmisoras y receptoras y, por lo tanto, aumenta la distancia de las comunicaciones. Las repetidoras tienen receptores con una alta sensibilidad, transmisores de alta potencia y antenas ubicadas en puntos altos.

Las repetidoras son efectivas para incrementar el alcance de las comunicaciones para equipos de móviles y portátiles de radio. Al operar mediante una repetidora localizada en un punto elevado, el alcance de las comunicaciones puede incrementarse en forma considerable. Cada repetidora tiene un receptor y un transmisor.

La señal original se capta, amplifica y retransmite en una frecuencia diferente hasta una segunda repetidora que repite el proceso. La distancia entre repetidoras, por lo general es de 32 a 96 km en sitios elevados, para asegurarse de comunicaciones confiables a largas distancias, por ejemplo, las estaciones retransmisoras de microondas que emplean muchas compañías telefónicas para las comunicaciones de larga distancia.

La estación repetidora más notable es el satélite de comunicación. La mayoría de los satélites se colocan en una órbita geoestacionaria a 35.680 km a distancia en el espacio exterior. Como a esta distancia toma exactamente 24 horas en dar la vuelta alrededor de la Tierra, los satélites de comunicación aparentan estar estacionarios.

Operan como estaciones repetidoras fijas. Las señales enviadas a un satélite son retransmitidas y amplificadas de regreso a la Tierra a grandes distancias.



La combinación transmisor-receptor dentro del satélite se denomina **transpondedor**. La mayoría de los satélites tienen varios transpondedores para que sea posible la retransmisión de múltiples señales, alcanzando la comunicación a nivel mundial en frecuencias de microondas. (Frenzel, 2003)

## 2.9 REDES INALÁMBRICAS WLAN

Las redes inalámbricas WLAN (*Wireless Local Area Network*) se han extendido rápidamente a pesar de la recesión en la economía de las telecomunicaciones en el mundo, éstas pueden proveer acceso a Internet, se puede utilizar una única conexión telefónica compartida por varios ordenadores conectados en red; como de tiempo, ya que se logra gestión de la información y del trabajo. Son instaladas en Universidades, oficinas, hogares y en espacios públicos.

Las WLANs consisten en una computadora portátil o de escritorio que se conecta a "puntos de acceso" (*access point*). Las redes LAN se pueden conectar entre ellas a través de líneas telefónicas y ondas de radio. Las redes locales permiten interconectar ordenadores que estén dentro de un mismo edificio (ya sea dentro u otro que se encuentra a cierta distancia), pero siempre teniendo en cuenta que el medio físico que los une no puede tener más de unos miles de metros.

Las implementaciones de las WLANs contienen todas las modalidades desde las PANs (*Personal Area Network*), MANs (*Metropolitan Area Network*) y las WANs (*Wide Area Network*).

Las PAN son redes inalámbricas de corto alcance, utilizados para uso en interiores a pocos metros. Mientras que las redes tipo WAN y MAN se basan de torres y antenas que transmiten ondas de radio o usan tecnologías de

microondas para conectar redes de area local, utilizando enlaces punto-punto y punto-multipunto.

Asimismo, cabe resaltar que una red LAN puede estar conectada a otra por medio de una red WAN, las cuales se sirven de otras redes de comunicaciones como, por ejemplo, la red telefónica para transmitir información entre los ordenadores comunicantes.

### 2.9.1 Estándares.

- **IEEE 802.11**

Redes locales que emplean ondas de radio en la banda de 2.4 GHz y 5 GHz conocido como espectro esparcido, soporta velocidades entre 1 y 2 Mbps que se transmiten por señales infrarrojas. Este estándar define el funcionamiento e interoperatividad de las redes inalámbricas. Este estándar define las especificaciones para la capa física y la **capa MAC** en las redes inalámbricas.

- **IEEE 802.11a**

Esta versión fue aprobada en 1999. El estándar de alta velocidad que soporta velocidades de hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz y utiliza 52 subportadoras de acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (*OrthogonalFrequency-DivisionMultiplexing*, **OFDM**). La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbps en caso necesario. 802.11a tiene 12 canales sin solapa, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto.

- **IEEE 802.11b**

La revisión 802.11b del estándar original fue ratificada en 1999. Es una variante del estándar IEEE 802.11, que fue creado por un consorcio de empresas fabricantes (Ericsson, IBM, Nokia, Motorola, Intel, etc.). El

estándar dominante de WLAN (conocido también como Wi-Fi) que soporta velocidades de hasta 11 Mbps en la banda de 2.4 GHz y utiliza el mismo método de acceso definido en el estándar original CSMA/CA. La velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5,9 Mbps sobre TCP y 7,1 Mbps sobre UDP, debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA. Aunque también utiliza una técnica de ensanchado de espectro basada en DSSS.

- **IEEE 802.11g**

Estándar ratificado en junio de 2003, utiliza la banda de 2.4 GHz, opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps, que en promedio es de 22.0 Mbps de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Es semejante con el estándar **b** y utiliza las mismas frecuencias. En redes bajo el estándar **g** la presencia de nodos bajo el estándar **b** reduce significativamente la velocidad de transmisión. Actualmente el estándar 802.11g evolucionó a **802.11G+** denominado 802.11G Turbo mode, trabaja en la banda de 2.4 GHz, y alcanza una velocidad de transferencia de 108 Mbps.

- **HiperLAN 1**

High Performance Radio LAN version 1 es un estándar del ETSI (European Telecommunications Standards Institute). El estándar se aprobó en 1996.

Su objetivo era la alta velocidad de transmisión, más alta que la del 802.11. Cubre las capas física y MAC como el 802.11. Hay una nueva subcapa llamada Channel Access and Control sublayer (**CAC**). Esta maneja las peticiones de acceso a los canales, también proporciona independencia jerárquica con un mecanismo de Elimination-Yield Non-Preemptive Multiple Access (EY-NPMA). HIPERLAN no interfiere con hornos microondas y otros aparatos del hogar, que trabajan a 2.4 GHz.

- **HiperLAN 2**

Estándar que compite con IEEE 802.11a al soportar velocidades de hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz. Este estándar está diseñado para implementar la infraestructura de sistemas inalámbricos de distribución de datos. Se trata de una red para el transporte de celdas ATM, paquetes IP o FireWire. Permite QoS. Diseñada como una conexión inalámbrica rápida para muchos tipos de redes. Por ejemplo, red *backbone* UMTS, redes ATM e IP. Ofrece medidas de seguridad aceptables.

- **Home RF**

Estándar que compite con el IEEE 802.11b que soporta velocidades de hasta 10 Mbps en la banda de 2.4 GHz. Es un estándar híbrido de comunicaciones para redes de datos y de voz en un entorno doméstico, basada en SWAP. **SWAP** (*Shared Wireless Access Protocol*) es la especificación técnica que se ha convertido en el modelo emergente para las conexiones emergentes para las conexiones domésticas sin cable. Tiene un alcance de 45 m y transmite a más de 1.6 Mb. El número de dispositivos soportados depende de la estación base siendo siempre superior a 10. Se trata de una tecnología muy barata.

## **2.10 WIMAX**

Es un modelo de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz y puede tener una cobertura de hasta 50 km, en el Ecuador las frecuencias comunes para este tipo de tecnología comprenden desde los 3,0 a 3,5 GHz.

Es conocida como tecnología de última milla, permite la recepción de datos a través de microondas y retransmisión por ondas de radio.

El estándar que rige sus normas y procedimientos es el **IEEE 802.16** de

transmisión inalámbrica de datos con línea de vista **LOS** (*Line of Sight*) dependiendo de las condiciones de propagación y del modo de transmisión y a la velocidad de hasta 70 Mbps.

Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costos por usuario muy elevados (zonas rurales).

El único organismo que autentifica el cumplimiento del estándar y la interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes es el **WiMAXForum**. Permite la provisión simultánea de distintos tipos de servicios como datos, acceso a internet, videos y permite ejecutar transmisiones radioeléctricas en diferentes frecuencias, con licencia de 3,5 GHz y libre a 5,4GHz.

### **2.10.1 Características técnicas de WIMAX**

Entre sus principales características se tienen:

- Cobertura
- Mejor tasa de bits en distancias largas.
- Tiene una eficaz transmisión de 124 Mbps.
- Anchos de canal entre 1,5 y 20 MHz.
- Fácil adición de canales : maximiza las capacidades de las células.
- Soporte de mallas basadas en estándares y antenas inteligentes.
- Comprende mecanismos de modulación adaptativa, gracias a los cuales la estación base y el equipo de usuario se conecta empleando la mejor de las modulaciones posibles.
- Topología punto-multipunto y de malla.
- Su escalabilidad permite el uso flexible de frecuencias adaptando cualquier tipo de legislación.

- Mayor productividad a rangos más distantes (hasta 50 km).
- Incrementa su tasa de transferencia porque soporta tecnologías de antenas inteligentes, múltiples antenas, etc.
- Aplicaciones para la transmisión de voz, videos y datos.
- Definida para las frecuencias de hasta 11 GHz para conexiones con y sin límites de visión, y entre 10 y 66 GHz para conexiones con línea de visión.
- Anchos de bandas flexibles que permiten usar espectros licenciados y exentos de licencia.
- Emplea modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division), con 2048 señales portadoras, que dan altas velocidades de transferencia.
- Adhiere soporte para la tecnología Smart antenna, la cual aumenta la eficiencia espectral y la cobertura.
- Los equipos WIMAX permiten a los operadores comprar dispositivos de más de un vendedor.
- Servicios de nivel diferenciados: E1/T1 para negocios, mejor esfuerzo para su uso doméstico.
- Seguridad: posee características de encriptación y privacidad como la aplicación de los estándares de encriptación de datos (DES) y el estándar de encriptación avanzado (AES).

Otra característica importante de WIMAX es que es independiente de protocolo, es decir, puede transportar IP, Ethernet, ATM, y otros. A su mismo puede transmitir otros servicios añadidos como VoIP, datos o videos mientras ofrece Calidad de Servicios (QoS) EN 802.16e.

### **2.10.2 Estándares WIMAX**

Actualmente dentro del estándar 802.16 existen tres variantes, cada una de ellas con sus propias características y campo de aplicación.

- **IEEE 802.16.**

Se publicó en abril del 2002 como un estándar orientado a conexión inalámbrica fija, se emplea a conexiones punto-multipunto, con antenas direccionales y sin movilidad. Esta versión del estándar se ha creado para bandas entre 10 GHz y 66 GHz.

- **IEEE 802.16a.**

Fue publicado el primero de abril del 2003, tenía la función de hacer uso del espectro licenciado y no licenciado. Se aplica a conexiones inalámbricas en la banda de 2 a 11 GHz, soporta velocidades de 75 Mbps, cubriendo distancias de 5 a 8 km, habitualmente se utiliza en conexiones punto-multipunto, así como la probabilidad de redes de malla, fue diseñado para soportar multimedia (voz, videos, datos).

- **IEEE 802.16b.**

Aumentó el espectro de 5 a 6 GHz. También abarcó una mejora al contribuir con una fuerte calidad de servicio, para la transmisión en tiempo real de voz y video con lo que permite transmitir con baja distorsión en la señal.

- **IEEE 802.16c.**

Opera en el rango de frecuencia de 66 GHz. Dentro de sus mejoras destacan una mejor interoperabilidad entre los equipos de diferentes fabricantes.

- **IEEE 802.16d.**

Conocida como la versión fija del estándar WIMAX y fue acreditado en Junio del 2004, a si mismo este estándar suplanto a la versión 802.16a, su rendimiento real es de 40 Mbps.

Su cobertura de radio es casi de 4 a 7 millas. Esta tecnología también ofrece una alternativa inalámbrica al modem por cable y a DSL, porque 802.16-2004 es solo para el acceso fijo.

- **IEEE 802.16e.**

Publicado en diciembre de 2005, propone una velocidad de transferencia de 50 Mbps y su cobertura es de 1 a 3 millas, opera en frecuencia de 11 GHz. El objetivo de este estándar es el mercado móvil ya que soporta sesiones de voz y datos.

Con esta versión se tiene soporte a los dispositivos móviles como son: los Smartphone, PDA's (*Personal Digital Assistants*-Asistente Personal Digital).

- **IEEE 802.16m.**

También conocido como WIMAX 2, éste es el nuevo estándar inalámbrico que aprobó la IEEE en el 2011, su velocidad de transferencia es de 1 Gbps, tiene un modo de “alta movilidad” que permite tasas de hasta 100 Mbps.

**Tabla N° 2**  
**Evolución de estándares Wimax**

Estándar	Descripción
802.16	Utiliza espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz, necesita línea de visión directa, con una capacidad de hasta 134 Mbps en celdas de 2 a 5 millas. Soporta calidad de servicio. Publicado en 2002.
802.16a	Ampliación del estándar 802.16 hacia bandas de 2 a 11 GHz, con sistemas NLOS y LOS, y protocolo PTP y PTMP. Publicado en abril de 2003.
802.16c	Ampliación del estándar 802.16 para definir las características y especificaciones en la banda de 10-66 GHz. Publicado en enero de 2003.
802.16d	Revisión del 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles aprobados por el <i>WimaxForum</i> . Aprobado como 802.16-2004 en junio de 2004. (La última versión del estándar).



802.16e	Extensión del 802.16 que incluye la conexión de banda ancha nómada para elementos portátiles del estilo de los <i>notebooks</i> . Publicado en diciembre de 2005.
802.16m	Extensión del 802.16 que entrega datos a velocidad de 1 Gbps en reposo y 100 Mbps en movimiento.

**Fuente:**

## **2.11 WIMAX FORUM**

Es una organización creada para promover y certificar la compatibilidad e interoperabilidad de productos y servicios compatibles con WiMAX.

WiMAX Forum se encarga de controlar que los productos y sistemas certificados satisfagan las necesidades de los clientes y gobiernos, adaptando y ampliando los estándares.

El principal objetivo de WiMAX Forum es acelerar la introducción de estos sistemas en el mercado, generando economías de escala, mediante equipos económicos y de calidad.

Los productos WiMAX Forum Certified son interoperables y soportan los servicios de banda ancha fijos, nómadas, portátiles, y móviles.

Otra función de WiMAX Forum es promover la difusión del conocimiento sobre WiMAX. También ofrece una serie de eventos de los miembros y aprueba algunos eventos de la industria.

## **2.12 APLICACIONES WIMAX**

El estándar ayuda a la industria entregando múltiples soluciones de acceso de banda ancha. Dentro de ciertas conexiones soportadas por WiMAX se

encuentran: Banda ancha en redes metropolitanas, Backhaul en redes celulares, así como voz sobre IP.

### **2.12.1 *Cellularbackhaul.***

Con WIMAX los operadores celulares tienen la oportunidad de disminuir su independencia de sus competidores. Debido al ancho de banda del IEEE 802.16 lo hace una excelente opción para el BACKHAUL de empresas comerciales. WIMAX puede proporcionar enlace punto a punto con velocidades de datos capaces de soportar múltiples E1/T1s.

Los puntos sobresalientes al utilizar WIMAX como BACKHAUL celular son:

- Dar servicios a múltiples antenas.
- Existe la capacidad de expandir el servicio móvil en un futuro.
- Es una solución más económica que el servicio tradicional.

### **2.12.2 *Empresas pequeñas y medianas.***

Para aquellas empresa que se encuentran fuera del alcance del DSL o que no son parte residencial del cableado estructurado, la tecnología WIMAX representa un camino fácil y adorable para la conexión a banda ancha. También WIMAX es una alternativa para dar cobertura a las áreas rurales.

### **2.12.3 *Redes de educación.***

WIMAX puede dar servicio de voz, datos, video, esto resulta rentable para escuelas rurales donde no existe infraestructura de comunicaciones.

#### **2.12.4 Redes bancarias.**

Por medio de WIMAX las transacciones financieras, correo electrónico, Internet y CCTV (CloseCircuitTelevision) puede comunicarse fácilmente. Puede conectar la central con las diferentes agencias del banco pudiendo transmitir voz, datos y algo importante tráfico de video.

#### **2.12.5 Redes de seguridad pública.**

Pueden usar WIMAX la policía, bomberos, rescate, cruz roja, pudiendo dar asistencia desde la central de control a los lugares donde exista la emergencia.

### **2.13 ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA**

El término radiofrecuencia (abreviado **RF**), también denominado **Espectro de Radiofrecuencia**, se asigna a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre 3 hercios (Hz) y 300 gigahercios (GHz), que hace referencia a cómo está dividido todo en el ancho de banda que se puede emplear para transmitir diversos tipos de señales.

Este debe ser empleado de forma razonable y tratado todo el tiempo de optimizar su uso debido a que es un recurso natural no renovable.

Existen muchas organizaciones que gestionan su espectro de radiofrecuencia, entre las más importantes están:

- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).
- Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL).

- Y en el Ecuador Ministerio de Telecomunicaciones.

**Tabla N° 3**  
**Rangos de frecuencias del espectro de radiofrecuencia**

<b>Banda</b>	<b>Denominación</b>	<b>Frec. mín.</b>	<b>Frec. máx.</b>	<b><math>\lambda</math> máx.</b>	<b><math>\lambda</math> mín.</b>
ELF	<b>Extremely Low Frequency</b>	-	3 KHz	-	100 km
VLF	<b>Very Low Frequency</b>	3 KHz	30 KHz	100 km	10 km
LF	<b>Low Frequency</b>	30 KHz	300 KHz	10 km	1 km
MF	<b>Medium Frequency</b>	300 KHz	3 MHz	1 km	100 m
HF	<b>High Frequency</b>	3 MHz	30MHz	100 m	10 m
VHF	<b>Vey High Frequency</b>	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m
UHF	<b>Ultra High Frequency</b>	300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm
SHF	<b>Super High Frequency</b>	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm
EHF	<b>Extremely High Frequency</b>	30 GHz	300 GHz	1 cm	1 mm

**Fuente:**[http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos\\_01\\_02/Antenas/Compofisico.htm](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_01_02/Antenas/Compofisico.htm)

### 2.13.1 Espectro sin licencia.

El equipo que carece de licencia no está protegido contra interferencias y debe funcionar a bajos niveles de salida, con lo que se reduce la gama de señal. El uso de estas bandas de frecuencias esta abierto a todo el mundo sin necesidad de licencia. Este uso del espectro suele emplearse para aplicaciones de corta distancia.

El espectro de radiofrecuencias tiene segmentos conocidos como ICM estas se encuentran reservadas para uso no comercial en áreas industriales, científicas y medicas y estan disponibles en frecuencias de 2.4 y 5.8 GHz. Al habilitarse las bandas ICM sin licencia para la comunicación de datos, varios fabricantes aprovecharon la oportunidad para ofrecer equipos de computación que podían comunicarse entre sí sin necesidad de cables. Se construyeron redes inalámbricas para transmisión de datos que cubrían importantes áreas geográficas. Los usuarios de espectro sin licencia no

tienen que pagar tasas de asignación, los costos de construcción de una red son menores que otras opciones de banda ancha inalámbrica.

### **2.13.2 Plan nacional de frecuencia.**

Se debe tener presente que el Plan Nacional de Frecuencia es una de las herramientas indispensables de las que dispone el Órgano Regulador de las Telecomunicaciones para una adecuada Gestión del Espectro Radioeléctrico, asignación, concesión y autorización de uso de frecuencias. El PNF es un documento netamente técnico y dinámico, sujeto a revisiones periódicas acorde con las necesidades nacionales, introducción de nuevas tecnologías y cambio en la regulación internacional. El PNF establece la atribución de las bandas de frecuencias a los diferentes servicios de radiocomunicaciones tales como Fijo, Móvil, Fijo por Satélite, Móvil por Satélite, Móvil Aeronáutico, Móvil Marítimo, Radiodifusión. (Plan Nacional de Frecuencia de Ecuador de Arcotel)

En el Plan Nacional de Frecuencias se establecen las normas para la atribución de las bandas, sub-bandas y canales radioeléctricos para los diferentes servicios de radiocomunicaciones, convirtiéndose éste en el documento de referencia para normalizar a los usuarios del espectro radioeléctrico. Este documento supone la transposición al derecho interno de cada estado del Artículo 5 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), anexo al Convenio Internacional de la UIT.

Dentro de las normas que se establecen a partir del PNF para la adjudicación de bandas y asignaciones de frecuencias, entre otras, están las siguientes:

- Determinación de las prioridades de las bandas del espectro radioeléctrico en función de los diferentes servicios radioeléctricos.
- Reserva de bandas, sub-bandas y frecuencias del espectro radioeléctrico para uso privativo, compartido, experimental.
- Compartición de frecuencias.

El objetivo principal del PNF es el de proporcionar los lineamientos para un proceso eficaz de gestión del espectro radioeléctrico, asegurar una utilización óptima del mismo; así como, la prevención de interferencias perjudiciales entre los distintos servicios. El PNF contiene la información necesaria para permitir a las personas naturales o jurídicas interesadas en el uso del espectro radioeléctrico disponer de una guía de atribuciones de bandas para los servicios radioeléctricos.

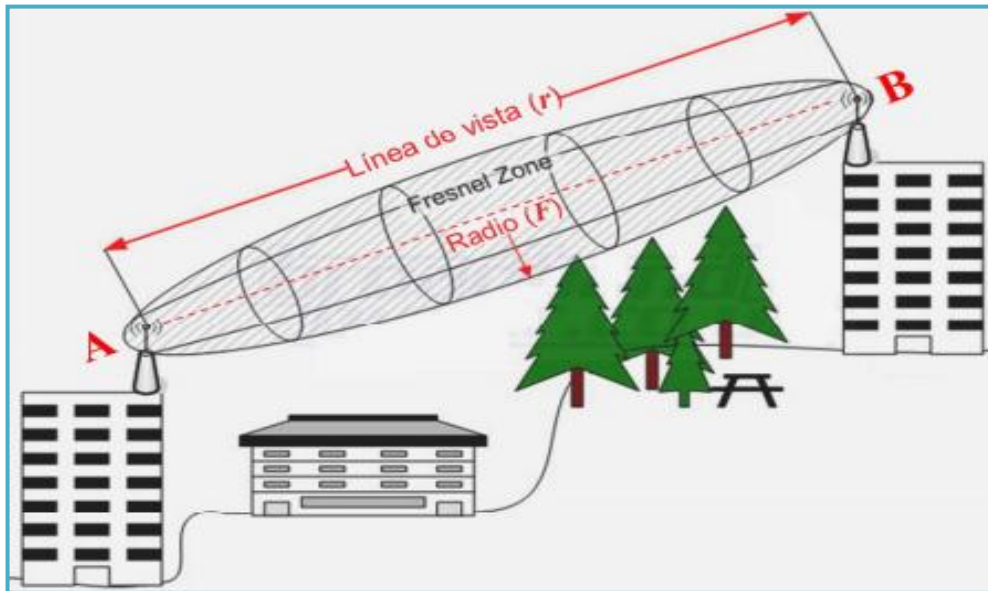
En la elaboración del PNF se ha tratado de mantener una nomenclatura sencilla y de fácil interpretación. Se debe considerar este Plan como un documento sujeto a revisiones periódicas para adaptarse a los constantes cambios de tecnología y servicios del mercado de telecomunicaciones moderno. Este documento es de carácter público, por consiguiente debe difundirse brindándose todas las facilidades posibles de acceso a esta información incluyendo medios electrónicos.

#### **2.14 ZONA FRESNEL**

La zona Fresnel se le llama al volumen de espacio entre emisor y receptor de manera que el desfase entre las ondas en dicho volumen no supere los 180°.

Según el principio de Huyengs se puede calcular la primera zona de Fresnel, el espacio alrededor del eje que contribuye a la transferencia de potencia

desde la fuente hacia el receptor.



**Figura 6.**Zona Fresnel

**Fuente:**[http://coimbraweb.com/documentos/radio/4.11\\_radioenlace.pdf](http://coimbraweb.com/documentos/radio/4.11_radioenlace.pdf)

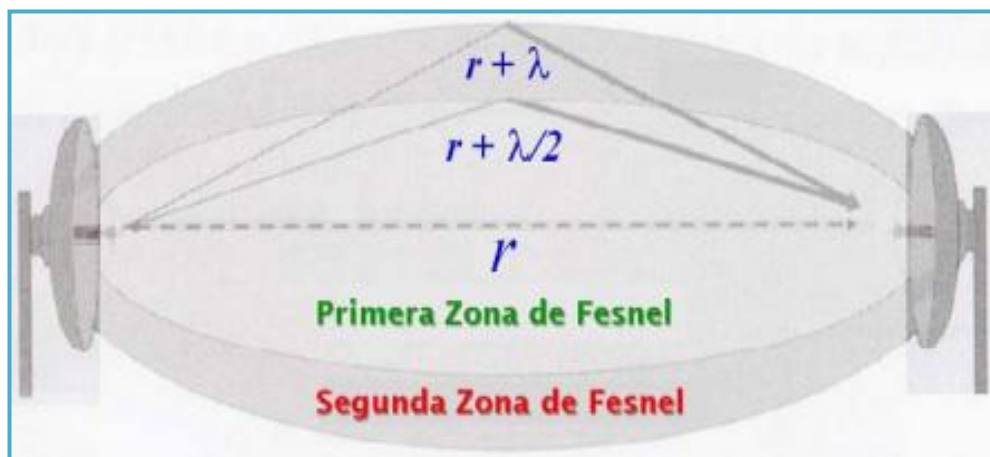
Según Huygens, los puntos que no están en el eje directo entre A y B también radian potencia hacia B, es decir las ondas viajan en una zona en forma de elipsoide de revolución.

La zona Fresnel es la altura ideal (radio) en la cual se deben proporcionar el NODO y el CPE (*CustomerPremisesEquipment*, equipo local de cliente) para poder realizar un enlace confiable dependiendo de la frecuencia y la distancia. Para comprobar las zonas de Fresnel antes debemos determinar la línea de vista, que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y a receptora. La zona de Fresnel se refiere al radio que se debe dejar despejado alrededor de la línea de vista de un enlace de telecomunicaciones para reducir la interferencia causada por la reflexión de la onda en objetos cercanos.

En el trayecto se deben evitar obstáculos, como montañas, pero también se debe evitar la difracción, causada por la obstrucción parcial de cualquier objeto fijo.

La difracción causa que aparezca una segunda onda en el receptor, y las 2, dependiendo de sus fases relativas, podrían cancelarse entre sí hasta cierto grado, produciendo el desvanecimiento de la onda.

Los efectos de la difracción se reducen si el trayecto directo de la onda evita obstáculos por lo menos 60% del radio de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima admisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%.



**Figura 7:** Teoría de Huygens-Fresnel

**Fuente:** [http://coimbraweb.com/documentos/radio/4.11\\_radioenlace.pdf](http://coimbraweb.com/documentos/radio/4.11_radioenlace.pdf)

La teoría de Huygens-Fresnel demuestra que si la fase es  $0^\circ$  en el trayecto directo, la primera zona abarca hasta que la fase llegue a  $180^\circ$  ( $\lambda/2$ ), la segunda zona hasta  $360^\circ$  ( $\lambda$ ) y es un segundo elipsoide que contiene al primero. Del mismo modo se obtienen las zonas superiores.

Fresnel hizo un estudio en donde definió una serie de zonas en las que los obstáculos pueden afectar la onda por efectos de la reflexión y la



interferencia, pero para fines prácticos es importante calcular al menos la primera zona. Las variables que intervienen en el cálculo de la zona de Fresnel son:

- La distancia entre el transmisor y el receptor
- La frecuencia de la señal transmitida

La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel:

$$r_n = 548 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot d}}$$

Donde:

- $r_n$  es el radio de la  $n$ ésima zona de Fresnel **[m]**.
- $d_1$  es la distancia desde el transmisor al objeto **en [km]**.
- $d_2$  es la distancia desde el objeto al receptor **en [km]**.
- $d$  es la distancia total del enlace **en [km]**.
- $f$  es la frecuencia **en [MHz]**

La fórmula que calcula la primera zona de Fresnel es:

$$F_1(m) = 17,32 \sqrt{\frac{r_1(km)r_2(km)}{r(km)f(GHz)}}$$

- Si el obstáculo está situado en el medio, Fresnel establece la siguiente relación:

$$r = 17,2 \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

Donde:

$r$  = radio en m

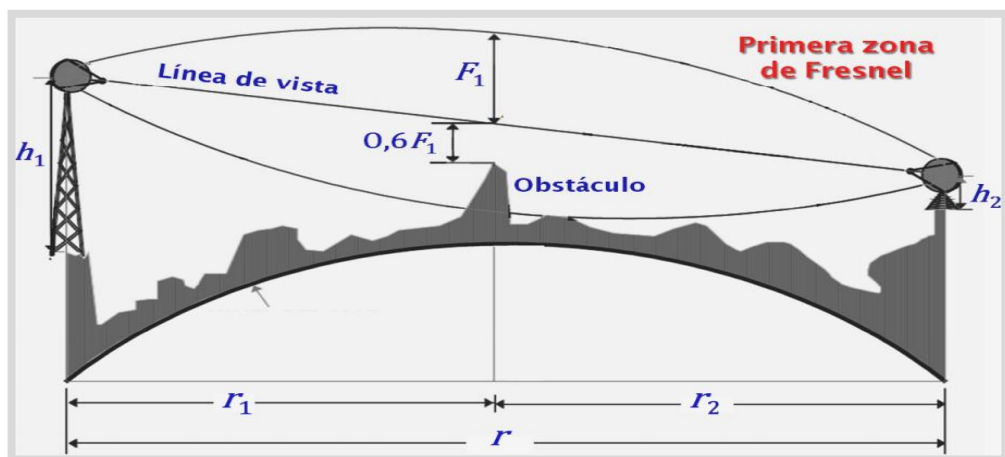
$D$  = distancia total del enlace en km

$f$  = frecuencia del enlace en GHz

Tomando el 60% queda:

$$0,6r = 5,2 * \sqrt{d/f}$$

Un radioenlace de WLAN de 2,4 GHz y 9,6 km de longitud, requerirá una zona libre de obstáculos en un radio de  $F_1 = 17,32$  m bajo la línea de vista, en el punto medio de la trayectoria.



**Figura 8:** Despejamiento del 60% de la Primera Zona de Fresnel.

**Fuente:** [http://coimbraweb.com/documentos/radio/4.11\\_radioenlace.pdf](http://coimbraweb.com/documentos/radio/4.11_radioenlace.pdf)

En la práctica es suficiente mantener despejado solo el 60% de la primera zona de Fresnel.

Por lo tanto, en el caso de la WLAN de 9,6 km de longitud, es suficiente despejar una zona de 10,4 m en el punto medio de la trayectoria, y menos aún en los extremos.

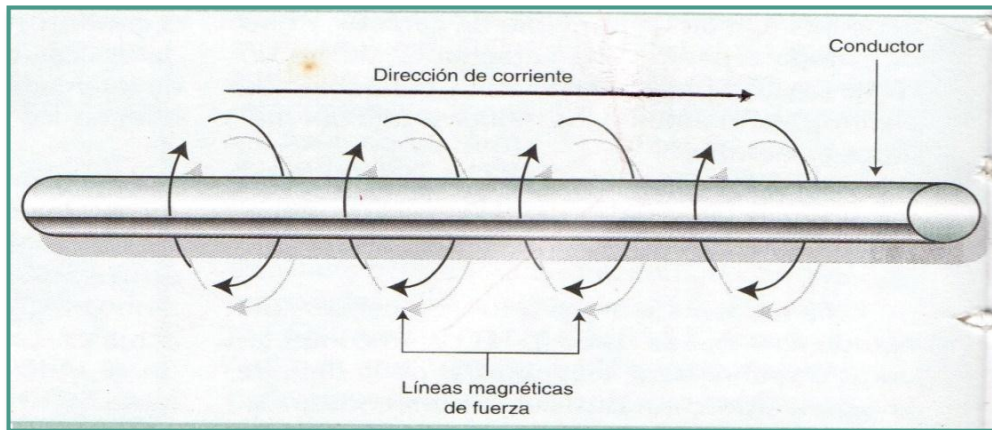
**Tabla N° 4**  
**Cálculo de la primera zona de Fresnel para enlaces críticos**

Enlace	Distancia D	Frecuencia f	Radio r	Radio al 70%
<b>Punto a punto B. Central a B. Pita</b>	2,49 km	5,785 GHz	5,68 m	3,98 m
<b>Punto a punto B. Central B Floresta</b>	3,39 km	5,805 GHz	6,62 m	4,63 m
<b>Multipunto B. Central POP 1</b>	1,28 km	5,220 GHz	4,29 m	3,00m
<b>Multipunto B. Pita POP 2</b>	2,47 km	5,260 GHz	5,93 m	4,15 m
<b>Multipunto B. La Floresta POP 3</b>	2,42 km	5,300 GHz	5,85 m	4,10m

## 2.15 ANTENAS

Cuando Hertz realizó sus primeros experimentos sobre la transmisión inalámbrica de ondas electromagnéticas, empezó a utilizar las antenas. Pero no aparecían tal y como las conocemos hoy hasta los experimentos de Marconi y Popov, que desarrollaron las primeras tecnologías sobre este importante aspecto de las radiocomunicaciones.

Se puede definir una antena como un dispositivo fabricado con material conductor (cobre o aluminio generalmente) que, conectado a un transmisor, sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda eléctrica que va por la línea de transmisión (el cable) en ondas electromagnéticas que se puede transmitir por el espacio libre, llevando la información hacia uno o varios receptores.

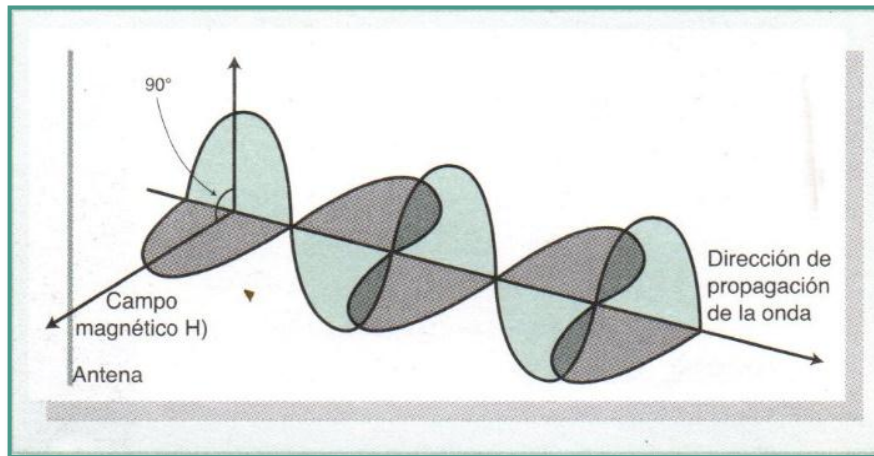


**Figura 9:** Campo magnético formado por una corriente en un conductor.

**Fuente:** Espinosa de los Monteros, Julián. Técnico en Telecomunicaciones. Tomo 1.

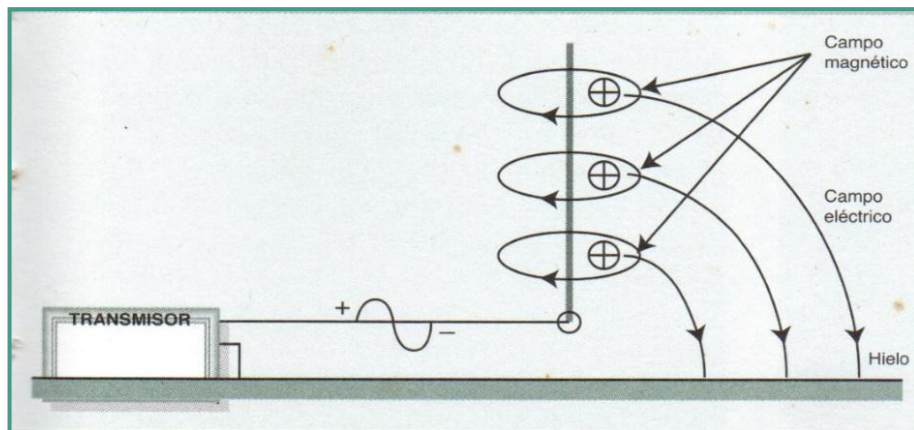
Las antenas se basan en el principio de la radiación producida al circular una corriente eléctrica por un conductor esta corriente produce un campo magnético alrededor del conductor, cuyas líneas de fuerzas están en ángulo recto con respecto al conductor y su dirección esta determinada por la dirección de la corriente. Este campo magnético es variable y sigue las mismas ondulaciones de la corriente eléctrica de alta frecuencia que se le entrega a la antena.

Cuando el transmisor entrega la señal de corriente alterna, ésta aumenta desde cero voltios hasta su máximo valor. Así, al llegar al pico máximo de voltaje la antena adquiere una carga eléctrica positiva. Esta carga produce a su alrededor un campo eléctrico. Cuando la señal de corriente alterna empieza a decrecer de su máximo valor hacia cero, el campo eléctrico también decrece.



**Figura 10:** Efecto de la corriente entregada por un transmisor a una antena.  
**Fuente:** Espinosa de los Monteros, Julián. Técnico en Telecomunicaciones. Tomo 1.

Por lo mismo, se puede concluir que en una antena existen un campo eléctrico y un campo magnético simultáneos que siguen las variaciones de la señal entregada a ella, y que además son perpendiculares entre sí. Así resulta una radiación de energías eléctrica y magnética que se unen para formar las ondas electromagnéticas.



**Figura 11:** Campos existentes en una antena.  
**Fuente:** Espinosa de los Monteros, Julián. Técnico en Telecomunicaciones. Tomo 1.

En las antenas son muchos los factores que influyen en la comunicación, por lo que hay que poner en ellos gran atención para obtener buenas prestaciones, desde el material de que esta fabricada, que influye en su peso, eficiencia de transmisión, y rango de frecuencias en el que puede ser

usada, hasta en su forma, que proporciona unos niveles de potencia y unos patrones de cobertura determinados.

Existen muchos tipos de antenas, dependiendo del tipo de comunicación al que esten destinadas. Por ejemplo, las terrestres para comunicación con satélites dependen del tipo de estación terrena, la cual comprende desde los centros internacionales de tráfico alto (antenas grandes de hasta 32 metros), pasando por los receptores domésticos de televisión (antenas de entre 3 y 0,5 metros), hasta pequeños terminales de comunicación de datos (antenas de hasta 0,6 metros). (Espinosa de los Monteros)

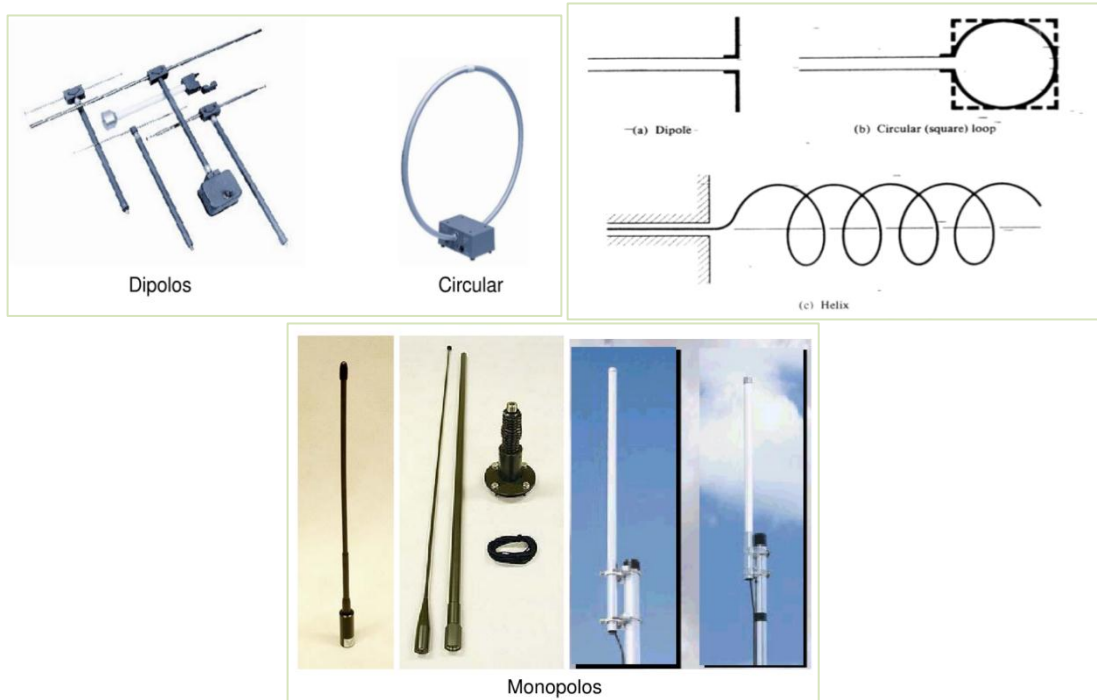
### **2.15.1 Clasificación de las antenas.**

Es una clasificación muy básica ya que el campo de antenas, completamente relacionado con el electromagnetismo, es muy amplio. De todos modos, es suficiente para describir los principales métodos de diseño de antenas.

#### **2.15.1.1 Clasificación según la geometría.**

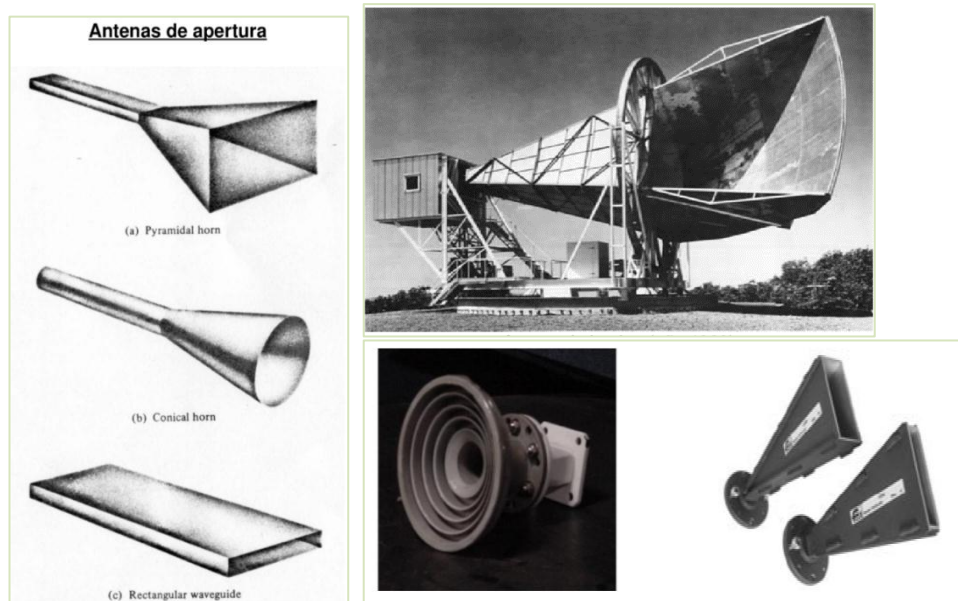
Por su forma, podemos clasificar las antenas en:

**a) Antenas de cable:** por ejemplo, los dipolos, monopolos, espiras, helicoides. Las antenas de televisión que habitualmente encontramos en los edificios están formadas por un conjunto de dipolos.



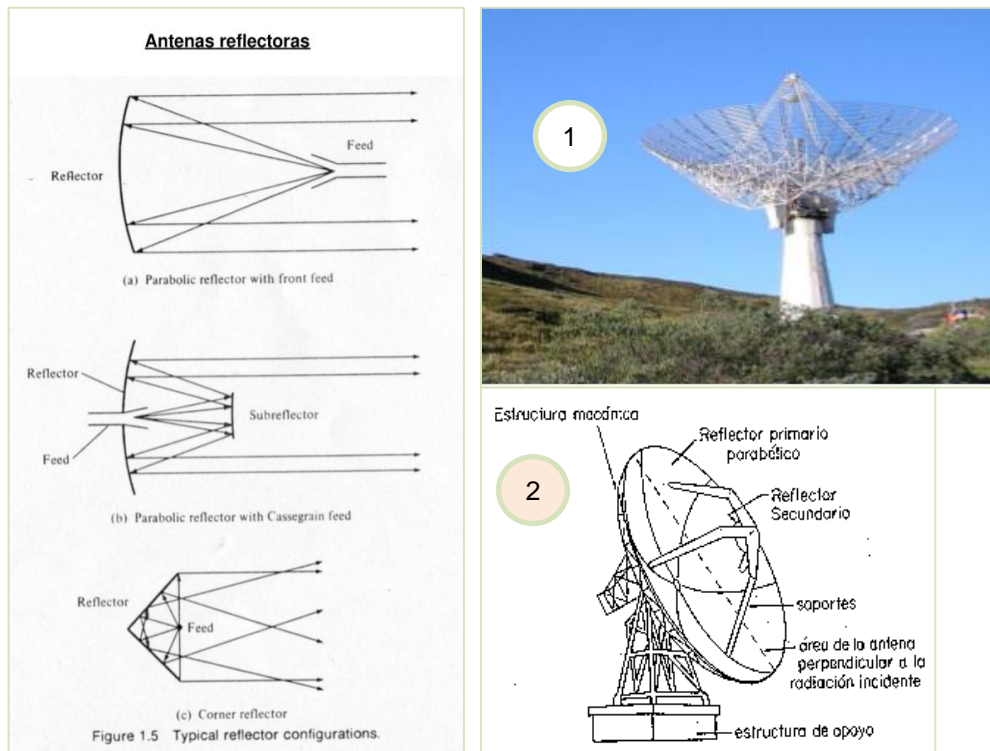
**Figura 12.** Antenas de hilo.  
**Fuente:**

**b) Antenas de apertura:** por ejemplo: las bocinas, las ranura y las antenas microstrip.



**Figura 13.** Configuración de las antenas de apertura  
**Fuente:**tipos-antenas.pdf

**c) Reflectores:** antenas formadas por un reflector, generalmente con perfil parabólico, y la antena situada en el foco del reflector. Las grandes antenas de observación del espacio son un ejemplo de ellas.



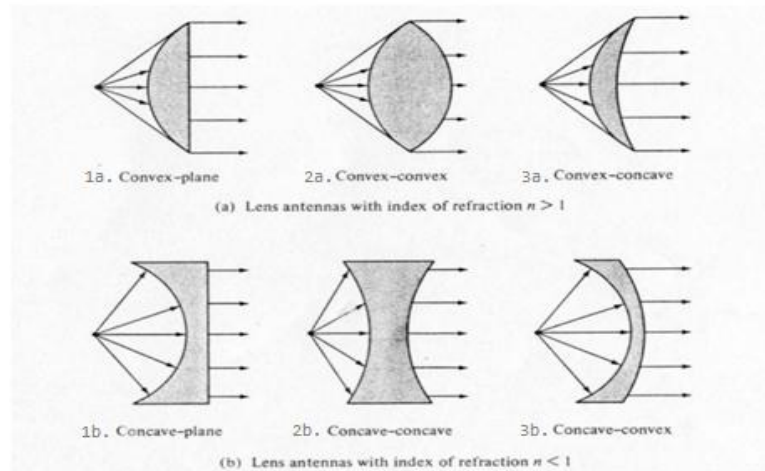
**Figura 14.** Configuración típica de reflectores (a) Reflector parabólico con alimentación frontal; (b) Reflector parabólico con alimentación cassegrain; (c) Reflector de esquina. (1) Reflector parabólico para aplicaciones radioastronómicas; (2) Antena parabólica. **Fuente:** tipos-antenas.pdf; <http://conceptosdefisica.blogspot.com/2011/08/las-antenas-parabolicas.html>

La **antena parabólica** es un tipo de antena que se caracteriza por llevar un reflector parabólico.

**d) Lentes:** formadas por una lente que tiene como objetivo conformar la radiación de una determinada forma. A partir de una fuente poco directiva (radia en muchas direcciones del espacio), permite conformar el haz para aumentar la directividad (focalizar la radiación en determinadas direcciones).

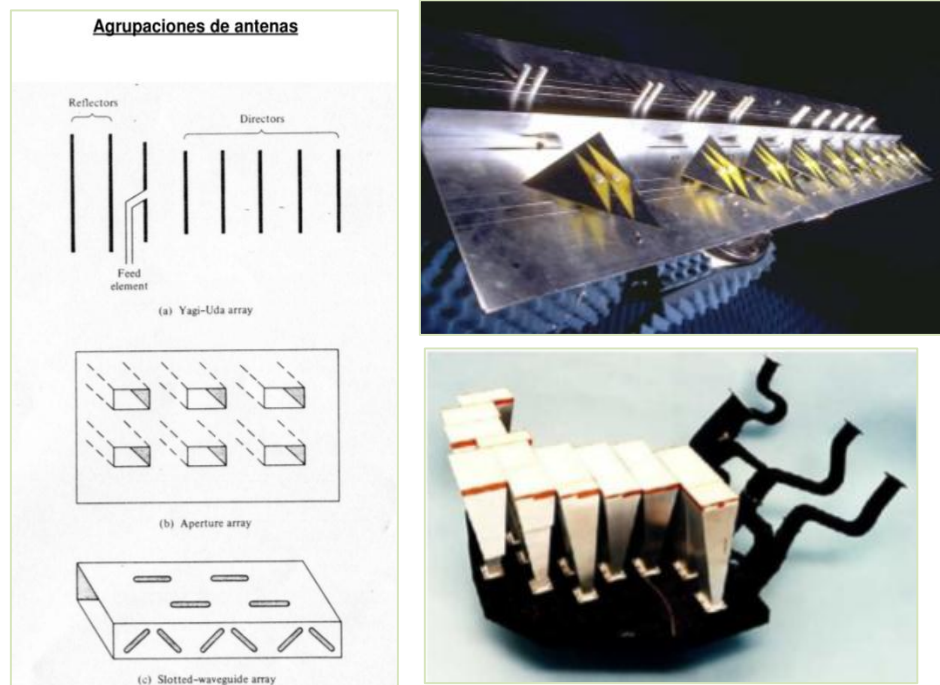


**Antenas de lente**



**Figura 15.** Típicas configuraciones de antenas de lente  
**Fuente:** tipos-antenas.pdf

**e) Agrupaciones de antenas:** cuando se junta mas de una antena para conseguir determinadas caracteristicas de radiacion, se denomina antena agrupacion o, en ingles, **array**.

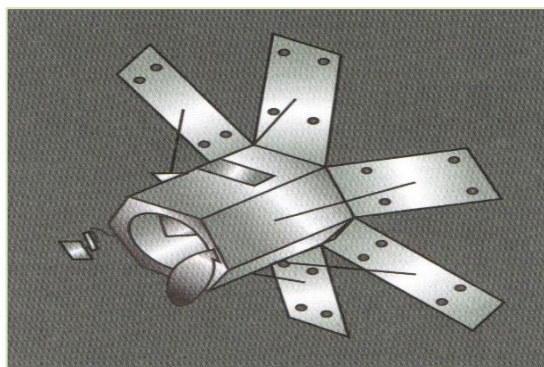


**Figura 16.** Configuración y apertura de array.  
**Fuente:** tipos-antenas.pdf

### 2.15.1.2 Clasificación según su comportamiento.

a) **Antenas de banda ancha:** son aquellas antenas que mantienen alguno de sus parametros constantes o con variaciones pequeñas en un margen de frecuencia grande. En una comunicación por satellite son necesarios requisitos de diseño de las antenas utilizadas, las cuales se puede resumir en los siguientes puntos:

- **Gran ancho de banda.** Del orden de 4GHz para el enlace descendente y de 6GHz para el enlace ascendente.
- **Gran ganancia de antena.** Para conseguir un buen rendimiento en recepcion, con buena calidad de señal recibida, asi como una alta potencia de transmision. Para ello son necesarios grandes reflectores y alta eficiencias de antena.
- **Minima temperatura de ruido.**Para conseguir igualmente una alta relacion señal-ruido. Para ello, entre otras cosas, es necesario una baja radiacion en la direccion del suelo.
- **Bajo nivel de radiacion del lobulo secundario.** Para minimizar la recepcion y transmision de señales interferentes.
- **Alta pureza de polarizacion.** Para evitar interferencias de señales de polarizacion cruzada, especialmente en el caso de sistemas de satélite de doble polarización. (Espinosa de los Monteros,2002)



**Figura 17.** Las antenas de los satélites tienen grandes anchos de banda.

**Fuente:** Espinosa de los Monteros, Julián. Técnico en Telecomunicaciones. Tomo 1.

**b) Antenas miniatura:** cuando la antena presenta unas dimensiones mucho mas pequeñas que la longitud de onda. Veremos que la dimensión de una antena esta directamente relacionada con su comportamiento electromagnético. Si se realiza una antena que tiene dimensiones pequeñas en términos de longitud de onda. Sus características se verán alteradas, las antenas de terminales móviles son un modelo.

**c) Antenas multifrecuencia:** antenas que pueden operar con unas características muy similares para diferentes sistemas de telecomunicaciones. Las antenas de estación base y terminales móviles que operan a GSM900 y GSM1800 son casos de antenas multifrecuencia. (Espinosa de los Monteros, 2002)

### **2.15.2 Tipos de antenas.**

Existen muchos tipos diferentes de antena, cada una tiene características propias de funcionamiento y sus requerimientos en tanto a su altura, alimentación, etc.

#### **2.15.2.1 Antena omnidireccional.**

Una antena que irradia basicamente por igual en todas direcciones, en forma de una figura geométrica llamada "TORO" pero sin agujero central. Son buenas para cubrir áreas grandes, la cual la radiación trata de ser pareja para todos lados es decir cubre 360°.

### **2.15.2.2 Antena direccional.**

Una antena con la que es posible dirigir su campo de irradiación hacia una dirección específica en forma instantánea dependiendo del concepto de cálculo y su forma de construcción. Son las mejores en una conexión Punto-a-Punto, acoplamientos entre los edificios, o para los Clientes de una antena omnidireccional.

### **2.15.3 Parámetros fundamentales de las antenas.**

- **Densidad de potencia radiada**

Se define como la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. Las unidades son vatios por metros cuadrados

- **Diagrama de radiación**

Se puede definir como la representación espacial de la energía que es radiada por una antena. Esta representación generalmente se hace en el campo lejano y puede llevarse a cabo en dos o tres dimensiones.

El diagrama de radiación de una antena se define como la representación gráfica de las características de radiación en función de la dirección angular. Se utiliza habitualmente un sistema de coordenadas esférico. Las 3 variables de un sistema esférico son  $(r, \theta, \phi)$ . el diagrama de radiación se puede medir colocando la antena en estudio en el centro de una esfera imaginaria y moviendo otra antena a distancia constante a ella.

- **Directividad**

Se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, entre más alta sea la directividad,

el haz de radiación será más afilado. Constituye el parámetro de mayor importancia a la hora de juzgar el patrón de radiación de una antena.

- **Ganancia**

La ganancia es un parámetro de las antenas similar a la directividad. Teniendo en cuenta el patrón de radiación, no se dice que una antena tenga ganancia porque amplifique la señal recibida del transmisor, sino porque la concentra hacia una única dirección, lo que hace parecer como si la señal fuese emitida con una potencia mayor. La ganancia de las antenas se mide en decibelios, que es la unidad de medida adoptada para este tipo de parámetros. Para determinar la ganancia se establece la intensidad en un punto, emitida por una antena omnidireccional sin ganancia, y la intensidad de la señal emitida por la antena direccional.

- **Polarización**

La polarización de una antena es la polarización de la onda radiada por dicha antena en una dirección dada. La polarización de una onda es la figura geométrica que describe el vector del campo eléctrico de la señal a medida que avanza por el medio de transmisión. Para ondas con variación sinusoidal dicha figura es en general una elipse. Una onda esta polarizada circular o elípticamente a derechas si un observador viese a esa onda alejarse, y además viese girar al campo en el sentido de las agujas de un reloj. Si lo viese girar en sentido contrario, sería una onda polarizada circular o elípticamente a izquierdas.

- **Impedancia**

Se define como la relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada. El valor de la impedancia de una antena es la resistencia que esta presenta en su punto de conexión a la señal de corriente alterna que llega del transmisor por la línea de transmisión, es decir, la resistencia que ofrece al paso de la corriente. Esta impedancia de la línea

de transmisión para que haya una máxima transferencia de energía. La impedancia se mide en ohmios y el valor adoptado universalmente para las antenas de los equipos de radio es de 50 ohmios. Cuando la impedancia de la antena es de un valor diferente se utilizan bobinas o transformadores con el fin de acoplar esas impedancias.

- **Ancho de banda**

El ancho de banda de una antena es un valor subjetivo dependiendo de las características buscadas en el funcionamiento de una antena. El ancho de banda se describe como “ el rango de frecuencias dentro del cual el desempeño de la antena, con respecto a alguna características se ajusta a un estándar especificado”. En otras palabras el ancho de banda se refiere al rango de frecuencias que cumplan las características deseadas, las cuales pueden ser intensidad de potencia, potencia radiada, coeficiente de reflexión, coeficiente de transmisión, directividad, etc.

- **Adaptación**

Las antenas receptoras tienen un circuito equivalente de Thevenin, con una impedancia de antena y un generador de tensión. La transferencia de potencia entre la antena y la carga es máxima cuando ambas impedancias son complejas conjugadas.

- **Área y longitud efectiva**

El área efectiva se define como la relación entre la potencia recibida y la densidad de potencia incidente en una antena. La antena debe estar adaptada a la carga, de forma que la potencia transferida sea la máxima. La onda recibida debe estar adaptada en polarización a la antena. En recepción, el área efectiva representa el área equivalente a través de la cual se extrae la energía de las ondas electromagnéticas que llegan a la antena. La longitud efectiva de una antena linealmente polarizada se

define como la relación entre la tensión inducida en una antena en circuito abierto y el campo incidente en la misma. La longitud efectiva es un parámetro útil para el diseño de antenas lineales. En particular, conocida la longitud efectiva de una antena, los campos radiados se pueden determinar utilizando las expresiones halladas para el dipolo ideal.

#### **2.15.4 Antenas elementales.**

El tipo de antena más sencillo consiste en un conductor de suficiente longitud para permitir que la carga eléctrica se desplace de un extremo a otro y viceversa durante cada período de la señal de radiofrecuencia.

Hay dos tipos principales de antenas:

- **La antena tipo Hertz.** Consiste en una antena horizontal aislada de la tierra con un tamaño de media longitud de onda de la frecuencia que se desea transmitir. Esta formada por dos alambres y recibe popularmente el nombre de antena dipolo de media onda lineal o dipolo simple.
- **Antena tipo Marconi.** Que utiliza como uno de sus polos la tierra y mide un cuarto de la longitud de la onda para transmitir. Este tipo de antenas se monta en forma vertical.

Se deduce que la longitud de las antenas está relacionado con la frecuencia de la señal que se va a transmitir. Cuanto más alta sea la frecuencia de comunicación, menor es la longitud de onda y mas pequeña debe ser la antena.

Hay que tener en cuenta que la antena debe instalarse en lugares despejados que se disponga y a la mayor altura que se pueda lograr. Hacen excepciones a estas condiciones las antenas verticales de alta frecuencia, que pueden instalarse a nivel del suelo sin que sus resultados se vean afectados. La instalación de una antena vertical **tiene fama de ser ruidosa** y siempre necesitan poseer radiales, es decir sus contra antenas. Puede ayudar para obtener una mejor recepción, además de prevenir daños en caso de tormentas eléctricas.

Las antenas horizontales **tienen inconvenientes** de índole económico, espacio físico, accesorios adicionales, instalación, etc. **Tienen ventajas** como poseer una ganancia de 6 decibelios sobre un dipolo. Así, la recepción puede llegar a ser el doble que en una vertical, que esta muy limitada por el ruido. Existen otros tipos de antenas como:

- Las antenas de hilo
- Las bocinas
- Los reflectores
- Las antenas de látigo vertical
- La antena coaxial
- La antena de plano de tierra

Estas antenas se utilizan especialmente en las estaciones fijas o bases. Las antenas de haces verticales, que están formados por varios elementos en forma de parrilla o conjunto de varillas paralelas. En su forma es muy similar a las antenas que se utilizan para los receptores de televisión; estas antenas reciben el nombre de **Yagi**, debido a que **fueron ideadas por los japoneses Yagi y Uda**. (Espinoza de los Monteros, 2002)





**Figura 18.** Dr. Yagi y su antena (patentada en 1940)  
**Fuente:** tipos-antenas.pdf

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA UTILIZADA**

#### **3.1. ALCANCE**

Para la presente investigación se utilizó la técnica de la observación de campo acudiendo al sitio objeto de estudio, recinto Marcelino Maridueña, para realizar las observaciones del comportamiento de los equipos *ubiquitiNanoStationlocoM* y las pruebas efectuadas con los mismos, obtener la información necesaria y registrarla para después analizarla.

Las pruebas se realizaron instalando los equipos de comunicación, ubicándolos a una distancia aproximada de 1 km uno del otro, se practicaron pruebas de transferencia de información, datos, etc. a través del espectro radioeléctrico permitido por el Estado.

#### **3.2. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

La presente es una investigación de tipo descriptiva, pues se recolectaron datos del comportamiento de las señales generadas por los equipos utilizados y de este modo se obtuvo información del contexto observado; y, de tipo explicativa, ya que se expone de manera concreta las características, ventajas y desventajas fundamentales del fenómeno de transmisión en los equipos *ubiquitiNanoStationlocoM5*.

La investigación documental permitió seleccionar varios libros, escritos y publicaciones para recopilar la información necesaria y hacer posible la producción del presente trabajo, realizando la revisión y consideración de cada uno de los elementos que conforman los conceptos de red punto-multipunto y radioenlaces.

De igual manera, fueron consideradas las normas para el uso del espectro radioeléctrico que rigen en el país las mismas que fueron examinadas para proponer mejores alternativas.

Método pre-experimental, ya que se limitó sólo a la observación en condiciones naturales del fenómeno analizándolo sin modificarlo o alterarlo.

Además, fue contemplado el método de la medición, esto es, con los datos de las mediciones realizadas se procedió a hacer comparaciones de las mismas en diferentes momentos lo que permitió realizar un concepto de localización de transmisión en el recinto Marcelino Maridueña en un antes y un después de hacer las pruebas con los equipos.

### **3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

**Pre-Experimental.** Puesto que no se manipularon las variables del estudio, se procedió 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 procedió a su análisis respectivo, de tal forma que sirvan para estudios exploratorios.

### **3.4. EQUIPOS UTILIZADOS**

Dentro de la gama de equipos de RF que pueden elegirse para las pruebas y la propuesta, están los de marcas reconocidas tales como Motorola, Cisco y UBIQUITI. Se ha escogido esta última marca porque son equipos de banda ancha de alto rendimiento con bajos costos.

Estas características y el pequeño factor de forma de *NanoStationM* y *NanoStationlocoM*, los hace extremadamente versátiles y económicos para

la implementación de cualquier proyecto donde se requiera una cobertura RF.

### 3.4.1. *Ubiquiti NanoStation M5*

Los equipos utilizados en el estudio y que están dentro de la propuesta de red, son NanoStation M, Modelo NSM5, que trabajan en una frecuencia de operación 5 GHz, con ganancia 16 dBi, los mismos que pueden trabajar tanto en interior como en exterior. La tasa de datos máxima es de 300 Mbps.



**Figura 19.**Equipo *NanoStation M5*  
**Fuente:** DatasheetNanoStationM



**Figura 20.** Vista posterior de *NanoStation M5*  
**Fuente:** DatasheetNanoStation M



**Figura 21.** Especificaciones técnicas de *NanoStation M5*  
**Fuente:** DatasheetNanoStation M

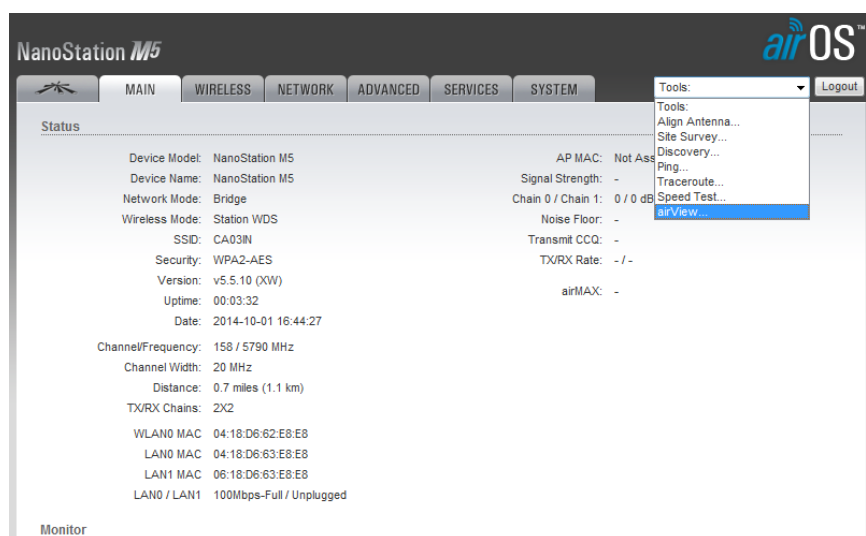
El *UbiquitiNanoStationM* tiene un procesador Atheros MIPS 24KC, 400 MHz, con memoria de 32 MB SDRAM, 8 MB Flash y 2 puertos Ethernet 10/100.

Estos incorporan tecnología *PowerOver Ethernet* (POE) que permite la transmisión de datos hasta 100 metros por cable UTP.

Estos equipos cuentan con un software que son de gran ayuda, para la configuración, medición, evaluación y testeo de las señales que envía o reciben.

Se puede ingresar de 2 formas: conectando un *patchcord* a una laptop o PC (generalmente para pruebas y/o configuración inicial) y una vez ya instalados por medio de la web.

El airOs es el software principal, el cual se utiliza para la configuración de calidad y capacidad de los equipos *NanoStation* como muestra la figura 22.



**Figura 22.** Pantalla del airOs

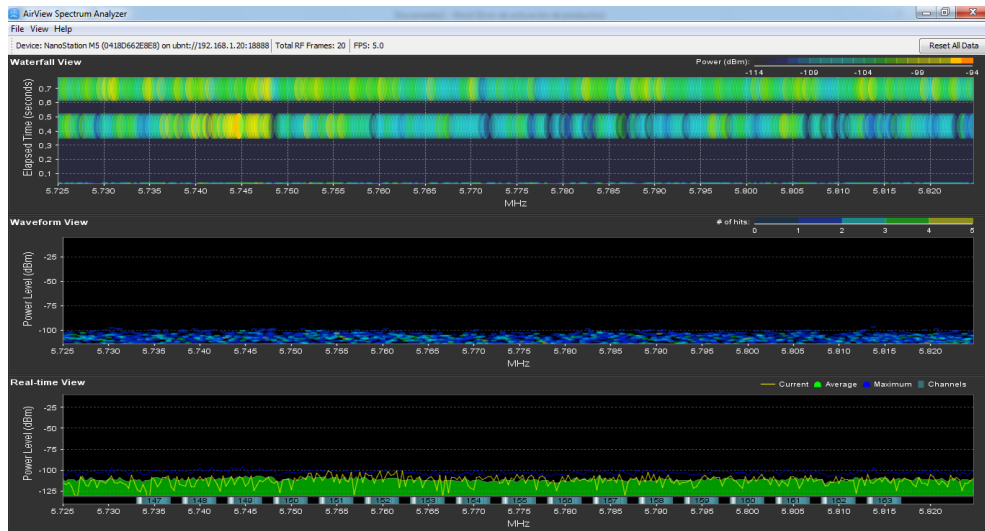
**Fuente:** Autor

La aplicación *airView* que está dentro de las Herramientas dispone de 3 gráficos como muestra la figura 23, provee la funcionalidad de un analizador de espectro, presentando las formas de onda en tiempo real:

*Waterfall:* Muestra todo el tráfico que le da la Ethernet al equipo, además de cuánto espectro está consumiendo, en forma de rangos y picos.

*Waveform:* Normalmente los equipos tienen intensidad de señal (*powerlevel*), calidad y capacidad, indica el nivel de cómo está enganchado los *NanoStation*.

*Real-time*: la energía es presentada en tiempo real como una función de la frecuencia. Muestra el ruido que hay en cada una de las frecuencias.



**Figura23.** *Waterfall View-Waveform View-Real Time View*  
**Fuente:** Autor

La aplicación *airControl* se encuentra dentro de herramientas la opción *SiteSurvey*, es un programa de gestión de red, el cual necesita *Google Earth*, donde se puede visualizar el mapa de la red, supervisión del estado de los dispositivos, Programación de tareas, entre otros.

#### 3.4.1.1. Aplicación para cálculo de enlace.

La página web de Ubiquiti ofrece el programa en línea *outdoorwireless link calculator* que sirve para valorar las transmisiones lo que facilita precisar la distancia que tendrá cada enlace en la ejecución de las pruebas.

La aplicación de este programa resulta sencilla, se ingresan las coordenadas en decimales de las dos localizaciones en donde estarán ubicadas las antenas, se ingresa el modelo de antena empleada, la frecuencia a utilizar y la potencia, es entonces cuando el simulador estima la factibilidad mostrando

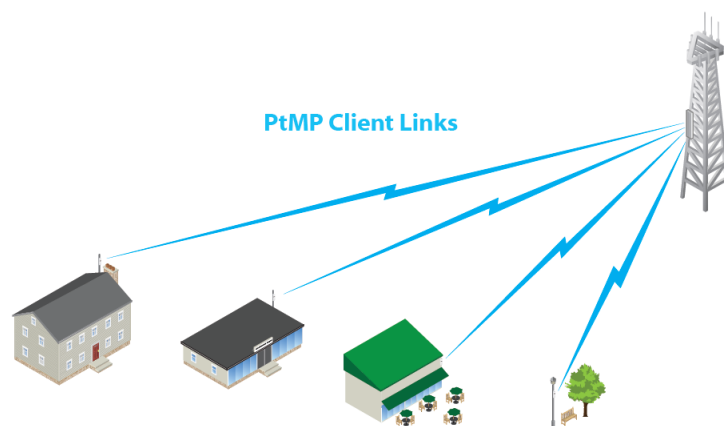
un gráfico especificando la distancia entre el equipo emisor y el equipo receptor de una onda electromagnética (zona de *Fresnel*) con detalles de los niveles de recepción de las antenas.

### 3.4.2. Terminales PC para monitoreo y visualización del espectro RF.

Tanto el equipo que va a ser utilizado como *master* en el extremo del transmisor, como en el receptor (*slave*) estarán conectados a un computador para poder visualizar el análisis espectral por medio de software.

### 3.5. ESQUEMA BÁSICO DE RADIOENLACE PUNTO A MULTIPUNTO

El esquema básico que se va a tratar es un enlace punto a multipunto, el cual se muestra en la siguiente ilustración:



**Figura 24.** Red Punto a Multipunto  
**Fuente:** Autor



## **CAPÍTULO IV**

### **4. DISEÑO, PRUEBAS Y ANÁLISIS DE LA RED PROPUESTA PARA MARCELINO MARIDUEÑA**

#### **4.1. SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO DE INTERNET EN EL RECINTO MARCELINO MARIDUEÑA**

Actualmente, el servicio de Internet lo provee la empresa pública CNT por medio de cobre, es decir, a través de las líneas telefónicas ADSL.

Según encuestas a varios usuarios, el servicio de Internet es intermitente, en muchas ocasiones se torna lento, además, existen interrupciones esporádicas del mismo, lo que ocasiona un retraso en el trabajo que se tenga que realizar con el Internet.

Cuando se utiliza cobre la máxima distancia sin atenuación es de 1 Km, lo que implica que a mayor distancia la señal comienza a degradarse, resultando en un servicio lento de Internet o con interrupciones no deseadas. El máximo ancho de banda que se logra en cobre, es de 2 Megas.

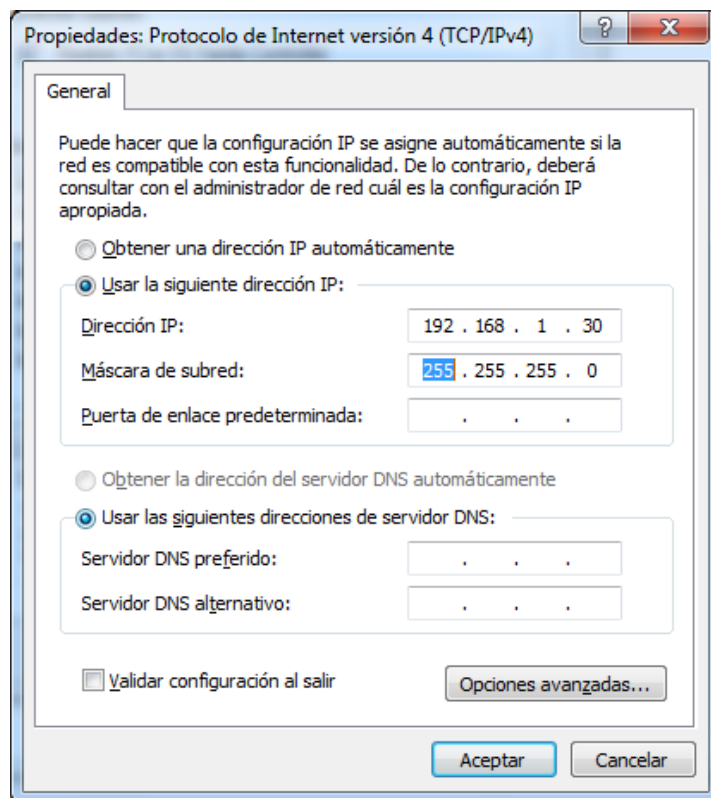
El servicio actual es lento, no tiene un ancho de banda adecuado ni la velocidad de transmisión es grande por lo que el acceso a Internet se vuelve pesado, en conclusión, no es óptimo.

Las velocidades de los datos dependen de la longitud del alambre de cobre, la interferencia, entre otros factores.

#### 4.3.1. Configuración de equipos *UbiquitiNanoStation M5* y computadores para análisis de espectro.

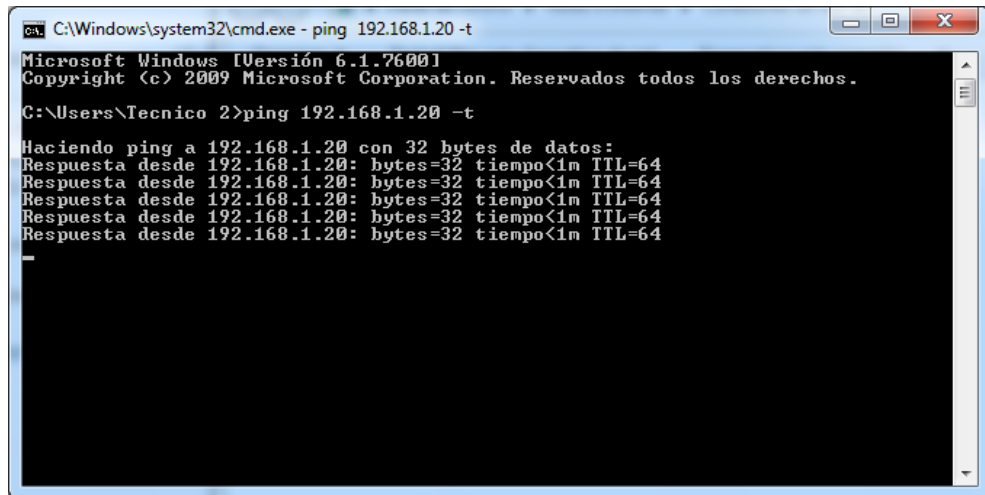
Se procede a configurar los equipos NanoStation M5 para la medición del espectro en la banda de 5 GHz.

Primero se realiza la configuración IP de la computadora donde se va a conectar el NanoStation M5:



**Figura 25.** Configuración de propiedades IP de laptop  
**Fuente:** Autor

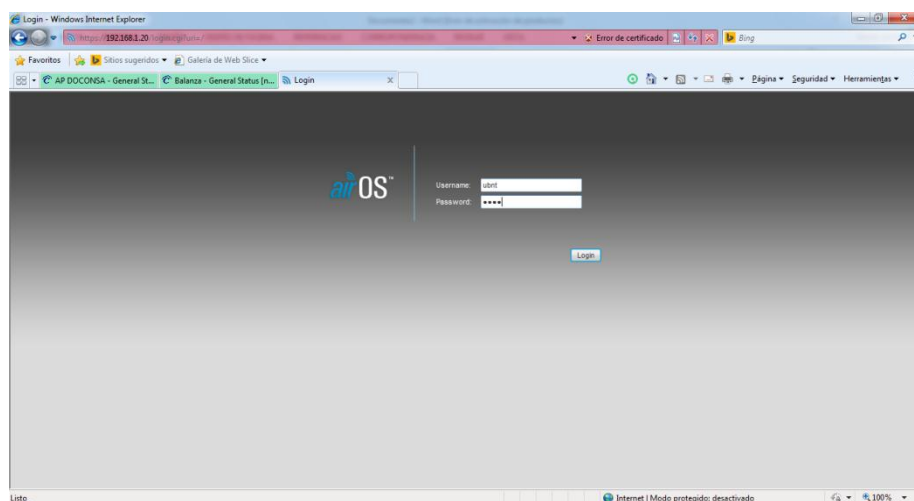
Se realiza el ping para ver si se conectó adecuadamente.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe - ping 192.168.1.20 -t
Microsoft Windows [Versión 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
C:\Users\Tecnico 2>ping 192.168.1.20 -t
Haciendo ping a 192.168.1.20 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.20: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.20: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.20: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
Respuesta desde 192.168.1.20: bytes=32 tiempo<1m TTL=64
-
```

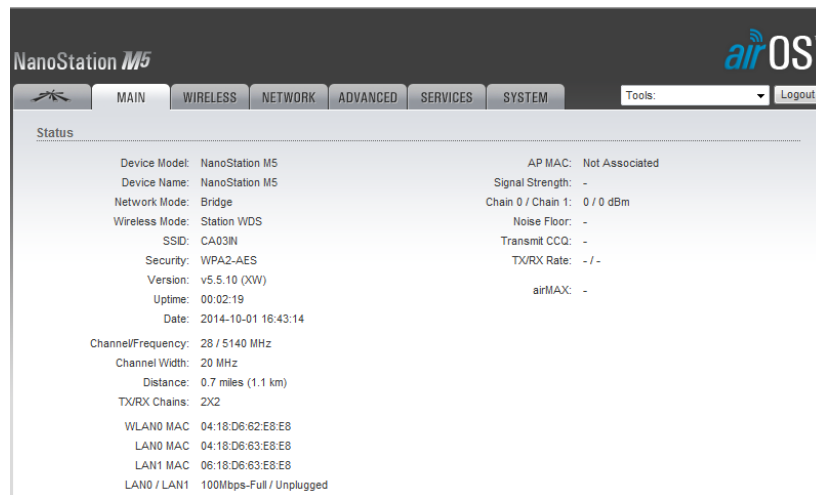
**Figura 26.** Ping de laptop a NanoStation M5  
Fuente: Autor

Una vez verificada la conexión con la laptop, se ingresa al software del NanoStation M5.

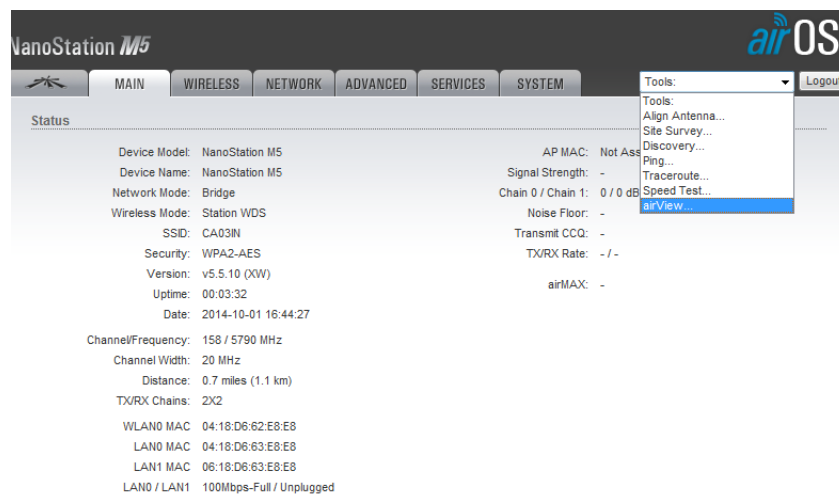


**Figura 27.** Pantalla inicial al conectarse a la dirección IP del NanoStationM5  
Fuente: Autor

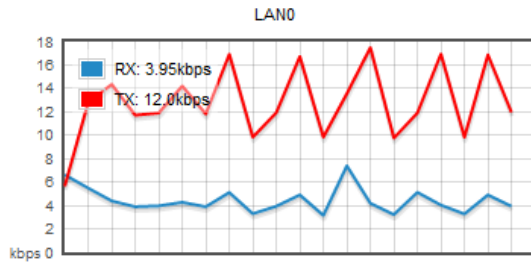
Se configuran los *NanoStation M5*, dos como *master* y 3 como *slave*.



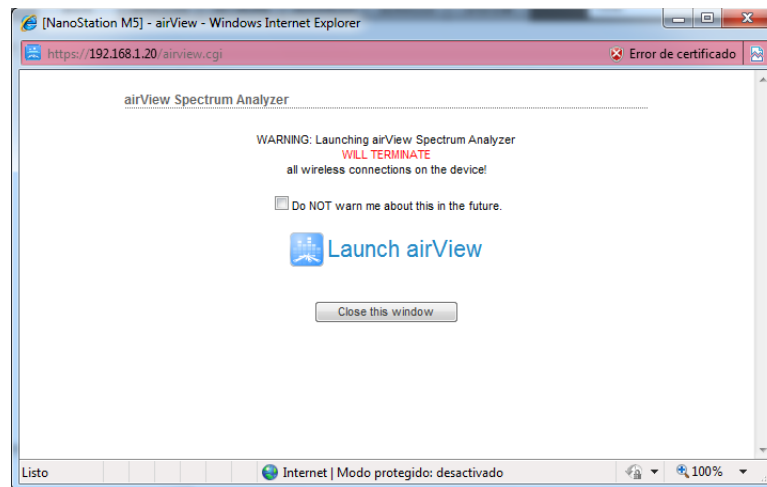
**Figura 28.** Pantalla *airOs* para configuración *NanoStation M5*  
**Fuente:** Autor



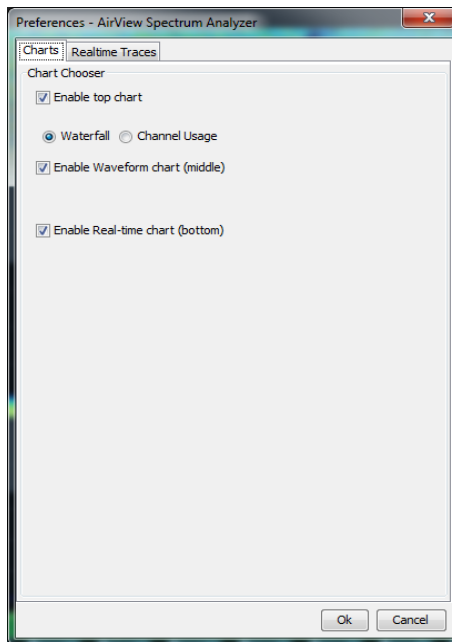
**Figura 29.** Pantalla *airOs* mostrando opción *Tools*  
**Fuente:** Autor



**Figura 30.** Pantalla *airOs* mostrando Transmisión y Recepción  
**Fuente:** Autor

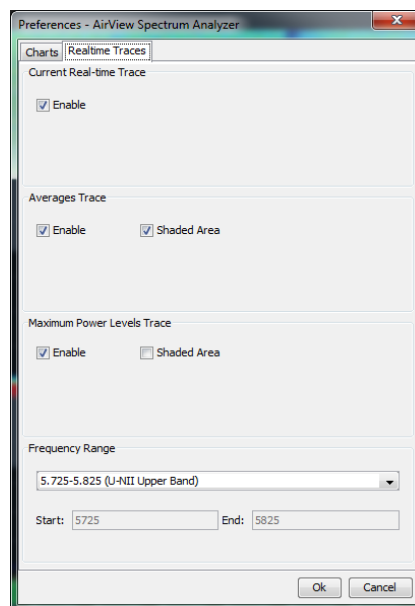


**Figura 31.** Pantalla abriendo el *airView*  
**Fuente:** Autor



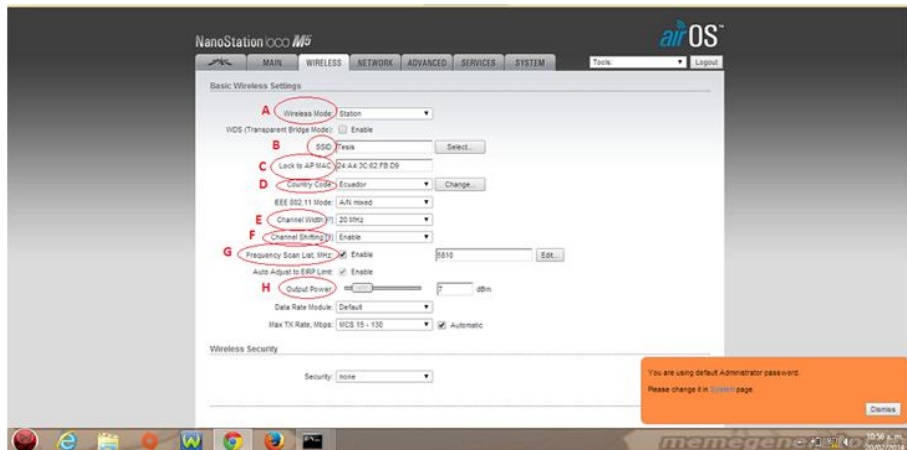
**Figura 32.** Pantalla Preferencias *AirView*  
**Fuente:** Autor

Luego se configura la frecuencia en la cual trabajan los *nanoStation M5*, en este caso 5 GHz.



**Figura 33.** Pantalla de configuración de frecuencia de operación  
**Fuente:** Autor

Luego del procedimiento indicado se termina la configuración para la ubicación de los *nanoStation M5* en los puntos propuestos.

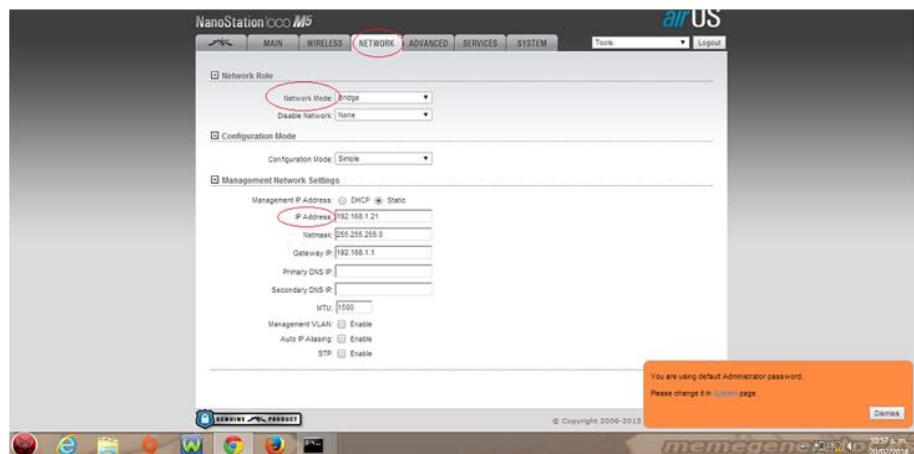


**Figura 34.** Configuración para un enlace punto a punto pestaña wireless  
Fuente: Autor

En la pestaña *wireless* se configuran los parámetros:

- *WirelessMode*: se configura una antena como estación (*station*) y la otra como punto de acceso (*Access point*).
- *SSID*: es la denominación que se le da a una red, en la que ambas antenas deben tener el mismo SSID para que estén sincronizadas.
- *Lockto APMAC*: se define la MAC address del dispositivo remoto para que puedan conectarse.
- *Country Code*: se especifica el país, según el caso se establece la frecuencia.
- *ChannelWidth*: se define el ancho de banda a emplear, declarándolo también en el sitio remoto, para el presente caso 20 MHz.
- *ChannelShifting*: se habilita el canal (*enable*) puesto que por defecto viene deshabilitado (*disable*).
- *FrequencyScanList MHz*: se habilita también la lista de frecuencias existentes, configurando la misma frecuencia en ambas antenas, que para el presente estudio fue la de 5810.

- *Output Power*: se especifica la potencia conforme a la distancia, en este caso 7dBm.



**Figura 35.** Configuración para un enlace punto a punto pestaña Network  
Fuente: Autor

## 4.2. DISEÑO DE RED INALÁMBRICA PARA EL RECINTO MARCELINO MARIDUEÑA

El Ingenio San Carlos tiene un servicio de Internet por Fibra Óptica suministrada por una empresa privada con 60 MB de ancho de Banda (sólo ocupan 30 MB para el enlace punto a punto de las oficinas de Guayaquil a San Carlos) y una tasa de transferencia de 300 Mbps.

### 4.3.1. Diseño de red inalámbrica propuesta.

Para la propuesta de red inalámbrica que ofrecerá servicio de internet se requieren los siguientes equipos:

- 2 equipos *NanoStation M* que van a actuar como *Master* (se instalará en la torre de 90 metros ubicada en San Carlos)



- 3 equipos *NanoStation M* que van a ser *Slaves* (los sitios propuestos son el Colegio Fiscal Ingenio San Carlos, Comisariato San Carlos, Asociación de trabajadores de San Carlos).
- Cable UTP
- *Switch*’s
- Computadores

Se escoge como nodo principal la torre de 90 metros ubicada en el Ingenio San Carlos, ya que es el punto más alto del recinto Marcelino Maridueña y tiene línea de vista con los puntos escogidos para colocar los AP’s esclavos.

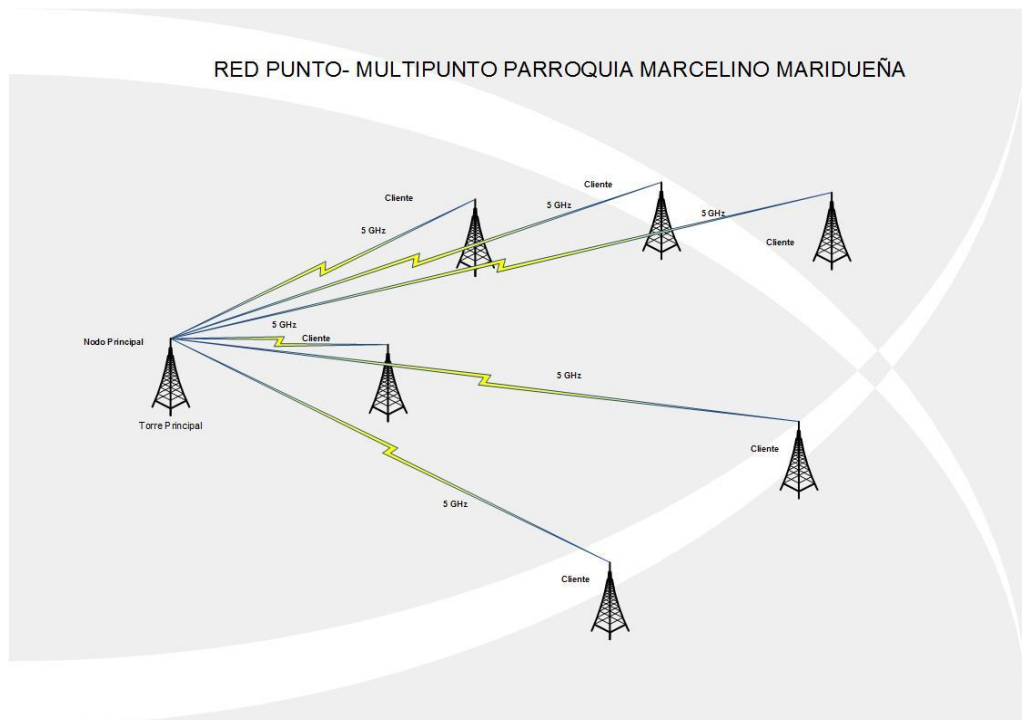
**Tabla N° 5**  
**Ubicación de los equipos *NanoStation M5***

Equipo NanoStation M5	Ubicación
<b>Master 1</b>	Torre 90 metros del Ingenio San Carlos
<b>Master 2</b>	Torre 90 metros del Ingenio San Carlos
<b>Slave 1</b>	Colegio Fiscal “San Carlos”
<b>Slave 2</b>	Comisariato San Carlos
<b>Slave 3</b>	Asociación de Trabajadores San Carlos

Fuente y elaboración: Autor



**Figura 36.** Torre 90 metros ubicada en San Carlos  
**Fuente:** Autor



**Figura 37.** Red punto – multipunto propuesta  
**Fuente:** Autor



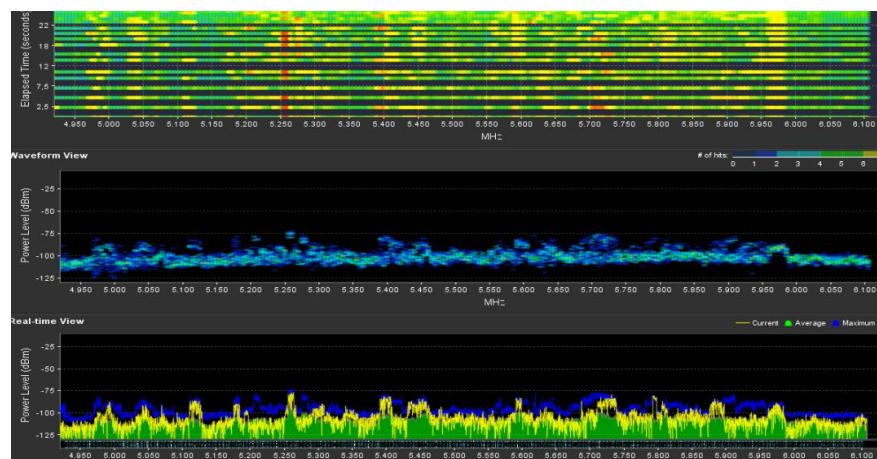
**Figura 38.**Ubicación sectorial de la red propuesta  
**Fuente:** Autor

### 4.3. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA SEÑAL ENVIADA POR EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

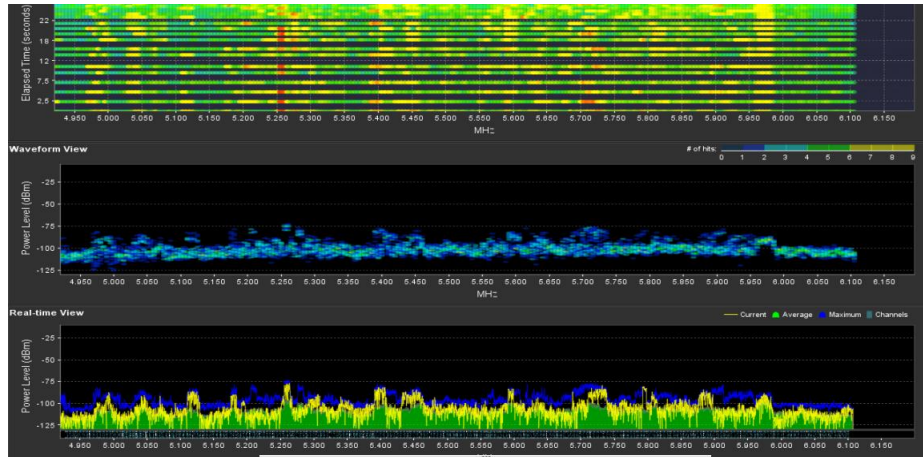
#### 4.3.1. Monitoreo del espectro en la banda de frecuencia de 5 GHz.

Se procedió a realizar un análisis y muestreo del espectro de frecuencia en varios momentos del día:

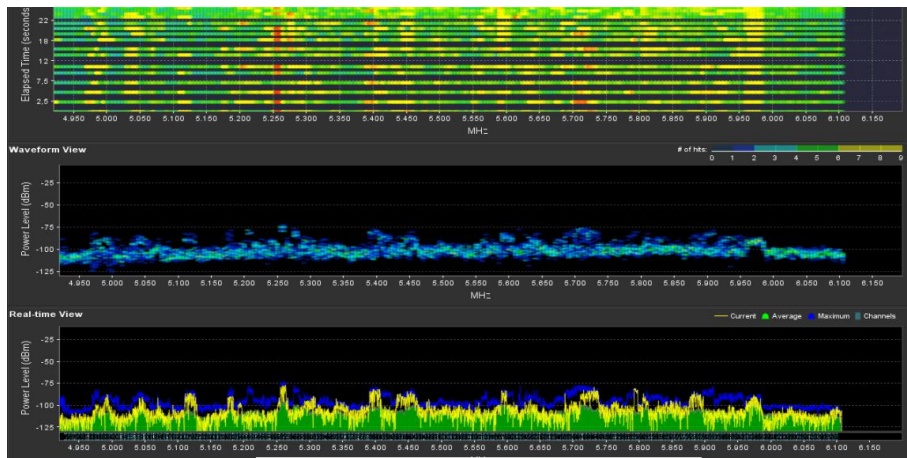
Hora: 10h00



Hora 14h00



Hora: 17h20



Lo que manifiesta el análisis de espectro, es que en los 3 muestreos realizados no hay variaciones de ruido en el sector, lo que indica que la frecuencia de 5 GHz es una frecuencia ideal para trabajar sin ningún problema de comunicación.

### 4.3.2. Análisis de la medición del espectro en los puntos establecidos.

El menú de configuración de los equipos *Ubiquite* presenta una *list box* de herramientas para obtener información de los niveles de recepción del enlace.

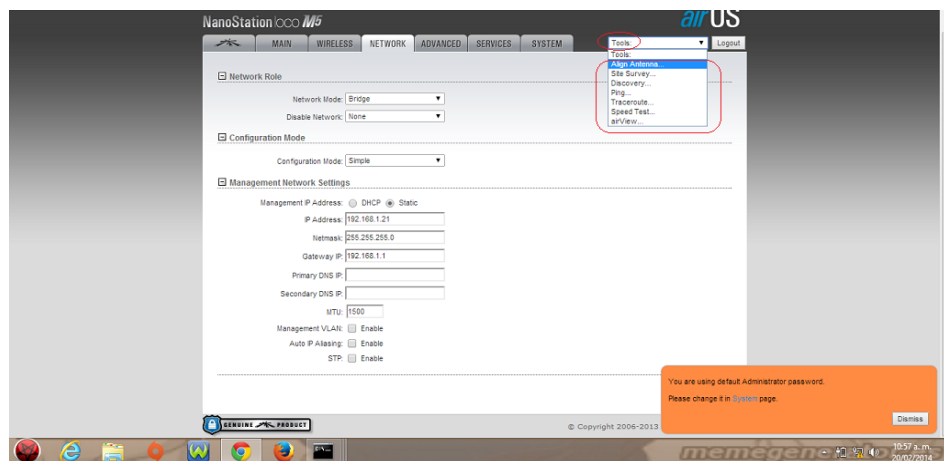


Figura 39. List box de herramientas  
Fuente: Autor

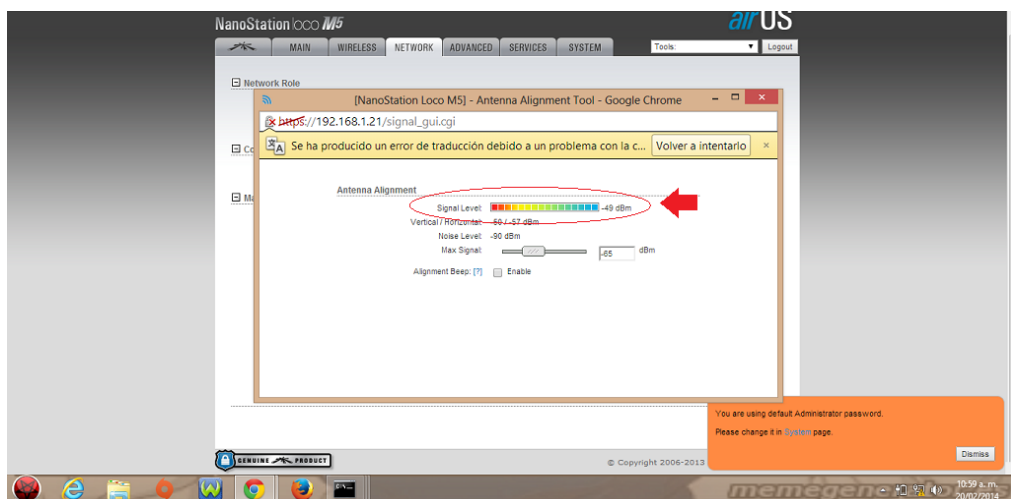
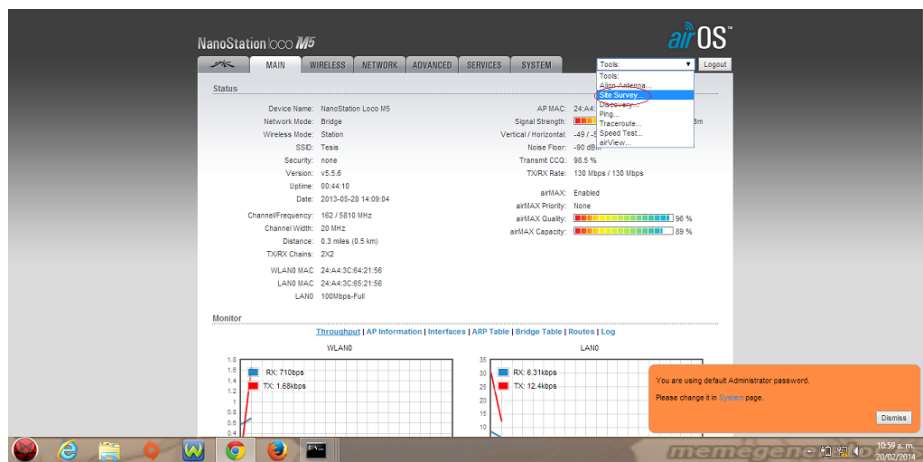


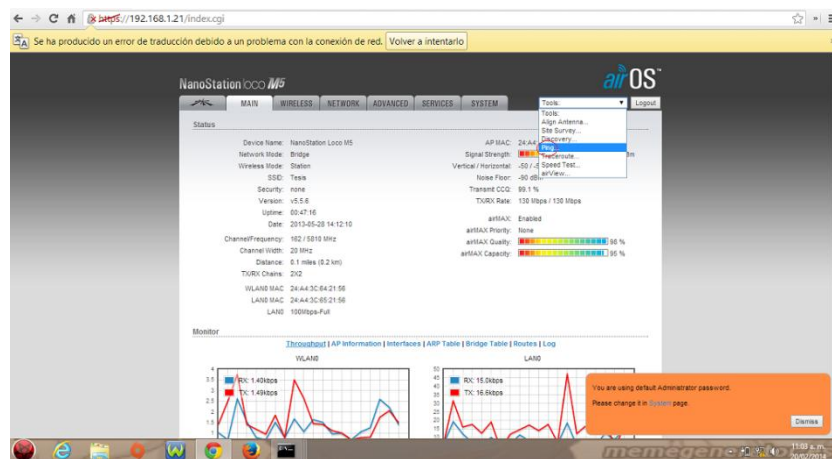
Figura 40. Nivel de recepción de los equipos  
Fuente: Autor

La figura anterior muestra que los niveles son altos (de -49dBm) debido a la distancia existente, el rango en que se debe ubicar un enlace para un funcionamiento aceptable debe ser entre -65 o -70 dBm.

Para efectuar un escaneo del sitio en busca de otros dispositivos *Ubiquitis* se emplea la opción *SiteSurvey* del menú.



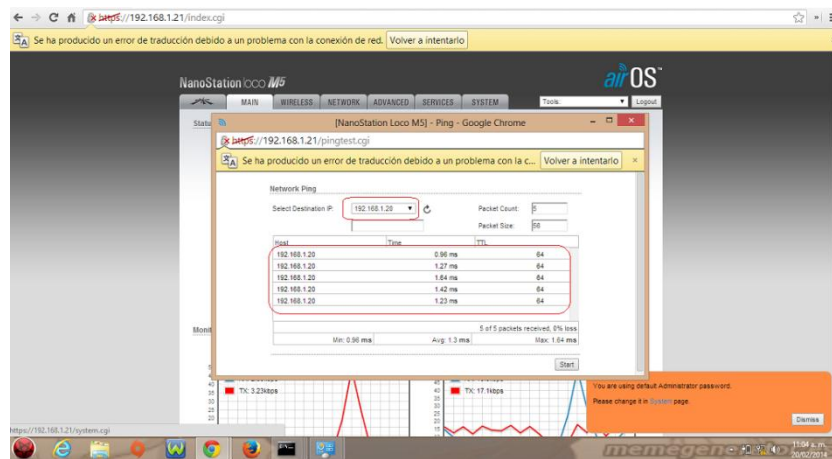
**Figura 41.** Menu *SiteSurvey* para sondeo de sitio  
Fuente: Autor



**Figura 42.** Herramienta *Ping*  
Fuente: Autor

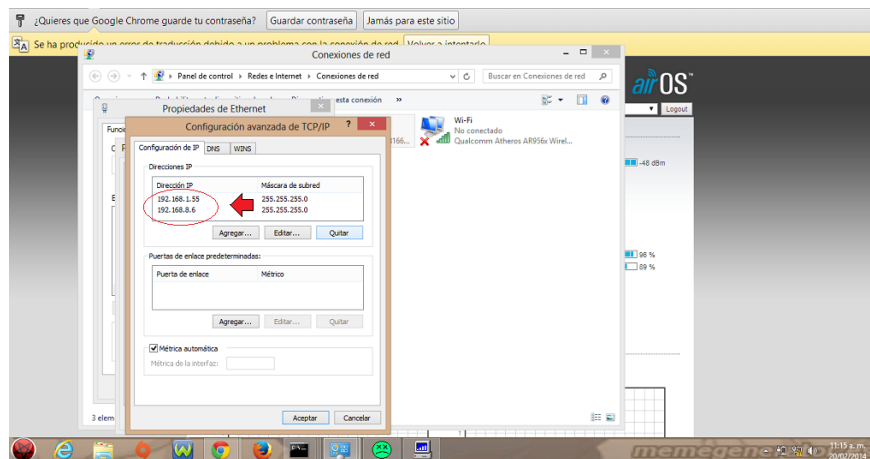


Para efectuar pruebas del equipo remoto se hace uso de la herramienta *Ping* con la que se puede observar tiempos de respuesta y comprobar pérdidas de paquetes de datos.

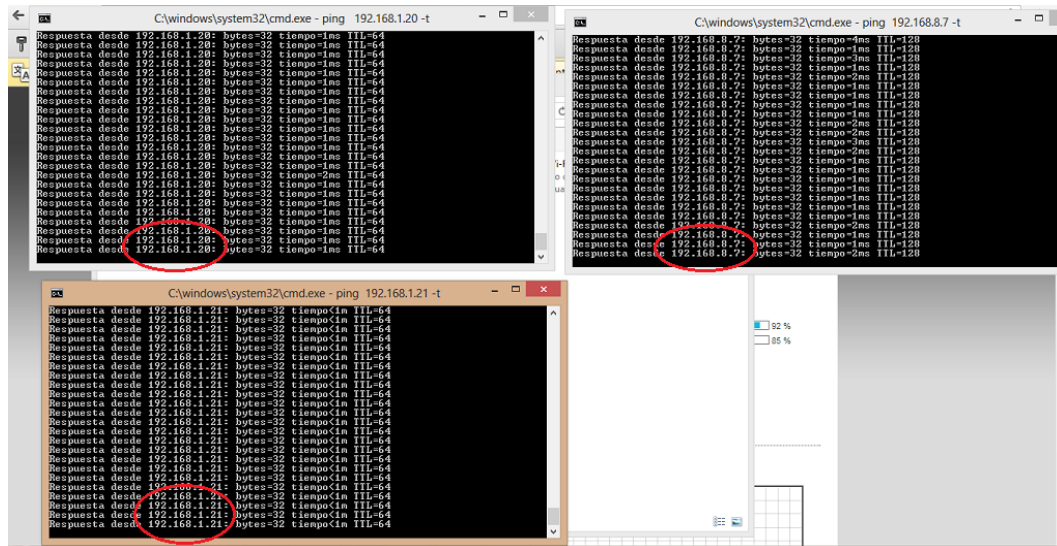


**Figura 43.** Respuesta del *Ping* desde el equipo remoto  
**Fuente:** Autor

La prueba de saturación sirve para comprobar si el enlace opera en perfectas condiciones.

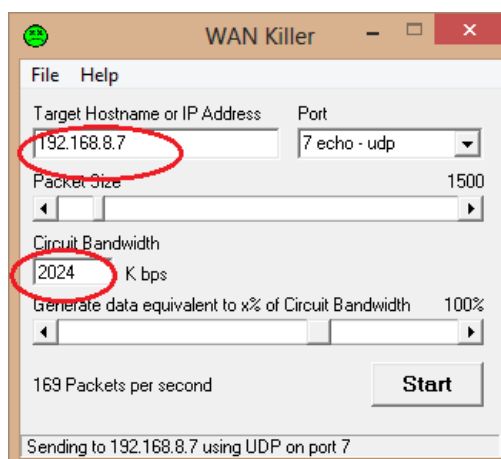


**Figura 44.** Análisis de saturación de enlace  
**Fuente:** Autor



**Figura 45.** Análisis de respuesta de cada equipo  
Fuente: Autor

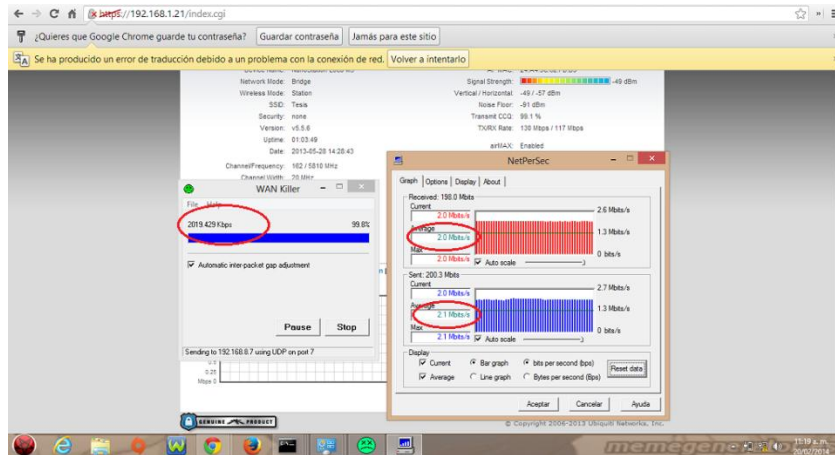
Para la prueba de saturación se configura *WAN Killer* con la IP del equipo remoto y con *CircuitBandwidth* de 2024 Kbps.



**Figura 46.** Prueba de saturación  
Fuente: Autor

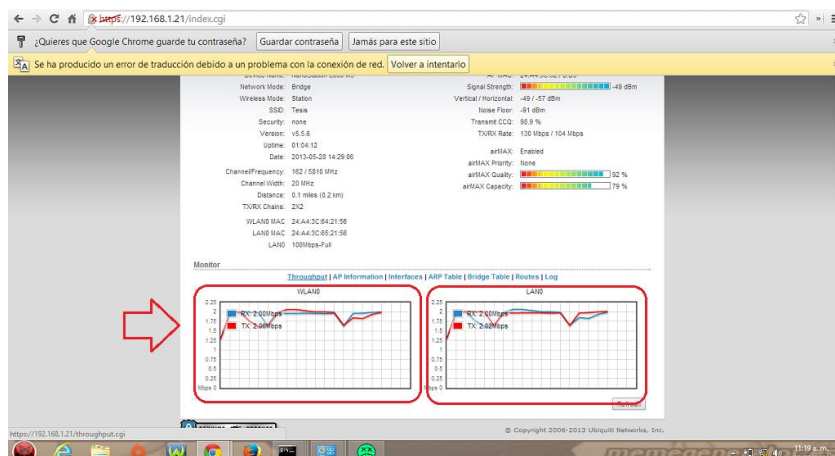


Con el *NetPerSec* se puede observar el tráfico presente, en este caso 2 Mbps de bajada y 2.1 Mbps de subida sin presencia de pérdidas.



**Figura 47.** Visualizador de tráfico  
Fuente: Autor

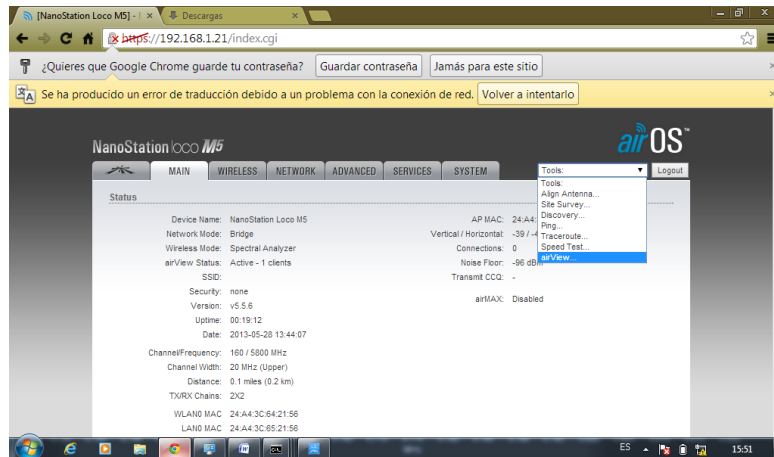
Los equipos *Ubiquiti* constan de un visualizador de rendimiento (*Throughput*).



**Figura 48.** Visualizador de rendimiento  
Fuente: Autor

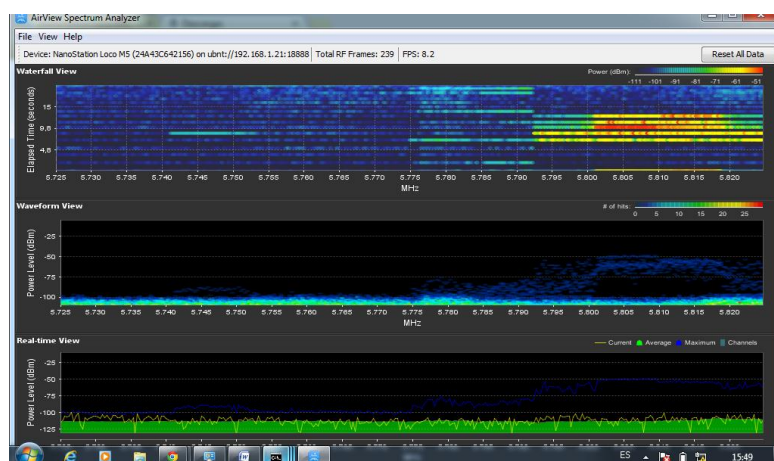
Una vez concluidas las pruebas satisfactoriamente se analiza el espectro (*AirView*) para definir la mejor frecuencia que se debería emplear, lo que se determina por colores: rojo, amarillo y naranja advierte que los canales están

ocupados y en tal situación es recomendable no configurarlos para evitar interferencias y pérdida de paquetes de datos.



**Figura 49.** Herramienta *AirView*  
**Fuente:** Autor

El analizador de espectro muestra la frecuencia de 5810 MHz, aplicada en la prueba, en colores cálidos lo que señala que se encuentra saturada y paulatinamente se generarían pérdidas en el enlace.



**Figura 50.** Espectro de prueba  
**Fuente:** Autor

## 5. CONCLUSIONES

- El programa de los equipos *Ubiquiti* permite configurar las herramientas por lo que resultan una excelente opción si se quiere efectuar proyectos de enlace de radiofrecuencia.
- De acuerdo al análisis espectral obtenido, no hay variación de ruido, por lo que la frecuencia de 5 GHz es óptima para la transferencia de datos con una buena performance.
- La frecuencia de 5 GHz no interfiere con otros sistemas inalámbricos en el sector.
- Al utilizar el servicio de Internet que tiene el Ingenio San Carlos y distribuirlo a todo el recinto, la población tendrá un Internet rápido y sin cortes o interferencia.
- La proyección de costos para implementar la red propuesta con los equipos *UbiquitiNanoStation* es baja.

## **6. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar la propuesta al Ingenio San Carlos para que ellos implementen la red de radioenlace y provean el servicio de Internet, con mejor señal y a menor costo, al resto del recinto Marcelino Maridueña.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Espinosa de los Monteros, J. (2002). *Técnico en Telecomunicaciones. Tomo 1*. Editorial Cultural S.A.

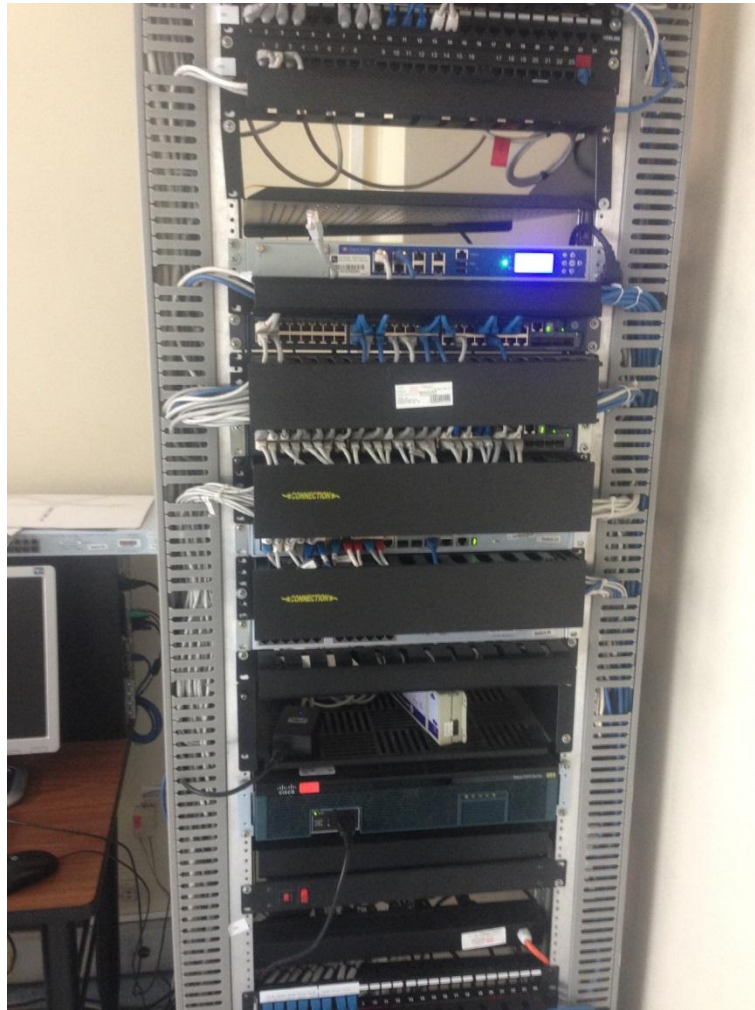
Frenzel, L. E. (s.f.). *Electrónica aplicada a los sistemas de las comunicaciones. 3era. Edición*. Editorial Alfaomega.

Olmedillas, J. C. (2012). *Introducción a los sistemas de navegación por satélite. Primera edición en español*. Barcelona: Editorial UOC.

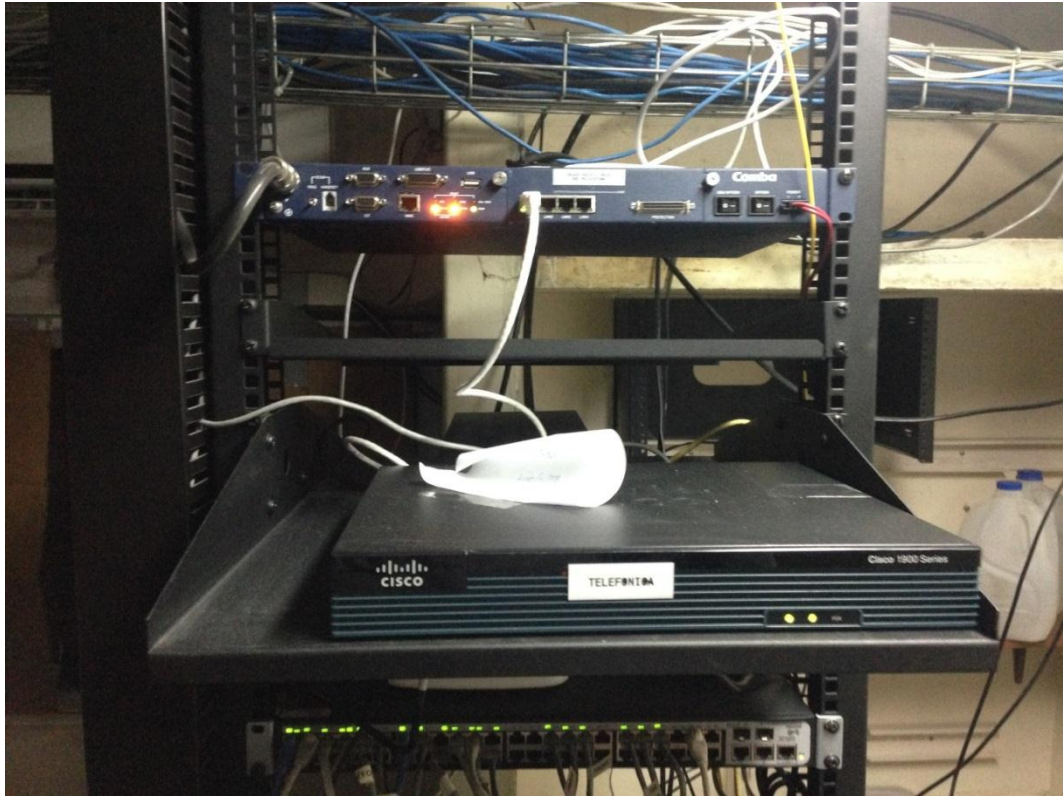
## ANEXOS

### Anexo 1

Rack principal de San Carlos que contiene *switch*VLAN Cisco y 3COM



**Anexo 2**  
**Rack secundario utilizado internamente**



**Anexo 3**  
**Modelo de encuesta**

**ENCUESTA**

Objetivo: Calidad del servicio de Internet en Recinto Marcelino Maridueña

1.- ¿Cuál es el proveedor que llega al recinto Marcelino Maridueña?

2.- ¿Como usted calificaría el servicio en términos de calidad?

Malo

Regular

Bueno

Muy Bueno

3.- ¿Cuál es el problema que usted considera que tiene con el servicio?

4.- ¿Usted conoce de la tecnología por Radioenlace?, ¿Piensa que es un servicio caro?

5.- Si se le indicara que este tipo de tecnología es más estable que la tecnología de su proveedor, ¿se cambiaría?

6.- Si se le indicara que esta tecnología puede abaratar mucho más los costos que le brinda su proveedor, ¿le interesaría?

7. Con estas ventajas que le brinda la tecnología de Radioenlace ¿estaría dispuesto a probarlo como un nuevo proveedor?



## Anexo 4

### Diferentes instancias en la implementación de la red propuesta

