

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA PARA OFRECER
EL SERVICIO DE INTERNET EN UNIMOS S.A. E.S.P

DAVID ESNEYDER GUAQUEZ DORADO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA ELECTRONICA

PASTO

2015

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA PARA OFRECER
EL SERVICIO DE INTERNET EN UNIMOS S.A. E.S.P

DAVID ESNEYDER GUAQUEZ DORADO

Trabajo de grado modalidad pasantía para optar por el título de Ingeniero
Electrónico

ASESOR

ANDRÉS CALVACHE GARCÍA

INGENIERO ELECTRONICO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA ELECTRONICA

PASTO

2015

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Mayo de 2015.

RESUMEN

Este documento presenta una propuesta para actualizar las redes de datos en zonas del municipio de Ipiales, en donde la cobertura y la calidad de dicho servicio proporcionado por la empresa de telecomunicaciones UNIMOS S.A E.S.P, son muy precarias e inestables.

La presente propuesta se la realiza con el fin de actualizar la red de datos de la empresa UNIMOS S.A. E.S.P., ya que en la actualidad en ciertos lugares del municipio de Ipiales, el servicio de Internet proporcionado es débil y de baja calidad, debido a que la tecnología utilizada es la Línea de abonado digital asimétrica (ADSL, Asymmetric digital subscriber line), la cual a grandes distancias no es la óptima, porque la velocidad de transmisión depende de la distancia del módem a la central, de forma que si la distancia es mayor de 3 Kilómetros se pierde parte de la calidad y la tasa de transferencia empieza a bajar, por lo tanto se requiere diseñar e implementar una red inalámbrica, para mejorar el servicio de Internet en zonas en donde el servicio es deficiente.

ABSTRACT

This paper presents a proposal to update the data networks in areas Ipiales Township, where the coverage and quality of the service provided by the telecommunications company UNIMOS S.A E.S.P, are very precarious and unstable.

This proposal is the place to upgrade the data network of the company UNIMOS S.A. E.S.P, as currently in certain parts of the municipality of Ipiales, the Internet service provided is weak and low quality, because the technology used is the asymmetric digital subscriber line (ADSL, Asymmetric Digital Subscriber Line), the distances which is not optimal, because the transmission rate depends on the distance from the modem to the PBX, so that if the distance is greater than 3 miles it lose some of the quality and transfer rate begins to drop, by therefore required to design and implement a wireless network to improve Internet service in areas where service is poor.

Contenido

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
GLOSARIO.....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	16
2. JUSTIFICACIÓN.....	18
3. OBJETIVOS.....	19
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	19
4. MARCO TEÓRICO.....	20
4.1 FÍSICA DE RADIO.....	20
4.1.1 Onda de radio.....	20
4.1.2 Fuerzas electromagnéticas.....	21
4.1.3 Polarización.....	22
4.1.4 Espectro electromagnético.....	23
4.1.5 Ancho de banda.....	26
4.1.6 Comportamiento de las ondas de radio.....	26
4.1.7 Línea de vista.....	32
4.1.8 Energía.....	34
4.2 NORMATIVIDAD DEL ESPRECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN COLOMBIA.....	36
4.3 TEORÍA DE RADIOENLACES.....	38
4.3.1 Radiofrecuencia.....	38
4.3.2 Enlace punto a punto.....	39
4.3.3 Enlace punto a multipunto.....	40
4.3.4 Enlace multipunto a multipunto.....	41
4.3.5 Modelo de propagación LONGLEY - RICE.....	42
4.4 REDES.....	44
4.4.1 Definición de una red.....	44
4.4.2 Ventajas de las redes.....	45

4.4.3	Tipos de redes	45
4.5	REDES INALÁMBRICAS.....	46
4.5.1	Protocolos de redes inalámbricas	47
4.5.2	Seguridad en redes Inalámbricas	48
4.5.3	Proveedor de servicios de Internet inalámbrico	49
5.	METODOLOGÍA.....	51
5.1	ESCENARIO DE APLICACIÓN	51
5.1.1	Identificación de Sectores y diagnóstico del servicio.....	51
5.1.2	Posibles sectores para mejorar el servicio de Internet.....	54
5.2	SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ENLACE	58
5.2.1	Arquitectura de la solución	60
5.2.2	Topología de red	60
5.3	DISEÑO Y SIMULACIÓN	61
5.3.1	Identificación de sitios donde se van a instalar los nodos.....	61
5.3.2	Revisión y selección de fabricantes	65
5.3.3	Simulación.....	66
5.4	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	72
5.4.1	Instalación radios y antenas.....	72
5.4.2	Direccionamiento IP	75
5.4.3	Configuración de dispositivos.....	75
5.5	PRUEBAS.....	79
6.	PRESUPUESTO.....	84
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES.....	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	90
	ANEXOS	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Amplitud, longitud de onda y frecuencia	21
Figura 2: El campo eléctrico y el campo magnético complementario de una onda electromagnética. La polarización describe la orientación del campo eléctrico.	23
Figura 3: El espectro electromagnético.....	24
Figura 4: Reflexión de ondas de radio	29
Figura 5: Difracción a través de una ranura pequeña.	30
Figura 6: Difracción en la cima de la montaña.....	30
Figura 7: Interferencia constructiva y destructiva.....	31
Figura 8: La zona de Fresnel es bloqueada parcialmente en este enlace, aunque la línea visual no está obstruida.....	34
Figura 9: Enlace punto a punto de dos lugares distantes.	40
Figura 10: Enlace punto a multipunto	41
Figura 11: Enlace multipunto a multipunto.....	42
Figura 12: grafica de pérdida – difracción para el modelo LONGLEY-RICE.....	44
Figura 13: SNR en un CPE de un cliente alejado de la central.....	52
Figura 14: Sector de puenes Ipiales, Nariño.....	55
Figura 15: Corregimiento de las Lajas, municipio de Ipiales, Nariño	56
Figura 16: análisis espectro canal 2,4 GHz a 2,5 GHz centro de la ciudad de Ipiales, Nariño	59
Figura 17 análisis espectro canal 5 GHz centro de la ciudad de Ipiales, Nariño ...	59
Figura 18: Partes arquitectura de la red.....	60
Figura 19: Topología de red.....	60
Figura 20: topología de red en el software Google Earth.....	61
Figura 21: nodo central UNIMOS S.A. E.S.P.	62
Figura 22: Punto Vive Digital Ipiales sector Puenes	62
Figura 23: Torre UNIMOS S.A. E.S.P. sector de Las Cruces	63
Figura 24: Torre RCN sector Zaguaran vía a las Lajas.....	63
Figura 25: Institución Promotora de Salud corregimiento de las Lajas	64
Figura 26: Perfil de elevación entre UNIMOS S.A E.S.P y PVD Puenes	68
Figura 27: perfil de elevación UNIMOS SA ESP – Torre las cruces	69
Figura 28: perfil de elevación torre las cruces – torre RCN vía las lajas.....	70
Figura 29: perfil de elevación torre RCN vía las lajas – I.P.S las lajas.....	71
Figura 30: celda sector de Puenes	71
Figura 31: celda celular corregimiento de las lajas	72
Figura 32: Nodo Puenes con implementación de radios.....	73
Figura 33: Nodo UNIMOS con implementación de radios	73
Figura 34: Nodo Zaguaran con implementación de radios.	74
Figura 35: Nodo las Lajas con implementación de radios.....	74
Figura 36: vista de la pestaña principal (MAIN).	76
Figura 37: vista de la pestaña inalámbricas (WIRELESS).	76
Figura 38: vista de la pestaña red (NETWORK)	77
Figura 39: vista de la pestaña avanzadas (ADVANCED).	77

Figura 40: vista de la pestaña servicios (SERVICES).....	78
Figura 41: vista de la pestaña sistema (SYSTEM).....	78
Figura 42: parámetros UNIMOSTX1	80
Figura 43: Parámetros UNIMOSTX2	80
Figura 44: parámetros UNIMOSTX3.....	81
Figura 45: parámetros UnimosPuenes1	81
Figura 46: parámetros UnimosPuenesRX	82
Figura 47: parámetros Luna2TX	82
Figura 48: parámetros Luna3TX	83
Figura 49: parámetros RCNTX	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Bandas del espectro electromagnético	25
Tabla 2: Equivalencias en niveles de potencia expresadas en mili watts y dBm. ...	35
Tabla 3: Rangos de frecuencias libres en Colombia	37
Tabla 4: Frecuencias y longitudes de onda de Radio Frecuencia.....	38
Tabla 5: Calidad de señal Vs relación señal a ruido en ADSL	51
Tabla 6: Usuarios por distrito, frecuencia de daños y calidad de servicio	52
Tabla 7: Sectores para la implementación de los nodos.....	57
Tabla 8: Ubicación geográfica sectores para implementar los nodos.	57
Tabla 9: Distancia entre los nodos.....	58
Tabla 10: cantidad y descripción de equipos a utilizar.....	64
Tabla 11: solución con equipos HYPERLINK	65
Tabla 12: solución con equipos UBIQUITI	66
Tabla 13: Parámetros y resultados simulación UNIMOS – PVD puenes	67
Tabla 14: Parámetros y resultados simulación UNIMOS – Torre las cruces	68
Tabla 15: Parámetros y resultados simulación torre las cruces – torre RCN.....	69
Tabla 16: Parámetros y resultados simulación torre RCN – I.P.S las lajas.....	70
Tabla 17: direccionamiento IP y nombres de los dispositivos	75
Tabla 18: Presupuesto WISP UNIMOS S.A. E.S.P	85

GLOSARIO

- ADSL: Asimetric Digital Subscriber Line (Línea Digital de Abonado Simétrica).
- BPSK: Binary Phase Shift Key (Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria).
- DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol (Protocolo de Configuración Dinámica de Host)
- FSK: Frecuency Shift Key (Modulación Cambio de Frecuencia)
- FSL: Free Space Loss (Perdida de Espacio Libre).
- GSM: Global System for Mobile Communications (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles).
- IEEE: Institute Electrical and Electronic Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).
- IP: Internet Protocol (Protocol de Internet)
- LAN: Local Area Network (Red de Area Local).
- LOS: Line of Sight (Linea de Vista).
- MAC: Medium Acces Control (Control de Acceso al Medio).
- MAN: Metropolitan Area Network (Red de Area Metropolitana).
- NTP: Network Time Protocol (Protocolo de red para sincronizar relojes de sistemas informáticos)
- OFDM: Ortogonal Frecuency División Multiplexing (Multiplexacion por División de Frecuencia Ortogonal).
- POE: Power over Ethernet (Corriente sobre Ethernet)
- P2MP: Point to Multi-Point (Punto a Multipunto).
- P2P: Pointo to Point (Punto a Punto).
- PDA: Personal Digital Assistant (Asistente Digital Personal).
- PSK: Phase Shift Keying (Modulación de Cambio de Fase).

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying (Modulación de Cambio de Fase en Cuadratura).

QoS: Quality of Service (Calidad de servicio)

RF: Ratio Frequency (Radio Frecuencia).

SNMP: Simple Network Management Protocol (Protocolo Simple de Administración de Red)

SS: Spread Spectrum (Espectro Ensanchado)

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)

U-NII: Unlicensed National Information Infrastructure (Infraestructura de Información Nacional sin Licencia).

WEP: Wired Equivalent Privacy (Privacidad Equivalente a Cableado).

Wi-Fi: Wireless Fidelity (Fidelidad Inalámbrica).

WISP: Wireless Internet Service Provider (Proveedor de servicios de Internet Inalámbrico).

WLAN: Wireless Local Area Network (Red Inalámbrica de Area Local).

WMAN: Wireless Metropolitan Area Network (Red Inalámbrica de Area Metropolitana).

WPA: Wi-Fi Protect Access (Acceso Protegido de Wi-Fi)

PSNT: Public Switched Telephone Network (Red Telefónica Pública Conmutada)

SNR: Signal Noise Ruide (Relación Señal a Ruido)

CPE: Customer Premise Equipement (Equipo Local de Cliente)

ERP: Effective Radiated Power (Potencia Efectiva de Radiación)

INTRODUCCIÓN

Nuestra naturaleza humana nos hace desenvolvernos en situaciones donde se requiere comunicación. Para ello, es necesario establecer medios para que esto se pueda realizar. Uno de los medios más discutidos es la capacidad de comunicarnos a través de redes inalámbricas.

La comunicación inalámbrica o sin cables es aquella en la que extremos de la comunicación (emisor/receptor) no se encuentran unidos por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. En este sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal, entre los cuales encontramos: antenas, computadoras portátiles, PDA, teléfonos móviles, etc.

La comunicación inalámbrica, que se realiza a través de ondas de radiofrecuencia, facilita la operación en lugares donde es difícil el acceso a redes de datos. Cabe también mencionar actualmente que las redes cableadas aun presentan ventaja en cuanto a transmisión de datos sobre las inalámbricas. Mientras que las cableadas proporcionan velocidades de hasta 1 Gbps (Red Gigabit), las inalámbricas alcanzan en la actualidad hasta 600 Mbps con el protocolo de comunicación IEEE 802.11n.

En general, la tecnología inalámbrica utiliza ondas de radiofrecuencia de baja potencia y una banda específica, de uso libre o privada, para transmitir entre dispositivos.

Estas condiciones de libertad de utilización sin necesidad de licencia, ha propiciado que el número de equipos, especialmente computadoras, que utilizan las ondas para conectarse, a través de redes inalámbricas haya crecido notablemente.

La tendencia a la movilidad y la ubicuidad hacen que cada vez sean más utilizados los sistemas inalámbricos, y el objetivo es ir evitando los cables en todo tipo de comunicación, no solo en el campo informático sino en televisión, telefonía, seguridad, domótica, etc.

Un fenómeno social que ha adquirido gran importancia, en todo el mundo, como consecuencia del uso de la tecnología inalámbrica son las comunidades inalámbricas que buscan la difusión de redes alternativas a las comerciales.

Las redes inalámbricas metropolitanas (WMAN) son, hasta hace poco, una alternativa económica y práctica para desarrollar proyectos de transmisión de datos. En la actualidad la vida de las personas en cuanto a las tecnologías de información y las comunicaciones está cambiando de una manera sorprendente,

en especial en el ámbito de las telecomunicaciones, además empiezan a existir redes inalámbricas comerciales y no comerciales alrededor del mundo. El protocolo favorito de transmisión para estas redes lo constituye el IEEE 802.11, el más común, más barato y con mayor disponibilidad de hardware en el mercado.

El uso de redes inalámbricas para la distribución de Internet reduce los tiempos de instalación para el cliente final, además constituyen una eficaz herramienta que permite la transferencia de voz, datos y vídeo sin la necesidad de cableado. Esta transferencia de información es lograda a través de la emisión de ondas de radio teniendo dos ventajas: movilidad y flexibilidad del sistema en general, permite una solución rápida y directa para los problemas que se puedan presentar, facilita la actualización de equipo y resulta ser un método barato para la distribución de este servicio. Sin embargo, tiene una desventaja considerable ya que para este tipo de red se debe tener una seguridad mucho más exigente y robusta para evitar a los intrusos, además de que el diseño correcto de estas redes es crucial para lograr que trabajen de modo eficiente.

La mayor parte del tiempo los usuarios de Internet no experimentan diferencia en el uso de una red cableada de una inalámbrica. Sin embargo, existen muchas y marcadas diferencias entre el diseño de una red inalámbrica de una cableada. Por ejemplo, en una red cableada no es necesario que los equipos tengan línea de vista para poderlos interconectar a diferencia de una red inalámbrica, en la cual, esto es indispensable. Las condiciones del terreno (por este mismo motivo), la presencia de otras redes, la selección correcta de equipos y antenas son determinantes en el diseño de una red inalámbrica.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La carencia de infraestructuras de comunicación y acceso a la información en zonas de última milla es una preocupación de alto grado por empresas municipales de telecomunicación que brindan el servicio de Internet, ya que en la sociedad de la información es un servicio básico, y en todos es un factor de gran importancia para el desarrollo económico, social y cultural¹. No obstante, todos los esfuerzos por generalizar el acceso a redes de comunicación en zonas de última milla de países en desarrollo suelen topar desde los primeros pasos con la ausencia de soluciones tecnológicas realmente apropiadas, realistas y sostenibles.

Actualmente el municipio de Ipiales está desactualizado en cuanto a infraestructura para el acceso a Internet inalámbrico, esto genera un menor desarrollo, en relación con otros municipios de Colombia e incluso de Nariño.

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Con el paso de los años, la sociedad ha experimentado un gran cambio en lo referente al manejo de la información, así como en la forma de comunicarse. La red de Internet significó la aparición de una herramienta imprescindible para toda la sociedad, haciéndose indispensable en muchos ámbitos del orden social: entretenimiento, informativo, comercial, investigativo y tecnológico entre otros.

Gracias a Internet se ha conseguido que los usuarios sean completamente autónomos y lo más importante, móviles, ya que en la actualidad muchos de los dispositivos para conectarse al servicio de Internet lo hacen sin cables, lo que permitiría a los usuarios vincularse a la red sin permanecer conectados físicamente a la red.

La limitada distancia que debe separar al abonado de la central es el mayor de los inconvenientes de línea de abonado digital asimétrica (ADSL, Asymmetric Digital Subscriber Line), eso ocurre porque para enviar grandes cantidades de datos se necesita un gran rango de frecuencias, y cuanto más alta sea la frecuencia más se atenúa la señal en relación a la distancia (y más caros son los equipos que deben decodificar estas señales, pues deben ser más sensibles), otro inconveniente es que no hay infraestructura de red telefónica pública conmutada (PSNT, Public Switched Telephone Network) que puedan hacer que la señal de Internet por la red telefónica conmutada o se mantenga, lo cual generaría que no se contrate el

¹ Pontificia Universidad Católica del Perú. Redes Inalámbricas Para Zonas Rurales. 1 ed. Lima : GTR-PUCP, 2008

servicio y presentaría una desigualdad entre las personas que están en el centro de la ciudad y las personas que están retiradas de la misma.

2. JUSTIFICACIÓN

En este proyecto se busca diseñar e implementar una red inalámbrica como un proveedor de servicios de internet inalámbrico, en lugares de la ciudad de Ipiales, como: Puenes, Rumichaca, para ampliar la cobertura y tener una mejor conectividad del servicio de Internet proporcionado por la empresa municipal de comunicaciones UNIMOS S.A. E.S.P. Es importante resaltar que la aplicación y uso de la tecnología de espectro ensanchado con el protocolo IEEE 802.11, es una de las mejores opciones para cubrir exteriores por su costo en comparación con otras tecnologías, lo cual permitirá a los usuarios una mejor calidad del servicio y un mejor ambiente informático, además permiten realizar en las zonas rurales enlaces punto a multipunto (P2MP) de varias decenas de kilómetros.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar una red inalámbrica como un proveedor de servicios de Internet inalámbrico, para ampliar la cobertura de la red de acceso a Internet de la empresa de telecomunicaciones municipal de Ipiales UNIMOS S.A. E.S.P.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un diagnóstico del servicio de Internet suministrado por la empresa UNIMOS S.A. E.S.P. en el municipio de Ipiales basado en los reportes de gestión de la empresa.
- Realizar la planeación de la red de radio Para acceso a Internet en zonas de última milla.
- Diseño e implementación de la red de distribución punto – multipunto, para ofrecer el servicio de Internet a la comunidad.
- Pruebas de la red de distribución de Internet.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 FÍSICA DE RADIO

Las comunicaciones inalámbricas hacen uso de las ondas electromagnéticas para enviar señales a través de largas distancias. Desde la perspectiva del usuario, las conexiones inalámbricas no son particularmente diferentes de cualquier otra conexión: el navegador web, el correo electrónico y otras aplicaciones funcionan como se esperaba. Pero las ondas de radio tienen algunas propiedades inesperadas en comparación con una red cableada Ethernet. Por ejemplo, es muy sencillo ver el camino que esta última toma: localice el conector de su computadora, siga el cable hacia el otro extremo, ¡y lo habrá encontrado! También se puede confiar en que desplegar muchos cables Ethernet unos al lado de otro no va a causar problemas, ya que los cables confinan efectivamente las señales dentro de sí.

Para construir enlaces inalámbricos de alta velocidad, es importante comprender cómo se comportan las ondas de radio en el mundo real.

4.1.1 Onda de radio

Las vibraciones u oscilaciones existen en el universo de varias formas: Un péndulo, un árbol meciéndose con el viento, las cuerdas de una guitarra –son todos ejemplos de oscilaciones².

Lo que tienen en común es que algo, como un medio o un objeto, está vibrando de forma periódica, con cierto número de ciclos por unidad de tiempo. Este tipo de onda a veces es denominada onda mecánica, puesto que son definidas por el movimiento de un objeto o de su medio de propagación.

Cuando esas oscilaciones viajan (esto es, cuando las vibraciones no están limitadas a un lugar) hablamos de ondas propagándose en el espacio. Por ejemplo, un cantante crea oscilaciones periódicas de sus cuerdas vocales al cantar. Estas oscilaciones comprimen y descomprimen el aire periódicamente, y ese cambio periódico de la presión del aire sale de la boca del cantante y viaja a la velocidad del sonido. Una piedra arrojada a un lago causa una alteración que viaja a través del mismo como una onda.

Una onda tiene cierta velocidad, frecuencia y longitud de onda. Las mismas están conectadas por una simple relación:

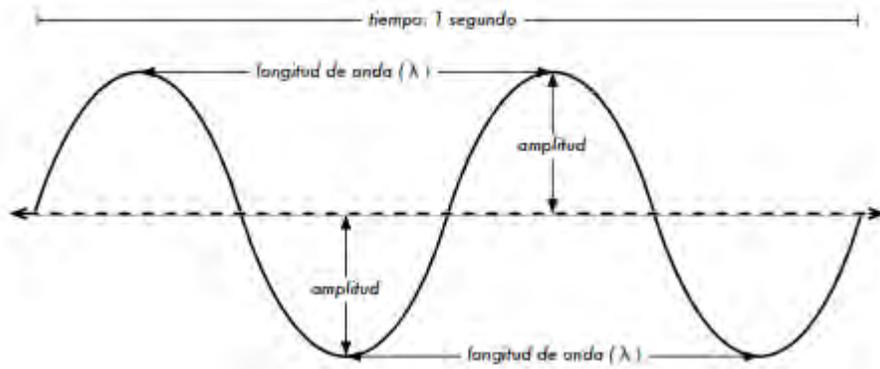
² Escudero, Pascual Alberto. Introducción a la Física de la Radio. Sebastian Buettrich. 1 ed. Tricalcar, 2007.

$$VELOCIDAD = FRECUENCIA * LONGITUD DE ONDA$$

La longitud de onda (algunas veces denotada como lambda λ) es la distancia medida desde un punto en una onda hasta la parte equivalente de la siguiente, por ejemplo desde la cima de un pico hasta el siguiente. La frecuencia es el número de ondas enteras que pasan por un punto fijo en un segundo. La velocidad se mide en metros/segundo, la frecuencia en ciclos por segundo (o Hertz, abreviado Hz), y la longitud de onda, en metros.

Las ondas también tienen una propiedad denominada amplitud. Esta es la distancia desde el centro de la onda hasta el extremo de uno de sus picos, y puede ser asimilada a la “altura” de una onda de agua. La relación entre frecuencia, longitud de onda y amplitud se muestra en la Figura 1.

Figura 1: Amplitud, longitud de onda y frecuencia



La frecuencia y la longitud de onda determinan la mayor parte del comportamiento de una onda electromagnética, desde las antenas que construimos hasta los objetos que están en el camino de las redes que intentamos hacer funcionar. Son responsables por muchas de las diferencias entre los estándares que podamos escoger. Por lo tanto, comprender las ideas básicas de frecuencia y longitud de onda ayuda mucho en el trabajo práctico con redes inalámbricas.

4.1.2 Fuerzas electromagnéticas

Las fuerzas electromagnéticas³ son fuerzas entre cargas y corrientes eléctricas. Nos percatamos de ellas cuando tocamos la manija de una puerta después de haber caminado en una alfombra sintética, o cuando rozamos una cerca eléctrica. Un ejemplo más fuerte de las fuerzas electromagnéticas son los relámpagos que

³ Burbano de Ercilla, Santiago y Gracia Muñoz, Carlos. Física General. 9 ed. Tebar, 2003. pág. 800.

vemos durante las tormentas eléctricas. La fuerza eléctrica es la fuerza entre cargas eléctricas. La fuerza magnética es la fuerza entre corrientes eléctricas.

Los electrones son partículas que tienen carga eléctrica negativa. También hay otras partículas, pero los electrones son responsables de la mayor parte de las cosas que necesitamos conocer para saber cómo funciona un radio.

Veamos qué sucede en un trozo de alambre recto en el cual empujamos los electrones de un extremo a otro periódicamente. En cierto momento, el extremo superior del alambre está cargado negativamente –todos los electrones están acumulados allí. Esto genera un campo eléctrico que va de positivo a negativo a lo largo del alambre. Al momento siguiente, los electrones se han acumulado al otro lado y el campo eléctrico apunta en el otro sentido. Si esto sucede una y otra vez, los vectores de campo eléctrico, por así decirlo, (flechas de positivo a negativo) abandonan el alambre y son radiados en el espacio que lo rodea.

Lo que hemos descrito se conoce como dipolo (debido a los dos polos, positivo y negativo), o más comúnmente antena dipolo. Esta es la forma más simple de la antena omnidireccional. El movimiento del campo electromagnético es denominado comúnmente onda electromagnética.

Las ondas electromagnéticas difieren de las mecánicas en que no necesitan de un medio para propagarse. Las mismas se propagan incluso en el vacío del espacio.

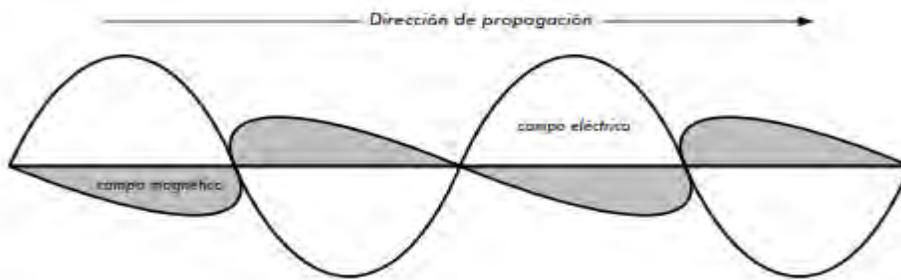
4.1.3 Polarización

Otra cualidad importante de las ondas electromagnéticas es la polarización⁴. La polarización describe la dirección del vector del campo eléctrico.

En una antena bipolar alineada verticalmente (el trozo de alambre recto), los electrones sólo se mueven de arriba a abajo, no hacia los lados (porque no hay lugar hacia donde moverse) y por consiguiente los campos eléctricos sólo apuntan hacia arriba o hacia abajo verticalmente. El campo que abandona el alambre y viaja como una onda tiene una polarización estrictamente lineal (y en este caso vertical). Si acostamos la antena en el suelo (horizontal) tendremos una polarización lineal horizontal.

⁴ Escudero, Pascual Alberto. Introducción a la Física de la Radio. Sebastian Buettrich. 1 ed. Tricalcar, 2007.

Figura 2: El campo eléctrico y el campo magnético complementario de una onda electromagnética. La polarización describe la orientación del campo eléctrico.



La polarización lineal es solo un caso especial, y nunca es perfecta: en general siempre tenemos algunos componentes del campo también en otras direcciones. El caso más general es la polarización elíptica, cuyos extremos son la polarización lineal (una sola dirección) y la polarización circular (ambas direcciones con igual intensidad).

Como se puede imaginar, la polarización es importante cuando alineamos las antenas. Si ignoramos la polarización, podemos tener muy poca señal aun teniendo las mejores antenas. A esto se le denomina desadaptación de polarización.

4.1.4 Espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas⁵ abarcan un amplio rango de frecuencias (y correspondientemente, de longitudes de onda). Este rango de frecuencias y longitudes de onda es denominado espectro electromagnético. La parte del espectro más familiar a los seres humanos es probablemente la luz, la porción visible del espectro electromagnético. La luz se ubica aproximadamente entre las frecuencias de $7.5 * 10^{14} Hz$ y $3.8 * 10^{14} Hz$, correspondientes a longitudes de onda desde cerca de 400 nm (violeta/azul) a 800 nm (rojo).

Normalmente también estamos expuestos a otras regiones del espectro electromagnético, incluyendo los campos de la red de distribución eléctrica CA (Corriente Alterna), a 50/60 Hz, Rayos-X / Radiación Roentgen, Ultravioleta (en las frecuencias más altas de la luz visible), Infrarrojo (en las frecuencias más bajas de la luz visible) y muchas otras. Radio es el término utilizado para la porción del espectro electromagnético en la cual las ondas pueden ser transmitidas aplicando corriente alterna a una antena. Esto abarca el rango de 3 Hz a 300 GHz, pero normalmente el término se reserva para las frecuencias inferiores a 1 GHz.

⁵ Molish, Andreas F. *Wireless Communications*. 2 ed. USA : John Wiley & Sons Ltd., 2011.

Cuando hablamos de radio, la mayoría de la gente piensa en la radio FM, que usa una frecuencia de alrededor de 100 MHz. Entre la radio y el infrarrojo encontramos la región de las microondas –con frecuencias de 1 GHz a 300 GHz, y longitudes de onda de 30 cm a 1 mm.

El uso más popular de las microondas puede ser el horno de microondas, que de hecho trabaja exactamente en la misma región que los estándares inalámbricos de los que estamos tratando. Estas regiones caen dentro de las bandas que se están manteniendo abiertas para el uso general, sin requerir licencia. Esta región es llamada banda ISM (ISM Band), que significa Industrial, Científica y Médica, por su sigla en inglés. La mayoría de las otras regiones del espectro electromagnético están altamente controladas por la legislación mediante licencias, siendo los valores de las licencias un factor económico muy significativo. Esto concierne específicamente a aquellas partes del espectro que son útiles para la difusión masiva (como lo son la televisión y la radio), así como también para comunicaciones de voz y datos. En la mayoría de los países, las bandas ISM han sido reservadas para el uso libre.

Las frecuencias más interesantes para nosotros son 2400 – 2484 MHz, que son utilizadas por los estándares de radio 802.11b y 802.11g (correspondientes a longitudes de onda de alrededor de 12,5 cm). Otro equipamiento disponible comúnmente utiliza el estándar 802.11a, que opera a 5150 – 5850MHz (correspondiente a longitudes de onda de alrededor de 5 a 6 cm).

Figura 3: El espectro electromagnético

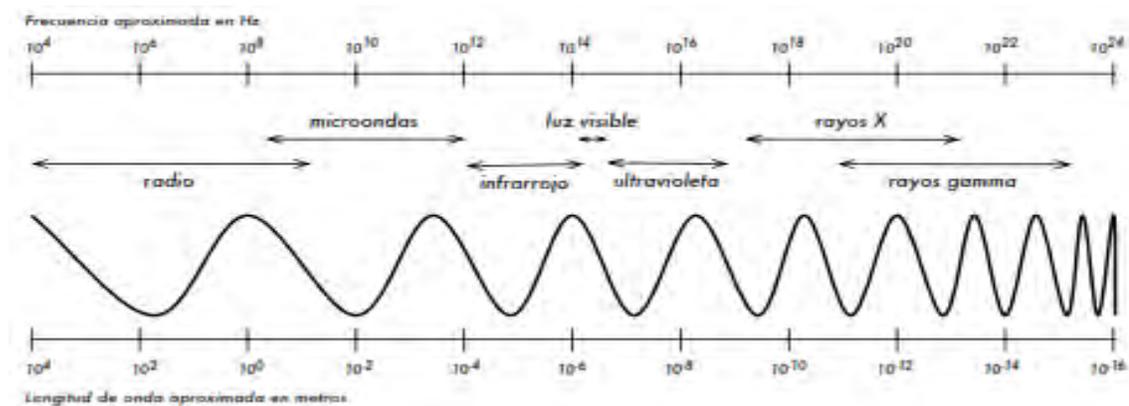


Tabla 1: Bandas del espectro electromagnético

Banda	Longitud de onda (m)	Frecuencia (Hz)	Energía (J)
Rayos gamma	< 10 pm	> 30,0 EHz	> $20 \cdot 10^{-15}$ J
Rayos X	< 10 nm	> 30,0 PHz	> $20 \cdot 10^{-18}$ J
Ultravioleta extremo	< 200 nm	> 1,5 PHz	> $993 \cdot 10^{-21}$ J
Ultravioleta cercano	< 380 nm	> 789 THz	> $523 \cdot 10^{-21}$ J
Luz Visible	< 780 nm	> 384 THz	> $255 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo cercano	< 2,5 μ m	> 120 THz	> $79 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo medio	< 50 μ m	> 6,00 THz	> $4 \cdot 10^{-21}$ J
Infrarrojo lejano/submilimétrico	< 1 mm	> 300 GHz	> $200 \cdot 10^{-24}$ J
Microondas	< 30 cm	> 1 GHz	> $2 \cdot 10^{-24}$ J
Ultra Alta Frecuencia - Radio	< 1 m	> 300 MHz	> $19.8 \cdot 10^{-26}$ J
Muy Alta Frecuencia - Radio	< 10 m	> 30 MHz	> $19.8 \cdot 10^{-28}$ J
Onda Corta - Radio	< 180 m	> 1,7 MHz	> $11.22 \cdot 10^{-28}$ J
Onda Media - Radio	< 650 m	> 650 kHz	> $42.9 \cdot 10^{-29}$ J
Onda Larga - Radio	< 10 km	> 30 kHz	> $19.8 \cdot 10^{-30}$ J
Muy Baja Frecuencia - Radio	> 10 km	< 30 kHz	< $19.8 \cdot 10^{-30}$ J

4.1.5 Ancho de banda

Un término que vamos a encontrar a menudo en la física de radio es ancho de banda. El ancho de banda⁶ es simplemente una medida de rango de frecuencia. Si un rango de 2400 MHz a 2480 MHz es usado por un dispositivo, entonces el ancho de banda sería 0,08 GHz (o más comúnmente 80MHz).

Se puede ver fácilmente que el ancho de banda que definimos aquí está muy relacionado con la cantidad de datos que puedes transmitir dentro de él – a más lugar en el espacio de frecuencia, más datos caben en un momento dado. El término ancho de banda es a menudo utilizado por algo que deberíamos denominar tasa de transmisión de datos, como en “mi conexión a Internet tiene 1 Mbps de ancho de banda”, que significa que ésta puede transmitir datos a 1 megabit por segundo.

4.1.6 Comportamiento de las ondas de radio

Hay algunas reglas simples que pueden ser de mucha ayuda cuando realizamos los primeros planes para una red inalámbrica: cuanto más larga la longitud de onda, más lejos llega; cuanto más larga la longitud de onda, mejor viaja a través y alrededor de obstáculos y por último cuanto más corta la longitud de onda, puede transportar más datos, a continuación se realiza una breve descripción de los fenómenos en el comportamiento de las ondas de radio.

- **Las ondas más largas viajan más lejos:** Suponiendo niveles iguales de potencia, las ondas con longitudes de onda más larga tienden a viajar más lejos que las que tienen longitudes de onda más cortas. Este efecto es visto a menudo en la radio FM, cuando comparamos el rango de un transmisor de radio FM a 88MHz con el rango a 108MHz. Los transmisores de frecuencia más baja tienden a alcanzar distancias mucho más grandes a la misma potencia.
- **Las ondas más largas rodean los obstáculos:** Una onda en el agua que tiene 5 metros de largo no va a ser detenida por un trozo de madera de 5 mm que esté sobresaliendo de la superficie. Sin embargo, si la pieza de madera fuera de 50 metros (por ej. un barco), se interpondría en el camino de la onda. La distancia que una onda puede viajar depende de la relación entre la longitud de onda de la misma y el tamaño de los obstáculos en su camino de propagación. Es difícil visualizar las ondas “atravesando” objetos sólidos, pero ese es el caso con las ondas electromagnéticas. Cuanto más larga la longitud de onda (y por lo tanto una frecuencia más baja) las ondas tienden a penetrar objetos mejor que las que tienen longitudes de onda más corta (y por consiguiente una frecuencia más alta). Por ejemplo, la radio FM (88-108MHz) puede atravesar edificios y otros obstáculos fácilmente, mientras que las ondas más cortas (cómo los teléfonos

⁶ Rappaport, Theodore S. Wireless Communication. 2 ed. California: Prentice Hall, 2010.

GSM operando a 900MHz o 1800MHz) tienen más dificultades en penetrar edificios. Este efecto es debido en parte a los diferentes niveles de potencia utilizados por la radio FM y el GSM, pero también debido a las longitudes de onda más cortas de las señales GSM.

- **Las ondas más cortas pueden transmitir más datos:** Cuanto más rápida sea la oscilación o ciclo de la onda, mayor cantidad de información puede transportar –cada oscilación o ciclo- puede ser utilizado por ejemplo para transmitir un bit digital, un '0' o un '1', un 'sí' o un 'no'.

Existe otro principio que puede ser aplicado a todos los tipos de ondas y que es extremadamente útil para comprender la propagación de ondas de radio. Este principio es conocido como el Principio de Huygens, nombrado en honor de Christiaan Huygens, matemático, físico y astrónomo holandés, que vivió entre 1629 y 1695.

Imagínese que toma una vara y la introduce verticalmente en un lago en calma, haciendo que el agua ondee y baile. Las ondas se alejarán de la vara –el lugar donde la introdujo en el agua– formando círculos. Ahora, donde las partículas de agua están oscilando y bailando, harán que las partículas vecinas hagan lo mismo: desde cada punto de perturbación, se origina una nueva onda circular. Esto es, de una forma simple, el principio de Huygens: “El principio de Huygens es un método de análisis aplicado a los problemas de la propagación de ondas en el límite de campo lejano. Establece que cada punto de un frente de onda que avanza es, de hecho, el centro de una nueva perturbación y la fuente de un nuevo tren de ondas; y que esa onda avanzando como un todo puede ser concebido como la suma de todas las ondas secundarias surgiendo de puntos en el medio ya atravesado. Esta visión de la propagación de ondas ayuda a comprender mejor la variedad de fenómenos de las ondas, tales como la difracción.”

Este principio se aplica tanto para las ondas de radio como para las ondas en el agua, para el sonido y para la luz –sólo que la longitud de onda de la luz es muy corta como para que los seres humanos podamos ver sus efectos directamente.

Este principio va a ayudarnos a comprender tanto la difracción como las zonas Fresnel, la necesidad de línea visual, y el hecho de que algunas veces las ondas voltean las esquinas, más allá de la línea visual.

4.1.6.1 Absorción

Cuando las ondas electromagnéticas atraviesan algún material, generalmente se debilitan o atenúan. La cantidad de potencia perdida va a depender de su frecuencia y, por supuesto, del material. El vidrio de una ventana obviamente es transparente para la luz, mientras que el vidrio utilizado en los lentes de sol filtra una porción de la intensidad de la luz y bloquea la radiación ultravioleta.

A menudo se utiliza el coeficiente de absorción para describir el impacto de un material en la radiación. Para las microondas, los dos materiales más absorbentes son:

- Metal. Los electrones pueden moverse libremente en los metales, y son capaces de oscilar y por lo tanto absorber la energía de una onda que los atraviesa.
- Agua. Las microondas provocan que las moléculas de agua se agiten, capturando algo de la energía de las ondas.

En la práctica de redes inalámbricas, vamos a considerar el metal y el agua como absorbentes perfectos: no vamos a poder atravesarlos (aunque capas finas de agua podrían permitir que una parte de la potencia pase). Son a las microondas lo que una pared de ladrillo es a la luz. Cuando hablamos del agua, tenemos que recordar que se encuentra en diferentes formas: lluvia, niebla, vapor y nubes bajas, y todas van a estar en el camino de los radioenlaces. Tienen una gran influencia y en muchas circunstancias un cambio en el clima puede hacer caer un radioenlace.

Existen otros materiales que tienen un efecto más complejo en la absorción de radiación.

Para los árboles y la madera, la cantidad de absorción depende de cuánta cantidad de agua contienen. La madera vieja y seca es más o menos transparente, la madera fresca y húmeda va a absorber muchísimo.

Los plásticos y materiales similares generalmente no absorben mucha energía de radio pero esto varía dependiendo de la frecuencia y el tipo de material. Antes de construir un componente de plástico (por ejemplo, una protección climática para los dispositivos de radio y sus antenas), es siempre una buena idea verificar que el material no absorba la energía de radio alrededor de 2,4GHz. Un método simple de medir la absorción del plástico a 2,4GHz es poner una muestra en un horno microondas por un par de minutos. Si el plástico se calienta, entonces absorbe la energía de radio y no debe ser utilizado.

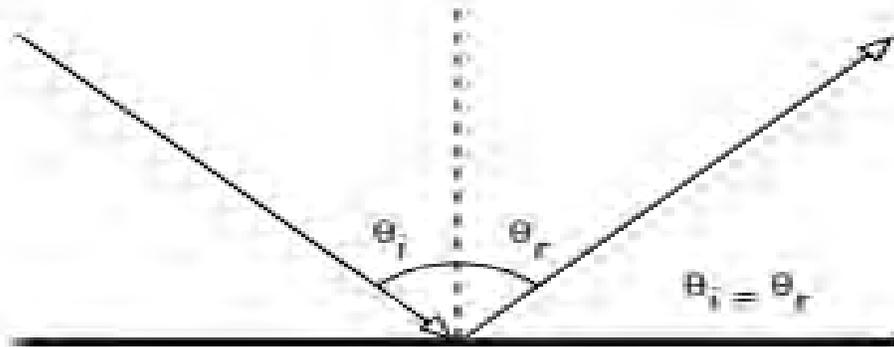
Finalmente, hablemos de nosotros mismos: los humanos (como otros animales) estamos compuestos mayormente de agua. En lo que a redes inalámbricas se refiere, podemos ser descritos como grandes bolsas llenas de agua, con la misma fuerte absorción. Orientar un punto de acceso en una oficina de forma que su señal deba pasar a través de mucha gente es un error clave cuando instalamos redes en oficinas. Lo mismo sucede en clubes nocturnos, cafés, bibliotecas e instalaciones externas.

4.1.6.2 Reflexión

Al igual que la luz visible, las ondas de radio son reflejadas cuando entran en contacto con materiales que son apropiados para eso: para las ondas de radio, las principales fuentes de reflexión son el metal y las superficies de agua. Las reglas para la reflexión son bastante simples: el ángulo en el cual una onda incide en una superficie es el mismo ángulo en el cual es desviada. A la luz de las ondas de radio, una reja densa de metal actúa de igual forma que una superficie sólida, siempre que la distancia entre las barras sea pequeña en comparación con la longitud de onda. A 2,4GHz, una rejilla metálica con separación de un centímetro (1cm) entre sus elementos va a actuar igual que una placa de metal.

A pesar de que las reglas de reflexión son bastante simples, las cosas pueden complicarse mucho cuando imaginamos el interior de una oficina con varios objetos pequeños de metal de formas variadas y complicadas. Lo mismo sucede en las situaciones urbanas: mire alrededor en su ciudad e intente ubicar todos los objetos de metal. Esto explica el por qué el efecto multitrayectoria (multipath), (es decir el que las señales lleguen al receptor a través de diferentes caminos, y por consiguiente en tiempos diferentes), juega un rol tan importante en las redes inalámbricas. La superficie del agua, con olas y encrespaduras que cambian su orientación todo el tiempo, hace que sea prácticamente imposible calcular precisamente la reflexión.

Figura 4: Reflexión de ondas de radio

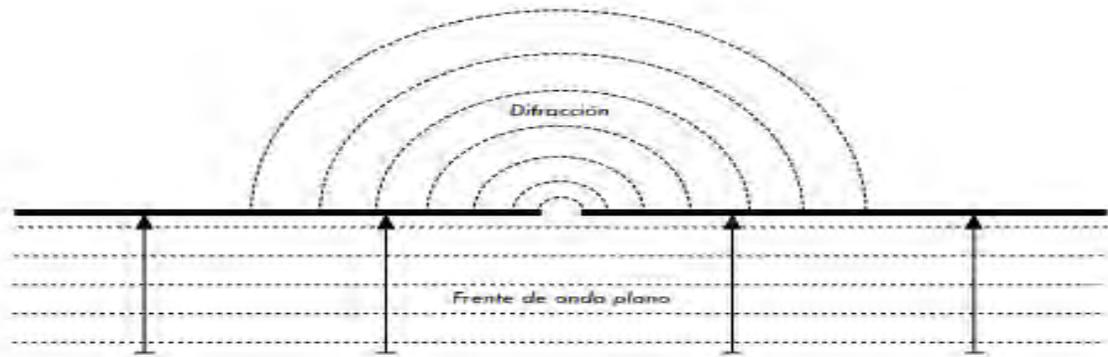


4.1.6.3 Difracción

Difracción es el comportamiento de las ondas cuando al incidir en un objeto dan la impresión de doblarse. Es el efecto de “ondas doblando las esquinas”. Imagine una onda en el agua viajando en un frente de onda plano, tal como una ola llegando a una playa oceánica. Ahora ponemos en su camino una barrera sólida, como una cerca de madera, para bloquearla. Luego practicamos una estrecha rendija en esa pared, como una pequeña puerta.

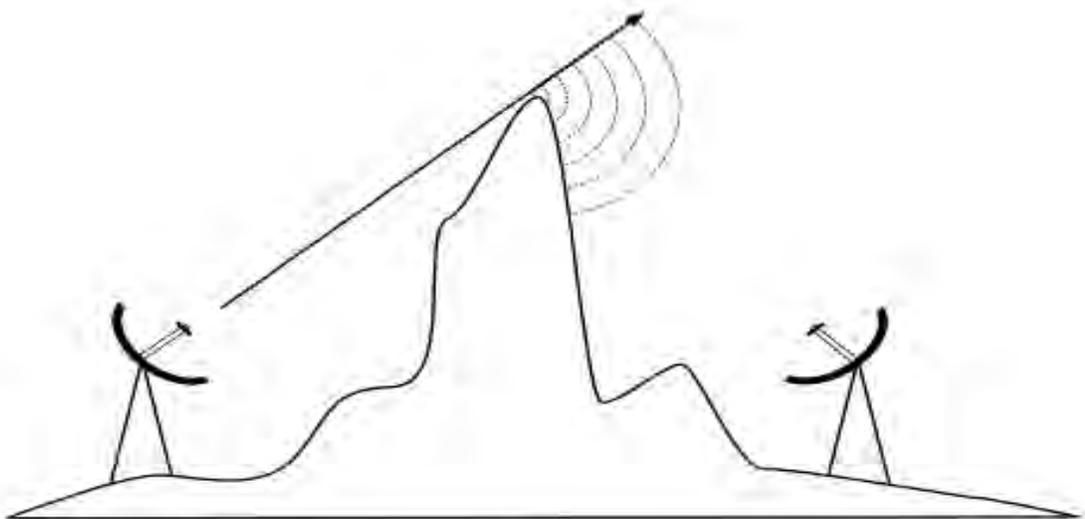
Desde esta abertura va a comenzar una onda circular, y por supuesto va a alcanzar puntos que están en una línea directa detrás de esa abertura, pero también a ambos lados de ella. Si miramos este frente de onda –y pudiera ser también una onda electromagnética– como un haz de luz, sería difícil explicar cómo logra alcanzar puntos que están ocultos por una barrera. Cuando lo modelamos como un frente de onda, el fenómeno tiene sentido.

Figura 5: Difracción a través de una ranura pequeña.



Es por medio del efecto de difracción que las ondas van a “doblar” las esquinas, o van a atravesar una abertura en una barrera. La longitud de onda de la luz visible es muy pequeña como para que los humanos puedan observar este efecto directamente. Las microondas, con una longitud de onda de varios centímetros, muestran los efectos de la difracción cuando chocan contra paredes, picos de montañas y otros obstáculos. La obstrucción provoca que la onda cambie su dirección y doble en las esquinas.

Figura 6: Difracción en la cima de la montaña



Tenga en cuenta que en la difracción se genera una pérdida de potencia: la potencia de la onda difractada es significativamente menor que el frente de onda que la provoca. Pero en algunas aplicaciones muy específicas, se puede aprovechar el efecto de difracción para rodear obstáculos.

4.1.6.4 Interferencia

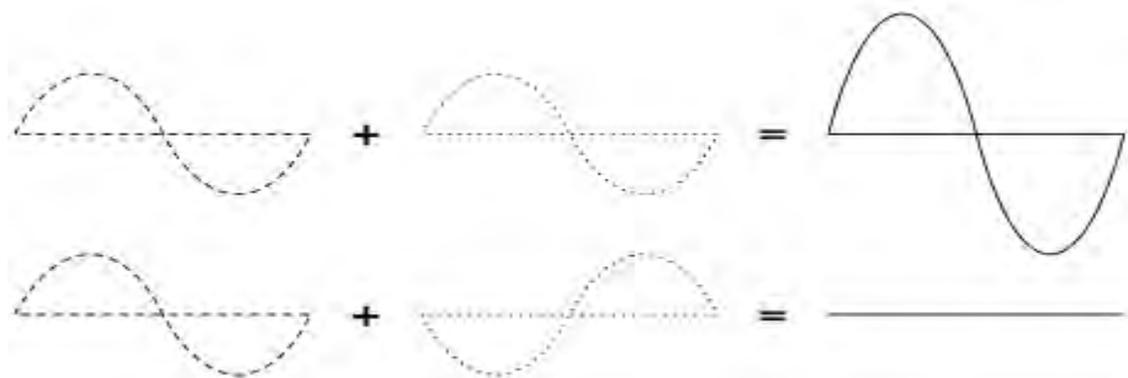
Cuando trabajamos con ondas, uno más uno no es necesariamente igual a dos. Incluso puede resultar cero.

Esto es sencillo de entender cuando dibujamos dos ondas sinodales y sumamos las amplitudes. Cuando un pico coincide con el otro pico, tenemos un resultado máximo ($1 + 1 = 2$). Esto es denominado interferencia constructiva. Cuando un pico coincide con un valle, tenemos una completa aniquilación ($1 + (-1) = 0$), se denomina interferencia destructiva.

Puede probar esto creando dos olas circulares en el agua mediante dos varitas: verá que cuando dos olas se cruzan, hay áreas con picos de onda más grandes y otras que permanecen casi planas y en calma.

Para que trenes de ondas se sumen o cancelen perfectamente, tienen que tener exactamente la misma longitud de onda y una relación de fase fija, esto significa posiciones fijas desde el pico de una onda hasta las otras.

Figura 7: Interferencia constructiva y destructiva.



En la tecnología inalámbrica, la palabra Interferencia es usada típicamente en un sentido amplio, para disturbios desde otras fuentes RF (radio frecuencia), por ejemplo canales adyacentes. Entonces, cuando los constructores de redes inalámbricas hablan de interferencia, generalmente se refieren a todos los tipos de alteraciones generadas por otras redes y otras fuentes de microondas. La interferencia es una de las fuentes de dificultades principales en el despliegue de enlaces inalámbricos, especialmente en ambientes urbanos o en espacios

cerrados (como en un local para conferencias) donde muchas redes pueden competir por el uso del espectro.

Siempre que las ondas de igual amplitud y fases opuestas se crucen en el camino, son eliminadas y no se pueden recibir señales. El caso más común es que las ondas se combinen y generen una nueva forma de onda que no puede ser utilizada efectivamente para la comunicación. Las técnicas de modulación y el uso de canales múltiples ayudan a manejar el problema de la interferencia, pero no lo elimina completamente.

4.1.7 Línea de vista

El término línea de vista, a menudo abreviada como LOS⁷ (por su sigla en inglés, Line of Sight), es fácil de comprender cuando hablamos acerca de la luz visible: si podemos ver un punto B desde un punto A donde estamos, tenemos línea visual.

Las cosas se ponen un poco más complicadas cuando estamos tratando con microondas. Recuerden que la mayoría de las características de propagación de las ondas electromagnéticas son proporcionales a la longitud de onda. Este es el caso del ensanchamiento de las ondas a medida que avanzan. La luz tiene una longitud de onda de aproximadamente 0,5 micrómetros, las microondas usadas en las redes inalámbricas tienen una longitud de onda de unos pocos centímetros. Por consiguiente, los haces de microondas son más anchos –necesitan más espacio.

Note que los haces de luz visibles también se ensanchan, y si los dejamos viajar lo suficiente, podemos ver los resultados a pesar de su pequeña longitud de onda. Cuando apuntamos un láser bien enfocado a la luna, el haz se extenderá abarcando más de 100 metros de radio cuando alcance su superficie. Puede observar este efecto por usted mismo utilizando un apuntador láser económico y un par de binoculares en una noche clara. En lugar de apuntar a la luna, hágalo sobre una montaña distante o una estructura desocupada (como una torre de agua). El radio de su haz va a incrementarse con la distancia. La línea visual que necesitamos para tener una conexión inalámbrica óptima desde A hasta B es más que simplemente una línea delgada –su forma es más bien la de un cigarro, un elipsoide. Su ancho puede ser descrito por medio del concepto de zonas de Fresnel.

4.1.7.1 Pérdida de espacio libre (FSL)

La pérdida de trayectoria en espacio libre usualmente se define como la pérdida a la que es sometida una onda electromagnética cuando esta se irradia en línea recta por el espacio libre, esta no sufre de algún otro fenómeno como la reflexión o absorción. Esta es una mala definición, está en realidad es la cantidad técnica

⁷ Molish, Andreas F. Wireless Communications. 2 ed. USA: John Wiley & Sons Ltd., 2011.

artificial que se obtiene mediante la manipulación de diferentes ecuaciones en enlaces de comunicaciones, teniendo muy en cuenta la ganancia de la antena transmisora.

En esta pérdida de trayectoria por el espacio libre en realidad no se pierde energía alguna, simplemente que esta energía se dispersa alejándose de la fuente principal. Por eso este fenómeno es mejor definirlo como pérdida por dispersión. La potencia de una señal de radio se atenúa en el vacío o en el aire. La pérdida de espacio libre mide la dispersión de la potencia en un espacio libre sin obstáculo alguno a medida que la onda se esparce sobre una superficie mayor. La señal de radio se debilita mientras se expande en una superficie esférica.

La pérdida de potencia de las ondas electromagnéticas en el espacio libre es proporcional de la distancia y también proporcional al cuadrado de la frecuencia.

La atenuación en el espacio libre medida decibelios (dB), viene dada por:

$$FSL(dB) = 20\text{Log}_{10}(d) + 20\text{Log}_{10}(f) + k$$

De donde: d = distancia, f = frecuencia, k = constante que depende de las unidades usadas para d y f.

Cuando d se mide en mt y frecuencia en Hz, la constante es igual a -187,5, cuando d se mide en km y frecuencia en GHz, la constante es igual a 92,4.

4.1.7.2 La zona de Fresnel

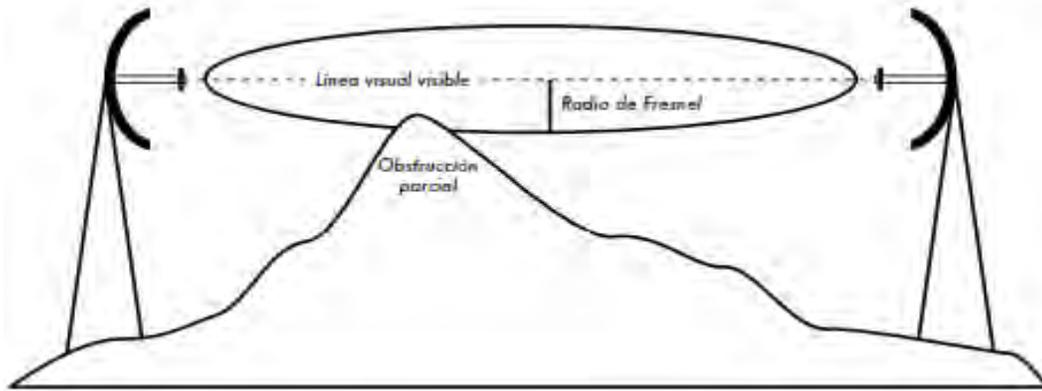
La teoría exacta de las zonas de Fresnel es algo complicada. Sin embargo el concepto es fácilmente entendible: sabemos por el principio de Huygens que por cada punto de un frente de onda comienzan nuevas ondas circulares. Sabemos que los haces de microondas se ensanchan. También sabemos que las ondas de una frecuencia pueden interferir unas con otras.

La teoría de zona de Fresnel simplemente examina a la línea desde A hasta B y luego al espacio alrededor de esa línea que contribuye a lo que está llegando al punto B. Algunas ondas viajan directamente desde A hasta B, mientras que otras lo hacen en trayectorias indirectas. Consecuentemente, su camino es más largo, introduciendo un desplazamiento de fase entre los rayos directos e indirectos. Siempre que el desplazamiento de fase es de una longitud de onda completa, se obtiene una interferencia constructiva: las señales se suman óptimamente. Tomando este enfoque, y haciendo los cálculos, nos encontramos con que hay zonas anulares alrededor de la línea directa de A hacia B que contribuyen a que la señal llegue al punto B.

Tenga en cuenta que existen muchas zonas de Fresnel, pero a nosotros nos interesa principalmente la zona 1. Si ésta fuera bloqueada por un obstáculo, como un árbol o un edificio, la señal que llegue al destino lejano será atenuada.

Entonces, cuando planeamos enlaces inalámbricos, debemos asegurarnos de que esta zona va a estar libre de obstáculos. En la práctica en redes inalámbricas nos conformamos con que al menos el 60% de la primera zona de Fresnel esté libre.

Figura 8: La zona de Fresnel es bloqueada parcialmente en este enlace, aunque la línea visual no está obstruida.



Aquí hay una fórmula para calcular la primera zona de Fresnel:

$$r = 17,31 * \sqrt{\frac{d_1 * d_2}{f * d}}$$

Donde r es el radio de la primera zona en metros, d1 y d2 son las distancias desde el obstáculo a los extremos del enlace en metros, d es la distancia total del enlace en metros, y f es la frecuencia en MHz. Note que esta fórmula calcula el radio de la zona. Para calcular la altura sobre el terreno, debe sustraerse este resultado de una línea trazada directamente entre la cima de las dos torres.

4.1.8 Energía

Cualquier onda electromagnética contiene energía, o potencia⁸ –lo podemos sentir cuando disfrutamos (o sufrimos) del calor del sol. La potencia P es de una importancia clave para lograr que los enlaces inalámbricos funcionen: se necesita cierto mínimo de potencia para que el receptor le dé sentido a la señal.

El campo eléctrico se mide en V/m (diferencia de potencial por metro), la potencia contenida en él es proporcional al campo eléctrico al cuadrado

$$P \sim E^2$$

⁸ Burbano de Ercilla, Santiago y Gracia Muñoz, Carlos. Física General. 9 ed. Tebar, 2003. pág. 800.

En la práctica, medimos la potencia por medio de algún tipo de receptor, por ej. Una antena y un voltímetro, un medidor de potencia, un osciloscopio, o inclusive una tarjeta inalámbrica y una computadora portátil. La potencia es proporcional al cuadrado del voltaje de la señal.

La técnica sin duda más importante para calcular la potencia es por decibeles (dB). No hay física nueva en esto –es solamente un método conveniente que hace que los cálculos sean muy simples.

El decibel es una unidad sin dimensión, esto es, define la relación entre dos medidas de potencia. Se define como:

$$dB = 10 * \log \frac{P1}{P0}$$

Donde P1 y P0 pueden ser de dos valores cualesquiera que queremos comparar. Típicamente, en nuestro caso, se tratará de potencia.

Además de los dB's adimensionales, hay cierto número de definiciones relacionadas que están basadas en una referencia P0 fija. Los más relevantes para nosotros son:

$$dBm \text{ relativo a } P0 = 1mW$$

$$dBi \text{ relativo a una antena isotrópica ideal}$$

Una antena isotrópica es una antena hipotética que distribuye uniformemente la potencia en todas direcciones. La antena que más se aproxima a este concepto es el dipolo, pero una antena isotrópica perfecta no puede ser construida en la realidad. El modelo isotrópico es útil para describir la ganancia de potencia relativa de una antena real.

Otra forma común (aunque menos conveniente) de expresar la potencia es en mili vatios (mili watts)

Tabla 2: Equivalencias en niveles de potencia expresadas en mili watts y dBm.

Unidad expresada en mili watts	Unidad expresada en dBm
1 mW	0 dBm
2 mW	3 dBm
100 mW	20 dBm

1 W	30 dBm
-----	--------

4.2 NORMATIVIDAD DEL ESPPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN COLOMBIA

El artículo 75 de la Constitución Política de Colombia establece que el espectro electromagnético es un bien público inajenable e imprecriptible sujeto a la gestión y control del estado.

El espectro radioeléctrico, tal como lo define la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT, es el "el conjunto de ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificiar.

El espectro radioeléctrico es el elemento esencial de las telecomunicaciones y su organización se encuentra plasmada en el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias - CNABF, de acuerdo con las normas y prácticas tanto nacionales como internacionales, así como los desarrollos tecnológicos.

Mediante los artículos 11 y 72 de la Ley 1341 de 2009 señalan, que el uso del espectro radioeléctrico requiere permiso previo, expreso y otorgado por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, y que con el fin de asegurar procesos transparentes y la maximización de recursos para el Estado, previamente al otorgamiento del permiso de uso del espectro radioeléctrico de asignación, o de concesión de servicios si a ello hubiere lugar, se determinará si existe un número plural de interesados en la banda de frecuencias correspondiente, evento en el cual se aplicarán procedimientos de selección objetiva.

En el numeral 32.6 del artículo 32 del Decreto 1972 de 2003 se establece que: "El uso del espectro radioeléctrico para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM), así como para aparatos, equipos o sistemas cuya instalación y operación sean autorizadas de manera general y expresa por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en las bandas y frecuencias atribuidas nacionalmente para el efecto, es libre".

Cuando se habla de uso libre del espectro, esto hace referencia al uso sin necesidad de contraprestación o pago, de algunas frecuencias o bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, atribuidas, permitidas y autorizadas de manera general y expresa por el Ministerio de Comunicaciones.

En Colombia en el artículo 1 de la resolución 689 de 2004⁹, se atribuyen las bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las condiciones establecidas por esta resolución.”

En el artículo 5 de la resolución 689 de 2004, Se atribuyen dentro del territorio nacional, a título secundario, para operación sobre una base de no-interferencia y no protección de interferencia, los siguientes rangos de frecuencias radioeléctricas mostrados en la Tabla 3, para su libre utilización por sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local.

Tabla 3: Rangos de frecuencias libres en Colombia

Banda	Rango (MHz)
1	902 - 928
2	2400 - 2483,5
3	5150 - 5250
4	5250 - 5350
5	5470 - 5725
6	5725 - 5850

La utilización del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias libres y bajo las condiciones establecidas en el resolución 689 de 2004, sin perjuicio de la obligatoriedad de obtener la concesión respectiva cuando con este espectro radioeléctrico se pretenda prestar servicios de telecomunicaciones a terceros.

Para que una empresa pueda ser un proveedor de servicios de Internet, debe tener un Título Habilitante Convergente, esta denominación comprende las licencias y concesiones para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones de que tratan el Decreto-ley 1900 de 1990 y el inciso cuarto del artículo 33 de la Ley 80 de 1993. Se exceptúan los servicios de Televisión consagrados en la Ley 182 de 1995 y sus modificaciones, los servicios de Radiodifusión Sonora, Auxiliares de Ayuda y Especiales de que trata el Decreto-

⁹ Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. *Resolucion 689*. Bogota D.C , 2004.

ley 1900 de 1990, los servicios de Telefonía Móvil Celular -TMC- y de Comunicación Personal -PCS- definidos en las Leyes 37 de 1993 y 555 de 2000, respectivamente, y los servicios de Telefonía Pública Básica Conmutada Local, Local Extendida y Telefonía Móvil Rural contemplados en la Ley 142 de 1994.

Para este fin una empresa de telecomunicaciones necesita cumplir con lo establecido en el artículo 5 del decreto 2870 de 2007¹⁰, por el cual, una empresa cuyo objeto social incluya la prestación de servicios de telecomunicaciones, con un capital social pagado no inferior a cien (100) salarios mínimos mensuales legales vigentes y cuya duración se extienda por el término del Título Habilitante Convergente y al menos un (1) año más. En caso que con la solicitud se relacione la prestación del servicio de Telefonía Pública Básica Conmutada de Larga Distancia, deberá estar constituida como Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios (ESP) de conformidad con la legislación colombiana, particularmente con los artículos 17 de la Ley 142 de 1994, 2° de la Ley 286 de 1996 y con el Código de Comercio.

4.3 TEORÍA DE RADIOENLACES

4.3.1 Radiofrecuencia

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 kHz y unos 300 GHz. El hercio es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas, y corresponde a un ciclo por segundo. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro, se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena.’

Tabla 4: Frecuencias y longitudes de onda de Radio Frecuencia.

Nombre	Abreviatura Inglesa	Banda ITU	Frecuencias	Longitud de onda
			Inferior a 3 Hz	> 100.000 km
Extra baja frecuencia	ELF	1	3-30 Hz	100.000–10.000 km
Super baja frecuencia	SLF	2	30-300 Hz	10.000–1000 km

¹⁰ Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Decreto 2870 de 2007. Bogotá D.C, 2007.

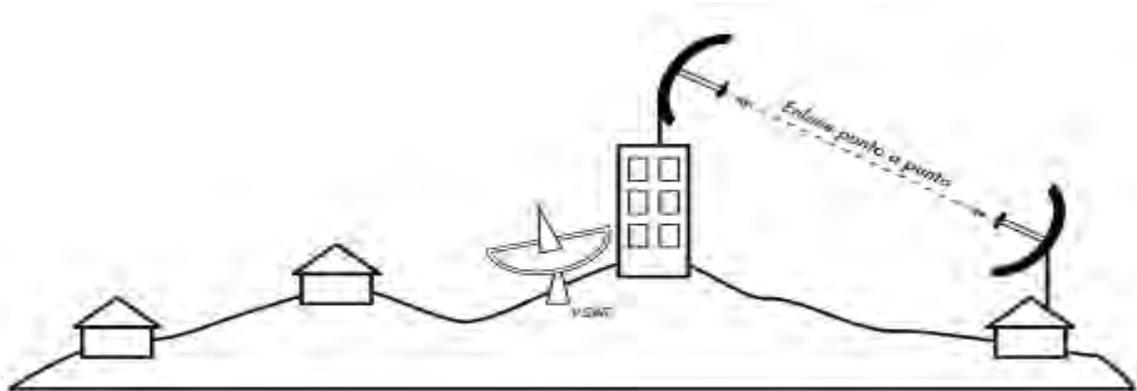
Ultra baja frecuencia	ULF	3	300–3000 Hz	1000–100 km
Muy baja frecuencia	VLF	4	3–30 kHz	100–10 km
Baja frecuencia	LF	5	30–300 kHz	10–1 km
Media frecuencia	MF	6	300–3000 kHz	1 km – 100 m
Alta frecuencia	HF	7	3–30 MHz	100–10 m
Muy alta frecuencia	VHF	8	30–300 MHz	10–1 m
Ultra alta frecuencia	UHF	9	300–3000 MHz	1 m – 100 mm
Super alta frecuencia	SHF	10	3-30 GHz	100-10 mm
Extra alta frecuencia	EHF	11	30-300 GHz	10–1 mm
			Por encima de los 300 GHz	< 1 mm

4.3.2 Enlace punto a punto

Los enlaces punto a punto generalmente se usan para conectarse a Internet donde dicho acceso no está disponible de otra forma. Uno de los lados del enlace punto a punto estará conectado a Internet, mientras que el otro utiliza el enlace para acceder al mismo. Por ejemplo, una Universidad puede tener una conexión Frame Relay 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 remplazar enlaces discados existentes.

Con antenas apropiadas y existiendo línea visual, se pueden hacer enlaces punto a punto seguros de más de treinta kilómetros.

Figura 9: Enlace punto a punto de dos lugares distantes.



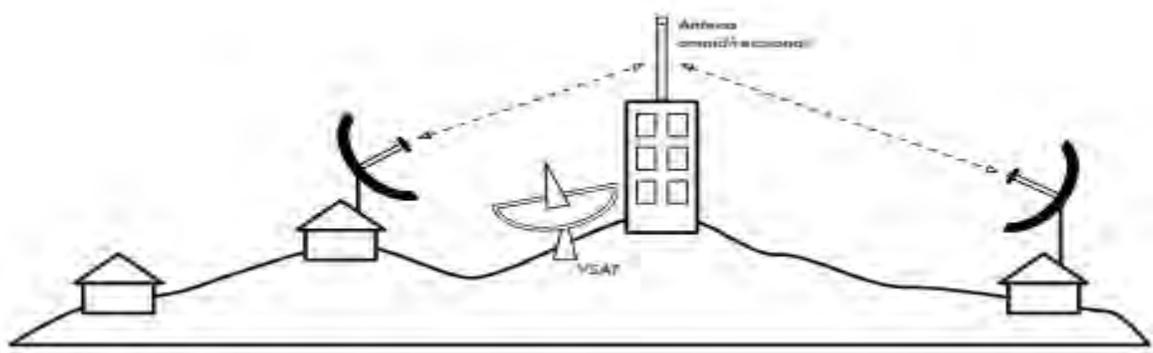
Por supuesto, una vez hecha una conexión punto a punto, se pueden añadir otras para extender la red aún más. Si en nuestro ejemplo, un edificio alejado se encuentra en la cima de una gran colina, puede ser posible ver otras locaciones importantes que no pueden ser vistas directamente desde el campus central. Mediante la instalación de otro enlace punto a punto hacia el lugar remoto, se puede unir a la red otro nodo y hacer uso de la conexión central a Internet.

Los enlaces punto a punto no necesariamente tienen que estar relacionados con el acceso a Internet. Supongamos que debe desplazarse hasta una estación de monitoreo meteorológico alejada, –ubicada en lo alto de una colina–, para recolectar los datos que ella toma. Podría conectar el lugar con un enlace punto a punto, logrando la recolección y el monitoreo de datos en tiempo real, sin tener que ir hasta el lugar. Las redes inalámbricas pueden proveer suficiente ancho de banda como para transmitir grandes cantidades de datos (incluyendo audio y video) entre dos puntos, aún en ausencia de conexión a Internet.

4.3.3 Enlace punto a multipunto

La siguiente red más comúnmente encontrada es el punto a multipunto donde varios nodos están hablando con un punto de acceso central, esta es una aplicación punto a multipunto. El ejemplo típico de esta disposición es el uso de un punto de acceso inalámbrico que provee conexión a varias computadoras portátiles. Las computadoras portátiles no se comunican directamente unas con otras, pero deben estar en el rango del punto de acceso para poder utilizar la red.

Figura 10: Enlace punto a multipunto



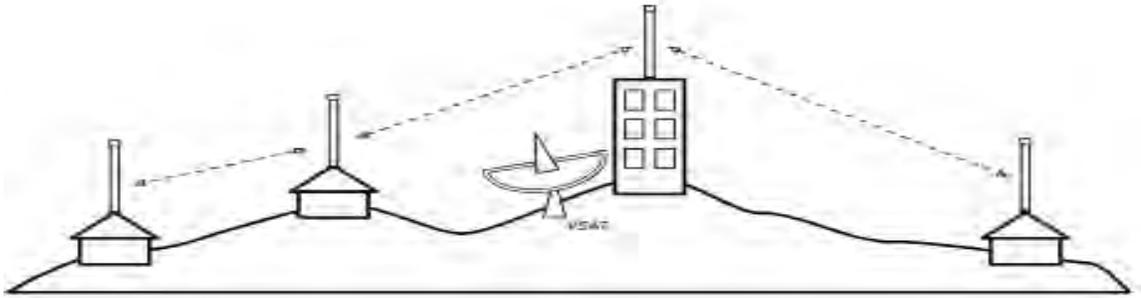
La red punto a multipunto también puede ser aplicada a nuestro ejemplo anterior en la universidad. Supongamos que el edificio alejado en la cima de una colina está conectado con el campus central con un enlace punto a punto. En lugar de colocar varios enlaces punto a punto para conexión a Internet, se puede utilizar una antena que sea visible desde varios edificios alejados. Este es un ejemplo clásico de conexión de área extendida, (sitio alejado en la colina) a multipunto (muchos edificios abajo en el valle).

Existen algunas limitaciones con el uso de punto a multipunto en distancias muy grandes. Estos enlaces son útiles y posibles en muchas circunstancias, pero no cometamos el clásico error de instalar una torre de radio de gran potencia en el medio de un pueblo esperando ser capaces de servir a miles de clientes, como podría hacerlo con una estación de radio FM. Como veremos, las redes de datos se comportan de forma muy diferente a las emisoras de radiodifusión.

4.3.4 Enlace multipunto a multipunto

Otro tipo de diseño de red es el multipunto a multipunto, el cual también es denominado red ad hoc o en malla (mesh). En una red multipunto a multipunto, 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.

Figura 11: Enlace multipunto a multipunto



El beneficio de este diseño de red es que aún si ninguno de los nodos es alcanzable desde el punto de acceso central, igual pueden comunicarse entre sí. Las buenas implementaciones de redes mesh son auto-reparables, detectan automáticamente problemas de enrutamiento y los corrigen.

Extender una red mesh es tan sencillo como agregar más nodos. Si uno de los nodos en la “nube” tiene acceso a Internet, esa conexión puede ser compartida por todos los clientes.

Dos grandes desventajas de esta topología son el aumento de la complejidad y la disminución del rendimiento. La seguridad de esta red también es un tema importante, ya que todos los participantes pueden potencialmente transportar el tráfico de los demás. La resolución de los problemas de las redes multipunto a multipunto tiende a ser complicada, debido al gran número de variables que cambian al moverse los nodos. 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.

4.3.5 Modelo de propagación LONGLEY - RICE

Este modelo de propagación semi-empírico, predice la posible propagación a larga-media distancia sobre terreno irregular. Fue diseñado para frecuencias entre los 20MHz y 20GHz, para longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km.

También es un modelo estadístico pero toma en cuenta muchos más parámetros para el cálculo de las pérdidas:

- Altura media del terreno (ondulación)
- Refracción de la troposfera
- Perfiles del terreno
- Conductividad y permisividad del suelo
- Clima

Para el cálculo de la propagación, el modelo Longley-Rice tiene los siguientes parámetros comunes al de otros modelos de propagación:

Frecuencia: el rango de frecuencias nominales para el modelo varía entre 20MHz y 20GHz.

ERP (Effective Radiated Power): potencia efectiva de radiación, se introducen en las unidades que fije el usuario en la opción de configuración del sistema (mW, W, kW, dBm, dBW, dBk).

Polarización: debe especificarse si se trabaja con polarización horizontal o vertical. El modelo de Longley-Rice asume que ambas antenas tienen la misma polarización, vertical y horizontal.

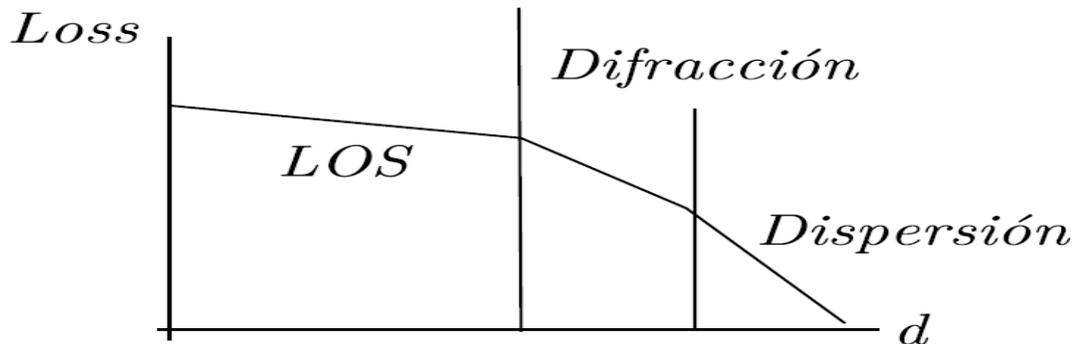
Refractividad: la refractividad de la atmósfera determina la cantidad de “bending” o curvatura que sufrirán las ondas radio. En otros modelos, el parámetro de refractividad puede introducirse como la curvatura efectiva de la tierra, típicamente 4/3 (1.333). Para el modelo Longley-Rice, hay tres formas de especificar la refractividad. Se puede introducir el valor de refractividad de superficie directamente, típicamente en el rango de 250 a 400 Unidades de n (correspondiente a valores de curvatura de la tierra de 1.232 a 1.767). Una curvatura efectiva de la tierra de 4/3 (=1.333) corresponde a una refractividad de superficie de valor aproximadamente 301 Unidades de n. Longley y Rice recomiendan este último valor para condiciones atmosféricas promedio. Se dice que la onda está en condiciones de $k = 4/3$, que es el valor para una atmósfera estándar, ya que de acuerdo a valores experimentales se encontró que éste era el valor medio.

De manera que el factor k multiplicado por el radio terrestre da el radio ficticio de la Tierra. La relación entre los parámetros “k” y “n”, viene dada por la siguiente expresión:

$$N_5 = 179,3 \cdot \ln \left[\frac{1}{0,046665} \left(1 - \frac{1}{K} \right) \right]$$

Para el cálculo de las pérdidas el modelo usa la teoría de la difracción, la refracción troposférica y el escattering del terreno. Las pérdidas adicionales están basadas en medidas tomadas en varias situaciones.

Figura 12: grafica de pérdida – difracción para el modelo LONGLEY-RICE



4.4 REDES

4.4.1 Definición de una red

El comité IEEE 802 establece que “Una red es un sistema de comunicaciones que permite que un número de dispositivos independientes se comuniquen entre sí”. Esta definición abarca no solo a las computadoras, sino a todos los dispositivos involucrados en la comunicación de datos, además de que no establece un límite en el número de nodos que componen la red ni la distancia que los separa.

Dicho de otra forma una red es un conjunto de dispositivos como computadoras (personales, mini computadoras, mainframes), terminales interactivas, elementos de memoria, impresoras, etc., conectados entre sí, que permite a los usuarios tener intercomunicación de datos y compartir recursos.

4.4.1.1 ADSL línea de abonado digital asimétrica

Consiste en una transmisión analógica de datos digitales apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado, siempre y cuando la longitud de línea no supere los 5,5 km medidos desde la central telefónica, o no haya otros servicios por el mismo cable que puedan interferir.

Es una tecnología de acceso a Internet de banda ancha, lo que implica una velocidad superior a una conexión por módem en la transferencia de datos, ya que el módem utiliza la banda de voz y por tanto impide el servicio de voz mientras se use y viceversa. Esto se consigue mediante una modulación de las señales de datos en una banda de frecuencias más alta que la utilizada en las conversaciones telefónicas convencionales (300-3400 Hz), función que realiza el enrutador ADSL. Para evitar distorsiones en las señales transmitidas, es necesaria la instalación de

un filtro, que se encarga de separar la señal telefónica convencional de las señales moduladas de la conexión mediante ADSL.

Esta tecnología se denomina asimétrica debido a que la capacidad de descarga (desde la red hasta el usuario) y de subida de datos (en sentido inverso) no coinciden. La tecnología ADSL está diseñada para que la capacidad de bajada (descarga) sea mayor que la de subida, lo cual se corresponde con el uso de internet por parte de la mayoría de usuarios finales, que reciben más información de la que envían (o descargan más de lo que suben). En una línea ADSL se establecen tres canales de comunicación, que son el de envío de datos, el de recepción de datos y el de servicio telefónico normal.

4.4.2 Ventajas de las redes

Es importante mencionar que las redes de comunicaciones, no son simples conexiones que permiten a un usuario acceder a recursos que se encuentran residentes en otras computadoras. En ocasiones, la instalación de una red local está justificada simplemente como medio para compartir dispositivos periféricos, por ejemplo, una unidad de disco duro de gran capacidad o un grupo de discos puede ser utilizado por todo un grupo de trabajo o departamento. Además, la inversión en dispositivos caros como impresoras láser de alta calidad, unidades de módem de alta velocidad o fax, unidades de CD-ROM, impresoras de color, etc. Se reduce considerablemente.

Las ventajas de una red, van más allá de los beneficios mencionados, lo cual se reflejan en la tendencia actual hacia la conectividad de datos. No solo en el envío de información de una computadora a otra, sino sobre todo, en la distribución del procesamiento a lo largo de grandes redes en todas las empresas.

4.4.3 Tipos de redes

4.4.3.1 Redes de área local (LAN)

Son redes privadas localizadas en un edificio o campus. Su extensión es de algunos kilómetros. Muy usadas para la interconexión de computadoras personales y estaciones de trabajo. Se caracterizan por: tamaño restringido, tecnología de transmisión (por lo general broadcast), alta velocidad y topología.

Son redes con velocidades entre los 10 y 100 Mbps, tiene baja tasa de errores.

Cuando se utiliza medio compartido es necesario un mecanismo de arbitraje para resolver conflictos. Son siempre privadas.

4.4.3.2 Redes de área metropolitana (MAN)

En principio se considera que una MAN abarca una distancia de unas pocas decenas de kilómetros, que es lo que normalmente se entiende como área metropolitana.

El término MAN suele utilizarse también en ocasiones para denominar una interconexión de LAN's ubicadas en diferentes recintos geográficos cuando se dan las siguientes circunstancias:

- La interconexión hace uso de enlaces de alta o muy alta velocidad (comparable a la de las propias LAN's interconectadas).
- La interconexión se efectúa de forma transparente al usuario, que aprecia el conjunto como una única LAN por lo que se refiere a servicios, protocolos y velocidades de transmisión.
- Existe una gestión unificada de toda la red.

4.4.3.3 Redes de área extensa (WAN)

Son redes que cubren una amplia región geográfica, a menudo un país o un continente. Este tipo de redes contiene máquinas que ejecutan programas de usuario llamadas hosts o sistemas finales. Los sistemas finales están conectados a una subred de comunicaciones. La función de la subred es transportar los mensajes de un host a otro.

En la mayoría de las redes de cobertura amplia se pueden distinguir dos componentes: Las líneas de transmisión y los elementos de intercambio (Conmutación). Las líneas de transmisión y los elementos de cambio son computadores especializados utilizados para conectar a dos o más líneas de transmisión.

Las redes de área local son diseñadas de tal forma que tiene topologías simétricas, mientras que las redes de cobertura amplia tienen topología irregular.

Otra forma de lograr una red de cobertura amplia es a través de satélite o sistemas de radio.

4.5 REDES INALÁMBRICAS

El término red inalámbrica (Wireless Network en inglés) es un término que se utiliza en informática para designar la conexión de nodos sin necesidad de una conexión física (cables), ésta se da por medio de ondas electromagnéticas. La transmisión y la recepción se realizan a través de puertos.

Una de sus principales ventajas es notable en los costos, ya que se elimina todo el cable Ethernet y conexiones físicas entre nodos, pero también tiene una

desventaja considerable ya que para este tipo de red se debe tener una seguridad mucho más exigente y robusta para evitar a los intrusos.

4.5.1 Protocolos de redes inalámbricas

4.5.1.1 IEEE 802.11

Las redes IEEE 802.11 suponen la apuesta del IEEE por las redes inalámbricas. Toda ellas se basan en una red tipo Ethernet y, aunque su filosofía es la misma, difieren en la banda de frecuencia utilizada, el ancho de banda que ofrecen, etc. Mientras veremos que las redes Bluetooth se han implantado en componentes electrónicos de la gama baja, las redes 802.11 son mayormente utilizadas a la hora de interconectar computadores portátiles, PDA's, teléfonos inteligentes, entre otros dispositivos.

La especificación original de 802.11 preveía conexiones a velocidades de 1 o 2 MB/s en la banda de los 2,4 GHz utilizando salto de frecuencias (FHSS) o secuencia directa (DSSS).

FHSS y DSSS son dos tipos de espectro expandido (spread spectrum). El objetivo principal a la hora de utilizar el espectro expandido es transmitir ocupando una banda de frecuencias mayor de la requerida. Su creación se debe a investigaciones militares durante la Segunda Guerra Mundial, ya que de esta forma se evitaban ataques y escuchas. FHSS (salto de frecuencias) se basa en que transmite en diferentes bandas de frecuencias, produciéndose saltos de una otra de una forma aleatoria que es posible predecir. Por contra, con DSSS (secuencia directa) se envían varios bits por cada bit de información real.

Otra de las características comunes en las diferentes implementaciones del estándar 802.11 es el uso de WEP, Wireless Equivalent Privacy. WEP tiene como objetivo conseguir una seguridad equivalente a la de las redes convencionales (de cable). El problema reside en que las redes tradicionales basan gran parte de su seguridad en que es difícil comprometer el cable, mientras que la comunicación de las redes inalámbricas va por el aire. WEP es un protocolo razonablemente fuerte y computacionalmente eficiente. Sin embargo, su uso no deja de ser opcional y no es del todo seguro.

Dentro de la familia de las 802.11, el estándar más extendido a día de hoy es el 802.11b, también conocido como Wi-Fi (Wireless fidelity). Wi-Fi es un término registrado auspiciado por la WECA, cuya finalidad es certificar productos de diferentes fabricantes basados en 802.11b y capaces de inter-operar entre sí. Utiliza la banda de los 2,4 GHz y proporciona anchos de banda de hasta 11 MB/s. En espacios de interior es capaz de comunicar nodos separados 50 metros entre sí, mientras que llega a los 100 metros en el exterior.

La siguiente generación de las 802.11 viene de mano de 802.11a, también denominada WLAN.

Esta implementación utiliza la banda de los 5 GHz y puede llegar a ofrecer el nada despreciable ancho de banda de hasta 54 MB/s. Para evitar interferencias se transmite en OFDM (Multiplexación por División en Frecuencia Ortogonal), que además significa una dificultad añadida a la hora de espiar la red.

Otro estándar de 802.11, es 802.11g, que es la evolución de 802.11b. Este utiliza la banda de 2,4 GHz (al igual que 802.11b) pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, que en promedio es de 22,0 Mbit/s de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Es compatible con el estándar b y utiliza las mismas frecuencias. Buena parte del proceso de diseño del nuevo estándar lo tomó el hacer compatibles ambos modelos. Sin embargo, en redes bajo el estándar g la presencia de nodos bajo el estándar b reduce significativamente la velocidad de transmisión.

Actualmente se venden equipos con esta especificación, con potencias de hasta medio vatio, que permite hacer comunicaciones de hasta 50 km con antenas parabólicas o equipos de radio apropiados.

Existe una variante llamada 802.11g+ capaz de alcanzar los 108Mbps de tasa de transferencia. Generalmente sólo funciona en equipos del mismo fabricante ya que utiliza protocolos propietarios.

El gran éxito de las redes inalámbricas de área metropolitana es que utilizan frecuencias de uso libre, es decir no es necesario pedir autorización o algún permiso para utilizarlas. Aunque hay que tener en cuenta, que la normatividad acerca de la administración del espectro varía y determinada por cada país. La desventaja de utilizar este tipo de bandas de frecuencias es que las comunicaciones son propensas a interferencias y errores de transmisión.

4.5.2 Seguridad en redes Inalámbricas

La irrupción de la tecnología de comunicación basada en redes inalámbricas ha proporcionado nuevas expectativas para el desarrollo de sistemas de comunicación, así como nuevos riesgos. La utilización del aire como medio de transmisión de datos mediante la propagación de ondas de radio, ha proporcionado nuevos riesgos de seguridad.

La salida de estas ondas fuera del edificio donde está ubicada la red permite la exposición de datos a posibles intrusos que podrían obtener información sensible a la empresa a la seguridad informática de la misma.

Varios son los riesgos derivables de este factor. Por ejemplo, se podría perpetrar un ataque por inserción, bien de un usuario no autorizado o por la ubicación de un

punto de acceso ilegal más potente que capte las estaciones cliente en vez del punto de acceso legítimo, interceptando la red inalámbrica. También sería posible crear interferencias y una más posible denegación de servicio con solo introducir un dispositivo que emita ondas de radio a la frecuencia de la red inalámbrica.

La posibilidad de comunicar estaciones cliente directamente, sin pasar por el punto de acceso permitiría atacar directamente a una estación cliente, generando problemas si esta estación cliente ofrece servicios TCP/IP o comparte ficheros. Existe también la posibilidad de duplicar las direcciones IP o MAC de estaciones cliente legítimas. Los puntos de acceso están expuestos a un ataque de fuerza bruta para averiguar las contraseñas, por lo que una configuración incorrecta de los mismos facilitaría la irrupción de una red inalámbrica por parte de intrusos.

A pesar de los riesgos anteriormente expuestos, existen soluciones y mecanismos para impedir que cualquiera con los materiales suficiente pueda introducirse en una red, como son OSA, WEP, WPA y WPA2.

4.5.2.1 WPA2

Una vez finalizado el nuevo estándar 802.11i se crea el WPA2 basado en este. WPA se podría considerar de «migración», mientras que WPA2 es la versión certificada del estándar de la IEEE.

La alianza Wi-Fi llama a la versión de clave pre-compartida WPA-Personal y WPA2-Personal y a la versión con autenticación 802.1x/EAP como WPA-Enterprise y WPA2-Enterprise.

Los fabricantes comenzaron a producir la nueva generación de puntos de acceso apoyados en el protocolo WPA2 que utiliza el algoritmo de cifrado AES (Advanced Encryption Standard).⁷ Con este algoritmo será posible cumplir con los requerimientos de seguridad del gobierno de USA - FIPS140-2. "WPA2 está idealmente pensado para empresas tanto del sector privado como del público. Los productos que son certificados para WPA2 le dan a los gerentes de TI la seguridad de que la tecnología cumple con estándares de interoperatividad" declaró Frank Hazlik Managing Director de la Wi-Fi Alliance. Si bien parte de las organizaciones estaban aguardando esta nueva generación de productos basados en AES es importante resaltar que los productos certificados para WPA siguen siendo seguros de acuerdo a lo establecido en el estándar 802.11i

4.5.3 Proveedor de servicios de Internet inalámbrico

El Proveedor de servicios Internet inalámbrico (WISP) es un sistema de red de área metropolitana (MAN) integrado para conectar clientes a la Internet. Las conexiones inalámbricas de alta velocidad se usan para proveer acceso a Internet punto a punto o punto multipunto en compañías, organizaciones gubernamentales,

colegios, universidades y otras instituciones que tienen Redes de Área Locales (LAN).

Los requisitos básicos para usar los enlaces de datos inalámbricos son:

- Que los clientes se localicen en un radio en el cual haya cobertura por parte del sitio central.
- Una línea de Vista directa entre el sitio del cliente y la antena central.
- El uso de las frecuencias 2.4GHz o 5.7GHz según las regulaciones locales. En algunos países podría requerirse una licencia especial.

Beneficios de la conexión Inalámbrica:

- Alta Velocidad en enlace de Datos (660-5,600 kbps), dependiendo de la calidad radioenlace y el equipo utilizado
- Instalación rápida de la Estación Base (uno a dos días),
- Instalación rápida para los clientes (2 a 6 horas por sitio).
- Accesos eficaces en costos para usos prolongados y usuarios múltiples.

El sistema opera en bases punto a multi-punto, y consiste en una estación base y varios nodos clientes en un radio de entre 10 a 12 km alrededor de él (esto depende de los equipos utilizados y la calidad del radioenlace). Los nodos cliente se conectan a la unidad base sobre enlaces inalámbricos. Por consiguiente, se requiere una línea de vista directa entre la antena del cliente y la antena de la estación base para establecer la conexión inalámbrica.

Un WISP es un servicio inalámbrico fijo entre el nodo central y el cliente. No es un servicio móvil, por lo menos en la mayoría de los casos, porque: se requiere una línea de vista directa entre el nodo central y el cliente, y se usan radios de bajo poder y antenas de alta ganancia para los enlaces inalámbricos. El Sistema de ISP Inalámbrico opera bandas ISM de 2.4 GHz o 5.7 GHz. No opera a 900MHz debido a la interferencia con las redes de teléfono GSM.

Para mayores distancias, puede haber problemas para asegurar la línea de vista debido a la curvatura de la Tierra.

El Sistema de ISP Inalámbrico es un servicio terrestre operando como una Red de Área Metropolitana con células de 10-12 km de radio. No es un Sistema ISP satelital. El Sistema de ISP Inalámbrico es un servicio bidireccional, dónde ambos, el cliente y el nodo central envían y reciben datos. No es un sistema transmisor receptor, pues cada nodo hace ambas tareas.

5. METODOLOGÍA

5.1 ESCENARIO DE APLICACIÓN

El proyecto se desarrolló en la empresa de telecomunicaciones de Ipiales UNIMOS S.A E.S.P, que tiene como misión, prestar servicios de Tecnología de información y comunicaciones a la comunidad de Ipiales, con responsabilidad social, calidad y competitividad, a través del desarrollo humano y la aplicación de nuevas tecnologías, también en su visión esta ser una empresa líder en la región, moderna, y comprometida con la comunidad de Ipiales en facilitar el acceso a las tecnologías de información y al conocimiento, con un eficiente desarrollo del talento humano, técnico y comercial, teniendo como razón de ser la satisfacción de sus clientes y hacer cumplir su política de calidad a la hora de prestar servicios de tecnología de información y comunicaciones con oportunidad, confiabilidad suficiente información comercial y responsabilidad social.

5.1.1 Identificación de Sectores y diagnóstico del servicio.

Luego de obtener los reportes de daños de los últimos 2 trimestres de la empresa UNIMOS S.A E.S.P, se encontró que los sectores, en donde se reportan la mayoría de daños, son los sectores que están más alejados de la estación base, lo cual concuerda con la teoría ya que la tecnología que se utiliza para brindar el servicio de Internet en la ciudad de Ipiales, es ADSL y por lo tanto a mayor distancia de la central menos fiabilidad del servicio, a continuación se muestra una tabla en donde se presentan los distritos (ver Anexo 1) pertenecientes a UNIMOS S.A E.S.P con mayor número de daños, con estos datos se establecerá que sectores del municipio de Ipiales se pueden mejorar con la red inalámbrica, teóricamente para ADSL, se tienen unos valores de la relación señal a ruido (SNR, Signal Noise Ruido) que definen la calidad de la señal de Internet por el par de cobre de un línea telefónica, a continuación se presenta la Tabla 5 que muestra los valores para los cuales una conexión es deficiente, mala, optima y excelente.

Tabla 5: Calidad de señal Vs relación señal a ruido en ADSL

SNR (dB)	calidad de señal
0 a 6	deficiente
7 a 13	mala
13 a 20	optima
20 en adelante	excelente

Se procedió a verificar el SNR de los equipos locales de cliente (CPE, Customer Premises Equipment), en donde se evidenció la teoría de la línea de abonado digital simétrica que dice a mayor distancia de la central menos fiabilidad del servicio, en la Figura 13 se muestra un pantallazo tomado de un cliente en donde se evidencia la calidad de señal y en la Tabla 6 se muestra la calidad de señal en cada distrito.

Figura 13: SNR en un CPE de un cliente alejado de la central.

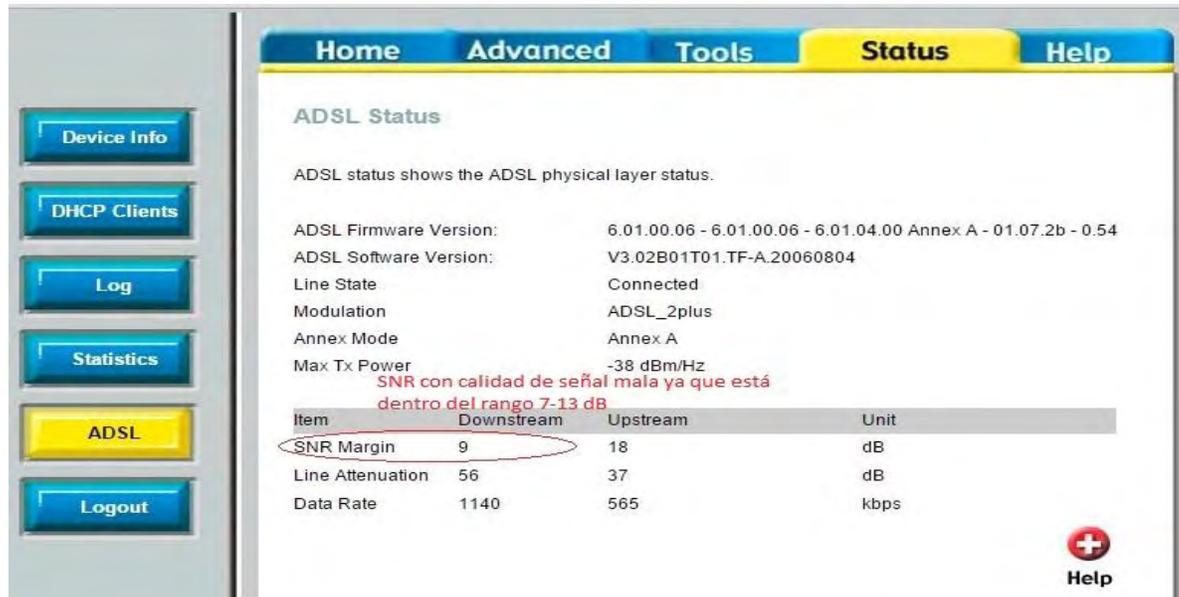


Tabla 6: Usuarios por distrito, frecuencia de daños y calidad de servicio

Distrito	Nº de usuarios de Internet	Frecuencia de daños reportados por mes	Calidad de Señal
1	14	26	mala señal
2	13	3	buena señal
3	22	32	mala señal
4	20	38	mala señal
5	27	31	mala señal
6	23	36	mala señal

7	11	3	buena señal
8	40	48	mala señal
9	28	38	mala señal
10	22	31	mala señal
11	29	30	mala señal
12	10	2	buena señal
13	29	43	mala señal
14	23	4	buena señal
15	10	2	buena señal
16	41	56	mala señal
17	14	3	buena señal
18	16	35	mala señal
19	27	27	mala señal
20	9	0	buena señal
21	23	27	mala señal
22	11	3	buena señal
23	32	52	mala señal
24	14	1	buena señal
25	35	64	mala señal
26	16	25	mala señal
27	27	37	mala señal
28	13	15	buena señal
29	15	0	buena señal

30	8	0	buena señal
31	9	1	buena señal
32	5	0	buena señal
33	14	2	buena señal
34	20	1	buena señal
35	7	0	buena señal
101	3	0	buena señal
102	4	0	buena señal
103	8	1	buena señal
104	14	0	excelente señal
19A	2	0	Excelente señal
31A	13	11	buena señal
9A	11	3	buena señal
MIR	15	2	excelente señal
RD	188	265	mala señal

La mayoría de daños se presentan en los sectores alejados de la troncal.

5.1.2 Posibles sectores para mejorar el servicio de Internet

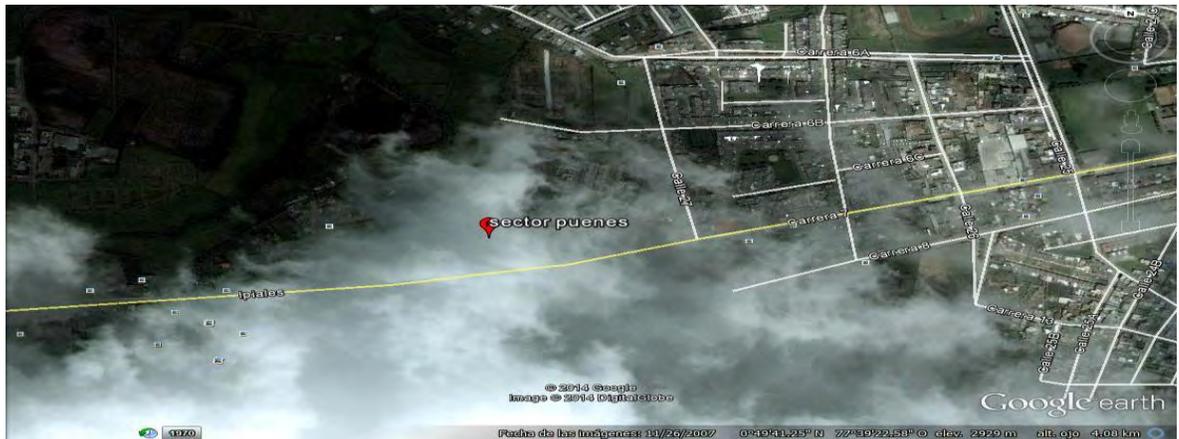
Después de identificar los sitios con mayor frecuencia de daños como se muestra en la Tabla 6, se encontró que las zonas en donde se presentan más inconvenientes son: Puenes, El Charco, Vía Panamericana salida a Pasto, Rumichaca. Además hay un sector que es sitio turístico que ha comenzado a realizar peticiones para que se le proporciones el servicio de Internet, el cual es Las Lajas.

5.1.2.1 El sector de Puenes

Este sector está comprendido entre la calle 40 con carrera 7 y la calle 25 con carrera 7, es un sector potencial para adquirir Internet, y como es una zona que está alejada de UNIMOS S.A E.S.P, el servicio por ADSL tiene muchos

inconvenientes y daños, como por ejemplo el constante decaimiento de la señal ADSL enviada por la redes de cobre, otro inconveniente es la tasa de transferencia que los usuarios contratan debe garantizar las características del Internet óptimo el cual provee una conexión permanente, simétrica, confiable y de alta velocidad y en este sector está muy por debajo de esas características, esto debido a la distancia, por lo tanto se quiere mejorar la calidad del servicio en esta zona.

Figura 14: Sector de punes Ipiales, Nariño.



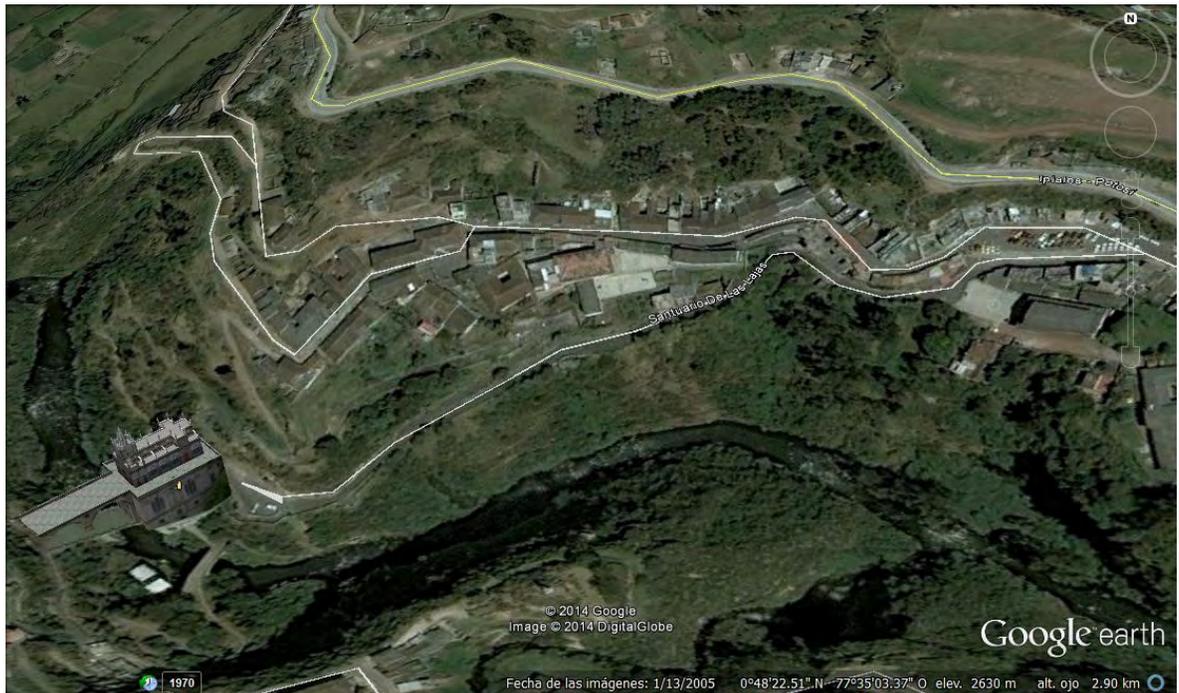
Fuente: Google Earth v 7.1.2.2041

5.1.2.2 Corregimiento de Las Lajas

Las Lajas, es una joya histórica, cultural, paisajística, arquitectónica y religiosa en América; incrustada en los peñascos verticales del río Guitara; atracción de turistas y peregrinos de Hispanoamérica, en especial del sur de Colombia y del Ecuador, quienes llegan por millares en Semana Santa (peregrinación), en las fiestas de Septiembre 16, y Navidad de cada año.

Las Lajas, exótico lugar situado en la frontera colombo ecuatoriana a 7 Km de Ipiales; es un lugar de profunda espiritualidad que ha sido calificado como una de las 7 maravillas de Colombia. Debido a sus cualidades milagrosas, en 1951 el Vaticano le otorgó la coronación canónica. Es sin duda un lugar de espectacular belleza y donde podrá encontrarse por un momento con su lado espiritual. Por lo tanto es un sector en el cual se puede empezar a brindar el servicio de Internet de forma inalámbrica, ya que esta hasta el momento es la única alternativa para ofrecer el servicio porque no hay redes de cobre en el corregimiento, además es un sitio turístico y podría ser un buen mercado de usuarios a obtener.

Figura 15: Corregimiento de las Lajas, municipio de Ipiales, Nariño



Fuente: Google Earth v 7.1.2.2041

5.1.2.3 El sector de Rumichaca

El sector de Rumichaca está situado a 3 Km de Ipiales, donde se encuentra el puente internacional que lleva el mismo nombre, que es el principal paso fronterizo entre las naciones de Colombia y Ecuador situado sobre el río Carchi que originalmente es el paso oficial de frontera y que es el resultado de la horadación de la peña por la fuerza del agua del río que desde este punto y hacia abajo, en territorio colombiano, se denomina río Guitarra y forma un profundo cañón con paisajes espectaculares, los cuales permiten ser visitados por extranjeros que registran su entrada o salida de los países en oficinas de control tanto de emigración como migración, para posterior, visitar sitios turísticos llenos de cultura y de intercambio comercial.

Para este intercambio comercial existe el servicio de Aduana el cual es brindado las 24 horas, lo cual permite registrar la comercialización de productos agrícolas, ropa hasta elementos de construcción, por lo tanto estas instituciones requieren una conexión a Internet de alta velocidad 24/7, este puede ser un sector para implementar el servicio de Internet inalámbrico y ofrecer un servicio óptimo, el cual provee una conexión a Internet permanente, simétrica, de alta confiabilidad, máxima seguridad y alta velocidad.

Luego de realizar una breve descripción de los sectores en los cuales se puede implementar el servicio de Internet inalámbrico, se presentó un reporte de daños y

zonas con problemas, al jefe de planeación y después de socializar con el gerente de la empresa, los resultados. Decidieron que para los sectores de Las Lajas y Puenes se realizará el diseño de la red de distribución de Internet inalámbrico, la razón fue que en estos dos sectores hay un potencial de usuarios para ofrecer el servicio de Internet, a continuación se presenta una tabla con los dos sectores que se va a atender y el posible número de usuarios a crecer.

Tabla 7: Sectores para la implementación de los nodos.

Nombre Nodo	Distrito	Ubicación	Usuarios a mejorar	Nuevos posibles Usuarios
Puenes	9	Calle 30A con carrera 8 ^a	14	100
	9A	Calle 28 con carrera 8 ^a	22	
Las Lajas		Las Lajas	Nuevos usuarios	

También se va a ubicar un nodo central en la empresa de telecomunicaciones de Ipiales UNIMOS S.A. E.S. P, la razón fue, que en un futuro se pretende prestar el servicio de Internet en municipios cercanos a la ciudad de Ipiales.

Tabla 8: Ubicación geográfica sectores para implementar los nodos.

Nodos	Dirección	Coordenadas Geográficas	Altura
UNIMOS S.A E.S.P.	Carrera 5 N° 12-04	0°49'30.65"N 77°38'13.90"O	2893 msnm
PUENES	Sector del Barrio Puenes	0°49'36.80"N 77°39'39.25"O	2937,2 msnm
LAS LAJAS	Corregimiento de Las Lajas	0°48'20.61"N 77°34'55.61"O	2665 msnm

De acuerdo con el mapa digital de la ciudad de Ipiales^{11 12} se determinaron las distancias aproximadas entre los nodos, esta distancia es directa sin importar si hay línea de vista, esta información se resume en la Tabla 9.

Tabla 9: Distancia entre los nodos.

Nodos	UNIMOS S.A E.S.P	PUENES	Las Lajas
UNIMOS S.A E.S.P.		2658 metros	6483 metros
PUENES	2658 metros		9055 metros
LAS LAJAS	6483 metros	9055 metros	

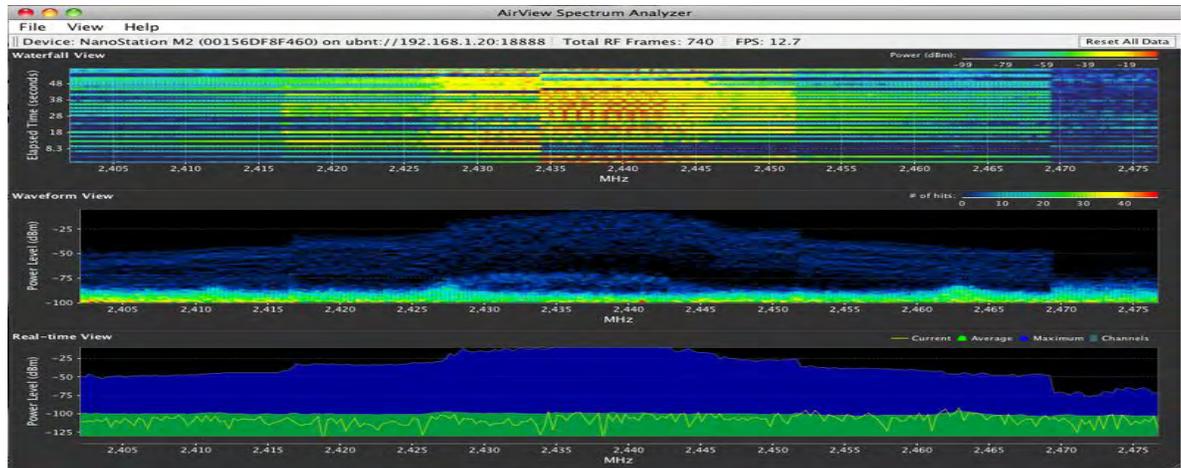
5.2 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE ENLACE

De acuerdo con las comparaciones entre las distintas tecnologías para enlaces inalámbricos existentes en este momento, se decidió utilizar la tecnología IEEE 802.11n, para realizar los enlaces inalámbricos en la empresa UNIMOS S.A. E.S.P, las razones por lo cual se escogió esta tecnología, es que, los costos son bajos, además los sistemas 802.11n, trabajan en la bandas 5GHz, las cuales se encuentran para libre uso de sistemas de espectro ensanchado y modulación digital de banda ancha y baja potencia en el territorio colombiano, no se escogió la implementación con la tecnología IEEE 802.11b/g ya que la masiva implementación de sistemas Wi-Fi, debida principalmente al costo, facilidad de configuración de los equipos y, a que en el presente casi todos los dispositivos móviles tales como laptops, celulares, tabletas, entre otros, tienen la tecnología 802.11b/g. Esto ha ocasionado, que cada vez los canales disponibles sean más escasos y las comunicaciones presenten un menor rendimiento debido a la interferencia y la saturación del espectro radioeléctrico, se realizó un análisis de espectro para la frecuencia de 2,4 GHz a 2,5 GHz desde un edificio en el centro de la ciudad con la herramienta airOS™ v5.5.4 de ubiquiti, y se confirmó que hay saturación de los canales por lo tanto el sistema presentaría un menor rendimiento y no poder ofrecer un servicio óptimo, los datos se presentan en la Figura 16: análisis espectro canal 2,4 GHz Figura 16.

¹¹ INC., Google. Google EARTH

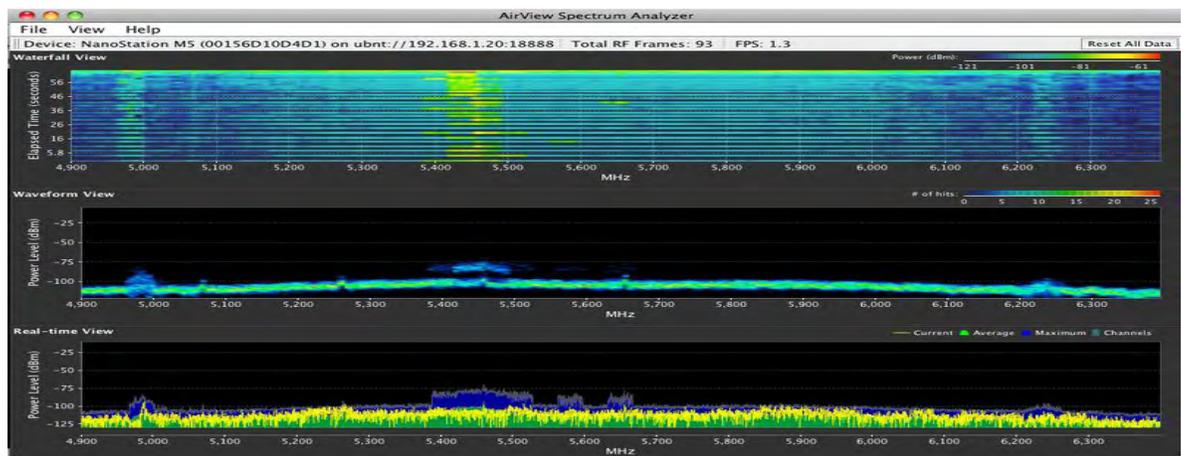
¹² Ipiales, Alcaldía Municipal de. Mapa digital de Ipiales. Ipiales: Departamento de planeación municipal, 2010.

Figura 16: análisis espectro canal 2,4 GHz a 2,5 GHz centro de la ciudad de Ipiales, Nariño



También se realizó el análisis de espectro para la frecuencia de 4,9 GHz- 6GHz, desde el mismo lugar y se obtuvo que el canal de 5 GHz no está tan saturado como el de 2,5 GHz, por lo tanto el sistema presentaría un mayor rendimiento y poder ofrecer un servicio óptimo, los datos obtenidos se lo puede observar en la Figura 17.

Figura 17 análisis espectro canal 5 GHz centro de la ciudad de Ipiales, Nariño

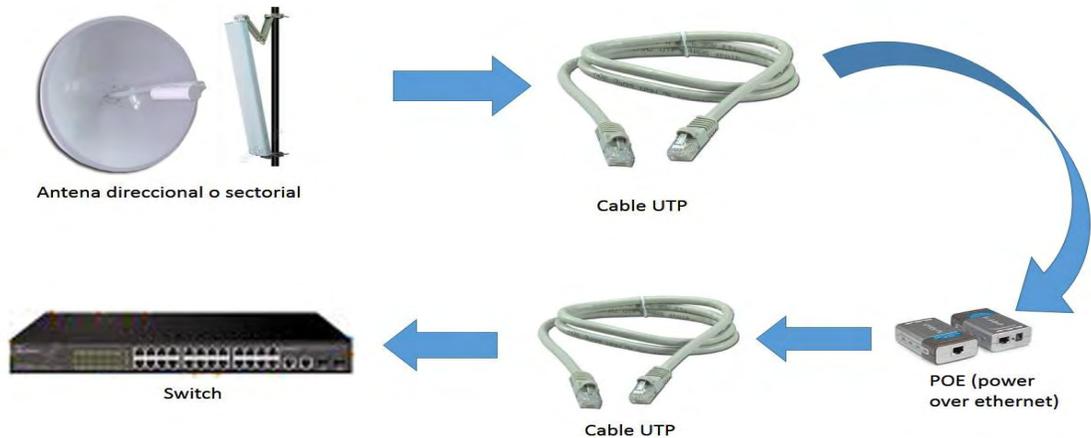


Por lo tanto en 802.11n, se presenta una mayor cantidad de canales no solapados y menor saturación de canal, reduciendo así la posibilidad de que el sistema sea ineficiente e interferido por otros.

5.2.1 Arquitectura de la solución

La Figura 18, muestra las partes de la arquitectura de la red, en la cual se van a utilizar antenas sectoriales o direccionales estas antenas utilizan cable Ethernet el cual se conecta a un dispositivo que brinda energía sobre el cable Ethernet, (POE, power over Ethernet), de este sale un cable Ethernet el cual se conecta al switch de administración principal.

Figura 18: Partes arquitectura de la red



5.2.2 Topología de red

La topología se muestra en la Figura 19 con una configuración en estrella, en el diseño se encuentra los enlaces P2P, utilizando las antenas direccionales, para unir los nodos con la central tanto como con los nodos repetidores, además de las antenas sectoriales para la representación de celdas.

Figura 19: Topología de red

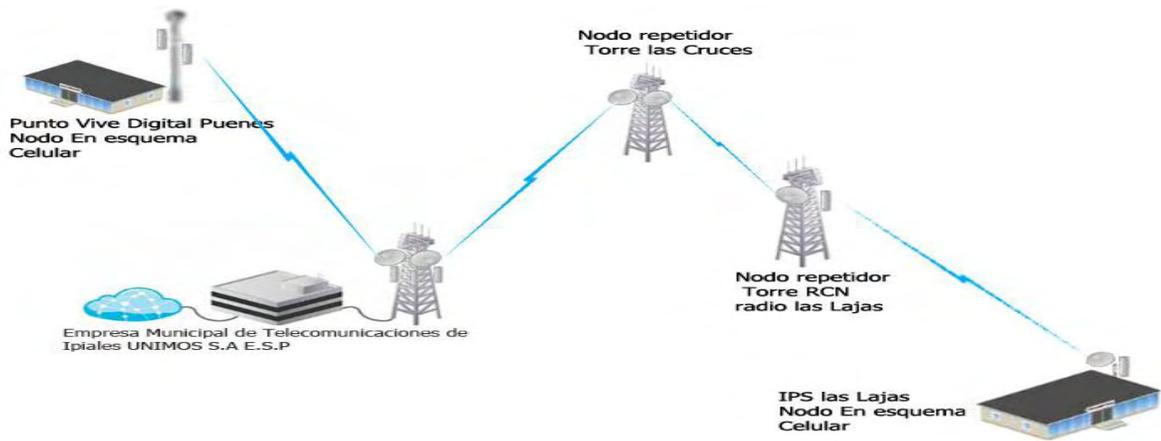


Figura 20: topología de red en el software Google Earth



5.3 DISEÑO Y SIMULACIÓN

Para hacer la planeación red de radio en esquema celular para el acceso a Internet y diseño de la red de distribución punto multipunto, se utilizó el software libre de redes llamado Radio Mobile¹³ v. 11.3.9 y la versión gratuita de Google Earth v.7.0.3.8542¹¹.

5.3.1 Identificación de sitios donde se van a instalar los nodos

Con el software Google Earth¹¹ se determinaron los sitios donde se van a instalar los nodos, teniendo en cuenta que la empresa UNIMOS S.A E.S.P, tiene torres para realizar el montaje de los mismos, además siendo esta una empresa municipal, puede tener acceso a edificios que pertenecen a la alcaldía municipal y otro tipo de edificios, sin que esto genere costos adicionales.

Luego de hacer el estudio, entre la empresa y el sector de puenes hay línea de vista directa, por lo tanto no hay que realizar saltos, para poder tener la señal de Internet. En el corregimiento de las Lajas se deben realizar 2 saltos, desde la central de UNIMOS a la torre las cruces, de la torre las cruces a la torre RCN vía a Las Lajas y por último a la IPS de LAS LAJAS en donde se va a ubicar el nodo que va a irradiar la señal de internet a todo el corregimiento.

¹³ Coude, Roger. Radio Mobile: Propagación de radio y cartas virtuales gratis

Los sitios donde se van a instalar los equipos, se muestran en la Figura 21,

Figura 22, Figura 23, Figura 24 y Figura 25, para conocer los sitios a utilizar, se tuvieron en cuenta la línea de vista, altura de los edificios y lugares en los cuales no se generen costos por arrendamiento.

Figura 21: nodo central UNIMOS S.A. E.S.P.



Figura 22: Punto Vive Digital Ipiales sector Puenes



Figura 23: Torre UNIMOS S.A. E.S.P. sector de Las Cruces



Figura 24: Torre RCN sector Zaguaran vía a las Lajas



Figura 25: Institución Promotora de Salud corregimiento de las Lajas



5.3.1.1 Número de equipos a instalar

Luego de la identificación de los lugares donde se van realizar los enlaces, también se identificaron el número de equipos en cada punto, la Tabla 10 relaciona la cantidad y descripción de equipos a utilizar.

Tabla 10: cantidad y descripción de equipos a utilizar

Nodo	Antena Sectorial 120 °	Antena Sectorial 90°	Antena Direccional	Switch puertos 8
UNIMOS S.AE.S.P.	3	0	0	Ya existe este equipo
Punto Vive Digital Puenes	0	2	0	Ya existe este equipo
Torre sector Las Cruces	0	0	2	Ya existe este equipo
Torre RCN	1	0	1	1
IPS Las Lajas	1	0	1	1

5.3.2 Revisión y selección de fabricantes

Para escoger el fabricante de la solución inalámbrica en la empresa de telecomunicaciones municipal de Ipiales UNIMOS SA ESP, se revisaron los equipos de los fabricantes que se ajusten de mejor forma a las necesidades de interconexión.

- **Hyperlink Technologies**

Es una empresa enfocada en el desarrollo, fabricación y comercialización sistemas de Internet inalámbrico. Sus productos incluyen antena omnidireccional, remiendo, yagi, rejillas, sectorial, entre otras para tecnologías 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n. Una de las empresas que distribuye los equipos en el país es Hyperlink - L-com Colombia, del cual se tomaron las especificaciones y precios que se relacionan en la Tabla 11

Tabla 11: solución con equipos HYPERLINK

Equipo	Especificaciones Técnicas	Precio
HyperLink HG5158-19DP-090 Sector Panel	frecuencia: 5150- 5850 MHz ganancia: 19 dBi Polarización: vertical y horizontal Apertura horizontal : 80° Apertura vertical : 60° Conector: N-hembra Impedancia nominal: 50 ohm	470000
Hyperlink HG4958DP-30D parabólica	Conector: N- hembra Frecuencia: 4750 - 5850 MHz Ganancia: 28 dBi (4.9-5.3GHz) - 30 dBi (5.4 - 5.8 GHz) Polarización: Vertical and Horizontal Horizontal / Vertical apertura: 4.8° / 4.9° Impedancia: 50 Ohm	565545

- **Ubiquiti Networks**

Ubiquiti Networks, es una empresa que está cerrando la brecha digital mediante la creación de plataformas de comunicación de la red para todos y en todas partes. Con más de 10 millones de dispositivos desplegados en más de 180 países, Ubiquiti está transformando los negocios y las comunidades sub-red. Las plataformas de vanguardia, AirMax™, Unifi™, AirFiber™, airVision™, MFI™ y EdgeMAX™ combinan tecnología innovadora, calidad-precio y el apoyo de una comunidad mundial de usuarios para eliminar los obstáculos a la conectividad. Una de las empresas que distribuye los equipos en el país es Ubiquiti Colombia

SAS, del cual se tomaron las especificaciones y precios que se relacionan en la Tabla 12

Tabla 12: solución con equipos UBIQUITI

Equipo	Especificaciones Técnicas	Precio
UBIQUITI ROCKET M5 + AirMax Sector	conector : RF 2x RP-SMA (Waterproof)	690.000
	frecuencia: 5470 - 5825 MHz Rango de frecuencia: 5.15 a 5.85 GHz Ganancia: 19.4-20.3dBi Polarización: lineal dual Ancho del haz HPOL (-6 dB): 91 grados. Ancho del haz Vpol (-6 dB): 85 grados. Ancho del haz de elevación: 4 °. Inclinación eléctrica: 2 °.	
ubiquiti Rocket dish M5	Rango de frecuencia: 4,90 a 5,90 GHz Ganancia: 32.1-34.2dBi Polarización: lineal dual HPOL Ancho del haz (3 dB): 3 grados. Vpol Ancho del haz (3 dB): 3 grados. Supervivencia del viento: 125 mph carga de viento: £ 256 @ 100 mph	700.000
Ubiquiti nanoBridge M5	Rango de frecuencia: 5170 - 5875 MHz Ganancia: 21.5 - 22.5 dBi Polarización: lineal dual Supervivencia del viento: 125 mph carga de viento: 105 lbf @ 125 mph	560.000

- **Selección de fabricante**

Los administrativos de la empresa escogieron al proveedor Ubiquiti Colombia SAS, por sus precios razonables y servicio técnico garantizado en los productos, además de escoger los productos UBIQUITI NETWORKS por su presencia en el mercado nacional e internacional con su mejor relación calidad – precio.

5.3.3 Simulación

Como ya se mencionó anteriormente, el software que se utilizó para la simulación es Radio Mobile, este software está realizado bajo la plataforma Windows y es distribución libre, Radio Mobile es un programa de simulación de radio propagación gratuito desarrollado por Roger Coudé para predecir el

comportamiento de sistemas de radio, simular radioenlaces y representar el área de cobertura de una red de radiocomunicaciones, entre otras funciones.

El software trabaja en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 20 GHz y está basado en el modelo de propagación ITM (Irregular Terrain Model) o modelo Longley-Rice, este modelo utiliza recursos estadísticos para compensar la caracterización del canal, que depende de las variables de cada escenario y el medio ambiente. La variación de la señal está determinada por el modelo de predicción de acuerdo a los cambios atmosféricos, perfil topográfico y el espacio libre. Estas variaciones se describen con la ayuda de las estimaciones estadísticas que tienen desviaciones que contribuyen a la atenuación total de la señal. Las estimaciones o atenuación estadísticas.

Los datos de elevación se pueden obtener de diversas fuentes, entre ellas del proyecto de la NASA Shuttle Terrain Radar Mapping Misión (SRTM) que provee datos de altitud con una precisión de 3 segundos de arco (100m).

5.3.3.1 Simulación radio enlaces usando Radio Mobile

En la Figura 26, Figura 27, Figura 28, Figura 29, Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16, se muestran los parámetros de altura de la antena, potencia de la antena, ganancia de la antena que se ingresaron en el software Radio Mobile para realizar el radio enlaces P2P (los demás parámetros los da el software luego de hacer el radio enlace) entre los sitios donde se van a ubicar los nodos los cuales son: UNIMOS S.A. E.S.P., Punto Vive Digital Puenes, torre Las Cruces, Torre RCN vía las lajas, I.P.S. corregimiento de las lajas. Los parámetros de las antenas se obtuvieron de revisar los datasheet¹⁴ del fabricante en sus respectivas referencias.

- **Enlace UNIMOS S.A E.S.P – Punto Vive Digital Puenes:** Para este radio enlace se utilizaron, antenas AirMaxSector Rocket M5 de Ubiquiti en UNIMOS S.A E.S.P, para transmitir y una antena NanoStation M5 para recibir en el Punto Vive Digital Puenes, en la Tabla 13 se muestran los parámetros y los resultados del programa para este radio enlace, además se muestra en la Figura 26: Perfil de elevación entre UNIMOS S.A E.S.P y PVD Puenes Figura 26 el perfil de elevación.

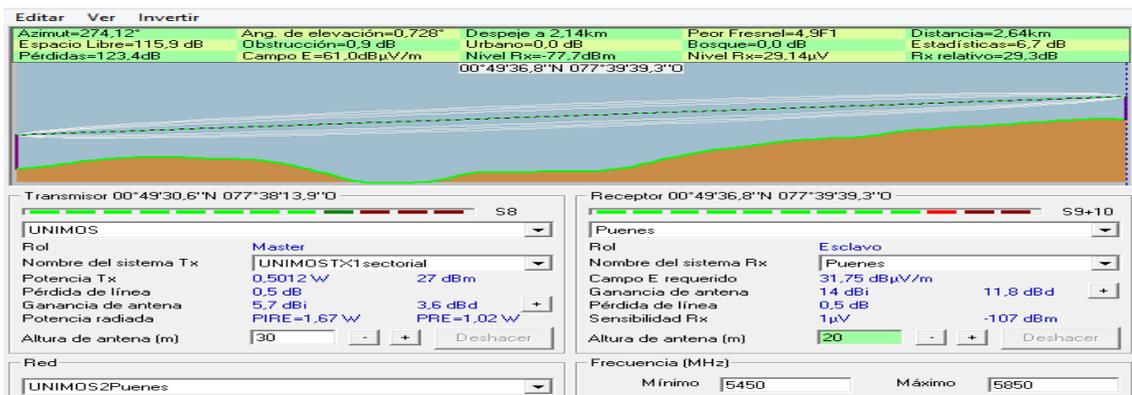
Tabla 13: Parámetros y resultados simulación UNIMOS – PVD puenes

Parámetros	UNIMOS SA ESP	PVD PUENES
Potencia de salida (dBm)	27 dBm	19 dBm
Azimut Verdadero	274,12°	94,12°
Angulo de elevación antena	0,728°	0,752°

¹⁴ **UBIQUITI NETWORKS.** Ubiquiti Networks - Products. [En línea] [Citado el: 15 de 02 de 2013.] <http://www.ubnt.com/products>

Ganancia antena	18,6 dBi	14 dBi
Altura antena sobre el suelo	30 m	20 m
Distancia entre los sitios	2600 m	
Mínimo despeje zona Fresnel	Mínimo despeje 4,9F1a 2100 m	
Pérdida de espacio libre	115,9 dB	
Perdida por obstrucción	0,9 dB	
Pérdida de propagación total	123,4 dB	
RX relativo	29,3 dB	

Figura 26: Perfil de elevación entre UNIMOS S.A E.S.P y PVD Puenes

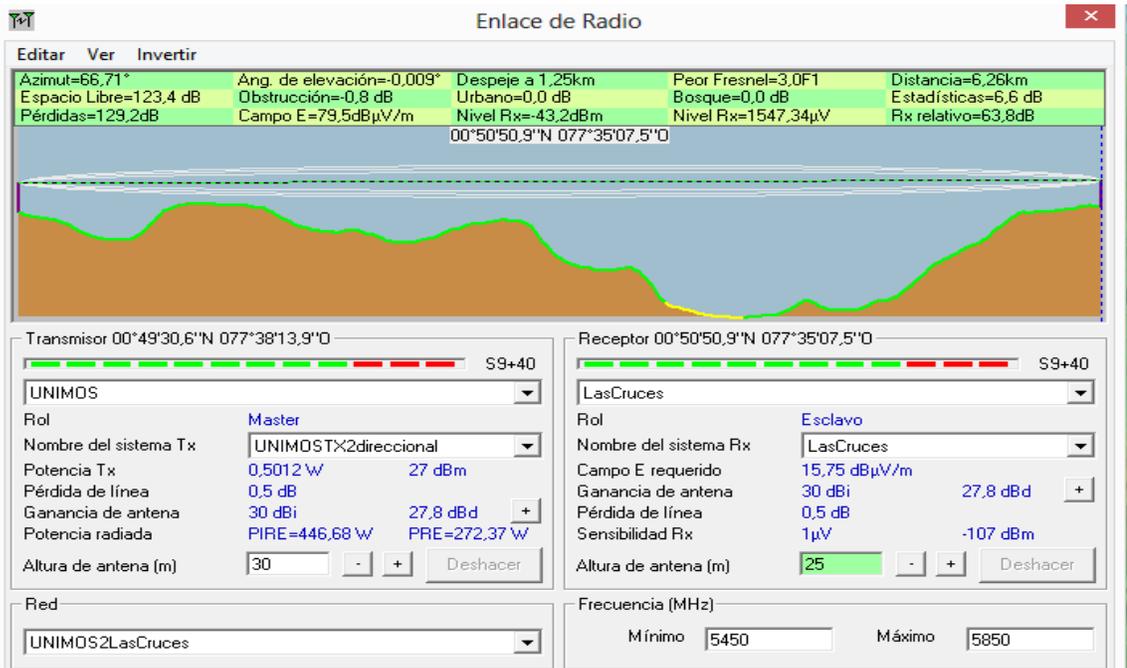


- **Enlace UNIMOS S.A E.S.P – Torre Las Cruces:** Para este radio enlace se utilizaron, antenas sectoriales Rocket M5 de Ubiquiti en UNIMOS S.A E.S.P, para transmitir y una antena RockeDish M5 para recibir en la torre de las cruces, En la Tabla 14 se muestran los parámetros y los resultados del programa para este radio enlace, además se muestra en la Figura 27.

Tabla 14: Parámetros y resultados simulación UNIMOS – Torre las cruces

Parámetros	UNIMOS SA ESP	Torre las cruces
Potencia de salida (dBm)	27 dBm	27 dBm
Azimut Verdadero	66,71°	246,71°
Angulo de elevación antena	0,009°	0,047°
Ganancia antena	30 dBi	30 dBi
Altura antena sobre el suelo	30 m	25 m
Distancia entre los sitios	6300 m	
Mínimo despeje zona Fresnel	Mínimo despeje 3,0F1a 1300 m	
Pérdida de espacio libre	123,4 dB	
Perdida por obstrucción	0,8 dB	
Pérdida de propagación total	129,2 dB	
RX Relativo	63,8 dB	

Figura 27: perfil de elevación UNIMOS SA ESP – Torre las cruces

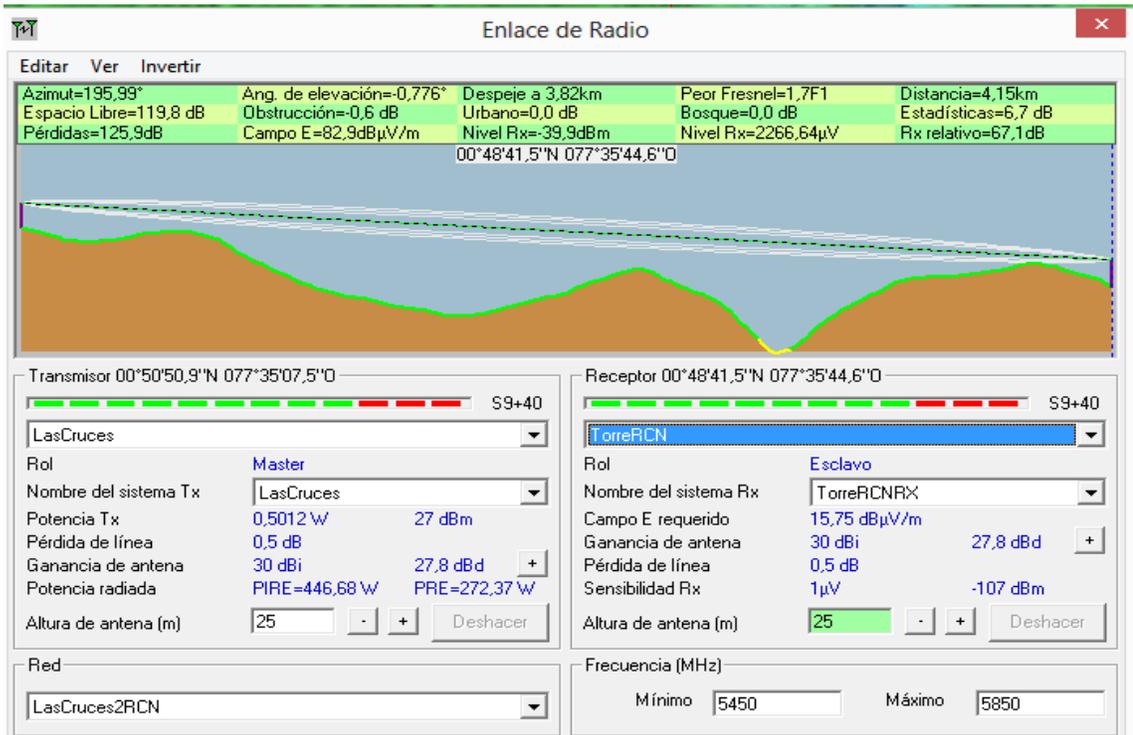


- Enlace Torre Las Cruces – Torre RCN vía las lajas:** Para este radio enlace se utilizaron, una antena RocketDish M5 de Ubiquiti en la torre las cruces, para transmitir y una antena RockeDish M5 para recibir en la torre de RCN vía las lajas, En la Tabla 15 se muestran los parámetros y los resultados del programa para este radio enlace, además se muestra en la Figura 28 el perfil de elevación.

Tabla 15: Parámetros y resultados simulación torre las cruces – torre RCN

Parámetros	Torre las cruces	Torre RCN las lajas
Potencia de salida (dBm)	27 dBm	27 dBm
Azimut Verdadero	195,99°	15,99°
Angulo de elevación antena	0,776°	0,738°
Ganancia antena	30 dBi	30 dBi
Altura antena sobre el suelo	30 m	25 m
Distancia entre los sitios	4200 m	
Mínimo despeje zona Fresnel	Mínimo despeje 1,7F1a 3800 m	
Pérdida de espacio libre	119,8 dB	
Perdida por obstrucción	0,6 dB	
Pérdida de propagación total	125,9 dB	
RX relativo	67,1 dB	

Figura 28: perfil de elevación torre las cruces – torre RCN vía las lajas

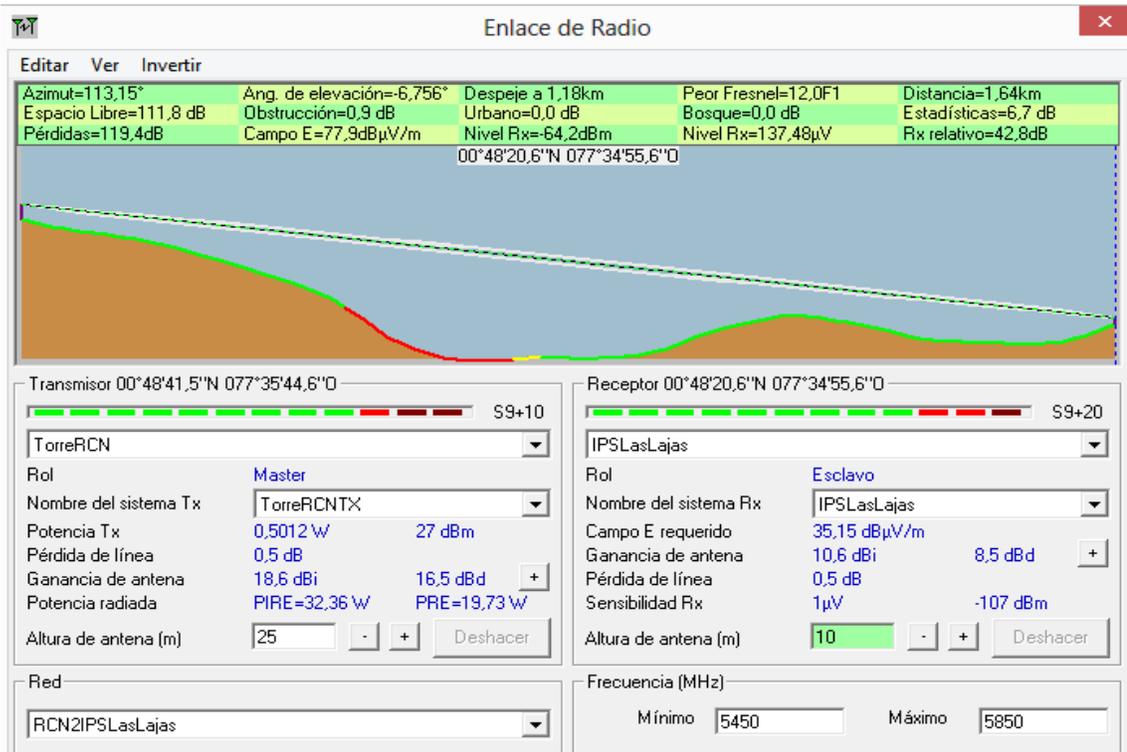


- **Enlace Torre RCN vía las lajas – I.P.S las lajas:** Para este radio enlace se utilizaron, una antena AirMAXSector Rocket M5 de Ubiquiti en la torre RCN vía las lajas para transmitir y una antena NanoBridge M5 para recibir, en la Tabla 16 se muestran los parámetros y los resultados del programa para este radio enlace, además se muestra en la Figura 29 perfil de elevación.

Tabla 16: Parámetros y resultados simulación torre RCN – I.P.S las lajas

Parámetros	Torre las cruces	Torre RCN las lajas
Potencia de salida (dBm)	27 dBm	23 dBm
Azimut Verdadero	113,15°	293,16°
Angulo de elevación antena	-6,756°	-6,741°
Ganancia antena	18,6 dBi	10,6 dBi
Altura antena sobre el suelo	25 m	10 m
Distancia entre los sitios	1600 m	
Mínimo despeje zona Fresnel	Mínimo despeje 12,0F1a 1200 m	
Pérdida de espacio libre	111,8 dB	
Perdida por obstrucción	0,9 dB	
Pérdida de propagación total	119,4 dB	
RX relativo	42,8 dB	

Figura 29: perfil de elevación torre RCN vía las lajas – I.P.S las lajas



5.3.3.2 Simulación zonas de cubrimiento

Luego de tener los radio enlaces, se realizó la simulación de las celdas celulares en el sector de Puenes y en el corregimiento de las lajas, para el sector de puenes se van a colocar dos antenas con sus respectivos radios NanoStation M5 de 90 ° para hacer la celda celular y en la I.P.S del corregimiento de las lajas y se va a instalar una antena con su radio AirMaxSector Rocket M5 de 120° para hacer la celda celular, a continuación se muestra la simulación de las celdas, basados en las distancias optimas obtenidas de los datasheet de las antenas, la simulación se la realizó en el software Google Earth.

Figura 30: celda sector de Puenes

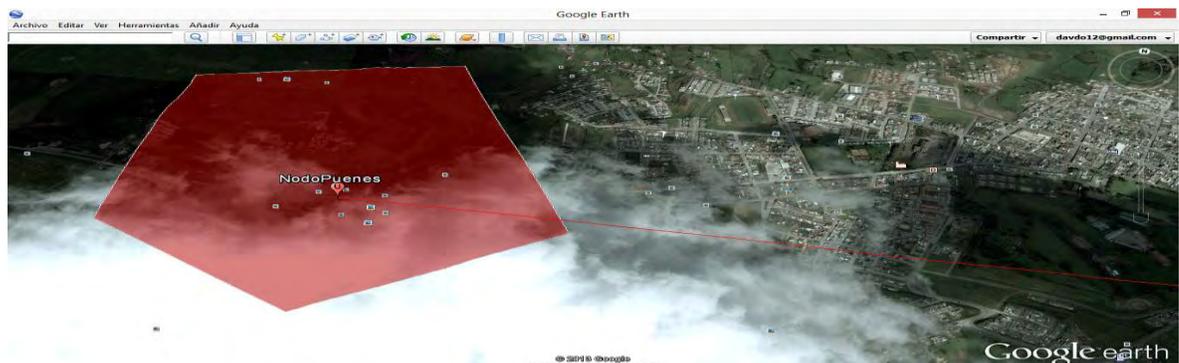
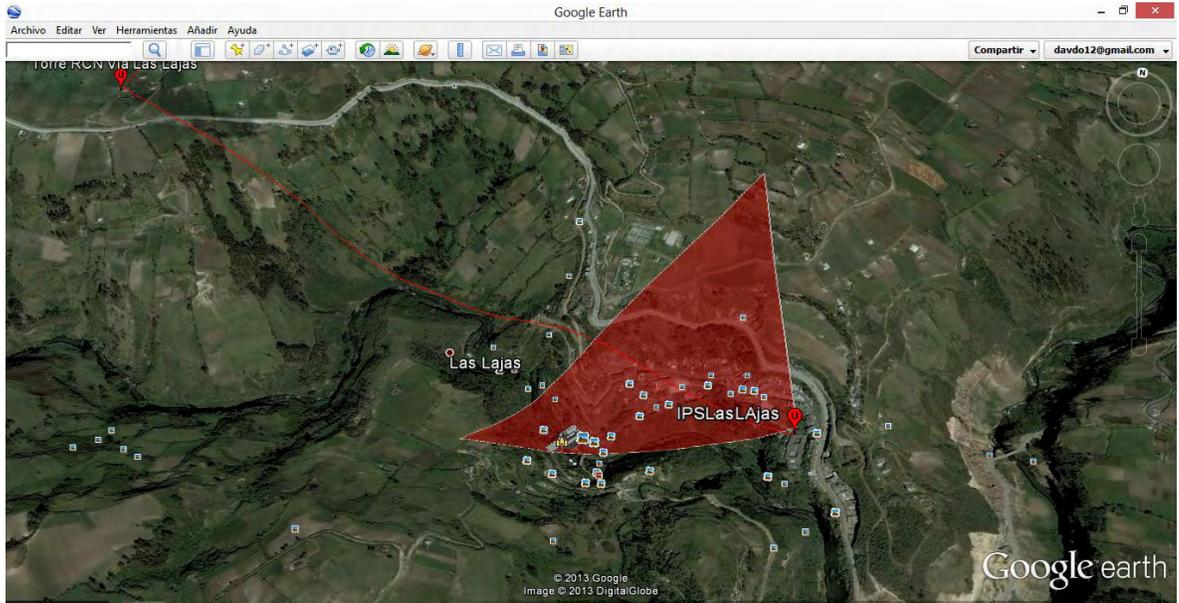


Figura 31: celda celular corregimiento de las lajas



5.4 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

5.4.1 Instalación radios y antenas

Después de realizar el diseño y tener físicamente los radios y las antenas, se procedió a montarlas en las torres y puntos mencionados anteriormente con el respectivo medio guiado para posteriormente realizar la configuración y gestión dentro de la red de UNIMOS S.A E.S.P, para este caso se necesita cable UTP categoría 6E. Esta tarea la realizó personal que está certificado para hacer instalaciones en alturas, la empresa tiene dos personas con esta certificación, así que esto no va a generar costos adicionales al proyecto, a continuación las imágenes muestran los nodos después de la instalación.

Figura 32: Nodo Puenes con implementación de radios.



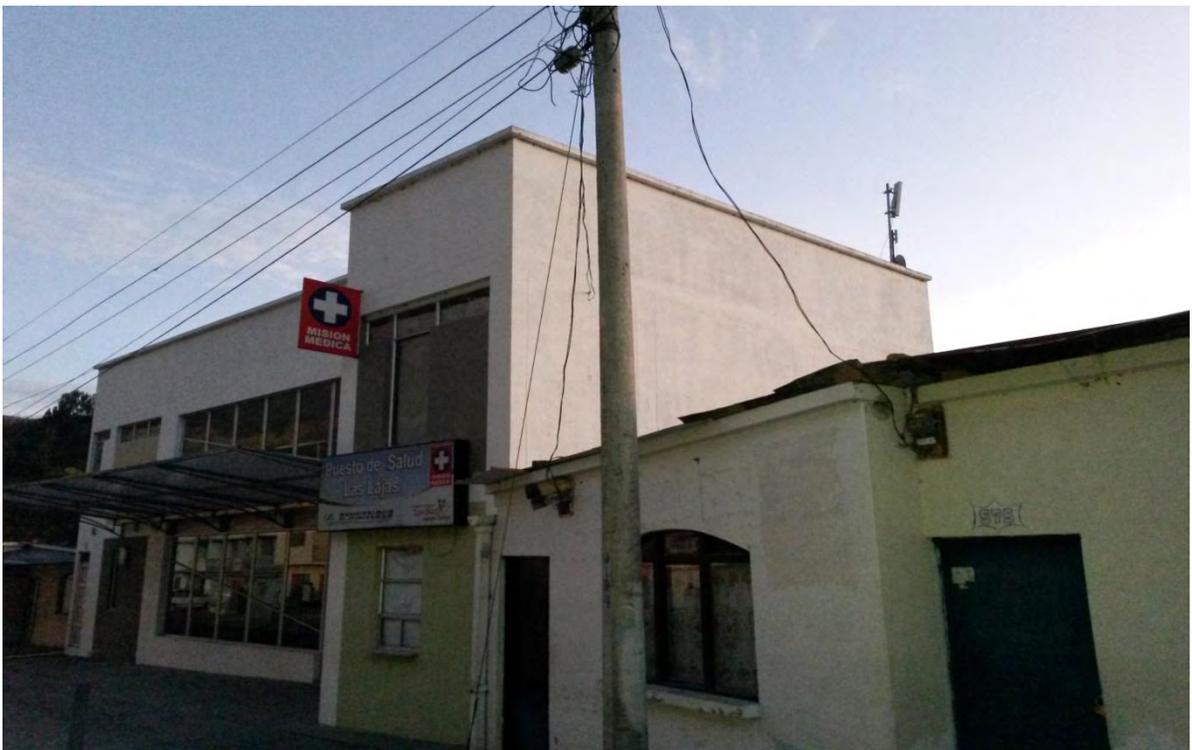
Figura 33: Nodo UNIMOS con implementación de radios



Figura 34: Nodo Zaguaran con implementación de radios.



Figura 35: Nodo las Lajas con implementación de radios.



5.4.2 Direccionamiento IP

Los radios y antenas que se instalaron hay que configurarlos con direcciones IP, por lo tanto se preguntó a los ingenieros encargados del direccionamiento IP, para configurar obtener dicha dirección para la antena, además de proporcionar el nombre para reconocer el dispositivo dentro de la red y poder realizar su respectiva administración, a continuación se muestra la Tabla 17 con el direccionamiento IP y el nombre para las antenas.

Tabla 17: direccionamiento IP y nombres de los dispositivos

nodo	IP	nombre dispositivo
UNIMOS	172.16.130.1	UNIMOS1TX
	172.16.130.2	UNIMOS2TX
	172.16.130.70	UNIMOS3TX
Punto Vive Digital Puenes	192.168.100.103	UnimosPuenes1
	192.168.100.105	UnimosPuenesRX
Torre sector Las Cruces	172.16.130.6	LUNA2TX
	172.16.130.111	LUNA3TX
Torre sector RCN	172.16.130.34	RCNRX
	172.16.130.35	RCNTX
IPS las Lajas	172.16.130.36	IPSLAJASRX
	172.16.130.37	IPSLAJASTX

5.4.3 Configuración de dispositivos

Los equipos instalados tienen AirOS¹⁵ de Ubiquiti. Es un sistema operativo avanzado, con potentes funciones inalámbricas y de enrutamiento, Basado en una interfaz simple e intuitiva que Permite el máximo rendimiento de la serie M de productos Ubiquiti, los cuales están basados en IEEE 802.11n.

Después de obtener los datos iniciales para la configuración de los dispositivos se procedió a ingresar a la plataforma WEB del terminal, para poder ingresar la IP por defecto es 198.168.1.20, luego hay que iniciar sesión con un usuario y contraseña por defecto que son ubnt y ubnt respectivamente.

Al ingresar a la plataforma se muestran pestañas que contienen parámetros con un aspecto específico del dispositivo, a continuación una breve explicación de cada parámetro.

¹⁵ **UBIQUITI NETWORKS.** Ubiquiti Networks - Products. [En línea] [Citado el: 15 de 02 de 2013.] <http://www.ubnt.com/products>

- **Página principal (MAIN)**

Muestra el estado actual del dispositivo e información estadística, hay herramientas muy útiles relacionadas con la administración de red y monitoreo en la página principal (por ejemplo: herramienta de alineación de antena, pruebas de velocidad y análisis del sitio mientras se opere en modo de Punto de Acceso).

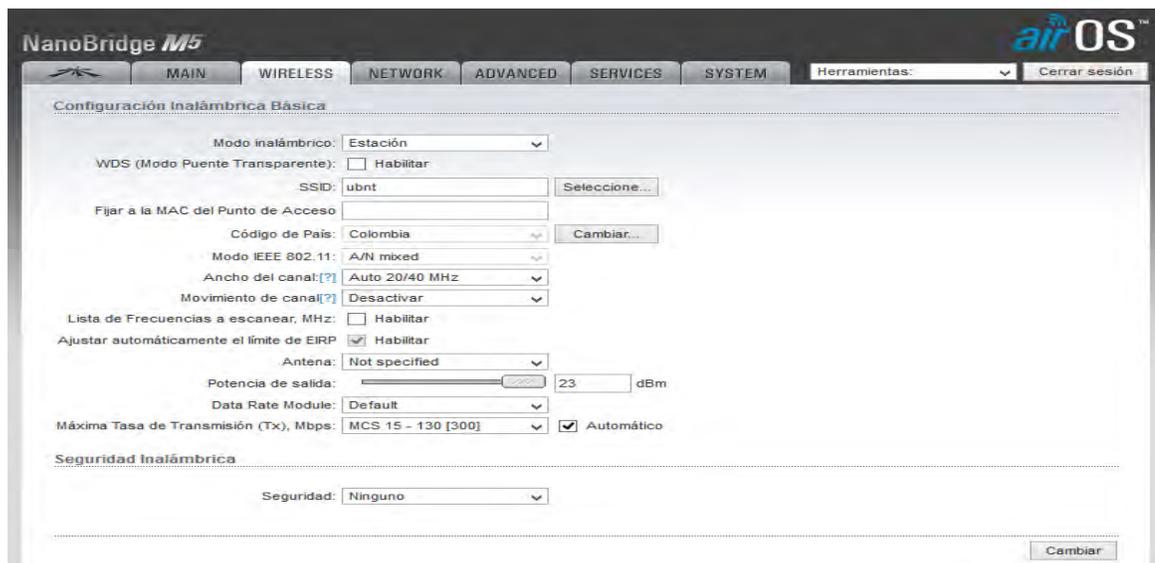
Figura 36: vista de la pestaña principal (MAIN).



- **Configuraciones inalámbricas (WIRELESS)**

Contiene los parámetros para la configuración del enlace inalámbrico, se relaciona con las configuraciones inalámbricas básicas, como definir el modo de operación, detalles de asociación y opciones de seguridad de datos.

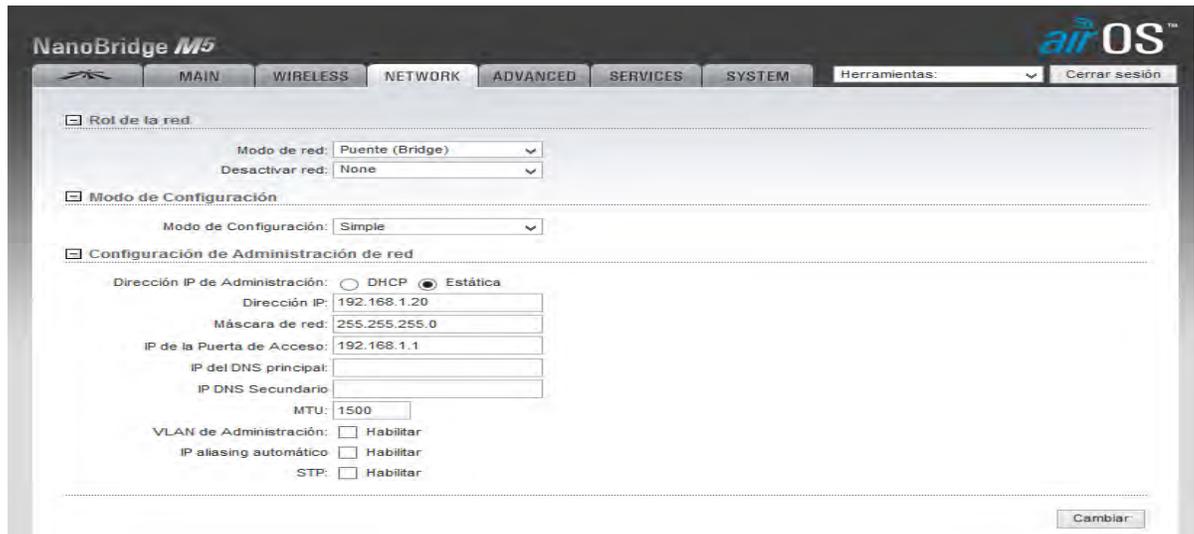
Figura 37: vista de la pestaña inalámbricas (WIRELESS).



- **Red (NETWORK)**

Cubre la configuración del modo de operación de la red, configuración IP, filtrado de paquetes y servicios de red (por ejemplo: Servidor DHCP).

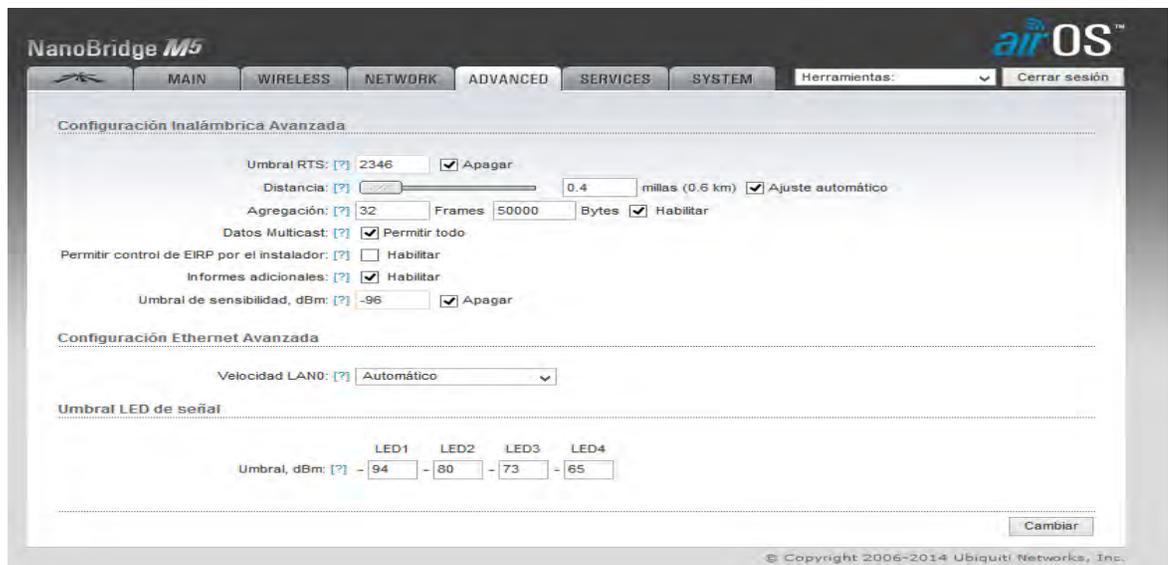
Figura 38: vista de la pestaña red (NETWORK)



- **Configuraciones avanzadas (ADVANCED)**

Está dedicada a un control más preciso de la interfaz inalámbrica. Ésta también incluye configuración de polaridad de la antena, priorización de tráfico y Calidad de Servicio (QoS).

Figura 39: vista de la pestaña avanzadas (ADVANCED).



- **Servicios (SERVICES)**

Trata acerca del sistema de administración de servicios (por ejemplo: SNMP, NTP, Historial de sistema, Ping Watchdog).

Figura 40: vista de la pestaña servicios (SERVICES).

The screenshot shows the 'SERVICES' tab in the NanoBridge M5 web interface. The top navigation bar includes 'MAIN', 'WIRELESS', 'NETWORK', 'ADVANCED', 'SERVICES', and 'SYSTEM'. The 'SERVICES' tab is active. The interface is organized into several sections:

- Ping Watchdog:** Includes a checkbox for 'Habilitar', a text field for 'Dirección IP a la cual realizar PING', and input fields for 'Intervalo del Ping: 300 segundos', 'Demora de inicio: 300 segundos', and 'Fallo en la cuenta de reinicio: 3'. There is also a checkbox for 'Guardar información de soporte'.
- Agente SNMP:** Includes a checkbox for 'Habilitar', a text field for 'Comunidad SNMP: public', and input fields for 'Contacto:' and 'Lugar:'.
- Servidor Web:** Includes a checked checkbox for 'Habilitar', a checked checkbox for 'Conexión segura (HTTPS): Habilitar', and input fields for 'Puerto Servidor Seguro: 443', 'Puerto del Servidor: 80', and 'Tiempo de espera de sesión: 15 minutos'.
- Servidor SSH:** Includes a checked checkbox for 'Habilitar', an input field for 'Puerto del Servidor: 22', a checked checkbox for 'Contraseña de Autenticación: Habilitar', and a button for 'Claves de autenticación Editar...'.
- Servidor Telnet:** Includes a checkbox for 'Habilitar' and an input field for 'Puerto del Servidor: 23'.
- Cliente NTP:** Includes a checkbox for 'Habilitar' and an input field for 'Servidor NTP: 0.ubnt.pool.ntp.org'.
- DNS dinámico:** Includes a checkbox for 'Habilitar'.
- Registro de Sistema:** Includes a checkbox for 'Habilitar'.

- **Sistema (SYSTEM)**

Contiene los controles para el sistema, administración de la cuenta Administrador, personalización del dispositivo y respaldo de configuración.

Figura 41: vista de la pestaña sistema (SYSTEM).

The screenshot shows the 'SYSTEM' tab in the NanoBridge M5 web interface. The top navigation bar includes 'MAIN', 'WIRELESS', 'NETWORK', 'ADVANCED', 'SERVICES', and 'SYSTEM'. The 'SYSTEM' tab is active. The interface is organized into several sections:

- Actualización de Firmware:** Shows 'Versión de Firmware: XM.v5.5.8' and 'Número de la versión: 20991'. It includes a 'Subir Firmware:' section with an 'Examinar...' button and the message 'No se ha seleccionado ningún archivo.'. There is a checkbox for 'Buscar actualizaciones: Habilitar' and a 'Revisar' button.
- Dispositivo:** Includes input fields for 'Nombre del dispositivo: NanoBridge M5' and 'Idioma de la interfaz: Español'.
- Configuración de fecha:** Includes a dropdown for 'Zona horaria: (GMT) Western Europe T1', a checkbox for 'Fecha de inicio: Habilitar', and an input field for 'Fecha de inicio:'.
- Cuentas de Sistema:** Includes an input field for 'Nombre de usuario de Administrador: ubnt' and a checkbox for 'Cuenta de sólo lectura: Habilitar'.
- Misceláneo:** Includes a checkbox for 'Botón de reinicializar: Habilitar'.
- Lugar:** Includes input fields for 'Latitud:' and 'Longitud:'.

A 'Cambiar' button is located at the bottom right of the page.

La interfaz web para la configuración, administración y control es simple e intuitiva, además ofrece herramientas internas para hacer ping, tracert, descubrir todos los dispositivos UBIQUITI conectados que estén en el mismo segmento de red, realiza una prueba de velocidad entre dispositivos conectados, esto no es novedad porque lo podemos hacer por Windows, pero la herramienta más excepcional es la que funciona como analizador de espectro con un aplicación implementada en java™ que se llama airView™, que nos permite visualizar la saturación del canal en el cual queremos trabajar, cabe mencionar que la herramienta solo funciona con frecuencias de 2,4 GHz, 5GHz y 900 MHz, dependiendo del modelo, es decir si tenemos un radio para trabajar en la frecuencia de 5GHz sólo podemos analizar el espectro en un rango aproximado entre 4,5 GHz y los 6 GHz, así para los demás modelos, también es necesario hacer la aclaración que cuando se utiliza airView™, las conexiones inalámbricas del dispositivo se deshabilitan así que no es recomendable hacerlo cuando haya dispositivos conectados de forma inalámbrica, porque estos tendrían una caída de servicio, por lo tanto se recomienda hacer esto al inicio de la instalación y configuración para posteriormente no afectar a los clientes.

5.5 PRUEBAS

Luego de haber instalado, configurado y empezar a ofrecer el servicio de Internet inalámbrico en el municipio de Ipiales. Una de las formas de evidenciar el desempeño de la red es en principio son las quejas y reportes de daños de los usuarios en los sectores donde se implementó el sistema, el cual en el trimestre seguido a la implementación bajo de 1266 quejas a 700 quejas es decir tuvo un decrecimiento del 45% aproximadamente, lo cual justifica la razón del proyecto el cual era ofrecer un mejor servicio para los usuarios del servicio de Internet proporcionado por UNIMOS S.A E.S.P.

Por otro lado de forma técnica a medida que se iba incrementando el número de usuarios el sistema se comportaba de la misma forma es decir que se estaba ofreciendo un servicio óptimo, con una conexión a Internet permanente, simétrica, de alta confiabilidad, y alta velocidad. En las imágenes a continuación se presenta algunos parámetros del dispositivo como el nombre, tiempo de conexión, tipo de seguridad, canal y frecuencia, ancho de canal es la anchura del canal de radio usado por el dispositivo los rangos disponibles son 5, 10, 20 and 40 MHz, número de conexiones, porcentaje de transmisión de cada dispositivo, ruido base este muestra el nivel actual de ruido en dBm, CCQ de transmisión este es un índice de cómo se evalúa la calidad de la conexión del cliente inalámbrico, tiene en consideración el conteo de errores de transmisión, latencia, y rendimiento, mientras evalúa la tasa de paquetes correctamente transmitidos en relación con los que deben ser retransmitidos, y tiene en cuenta la actual tasa en relación con la mayor tasa especificada, el nivel está basado en un porcentaje donde 100%

corresponde a un enlace perfecto por lo tanto este es uno de los índices para medir la calidad de las conexiones, también se muestran algunos de los CPE (clientes) conectados a cada uno de los dispositivos, estos dispositivos nos ofrecen dos parámetros exclusivos de AirOS™, que son la Calidad de AirMax (Airmax quality) el cual es un índice que cual evalúa la calidad de conexión de AirMax, el indicador se basa en un valor porcentual, donde el 100% representa un estado de enlace perfecto., otro es la Capacidad de AirMax (Airmax Capacity) el cual es un índice que indica la máxima de tasa de datos a la cual el enlace está funcionando, un número de menor capacidad indica algún tipo de atascamiento en el sistema total.

Figura 42: parámetros UNIMOSTX1

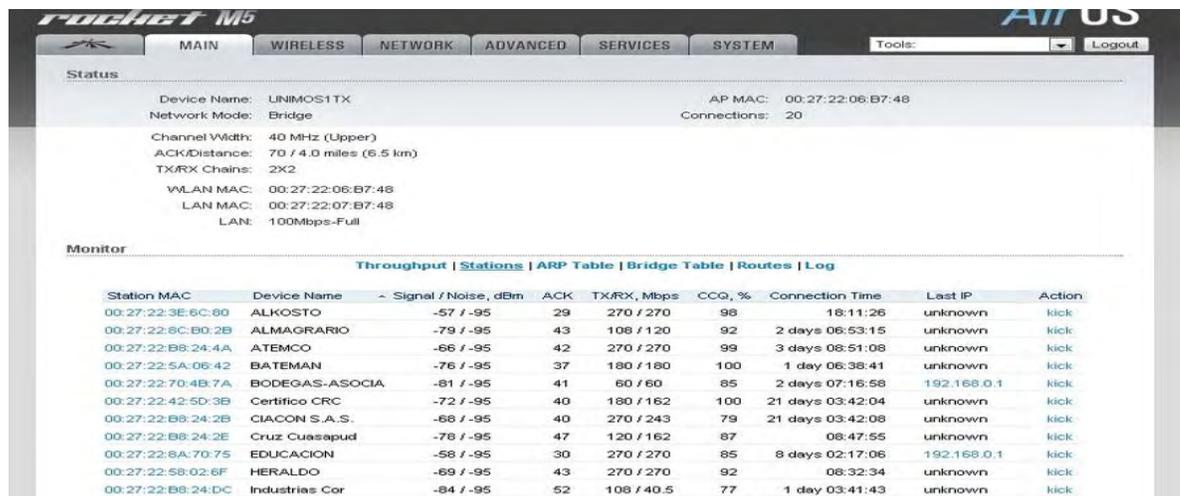


Figura 43: Parámetros UNIMOSTX2

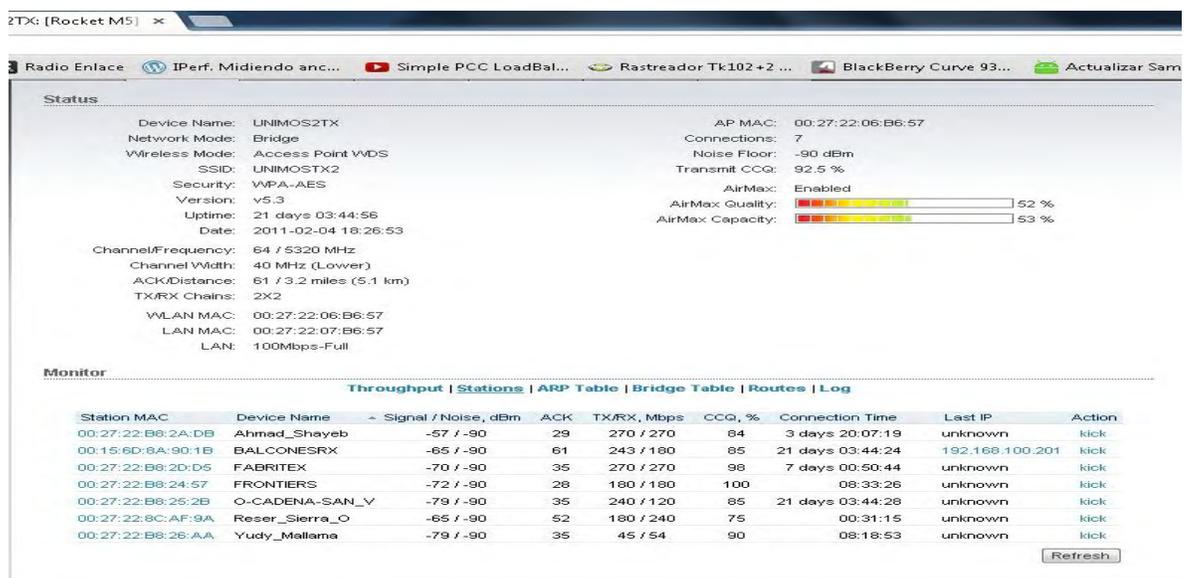


Figura 44: parámetros UNIMOSTX3

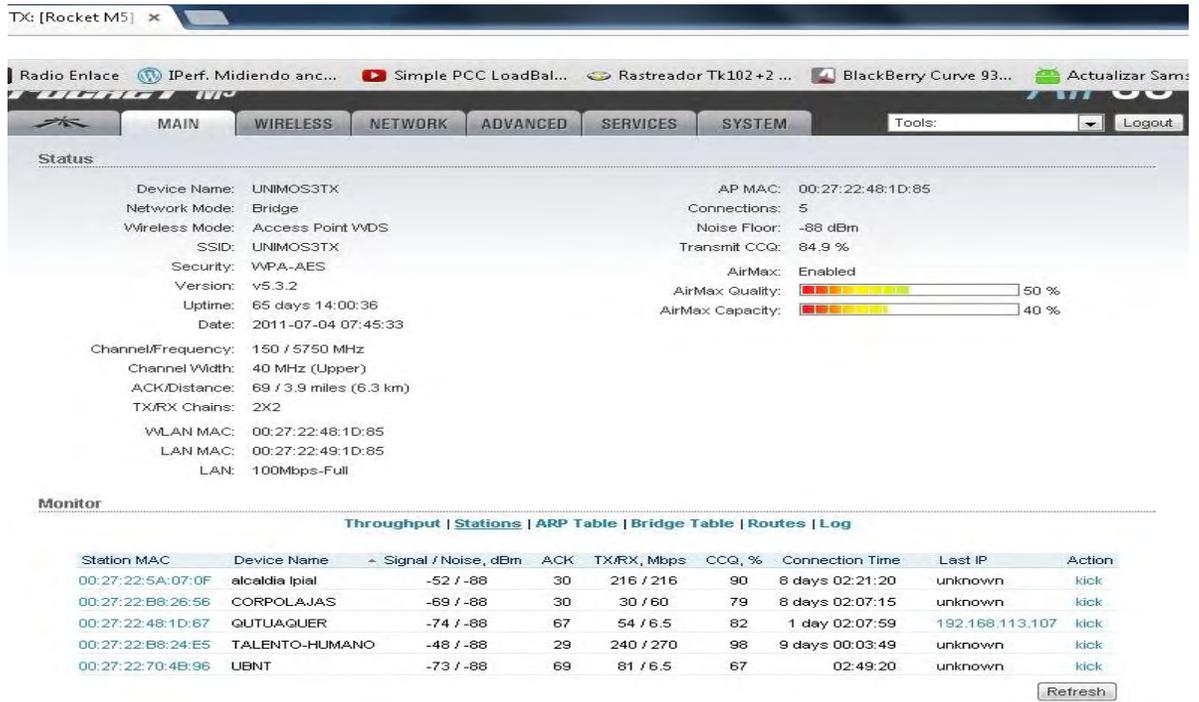


Figura 45: parámetros UnimosPuenes1

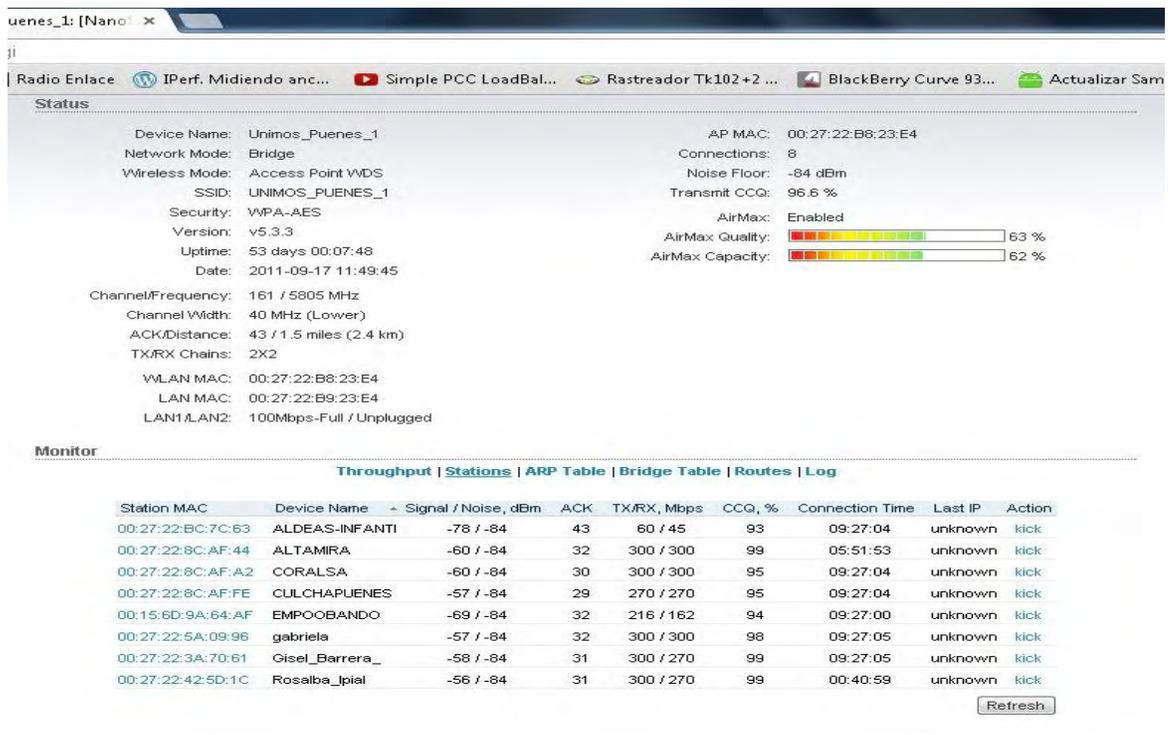


Figura 46: parámetros UnimosPuenesRX

Channel/Frequency: 149 / 5745 MHz
 Channel Width: 40 MHz (Upper)
 ACK/Distance: 35 / 0.7 miles (1.2 km)
 TX/RX Chains: 2X2
 WLAN MAC: 00:27:22:B8:24:FF
 LAN MAC: 00:27:22:B9:24:FF
 LAN1/LAN2: 100Mbps-Full / Unplugged

Monitor

[Throughput](#) | [Stations](#) | [ARP Table](#) | [Bridge Table](#) | [Routes](#) | [Log](#)

Station MAC	Device Name	Signal / Noise, dBm	ACK	TX/RX, Mbps	CCQ, %	Connection Time	Last IP	Action
00:27:22:B8:25:FF	Cable_Jpisur	-65 / -89	32	120 / 108	81	09:27:56	unknown	kick
00:27:22:8C:AF:64	Carol_Coral	-43 / -89	29	270 / 243	100	00:39:30	unknown	kick
00:27:22:B8:24:3C	CI-INTEGRAL	-48 / -89	30	270 / 162	93	09:27:56	unknown	kick
00:27:22:B8:24:81	Clinica_Las_La	-66 / -89	35	120 / 45	79	06:52:19	unknown	kick
00:27:22:B8:24:5B	CLUB-MISTARES	-58 / -89	31	240 / 216	90	02:08:42	unknown	kick
00:27:22:8A:71:9F	Comfamiliar_Ke	-57 / -89	32	243 / 180	91	3 days 07:05:32	unknown	kick
00:27:22:B8:26:33	Gustavo_Cabral	-71 / -89	31	120 / 60	86	09:27:57	unknown	kick
00:27:22:70:4B:46	Harol_Tenganan	-67 / -89	29	81 / 45	90	05:47:02	unknown	kick
00:27:22:8C:AF:37	JULIETA-ALTORE	-41 / -89	28	270 / 270	97	09:27:55	unknown	kick
00:27:22:B8:25:E6	Marcela_Pardo	-54 / -89	30	270 / 216	98	07:45:35	unknown	kick
00:27:22:B8:25:E3	MARLENY-BONILL	-65 / -89	31	180 / 180	84	08:41:06	unknown	kick
00:27:22:B8:24:45	MORELCO-MISTAR	-62 / -89	32	162 / 120	93	09:27:55	unknown	kick
00:27:22:8C:AF:F9	NellyGuzman-Pu	-50 / -89	28	270 / 180	98	09:27:56	unknown	kick
00:27:22:5A:07:5C	Nestor Cabrera	-52 / -89	28	300 / 180	97	09:27:56	unknown	kick
00:27:22:70:4D:19	Testimonio_Uri	-71 / -89	33	81 / 30	83	09:27:56	unknown	kick

[Refresh](#)

Figura 47: parámetros Luna2TX

Device Name: LUNA2TX
 Network Mode: Bridge
 Wireless Mode: Access Point WDS
 SSID: LUNA2TX
 Security: WPA-AES
 Version: v5.3
 Uptime: 3 days 08:00:49
 Date: 2011-01-17 22:42:46

AP MAC: 00:27:22:06:B3:C5
 Connections: 2
 Noise Floor: -92 dBm
 Transmit CCQ: 100 %
 AirMax: Enabled
 AirMax Quality: 70 %
 AirMax Capacity: 41 %

Channel/Frequency: 161 / 5805 MHz
 Channel Width: 20 MHz
 ACK/Distance: 69 / 3.9 miles (6.3 km)
 TX/RX Chains: 2X2
 WLAN MAC: 00:27:22:06:B3:C5
 LAN MAC: 00:27:22:07:B3:C5
 LAN: 100Mbps-Full

Monitor

[Throughput](#) | [Stations](#) | [ARP Table](#) | [Bridge Table](#) | [Routes](#) | [Log](#)

Station MAC	Device Name	Signal / Noise, dBm	ACK	TX/RX, Mbps	CCQ, %	Connection Time	Last IP	Action
00:27:22:42:5D:D4	Rafa_Quenguan_	-72 / -92	54	26 / 104	100	01:48:14	unknown	kick
00:27:22:06:B6:4F	SURASRX	-70 / -92	69	26 / 78	100	3 days 08:00:28	172.16.130.20	kick

[Refresh](#)

Figura 48: parámetros Luna3TX

Status

Device Name: LUNA3TX
 Network Mode: Bridge
 Wireless Mode: Access Point WDS
 SSID: LUNA3TX
 Security: WPA-AES
 Version: v5.3.2
 Uptime: 3 days 08:01:51
 Date: 2011-05-03 01:46:48

Channel/Frequency: 149 / 5745 MHz
 Channel Width: 40 MHz (Upper)
 ACK/Distance: 59 / 3.0 miles (4.8 km)
 TX/RX Chains: 2X2
 WLAN MAC: 00:27:22:48:1F:B4
 LAN MAC: 00:27:22:49:1F:B4
 LAN: 100Mbps-Full

AP MAC: 00:27:22:48:1F:B4
 Connections: 4
 Noise Floor: -89 dBm
 Transmit CCG: 94.9 %
 AirMax: Enabled
 AirMax Quality: 53 %
 AirMax Capacity: 47 %

Monitor

[Throughput](#) | [Stations](#) | [ARP Table](#) | [Bridge Table](#) | [Routes](#) | [Log](#)

Station MAC	Device Name	Signal / Noise, dBm	ACK	TX/RX, Mbps	CCQ, %	Connection Time	Last IP	Action
00:27:22:42:5D:2C	Cristina-LasCr	-64 / -89	31	270 / 270	98	06:29:02	unknown	kick
00:27:22:70:4B:9D	Potosi_Juan_D	-76 / -89	59	54 / 54	88	08:50:36	unknown	kick
00:27:22:48:1F:CF	RCNRX	-67 / -89	56	240 / 240	93	22:38:33	172.16.130.74	kick
00:27:22:5A:06:C0	VD-POTOSI	-75 / -89	58	120 / 120	99	06:18:37	192.168.1.120	kick

[Refresh](#)

Figura 49: parámetros RCNTX

Status

Device Name: RCNTX
 Network Mode: Bridge
 Wireless Mode: Access Point WDS
 SSID: RCNTX
 Security: WPA-AES
 Version: v5.3.5
 Uptime: 00:29:55
 Date: 2011-12-19 21:15:52

Channel/Frequency: 36 / 5180 MHz
 Channel Width: 40 MHz (Upper)
 ACK/Distance: 39 / 1.1 miles (1.8 km)
 TX/RX Chains: 2X2
 WLAN MAC: 00:27:22:48:1D:F7
 LAN MAC: 00:27:22:49:1D:F7
 LAN: 10Mbps-Half

AP MAC: 00:27:22:48:1D:F7
 Connections: 3
 Noise Floor: -94 dBm
 Transmit CCG: -
 AirMax: Enabled
 AirMax Quality: 81 %
 AirMax Capacity: 49 %

Monitor

[Throughput](#) | [Stations](#) | [ARP Table](#) | [Bridge Table](#) | [Routes](#) | [Log](#)

Station MAC	Device Name	Signal / Noise, dBm	ACK	TX/RX, Mbps	CCQ, %	Connection Time	Last IP	Action
00:27:22:8A:72:33	ieverpotosi	-70 / -94	39	0 / 0	-	00:24:21	unknown	kick
00:27:22:3E:6C:83	LUCIALAJAS	-66 / -94	39	0 / 0	-	00:24:20	192.168.1.180	kick
00:27:22:56:14:AB	SALUDRX	-60 / -94	39	0 / 0	-	00:24:23	172.16.130.76	kick

[Refresh](#)

5.6 RESULTADOS

Algunos de los problemas antes de la implementación eran:

- Los daños que se presentaban en los sectores alejados de la central sobre todo por mala señal,
- la velocidad de transmisión por la tecnología ADSL en sectores alejados de la central no podía superar los 1 Mbps, porque si se incrementaba dicha velocidad se saturaba el canal y por lo tanto el servicio era insuficiente o nulo.
- La cobertura de la red de cobre, ya que esta no era suficiente para toda la ciudad porque los usuarios soportados por la red ya estaba en un 98% de su máxima capacidad y no se podía crecer en número de usuarios porque la inversión a realizar en dinero para la ampliación de la red de cobre es muy alta y la empresa en el momento no está en la capacidad de asumirla.

Luego de la implementación de la red inalámbrica en modo de proveedor de servicios de Internet se logró potenciar y mejorar la calidad del servicio de Internet prestado por UNIMOS S.A E.S.P., de forma que:

- Los reportes de daños en los sectores donde se implementó el proyecto decrecieron casi un 90%, el 10% de daños restante era por configuración o daños por CPE, pero los reportes por mal servicio o por red eran casi nulos.
- La velocidad de transmisión que se podía ofrecer en mencionados sectores es de 16 veces más que la ofrecida por ADSL, es decir se empezaron a ofrecer planes de 2 Mbps, 4Mbps, 8 Mbps y 16 Mbps, lo cual atrajo a empresas del sector.
- El crecimiento de usuarios es un factor a mencionar, ya que durante el primer mes luego de la implementación fue de aproximadamente 50 usuarios nuevos y 25 usuarios antiguos repotenciados y la posibilidad de tener 150 usuarios nuevos por nodo (en este punto cabe aclarar que no solo depende de la cantidad de usuarios que soporte la red inalámbrica por nodo, si no de la capacidad total de Mbps que la empresa pueda ofrecer por la red cableada e inalámbrica ya que en el momento es de aproximadamente 100 Mbps para todos los clientes de UNIMOS SA ESP y si se aumenta la capacidad máxima de clientes por nodo esa cantidad de Mbps no sería suficiente).
- La posibilidad de tener nuevos mercados y posibilidades donde poder penetrar con el servicio de Internet porque la versatilidad de la red inalámbrica nos ofrece la opción de que a futuro se puedan hacer estudios para implementar nodos en otros lugares incluso poder llegar a municipios cercanos a la ciudad de Ipiales.

Los parámetros de las antenas, el crecimiento de los usuarios, la velocidad de transmisión, entre otros factores nos demuestran que el sistema está funcionando de una buena manera y se cumplió con los objetivos.

6. PRESUPUESTO

En la Tabla 18 se presenta el presupuesto para ejecutar los radio enlaces y la red de distribución en esquema celular, como UNIMOS S.A E.S.P es una empresa municipal y es una gran contribuyente se le debe aplicar IVA y algunos otros impuestos.

Tabla 18: Presupuesto WISP UNIMOS S.A. E.S.P

Elemento	Descripción				SUBTOTAL
	Referencia	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	
Switch 8 puertos	TP Link Tl-sf1008d	2		\$700.000	\$1.400.000
Antenas					
Sectorial de 120°	Ubiquiti Rocket M5 + AirMax Sector	5	UND	\$690.000	\$3.450.000
Sectorial de 90°	Ubiquiti NanoStation M5	2	UND	\$180.000	\$360.000
Direccional alta ganancia	Ubiquiti Rocket Dish M5	3	UND	\$700.000	\$2.100.000
Direccional baja ganancia	Ubiquiti NanoBridge M5	1	UND	\$280.000	\$280.000
Cables y conectores					
Cable UTP categoria 6E		500	metros	\$1.500	\$750.000
Conectores RJ-45		50	UND	\$1.000	\$50.000
Accesorios					
Soportes Antenas		10	UND	\$180.000	\$1.800.000
Mástil	Tubo galvanizado de 3 mt	4	UND	\$30.000	\$120.000
Multitoma	horizontal	4	UND	\$200.000	\$800.000
Amarras plásticas x		3	UND	\$6.000	\$18.000

100und					
Rack pared 48.514cm x 59.944cm x 44.958cm		4	UND	\$150.000	\$600.000
Regulador de voltaje		4	UND	\$60.000	\$240.000
Diseño, instalación, configuración y soporte técnico		960	horas	\$3.646	\$3.500.160
Transporte		120	días	\$4.000	\$480.000
Varios y Consumibles					\$200.000
Subtotal					\$16.148.160
A.I.U					\$3.229.632
I.V.A					\$2.583.706
Impuestos y estampillas					\$1.614.816
Total					\$23.576.314

El valor de diseño, instalación, configuración y soporte técnico se lo obtuvo del pago realizado por la empresa durante los seis meses que duró la pasantía, dicho valor se lo discriminó por hora.

CONCLUSIONES

Se logró implementar una red inalámbrica de área metropolitana con una buena seguridad, para proteger los datos de los usuarios, se logró ampliar la cobertura y se está brindando un mejor servicio de Internet a los usuarios en la ciudad de Ipiales por parte de UNIMOS S.A. E.S.P, ya que se disminuyó las PQR por la mala o deficiente conexión de Internet en los sectores donde se implementó la red inalámbrica.

Se conectó usuarios de la ciudad, alejados del nodo central que no podían recibir el servicio por medio de ADSL, también se logró incrementar la velocidad de transmisión para empresas que necesitaban una alta capacidad de transmisión de datos.

Con los nodos que se implementaron, se logró conectar instituciones educativas que por su ubicación geográfica y distancia era difícil que pudieran tener una conexión a Internet de forma cableada o por el par de cobre, las instituciones educativas estaban dentro del marco del programa de gobierno Colombiano denominado Conexión Total.

La tecnología inalámbrica abre todo un mundo de posibilidades de conexión sin la utilización de cableado físico, proporcionando una flexibilidad y comodidad en la conectividad entre ordenadores y dispositivos electrónicos, además se puede realizar redes de área local para conectar oficinas o usuarios y redes de área extensa para conectar, usuarios dentro de una ciudad e incluso ciudades o municipios para la continua comunicación digital.

Es evidente que no hay un método exacto para determinar que tecnología es la mejor para cada situación, existen muchas variables que determinan cual es la mejor, también se deben tener en cuenta los aspectos técnicos para realizar redes inalámbricas, el mayor determinante es el escenario de aplicación el cual nos lleva a determinar la mejor opción, otro factor es la situación económica de la empresa y las necesidades de la misma. La conclusión exitosa del proyecto se fundamenta en examinar todos los aspectos y realizar el mejor proceso de diseño y planeación.

Una red inalámbrica de área metropolitana utilizando el protocolo 802.11, es un medio práctico y de bajo costo para distribuir Internet en zonas geográficas con bajos niveles de ruido electromagnético, primordialmente plana, sin zonas boscosas, edificios ni accidentes geográficos apreciables.

Los avances tecnológicos en redes inalámbricas y su implementación, son un factor importante para el desarrollo social, puesto que su utilización brinda beneficios que satisfacen necesidades y ofrece la posibilidad de aprender nuevas cosas, para tratar de disminuir la brecha digital que existe entre ciudades,

departamentos y países desarrollados y en vía de desarrollo, mejorando en consecuencia, las oportunidades de difusión, apropiación y generación de conocimiento.

RECOMENDACIONES

Esta tecnología tiene como mayor inconveniente la seguridad, porque el acceso al medio es compartido por una clave de acceso lo genera un riesgo que se tendrá que tener presente a la hora de implementar este tipo de redes. Por lo tanto se recomienda la utilización de una política de seguridad homogénea y sin fisuras, que trate todos los aspectos que comporten riesgo, sin mermar la rapidez y que sepa aprovechar las ventajas de las redes inalámbricas. Este inconveniente va a persistir porque la tecnología y la capa de seguridad pueden ser vulneradas, ya que los hackers tienen métodos para violar dicha seguridad, por lo tanto hay que esperar a las posteriores actualizaciones y métodos de seguridad que se implementen.

Por medio de la supervisión constante de los equipos, se conserva el rendimiento de la red; poniendo atención especialmente a los niveles de ruido presentes en él o los sitios y haciendo los cambios de canal necesarios para evitar interferencia, también es importante la revisión periódica de los sellos herméticos en gabinetes y conectores, se debe tomar en cuenta el monitoreo de los equipos principales y de los clientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Rappaport, Theodore S.** *Wireless Communication*. 2 ed. California : Prentice Hall, 2010.
2. **Escudero, Pascual Alberto.** Introducción a la Física de la Radio. [aut. libro] Sebastian Buettrich. 1 ed. s.l. : Tricalcar, 2007.
3. **Molish, Andreas F.** *Wireless Communications*. 2 ed. USA : John Wiley & Sons Ltd., 2011.
4. **Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.** *Bandas ICM*. Bogota D.C. : s.n., 2010.
5. **Hewitt, Paul G.** *Física conceptual*. 9 ed. s.l. : Perason, 2004.
6. **Burbano de Ercilla, Santiago y Gracia Muñoz, Carlos.** *Física General*. 9 ed. s.l. : Tebar, 2003. pág. 800.
7. **Secretaría General de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.** Reglamento Adicional de Radiocomunicaciones Protocolo Adicional Soluciones y Recomendaciones. *Reglamento de Radiocomunicaciones*. Ginebra : s.n., 1959.
8. **ESET.** Guía de Seguridad en Redes Inalámbricas. *Plataforma Educativa ESET*. [En línea] www.eset-la.com.
9. **Stallings, William.** Nivel Físico y Medios de Transmisión. *Comunicaciones y Redes de Computadores*. 7 ed. s.l. : PEARSON EDUCACION, 2004.
10. **Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones.** *Resolución 1689*. Bogota D.C : s.n., 2007.
11. **Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.** *Resolución 689*. Bogota D.C : s.n., 2004.
12. **Miquel, Vicent Alapont.** *Seguridad en Redes Inalámbricas*. Valencia : Universidad de Valencia.
13. **Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.** *Decreto 2870*. Bogota D.C : s.n., 2007.
14. **Mancilla, Edgar Alfredo Von Quednow.** *Diseño e Implementación de una Red Inalámbrica de Área Metropolitana, Para Distribución de Internet en Medios Suburbanos*. s.l. : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006.

15. **Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5.** *Redes Inalámbricas en los Paises en Desarrollo.* 2 ed. Londres : Limehouse Book Sprint Team , 2007.
16. **Maliza Cruz, Wellington, Mite Tigrero, Jimmy y Montes Zavala, Franklin.** *Diseño de una Red Inalambrica Para Servicio de Internet Para la Ciudad de Guayaquil.* Guayaquil : Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2003.
17. **Pontificia Universidad Católica del Perú.** *Redes Inalambricas Para Zonas Rurales.* 1 ed. Lima : GTR-PUCP, 2008.
18. **Ministerio de Tegnologías de la Información y las Comunicaciones.** *Decreto 4392.* Bogotá D.C. : s.n., 2007.
19. **Ipiales, Alcaldia Municipal de.** *Mapa digital de Ipiales.* Ipiales : Departamento de planeación municipal, 2010.
20. **UBIQUITI NETWORKS.** Ubiquiti Networks - Products. [En línea] [Citado el: 15 de 02 de 2013.] <http://www.ubnt.com/products>.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa digital con ubicación de distritos en el municipio de Ipiales

