

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE ELECTRICIDAD, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TÍTULO:

**ESTUDIO DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DE DATOS DE BANDA ANCHA PARA SECTORES RURALES**

AUTOR:

TOMÁS GASPAR BASTIDAS CABRERA

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN
TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

ING. DANIEL GARRIDO RODRÍGUEZ, MSC

Guayaquil, Ecuador

2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster Tomás Gaspar Bastidas Cabrera como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

Guayaquil, a los 27 días del mes enero año 2015

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Daniel Garrido Rodríguez, MSc.

REVISORES:

Ing. Edwin Palacios Meléndez MSc.

Ing. Luis Córdova Rivadeneira, MSc.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Manuel Romero Paz, MSc.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, TOMÁS GASPAS BASTIDAS CABRERA

DECLARO QUE:

La tesis “**Estudio de Implementación de un Sistema de Datos de Banda Ancha para Sectores Rurales**”, previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollada en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 27 días del mes enero año 2015

EL AUTOR

TOMÁS GASPAS BASTIDAS CABRERA



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

AUTORIZACIÓN

YO, TOMÁS GASPAR BASTIDAS CABRERA

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución de la Tesis de Maestría titulada: **“Estudio de Implementación de un Sistema de Datos de Banda Ancha para Sectores Rurales”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 27 días del mes enero año 2015

EL AUTOR

TOMÁS GASPAR BASTIDAS CABRERA

AGRADECIMIENTOS

Agradecido por todos los que contribuyeron a formar el criterio de esta persona, especialmente a Jehová Dios que siempre ha guiado mis sentidos y ha guiado mi conciencia, a mis padres por darme el amor y mis bases morales para guía de la vida en este sistema de cosas, mis hermanos por ser siempre colaboradores y unidos formando un equipo familiar.

A mis profesores a lo largo de mis estudios seculares en función de contribuir a la sociedad y madurar mis pensamientos

DEDICATORIA

A mi Familia, a Mi esposa en especial por el amor, paciencia y apoyo incondicional en lo realizado en este logro académico y a mis hijos por el tiempo prestado que me dieron para seguir adelante que este proyecto de vida.

A mi familia en general por su contribución a lo desarrollado en esta tesis.

A mis profesores de maestría por el conocimiento adquirido y poder culminar la misma.

PENSAMIENTO

Encuentro en el mundo que siempre necesita la innovación constante de ideas y buscar el sentido de su generación por lo que siempre se desarrollan nuevas mentes brillantes en función de la misma y el ser humano se desarrolla más y va comprendido el sentido de sus sentidos, y la naturaleza de ser libres de pensamiento y llegar a su meta en menor tiempo para disfrutar en su estado jovial de la belleza que le rodea por lo que el conocimiento ayuda y mejor aún si es de uso altruista en conformidad con el amor ágape para la sociedad recordando que en la vida todos somos hermanos.

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen las distintas tecnologías de banda ancha WiMAX para transmisión de datos, específicamente para el acceso a internet, con el objetivo de determinar la que mejor se adecua para garantizar la conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica en sectores rurales. También se presenta una metodología para el diseño de un sistema de este tipo desde el nodo de conexión con el proveedor de servicio de internet hasta el usuario final incluyendo topologías de redes, características del equipamiento y criterios prácticos de diseño.

Palabras Claves: Banda ancha, WiMAX, Wi-Fi, Xdls, estándar 802.11n, estándar 802.16

ABSTRACT

The present work presents the different bandwidth WiMAX technologies for transmission of data, specifically for internet access, in order to determine which is better suited to guarantee the connection of electronic devices wirelessly in rural areas. Also is presented a methodology for the design of a system of this type from the node's connection with the provider of internet service to the end user including networks topologies, the equipment features and practical design criteria

Keywords: bandwidth, WiMAX, Wi-Fi, Xdl, standard 802.11n, standard 802.16

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE TABLAS	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I DISEÑO METODOLÓGICO	2
1.1 Antecedentes de la propuesta	2
1.2 Problema de la Investigación	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objeto	4
1.5 Objetivos	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
1.6 Hipótesis.....	5
1.7 Variables.....	5
1.8 Tipo de Investigación	5
Enfoque Temático	6
Enfoque Metodológico	6
Alcance	6
1.9 Tareas.....	7
CAPÍTULO II. TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS.....	8
2.1 Red Inalámbrica de Área Local (WLAN) Wi-Fi.....	8
2.2 Redes WiMAX.....	19
2.3 Redes WRAN, LMDS y MMDS	25
2.4 Características de los enlaces de radio	34
CAPÍTULO III. LEVANTAMIENTO TOPOLÓGICO DEL TERRENO	43

3.1 Levantamiento topológico de una región urbana rural pequeña.....	43
3.2 Levantamiento topológico de una región rural extensa.....	46
3.3 Metodología para la implementación de una red de datos en entornos rurales.....	49
3.3.1 Implementación de la red inalámbrica en áreas urbanas rurales.	49
3.3.2 Implementación de la red inalámbrica en áreas rurales extensas.	59
CAPITULO IV CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES.....	67
Bibliografía	68
ANEXOS	70
GLOSARIO.....	74

INDICE DE FIGURAS

Capítulo 2.

<i>Figura 2. 1</i>	<i>Uso de canales separados en 25MHz para evitar interferencias.</i>	9
<i>Figura 2. 2</i>	<i>Representación en el dominio del tiempo (izquierda) y en la frecuencia (derecha) de una señal OFDM.</i>	10
<i>Figura 2. 3</i>	<i>Esquema en bloques de transmisión y recepción de OFDM.</i>	11
<i>Figura 2. 4</i>	<i>Estructura clásica de transmisión de radio y variantes MIMO.</i>	13
<i>Figura 2. 5</i>	<i>Funcionamiento de CSMA/CA.</i>	14
<i>Figura 2. 6</i>	<i>Conexión punto a punto, implementación de un puente inalámbrico.</i>	15
<i>Figura 2. 7</i>	<i>Topologías de red en estrella y en árbol.</i>	16
<i>Figura 2. 8</i>	<i>Topología en malla.</i>	17
<i>Figura 2. 9</i>	<i>Uso del router o switch inalámbrico.</i>	18
<i>Figura 2. 10</i>	<i>Trama MAC para mensajes de datos (superior) y de administración (en el medio) así como el encabezado (abajo).</i>	22
<i>Figura 2. 11</i>	<i>Equipamiento de estación base.</i>	25
<i>Figura 2. 12</i>	<i>Tipos de antenas.</i>	25
<i>Figura 2. 13</i>	<i>Canales disponibles para utilizar en cada instante de tiempo.</i>	27
<i>Figura 2. 14</i>	<i>Estructura de las trama MAC de WRAN.</i>	28
<i>Figura 2. 15</i>	<i>Estructura de la trama MAC de WRAN.</i>	29
<i>Figura 2. 16</i>	<i>Equipamiento de estación base.</i>	33
<i>Figura 2. 17</i>	<i>Equipamiento externo de usuario para LMDS (a) y MMDS (b).</i>	34
<i>Figura 2. 18</i>	<i>Ondas directa y reflejada.</i>	35
<i>Figura 2. 19</i>	<i>Efecto de la curvatura de la tierra en la propagación de una onda directa.</i>	35
<i>Figura 2. 20</i>	<i>Zona de Fresnel y el área de la primera zona que tiene que estar libre de obstrucción.</i>	37
<i>Figura 2. 21</i>	<i>Influencia de la curvatura de la Tierra y el radio de la 1^{ra} zona de Fresnel en la altura de las antenas.</i>	37
<i>Figura 2. 22</i>	<i>Perfil de un enlace calculado con el RadioMobile.</i>	41
<i>Figura 2. 23</i>	<i>Cálculo de un enlace con el Link Budget Calculator.</i>	41

Capítulo 3.

<i>Figura 3. 1</i>	<i>Región urbana pequeña.</i>	44
<i>Figura 3. 2</i>	<i>Ubicación de los puntos de servicio de internet y sus distancias al nodo central</i>	44
<i>Figura 3. 3</i>	<i>Detalle de Área Deportiva.</i>	45
<i>Figura 3. 4</i>	<i>Detalle de Parque.</i>	46

<i>Figura 3. 5 Zona rural extensa con varios poblados en ella.</i>	47
<i>Figura 3. 6 Distancias entre los caseríos y el poblado principal.</i>	48
<i>Figura 3. 7 Distancia entre caseríos.</i>	48
<i>Figura 3. 8 Topología punto-multipunto con antenas sectoriales de 120°.</i>	51
<i>Figura 3. 9 Estructura de una red mixta.</i>	52
<i>Figura 3. 10 Solución para el área deportiva</i>	54
<i>Figura 3. 11 un parque pequeño basta con un solo punto de acceso y una antena externa de mayor ganancia.</i>	55
<i>Figura 3. 12 Patrón de radiación de la antena. Se elige la corner porque es la que más se asemeja a una antena sectorial.</i>	56
<i>Figura 3. 13 Características de la red Este.</i>	56
<i>Figura 3. 14 Calidad de los enlaces de la red Este.</i>	57
<i>Figura 3. 15 Características de la red Oeste.</i>	57
<i>Figura 3. 16 Calidad de los enlaces de la red Oeste.</i>	58
<i>Figura 3. 17 Topología punto multipunto con antenas sectoriales de 60°.</i>	60
<i>Figura 3. 18 Topología punto a punto y punto multipunto.</i>	61
<i>Figura 3. 19 Equipamiento propuesto para la estación base.</i>	62
<i>Figura 3. 20 Equipamiento propuesto para la estación de usuario.</i>	62
<i>Figura 3. 21 Patrón de radiación de la antena. Se elige la corner porque es la que más se asemeja aunque el ancho del lóbulo es un poco más estrecho.</i>	63
<i>Figura 3. 22 Características de la red.</i>	64
<i>Figura 3. 23 Calidad de los enlaces.</i>	64

INDICE DE TABLAS

Capítulo 2.

<i>Tabla 2. 1 Características de los estándares 802.11 xx más utilizados</i>	9
<i>Tabla 2. 2 Características de algunos tipos de antenas</i>	19
<i>Tabla 2. 3 Características del estándar 802.16 xx más utilizados</i>	20
<i>Tabla 2. 4 Tipos de antenas</i>	27
<i>Tabla 2. 5 Características de la tecnología LMDS.</i>	31
<i>Tabla 2. 6 Características de la tecnología MMDS</i>	32
<i>Tabla 2. 7Algunas características de un transmisor MMDS</i>	34

Capítulo 3.

<i>Tabla 3. 1 Altura de las antenas.</i>	58
<i>Tabla 3. 2 Altura y orientación de las antenas</i>	65

INTRODUCCIÓN

En nuestros tiempos se debate mucho sobre la convergencia de todas las redes; que sea una sola gran red que transporte todas las telecomunicaciones así como la forma de lograrlo. Existen muchas formas y por diversos medios; pero lo que realmente se busca en una red son principalmente tres aspectos: gran capacidad de transmisión, mucha velocidad (que sea en tiempo real) y que el sistema sea muy confiable. No menos importante, es que sean de costos muy económicos y de fácil instalación y mantenimiento

En la actualidad las comunicaciones inalámbricas han mejorado mucho y da mejor desempeño práctico en lo que se refiere a la implementación de redes sin necesidad de cable, por hoy las empresas públicas y privadas debidas al costo y beneficio apostaron a esta tecnología.

CAPITULO I DISEÑO METODOLÓGICO

1.1 Antecedentes de la propuesta

En telecomunicaciones se conoce como Banda Ancha a la transmisión de datos donde se envían simultáneamente varios servicios como voz, datos y video (conocido como *Triple Play*), por lo que se requiere de incrementar la velocidad de transmisión efectiva de los primeros módems telefónicos que alcanzaban con mucho una velocidad de 56Kbps. El concepto de Banda Ancha ha evolucionado con los años. La velocidad que proporcionaba RDSI con 128Kbps dio paso al ADSL con una velocidad de 256Kbps. Posteriormente han surgido versiones más modernas de esta tecnología siendo toda una familia conocida por xDSL con velocidades que van desde 512kbps hasta varios Mbps en los más recientes. Al concepto de Banda Ancha hay que atribuirle otras características además de la velocidad como son la interactividad, digitalización y conexión o capacidad de acceso.

La aparición de redes de datos inalámbricas como forma de conexión alternativa (Wi-Fi como una versión sin hilos de Ethernet), hace pensar en la posibilidad de extender esta idea a las redes de banda ancha (el estándar Wi-Fi es aprobado en 1997 y ya en 1999 comienza el trabajo para un estándar de banda ancha) y así aprovechar las ventajas de toda red inalámbrica a saber (Gast, 2002) (Ross, 2008):

1. **Movilidad:** un usuario de una red inalámbrica se puede conectar a esta y moverse libremente en el área de cobertura.
2. **Flexibilidad:** estas redes utilizan estaciones bases para conectar a los usuarios a redes ya existentes, por tanto la nueva infraestructura se puede desplegar de forma rápida y es la misma ya sea se conecte un usuario o se conecten múltiples usuarios. En una red convencional se tiene que crear una infraestructura que permita conectarse por cable a varios clientes y en el caso

de un aumento de la demanda de conexión se requiere una nueva inversión en cableado.

3. Reducción de costos: en áreas aisladas o en edificaciones ya construidas se hace más barato el uso de tecnologías inalámbricas que la construcción o modificación de una infraestructura para el cableado.

Es a partir de esta idea que surgen WiMAX, WRAN, LMDS y MMDS como estándares de banda ancha inalámbrico con velocidades de 75Mbps, 19Mbps, 40Mbps y 10Mbps respectivamente emulando con las tecnologías cableadas xDSL; y lo que las convierte en una alternativa viable para el acceso de banda ancha en zonas rurales, de difícil acceso o en países en vías de desarrollo en los cuales por razones de costos o demográficas (población que mayoritariamente vive en áreas urbanas o suburbanas) nunca se ha contado con una gran infraestructura telefónica cableada.

1.2 Problema de la Investigación

El acceso nulo a los servicios de telecomunicaciones a la población rural del sector norte de la ciudad de Guayaquil y las dificultades por su topología geográfica no permite un acceso físico y el costo muy alto para realizar dicha inversión.

1.3 Justificación

La falta de infraestructura al sector rural debido a que en su mayoría no fueron concebidas por una planificación urbanística y se ha creado no tan solo este problema de acceso a las telecomunicaciones sino al resto de los servicios básicos y el acceso al fin por ser sectores sin edificaciones estandarizada no ofrece la factibilidad para la instalación de equipos de telecomunicaciones físicos, y los costo de los mismo son muy elevados además del tiempo de instalación para su instalación no correspondería a la demanda del sector y estará siempre atrasado con referencia a la ciudad, con este

sistema inalámbrico se puede establecer un acceso a la banda ancha y aprovecha todo lo que establece en la red llamada Internet, porque esta tecnología está en vanguardia con el día a día y se llega a mayor velocidad que incluso entraría en la misma calidad que una comunicación Xdls ,sin mencionar los cambios que realizarían para el sector que requiera una modernización en lo que se refiere a la industria , y a las futuros centros de educación y universidades para sus laboratorios y experimentos a nivel científico aplicado sin moverse del sitio que reúne las condiciones para la experimentación

1.4 Objeto

Sistema de comunicación inalámbricas WiMAX y Wi-Fi

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Proponer un sistema de propagación idóneo para mejorar la comunicación del sistema inalámbrico en el sector rural de Guayaquil.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar el mejor sistemas y más usado en la actualidad dentro del estándar de pie de espectro.
- Evaluar las ventajas y desventajas del estándar analizado
- Evaluar la compatibilidad y coexistencia de los mismos con otros servicios (televisión Digital Terrestre sus modalidades, móvil, Internet, entre otros) y tecnologías, tomando en cuenta la convergencia de servicios.

- Comparar las diferentes tecnologías actuales para seleccionar el proveer más eficiente.

1.6 Hipótesis

Con la tecnología inalámbrica WiMAX y Wi-Fi permitirá una solución para el sector rural de la ciudad de Guayaquil por su desempeño y eficacia en dichas tecnologías solucionar el acceso a las telecomunicaciones a los sectores rurales de la ciudad mencionada quedando como base para los demás sectores de una metrópolis

1.7 Variables

- Sectores rurales
- Número de usuarios
- Calidad de servicio

1.8 Tipo de Investigación

El Método de investigación para esta tesis será deductivo porque según su definición “parte de una hipótesis que demuestra o refuta una idea”. El método deductivo consiste en la totalidad de reglas y procesos con cuya ayuda es posible deducir conclusiones finales a partir de unos enunciados supuestos llamados premisas si de una hipótesis se sigue una consecuencia y esa hipótesis se da, entonces, necesariamente, se da la consecuencia. El método deductivo se suele decir que se pasa de lo general a lo particular (Gómez, 2006) de forma que partiendo de unos enunciados de carácter universal y usando instrumentos científicos, se infieren enunciados particulares, pudiendo ser axiomático-deductivo, cuando las premisas de

partida están constituidas por axiomas, es decir, proposiciones no demostrables, o hipotéticos-deductivo, si las premisas de partida son hipótesis contrastables.

Enfoque Temático

El sector analizado para establecer el estudio en el área escogida es de tipo aplicativo porque según su concepto se examina la anomalía del contorno y su comienzo elemental resulta ser igual; por lo se concluye que es del tipo Experimental porque ambiciona conocer el prodigio del entorno equitativo por lo que modifica el ente de la memoria, prestando atención y coordinar su actuación, en pocas palabras su perspectiva al tema de tesis expuesto es aplicativo - experimental

Enfoque Metodológico

El enfoque metodológico sería el cuantitativo por la el concepto que me indica por conjunto de tecnologías en cadena y justificantes alineados a argumentar o desaprobando de una conjetura por compilación de información recolectada por información censada y analizando su comportamiento en un periodo de tiempo para concluir las base de esquema y demostrar las conjeturas.

La tesis expone la aplicación de las tecnologías WiMAX y Wi-Fi existentes que se encuentran en constantes mejoras para satisfacer las necesidades de los sectores rurales de una ciudad, siendo lo conveniente para el acceso para la comunicación.

Alcance

Determina la estrategia que debe seguir la investigación, la misma que va a ofrecer la posibilidad de ubicarse en tiempo y espacio y tener una proyección coherente a partir del objeto de estudio, por lo cual va a posibilitar la determinación de niveles de factibilidad. Según su alcance se podría clasificar de la siguiente manera:

- *Exploratorio*: tipo de estudio sobre tema poco estudiado. Se identifican por primera vez los rasgos de un fenómeno (Gómez, 2006).
- *Descriptivo*: estudio que caracteriza propiedades, rasgos importantes, del objeto estudiado, presentación de lo «representativo», descripción de tendencias (Gómez, 2006).
- *Correlacional*: estudio que establece relaciones entre los componentes del problema y requiere de análisis comparativo de variables. (Gómez, 2006)
- *Explicativo*: estudio que profundiza en las causas de los eventos. Va más allá de la descripción y el establecimiento de relaciones. Intenta llegar a las causas y generalizar (Gómez, 2006).

Por la caracterización de lo expuesto anteriormente se puede definir que el alcance es tipo descriptivo por su esencia teórica, por lo que se expondrá la mejor y eficaz tecnología inalámbrica WiMAX, Wi-Fi y los periféricos a usarse como recurso.

1.9 Tareas

- Estudio de las tecnologías inalámbricas de banda ancha.
- Realizo el levantamiento topográfico de la zona o zonas donde se pretende implementar la tecnología inalámbrica.
- Selección de la tecnología inalámbrica adecuada para la zona.
- Desarrollo de una metodología para la implementación de la tecnología inalámbrica seleccionada.

CAPÍTULO II. TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS

En este capítulo se realiza la descripción y análisis de las distintas tecnologías inalámbricas de banda ancha así como algunas características generales de los enlaces de radio. Se comienza por Wi-Fi a pesar de que no es considerada una red de banda ancha porque se trata de la primera red inalámbrica utilizada en gran escala y parte de su estructura y principio de funcionamiento se aplica a las demás.

2.1 Red Inalámbrica de Área Local (WLAN) Wi-Fi.

Las redes Wi-Fi surgen en 1997 al aprobarse el estándar 802.11 de la IEEE y prácticamente enseguida alcanzó un éxito rotundo. El término Wi-Fi se refiere a *Wireless Fidelity*, un slogan de certificación de productos de la *Wireless Compatibility Alliance* organismo encargado de garantizar que los productos de distintas compañías cumplan con los requerimientos del estándar y sea compatibles entre ellos. Hasta la actualidad existen 4 grandes versiones que se diferencian en modulación y velocidad de transmisión siendo los más utilizados 802.11 b/g/n donde el último permite la mayor velocidad de transmisión (600Mbps teórica aunque hasta ahora se ha logrado solamente 300Mbps estables).

En el caso del ancho de banda para 802.11n en realidad se utilizan dos canales que no se interfieren para aumentar la velocidad de transmisión (Ross, 2008) (Rackley, 2007). La separación mínima entre canales adyacentes debe ser de 25MHz por lo que no se pueden utilizar todos los canales de los 13 (14 en Japón) que poseen las bandas de frecuencias. En la figura 2.1 se muestran tres canales que no se superponen. Esto es algo que se debe cumplir aun cuando se trabaje con dos puntos de acceso distintos pero que solapen su área de cobertura.

Tabla 2. 1 Características de los estándares 802.11 xx más utilizados

Estándar	Velocidad de transmisión	Modulación	Frecuencia de trabajo	Ancho de banda de canal
IEEE 802.11 b	11Mbps	DSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	2.4 GHz	20MHz
IEEE 802.11 g	54Mbps	OFDM	2.4GHz	20MHz
IEEE 802.11n	600Mbps teórico 300Mbps prácticos	MIMO	5GHz	40MHz

Fuente : Rackley, S. (2007)

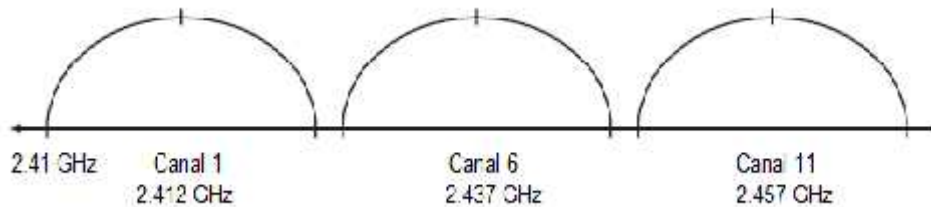


Figura 2. 1 Uso de canales separados en 25MHz para evitar interferencias.

Fuente : Rackley, S. (2007)

A continuación se realiza la descripción de algunas características específicas de los estándares 802.11g/n.

- **La capa Física**

La capa Física hace referencia al medio de transmisión que se utiliza, la frecuencia de trabajo y la modulación utilizada.

Para el caso de 802.11g se sabe que utiliza la banda de 2.4 GHz y la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Esta modulación no es más que una multiplex por división de frecuencia de los datos donde las sub portadoras tienen que cumplir la condición de no interferirse mutuamente (ser ortogonales). De esta forma cada una es modulada con una técnica digital de alta eficiencia espectral y se logran grandes velocidades de transmisión. La ortogonalidad se observa en el dominio de la frecuencia, en que el ancho de banda de cada sub portadora debe ser tal que la región de mayor energía no se solape con la adyacente; en el dominio del tiempo, en que la frecuencia de cada una debe ser un múltiplo par de su vecina (Rackley, 2007) (Philip, 2001). La ecuación 2.1 muestra la expresión de la forma de onda en el tiempo y la 2.2 la condición de ortogonalidad que es fácilmente demostrable. En la figura 2.2 se muestra la representación espectral y temporal de una señal OFDM.

$$S_r = \sum_{k=1}^N \text{sen}(2\pi f_c kt) \quad (2.1)$$

$$\int_0^T S_i(t) S_j(t) dt = \begin{cases} \text{Un valor para } i = j \\ 0 \text{ para } i \neq j \end{cases} \quad (2.2)$$

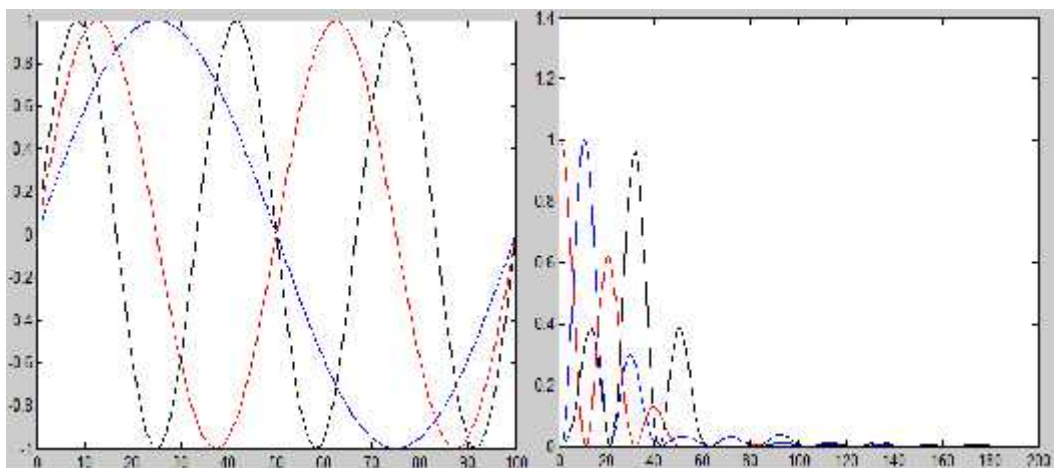


Figura 2. 2 Representación en el dominio del tiempo (izquierda) y en la frecuencia (derecha) de una señal OFDM.

Fuente : Rackley, S. (2007)

La cantidad de sub portadoras varía con la aplicación y no todas se utilizan para la transmisión de datos, algunas de ellas se utilizan como pilotos para caracterizar el canal de transmisión en la modulación coherente. En este estándar se utilizan 48 sub portadoras de transmisión y 4 como piloto y la modulación de cada una se realiza con 64QAM. El ancho de banda de cada una está dado aproximadamente por:

$$W = \frac{V_T}{NPE \cdot E_W} \quad (2.3)$$

Donde:

W Ancho de banda de cada canal

V_T Velocidad de transmisión

NPE Número de portadoras efectivas que se utilizan en la transmisión

E_W Eficiencia espectral de la modulación

De donde se puede calcular que el ancho de banda de cada portadora es de cerca de 180KHz. En la figura 2.3 se muestra el esquema en bloques de transmisión y recepción de OFDM.

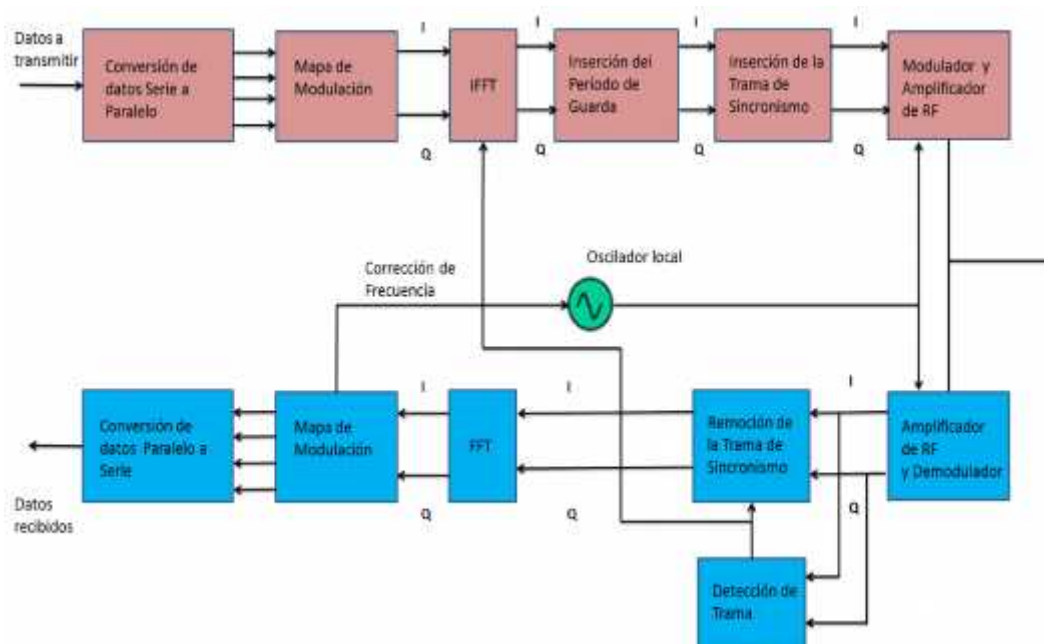


Figura 2. 3 Esquema en bloques de transmisión y recepción de OFDM.

Fuente : Rackley, S. (2007)

Lo primero es realizar la conversión del flujo de datos de serie a paralelo y su distribución entre todas las portadoras. En este proceso los datos se reparten para que en caso de que exista atenuación de algunas de las portadoras no se pierdan todos los datos sino, que estos al estar distribuidos en todas las portadoras permiten que se pierdan pocos dígitos binarios de cada símbolo por lo que facilita el trabajo de los algoritmos de corrección de errores. El bloque de mapeo de la modulación no es más que la implementación matemática de la modulación 64QAM para cada sub portadora. Esta modulación se pasa por un bloque que efectúa la Transformada Inversa de Fourier a cuya salida se tiene la señal en el dominio del tiempo. Se insertan períodos de guarda y tramas de sincronismo para eliminar la interferencia inter símbolos producto de las múltiples trayectorias de las ondas de radio. El último bloque es el bloque de radio. El proceso de recepción realiza las operaciones inversas a las ya mencionadas.

Para el caso de 802.11n se utiliza la misma modulación pero se agrega MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Se trata de una tecnología que aprovecha el efecto múltiples trayectorias de las ondas de radio para enviar, por cada camino, distintos flujos de datos aumento la tasa de transmisión total (Rackley, 2007).

La idea es utilizar cada trayectoria de propagación en un instante de tiempo distinto, de esta forma se realiza un múltiplex por división de espacio (SDM) donde por espacio se entiende la trayectoria de transmisión. Al utilizar cada camino el mismo ancho de banda teóricamente la velocidad de transmisión es el producto de la tasa de transmisión por la cantidad de caminos. En la práctica no todos los caminos tienen la misma fortaleza y no se utilizan todos a la vez. En la figura 2.4 se muestran las tres topologías posibles para MIMO y la topología clásica de transmisión.

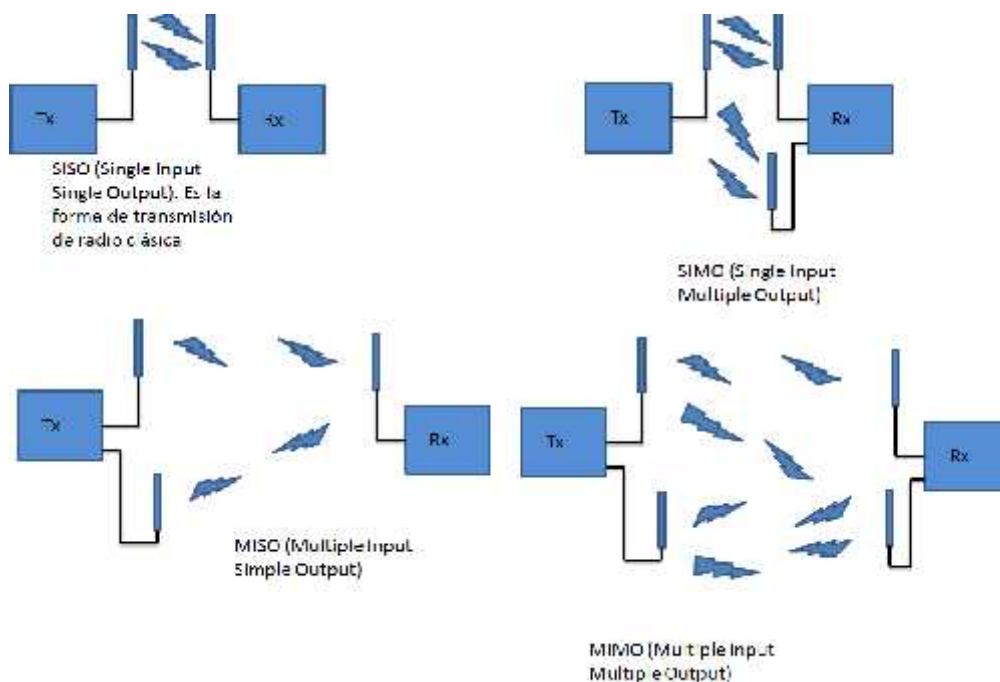


Figura 2. 4 Estructura clásica de transmisión de radio y variantes MIMO
Fuente : Rackley, S. (2007)

- **La capa MAC**

La capa MAC hace referencia al mecanismo por el cual se realiza el control de acceso al medio (*Media Access Control*) y es equivalente a la capa de enlace del modelo OSI (Rackley, 2007) (Tanenbaum, 2003). Se encarga por tanto de prevenir colisiones de los paquetes de datos en el canal de comunicación utilizando el mismo mecanismo de Ethernet (CSMA/CA, *Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*). Este mecanismo funciona de la siguiente forma: cuando más de un terminal en la red intenta transmitir un dato en un mismo momento, el mecanismo ordena a todos los terminales en conflicto menos uno a retirarse de la transmisión e intentarlo más tarde permitiendo al terminal restante realizar la transmisión. Para realizar la transmisión se encuesta el canal, si no se detecta transmisión se espera un tiempo aleatorio, se realiza una nueva encuesta y si una vez más no hay ninguna transmisión ocupando el canal se envía el paquete. La espera de un tiempo aleatorio

es la que garantiza la transmisión, pues al ser aleatorio las posibilidades de que dos terminales esperen el mismo tiempo son casi nulas.

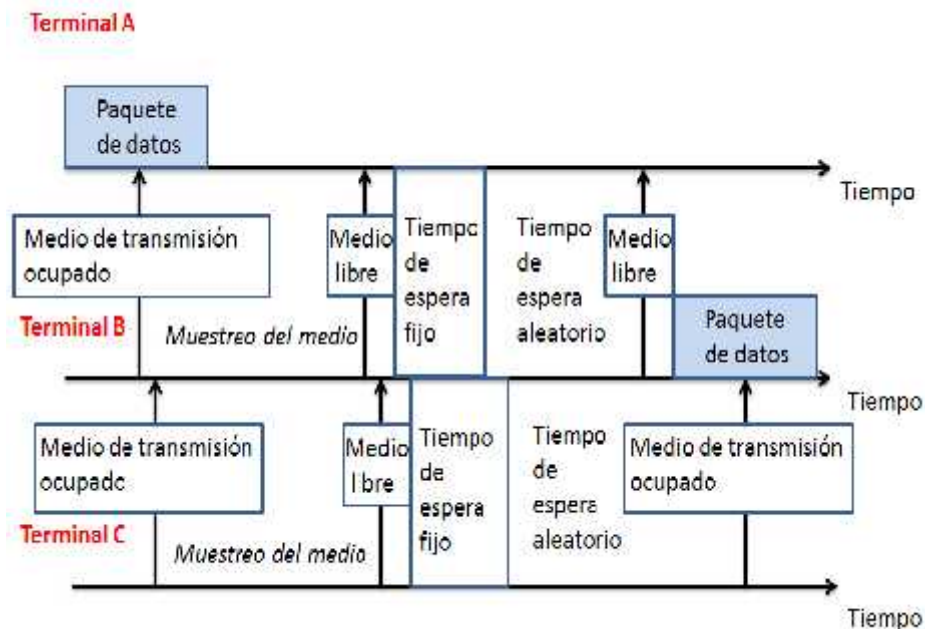


Figura 2. 5 Funcionamiento de CSMA/CA.

Fuente : Rackley, S. (2007)

▪ Topologías y equipamiento de red

Las topologías de red para Wi-Fi coinciden con las topologías de cualquier sistema de radiofrecuencia:

- Conexiones punto a punto.
- Conexiones en estrella (Punto-Multipunto).
- Conexiones en malla.

La conexión punto a punto es aquella que se establece solamente entre dos nodos (por nodo entiéndase una generalización que implica un dispositivo que realiza transmisión y recepción). La más sencilla es la conexión ad-hoc que se establece solamente entre dos computadoras siendo su equivalente cableado la conexión por cable trenzado cruzado. Esta conexión también se puede utilizar para enlazar dos

edificios que forman parte de una misma red la cual se encuentra separada físicamente como se ilustra en la figura 2.6. Otro ejemplo sería el uso de repetidores para aumentar el alcance de la red.

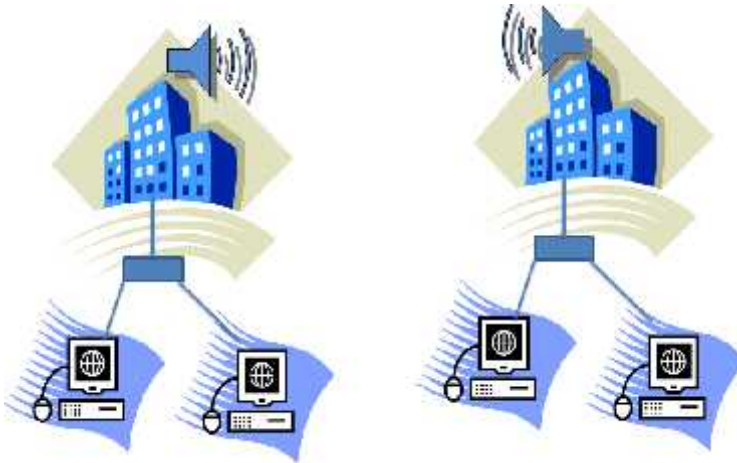


Figura 2. 6 Conexión punto a punto, implementación de un puente inalámbrico
Diseño:El autor

. Las conexiones en estrella son las que el usuario observa con más frecuencia pues son aquellas que consisten en un nodo central (punto de acceso) al cual se conectan los usuarios mediante computadoras de escritorio, laptops, teléfonos móviles, tablets etc. Existe otra variante como la red en árbol que se observa a la hora de unir la red Ethernet alamburada con la red inalámbrica (*router* o modem que permite de un lado el acceso a internet y del otro se conecta al punto de acceso). Estas redes se muestran en la figura 2.7.

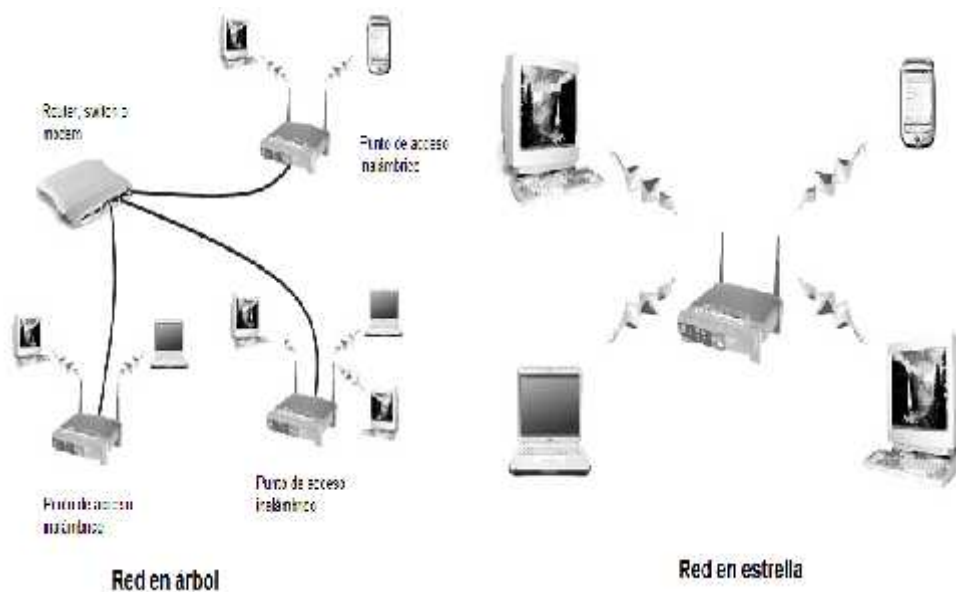


Figura 2. 7 Topologías de red en estrella y en árbol.
 Fuente : Rackley, S. (2007)

Las redes en malla son aquellas en la cual cada punto de acceso actúa también como repetidor. No es más que una red de conmutación de paquetes inalámbrica. Permite que un terminal conectado a un punto de acceso y que desee conectarse a otro terminal fuera del área de cobertura pueda hacerlo siempre que exista uno o varios puntos de acceso cuyas áreas de cobertura se solapen y actúen como repetidores. Otra ventaja es que hace móvil al a red Wi-Fi ya que si un terminal se autentica en un punto de acceso de la red y se pone en movimiento este se puede mantener dentro de la red aun cuando se encuentre fuera del área de cobertura del punto de acceso en el cual se autentificó pero, por supuesto, dentro del área de cobertura de cualquier otro punto de acceso de la red, en este caso el terminal dentro de la red Wi-Fi se comportaría como un teléfono móvil que se desplaza de estación base a estación base dentro de la red de telefonía celular.

Para lograr esto la información de ruteo debe ser común para cada punto de acceso y cada uno debe tener la misma capacidad de ruteo. En la figura 2.8 se muestra la idea de la red en malla. Se puede observar que se puede acceder a cualquier nodo por varios caminos.

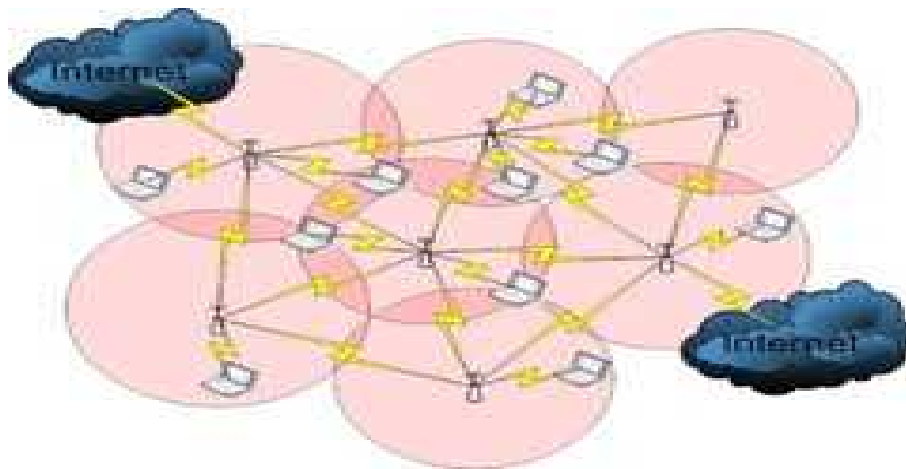


Figura 2. 8 Topología en malla.

Diseño: El autor

El equipamiento que lleva cualquiera de estas topologías es el siguiente:

➤ Puntos de acceso

Se trata del equipo de radio que permite a los terminales con tecnología Wi-Fi conectarse a la red cableada y que permite ampliar el alcance de una red inalámbrica al poder ser configurado como repetidor o como puente inalámbrico. En la actualidad incorporan capacidades de ruteo y varios puertos Ethernet así que garantizan que cualquier terminal que se encuentre en la red inalámbrica pueda ver a cualquier terminal que se encuentre en esa red o en una red cableada siempre que esta última se conecte de alguna forma a uno de sus puertos. También permiten con su capacidad de ruteo la creación de redes en malla y no solo en estrella o punto a punto todo lo cual puede ser configurado desde el mismo programa de instalación y proporcionan mecanismos de seguridad de acceso a la red sea por contraseña como por direcciones MAC de la tarjeta de red o ambos (System, 2005)

Resaltar que aunque pueden ser utilizados como puentes, en caso de uso en exteriores es conveniente valorar el uso de un puente inalámbrico que es un dispositivo específicamente diseñado para el trabajo en exteriores mientras que los

puntos de acceso son para interiores y pueden no tener resistencia ante condiciones climatológicas adversas.

➤ *Router o switch inalámbrico*

En redes extensas en las cuales se tiene una gran cantidad de terminales y por su extensión física una gran cantidad de puntos de acceso, se hace muy engorroso configurar cada punto de acceso. En estos casos es conveniente hacer uso de un *router* inalámbrico al cual se conectan todos los puntos de acceso y desde el cual se centraliza la administración de la red y por tanto de todos los puntos de acceso. En la figura 2.9 se muestra esta configuración.

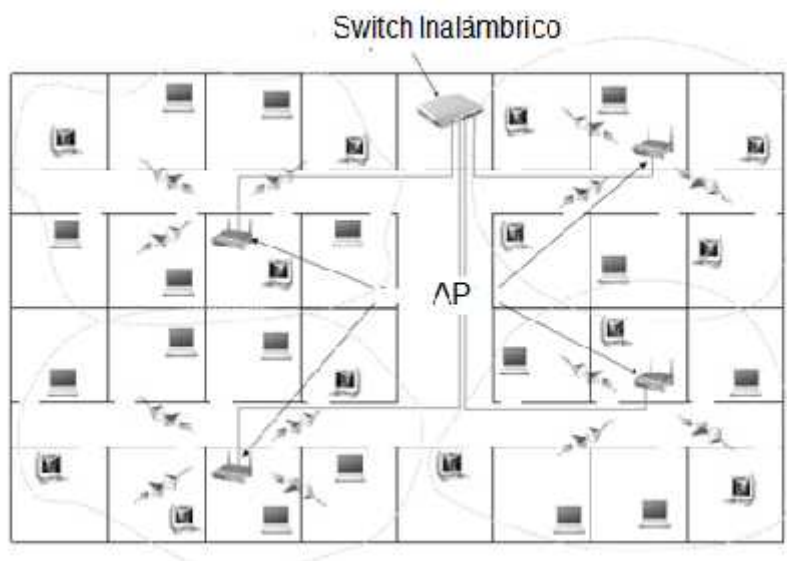


Figura 2. 9 Uso del router o switch inalámbrico.

Fuente : Rackley, S. (2007)

Antenas

Los puntos de acceso traen antenas omnidireccionales con ganancias entre 0 y 5dB que con la potencia de la señal radiada por el equipo permite que el alcance efectivo máximo sea de cerca de 100m sin obstáculos. Para aplicaciones de puente inalámbrico y de repetidor esta es una distancia muy pequeña pero se puede

aumentar con el uso de antenas más direccionales y por tanto con mayor ganancia de antena. No hay limitaciones en cuanto al tipo de antena a utilizar, se pueden utilizar desde antenas omnidireccionales hasta antenas yagui y parabólicas como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2. 2 Características de algunos tipos de antenas

Tipo de Antena	Ancho del lóbulo principal	Ganancia (dB)
Omnidireccional	360°	0-15
Sectorial	180°	8-15
	120°	9-20
	90°	9-20
	60°	10-17
Yagui	10°-30°	8-20
Parabólica	5°-25°	14-30

Fuente : Rackley, S. (2007)

2.2 Redes WiMAX

Las redes WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) comienzan a desarrollarse en 1998 como una respuesta a la necesidad de implementar un equivalente inalámbrico a las redes xDSL, siendo aprobado en el año 2001 el estándar 802.16 que trabaja en el rango de 10-66GHz y a continuación, en el 2002, el estándar 802.16a que opera en el rango de 2-11GHz siendo esta banda de frecuencias preferida por permitir trabajar en un rango de frecuencia que no requiere de autorización a diferencia del primer estándar. En la tabla 2.3 se muestran algunas características de la tecnología 802.16xx y a continuación se realiza la descripción de algunas características específicas de los estándares 802.16a/e. (Rackley, 2007) (Philip, 2001)

Tabla 2. 3 Características del estándar 802.16 xx más utilizados

Estándar	Velocidad de transmisión/tamaño de la célula	Modulación	Frecuencia de trabajo	Ancho de banda del canal	Topología de red
IEEE 802.16	134Mbps/5Km	OFDM	10-66GHz	20,25,28MHz	Punto a punto multipunto con visibilidad directa
IEEE 802.16a	70Mbps/50Km	OFDM	2-11GHz	Flexible, desde 1.25MHz hasta 28MHz	Punto a punto multipunto, en malla y puede trabajar con y sin visibilidad directa
IEEE 802.16d	70Mbps/50Km	OFDM	10-66GHz y 2-11GHz	Flexible, desde 1.25MHz hasta 28MHz	Punto a punto multipunto, en malla y puede trabajar con y sin visibilidad directa
IEEE 802.16e	15Mbps/5Km	OFDMA	2-6GHz	Flexible, desde 1.25MHz hasta 20MHz	Extensión de la 802.16 para incluir sistemas móviles

Fuente : Rackley, S. (2007)

▪ La capa Física

La capa Física hace referencia a la frecuencia de trabajo y la modulación utilizada.

Para el caso de 802.16a se sabe que utiliza la banda de 2-11GHz que no requiere de visibilidad directa pues a esta frecuencia la atenuación no es tan grande como en el intervalo de 10-66GHz por lo que puede aprovechar el efecto de múltiples trayectorias de forma constructiva además de que incluye tecnología MIMO. Como la modulación OFDM ya fue explicada no se volverá a tratar. Solamente decir que se utiliza multiplex por división en tiempo (TDM) para la transmisión de datos desde la

estación base hasta el usuario donde a cada usuario le corresponde una trama de tiempo (TDMA). Para la comunicación *dúplex* se pueden utilizar dos frecuencia, una para la bajada y otra para la subida (con bajo aprovechamiento del espectro por ser simétrico) y para la comunicación *half-duplex* se utiliza una sola frecuencia con división en tiempo pudiendo ser la transferencia tanto simétrica como asimétrica (Wu, Leijia; Sandrasegaran, Kumbesan, 2008) (Rackley, 2007).

▪ **La capa MAC**

La capa MAC hace referencia al mecanismo por el cual se realiza el control de acceso al medio. En WiMAX el servicio es orientado a la conexión y todos los usuarios tienen acceso al medio lo que en distintos instantes de tiempo y se identifica por un identificador de 16 bits. En cada conexión se garantiza un ancho de banda que puede ser continuo o por demanda, el uso de una determinada modulación de sub portadora en dependencia de la calidad del enlace de radio y el ruteo y transporte de datos.

En el capítulo 12 de Rackley (Rackley, 2007) se observa que cuando un usuario se conecta a la red se establecen tres conexiones primarias:

1. **Conexión de Administración Básica:** se trata de información de temporización, potencia de transmisión, tipo de modulación entre otros (realiza el control del enlace de radio RLC *Radio Link Control*).
2. **Conexión de Administración Primaria:** mensaje sobre demora de transmisión de los datos y autenticación.
3. **Conexión de Administración Secundaria:** mensajes de administración estándar (DHCP, SNMP, RIP).

En la figura 2.10 se muestra la estructura de la trama MAC tanto para transmisión de datos como para administración (Rackley, 2007) (Chatterjee, Mainak; Sengupta, Shamik, 2008).

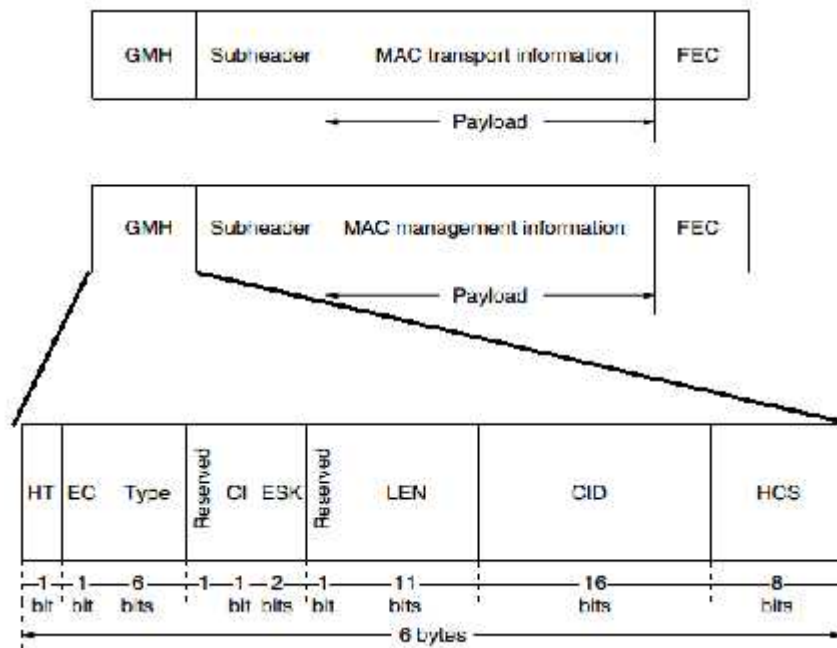


Figura 2. 10 Trama MAC para mensajes de datos (superior) y de administración (en el medio) así como el encabezado (abajo).

Fuente : Rackley, S. (2007)

El encabezado (GMH *Generic Frame Header*) es obligatorio, el segundo encabezado es opcional, el tamaño del sector de información es variable en dependencia de la duración de las ventanas de tiempo para la comunicación por lo que se puede necesitar fragmentar los datos. En el encabezado, HT (*Header Type*) indica si el encabezado es genérico (0) o secundario; EC (*Encryption Control*) indica si se realiza encriptación y ESK (*Encryption Sequence Key*); Type indica el tipo de información que transporta (si es de relleno, si está fragmentada o es de petición de retransmisión), CI (*CRC indicator*) indica la presencia de métodos de corrección de errores; LEN (*Length*) la cantidad de bytes de la trama; CID (*Connection Identifier*) indica a quién se le realiza la trasmisión, HCS (*Header Correction Sequence*) se utiliza como chequeo de redundancia cíclica para el encabezado. Los encabezados

secundarios se utilizan para información sobre el manejo de la red en la topología de malla y la cantidad de bits necesarios en el proceso de fragmentación y completamiento de la información en los casos en que es necesario.

Al establecerse una conexión el usuario envía una trama a la estación base que permite a esta calcular la distancia, las ventanas de tiempo y la potencia de transmisión necesarias, posteriormente se envía otro mensaje con los requerimientos de ancho de banda, frecuencia de trabajo y tasa de bits promedio y pico dependiendo de la aplicación que se desee (VoIP, video, etc.). El próximo paso es que la estación base envíe información sobre la distancia, las ventanas de tiempo de comunicación así como la potencia de transmisión inicial para establecer la comunicación con información de distancia y el tipo de encriptación. El último paso es establecer la comunicación con estos parámetros iniciales hasta tanto no se reciba información de retorno a partir de la cual se pueden modificar estos para mayor eficacia de la comunicación.

- **Equipamiento de red**

El equipamiento que lleva cualquiera de las posibles topologías de red es el siguiente:

- **Transmisores/receptores**

La elección del equipo de radio es básica para alcanzar la máxima área de cobertura. No solo se debe tener en cuenta la potencia de transmisión y la sensibilidad del receptor si no la calidad y la durabilidad del equipamiento. Desde el punto de vista del proveedor de servicio WiMAX se tienen dos opciones a instalar en la estación base (CENTER, 2014):

1. Sistema punto a punto: En este sistema basta utilizar una unidad interior (IDU) con conexión Ethernet y una unidad exterior (ODU) que convierte la

señal IP en inalámbrica y alimenta la antena de transmisión. La conexión entre la ODU y la IDU se realiza mediante cable UTP y a la antena por cable coaxial.

2. Sistema punto multipunto: Es este sistema la IDU es un rack que acoge a varias IDU individuales como las del punto 1 y se encarga de realizar la alimentación a los distintos ODU y estos a las antenas.

En el caso de los usuarios se trata de un equipamiento como el descrito en el punto 1 con la diferencia de que existe una variedad de equipos cuya diferencia radica en la tasa de bits que soporta.

➤ Antenas

Se puede utilizar cualquier antena siempre que cumpla con los parámetros de potencia e impedancia de los transmisores. Sin embargo la mejor opción es utilizar las antenas que traen los equipos de radio así como los cables coaxiales suministrados en un mismo módulo para lograr una compatibilidad perfecta. Las antenas pueden tener 60°, 120° o 360° de cobertura y pueden estar integradas con el transmisor o ser externa.

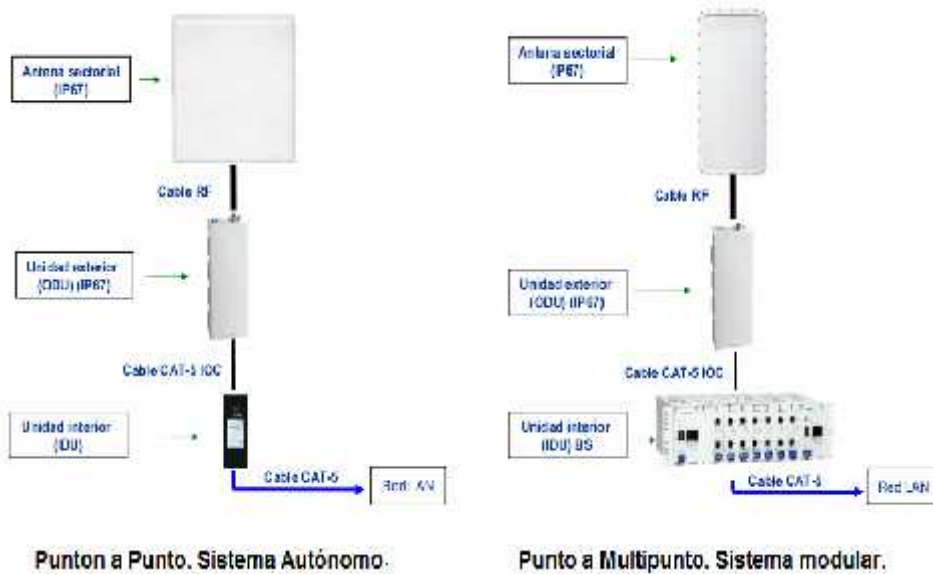


Figura 2. 11 Equipamiento de estación base.

Fuente: Alvarion. (2014, Marzo)



Figura 2. 12 Tipos de antenas.

Fuente: Alvarion. (2014, Marzo)

2.3 Redes WRAN, LMDS y MMDS

Estas redes tienen baja tasa de transmisión y en algunos casos (LMDS) no son rentables en zonas de baja densidad poblacional sin embargo, debido a su existencia, se realiza una breve explicación de sus características.

- **WRAN**

Es el acrónimo de (*Wireless Regional Area Network*) y constituye el estándar 802.22 de la IEEE aprobado en 2011. Trabaja en el rango de frecuencias de 54MHz-862MHz y se basa en el principio de radio cognitiva.

Como se puede observar, este intervalo de frecuencias corresponde a las de transmisiones de TV, su uso se basa en un estudio que plantea que este espectro esta subutilizado en la mayoría de los casos, ya que no se utilizan todos los canales a la vez y los que se utilizan no están ocupados todo el tiempo. La radio cognitiva permite, de forma dinámica, que el sistema detecte en un instante dado cuáles son los canales que no están en uso (sea por estaciones de TV o por otros usuarios como micrófonos inalámbricos) y decida cuál canal utilizar en cada momento específico. La radio cognitiva se basa en varios principios:

1. **Estudio del espectro.** El espectro se debe de analizar constantemente para determinar cuál es el mejor canal de los que están disponibles para establecer la comunicación.
2. **Autoconfiguración.** A partir del estudio del espectro el sistema se debe reconfigurar para utilizar el canal óptimo disponible. Esta reconfiguración también incluye ajustar el ancho del espectro, la modulación y la potencia en dependencia de la aplicación y la calidad de servicio requerida.
3. **Equidad de espectro.** Garantizar que todos los usuarios tengan acceso, según sus necesidades, a un reparto equitativo del espectro.

En la figura 2.13 se muestra la disponibilidad de canales a ser utilizados por la radio cognitiva. En la tabla 2.4 se muestra un resumen de las características del estándar.

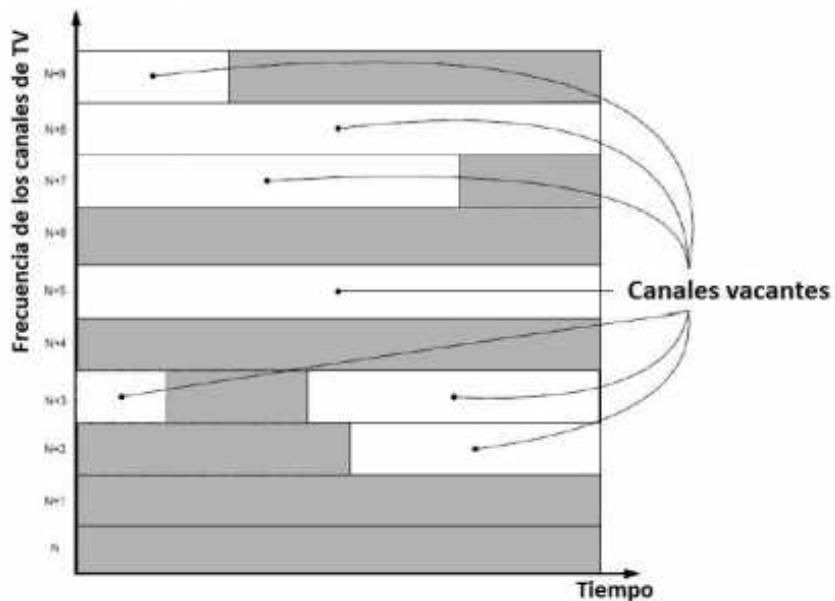


Figura 2. 13 Canales disponibles para utilizar en cada instante de tiempo.
 Fuente: Cordeiro, Carlos; Challapali, Kiran; Birru, Dagnachew; Shankar N, Sai. iee 802.22. (2006)

Tabla 2. 4 Tipos de antenas

Estándar	Velocidad de transmisión/tamaño de la célula	Modulación	Frecuencia de trabajo	Ancho de banda del canal	Topología de red
IEEE 802.22	19Mbps/30Km aunque presenta posibilidad de agrupar canales para aumentar la velocidad de transmisión	OFDMA	54 MHz-862 MHz bajo licencia	6 MHz	Punto a multipunto

Fuente: Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE)

- **La capa Física**

La capa Física hace referencia a la frecuencia de trabajo y la modulación utilizada que es mostrada en la tabla 2.4.

- **La capa MAC**

Esta capa se basa en la tecnología de radio cognitiva. Para la comunicación utiliza dos tramas encapsuladas, una llamada Super Trama (*Super Frame*) la cual está formada por el encapsulado de varias tramas. La estación base transmite por todos los canales disponibles el encabezado de la Super Trama, el cual es detectado por el terminal cliente en los canales que tenga disponible. A continuación el terminal cliente responde a la estación base y de esta forma se conoce cuáles son los canales disponibles para cada terminal cliente y se puede establecer la comunicación (Cordeiro, Carlos; Challapali, Kiran;. Birru, Dagnachew; Shankar N, Sai. iee 802.22, 2006)

En la figura 2.14 se muestra la estructura de la Super Trama donde se observa el preámbulo utilizado en la sincronización, el encabezado de control de la Super Trama (SCH) con información de los canales, número y tamaño de las tramas, períodos de silencio y potencia del transmisor (Cordeiro, Carlos; Challapali, Kiran;. Birru, Dagnachew; Shankar N, Sai. iee 802.22, 2006).

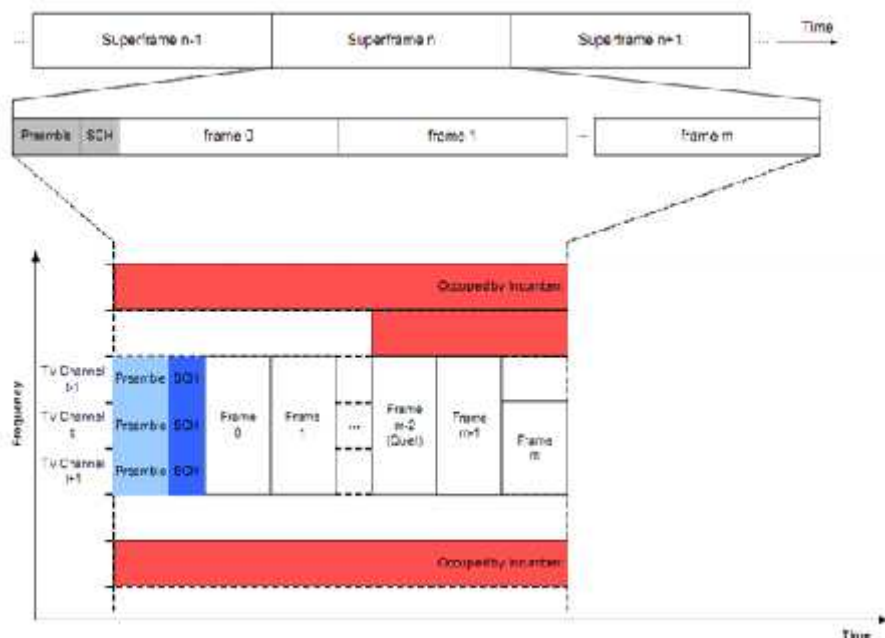


Figura 2. 14 Estructura de las trama MAC de WRAN.

Fuente: Cordeiro, Carlos; Challapali, Kiran;. Birru, Dagnachew; Shankar N, Sai. iee 802.22. (2006)

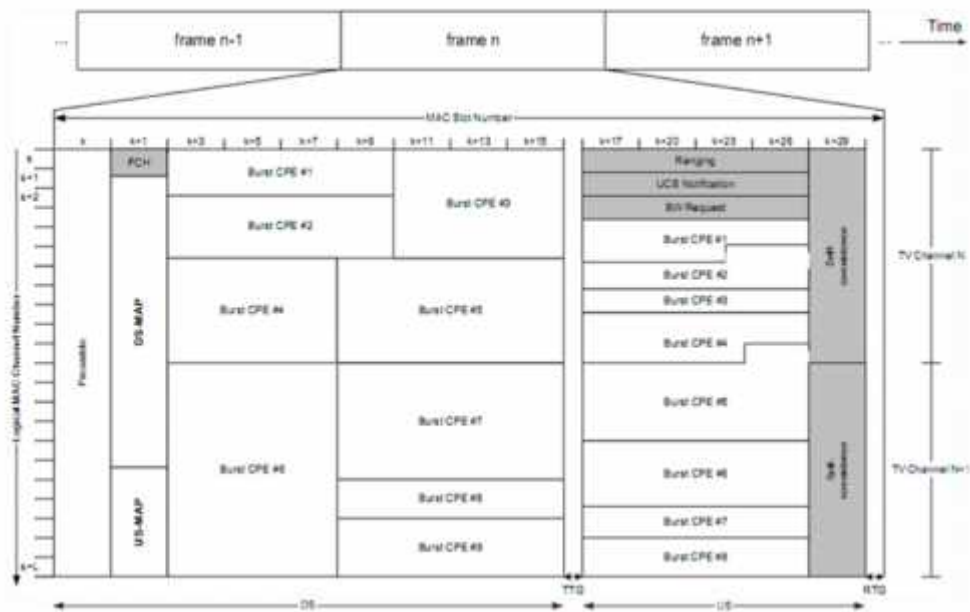


Figura 2. 15 Estructura de la trama MAC de WRAN

Fuente: Cordeiro, Carlos; Challapali, Kiran; Birru, Dagnachew; Shankar N, Sai. iee 802.22. (2006)

En la figura 2.15 se muestra la estructura de la trama que consta de dos subtramas, una para el enlace de bajada (DS-MAP) con información de la capa física y otro de subida (US-MAP) con información de sincronismo, ancho de banda y coexistencia con otros transmisores en el espectro (Cordeiro, Carlos; Challapali, Kiran; Birru, Dagnachew; Shankar N, Sai. iee 802.22, 2006).

Para la selección de los canales libres se realizan dos mediciones:

1. Medición en banda: es la medición del canal que se está utilizando en un momento dado entre la estación base y el terminal cliente.
2. Medición fuera de banda: es la medición de los canales que no están en uso por parte de la estación base y los terminales clientes.

Para realizar las mediciones de los canales, cada uno se explora durante 1ms. Si en este tiempo no se detecta uso por parte de algún otro usuario se pasa a estudiarlo por

25ms para garantizar que se encuentra verdaderamente libre. La exploración es realizada por la estación base y es ésta la que decide cuáles son los canales utilizables. Para garantizar la medición de los canales que se encuentran en uso por WRAN, se analiza una frecuencia específica dentro del canal, dicha frecuencia no se utiliza para la transmisión de datos entre la estación base y el terminal cliente (Cordeiro, Carlos; Challapali, Kiran;. Birru, Dagnachew; Shankar N, Sai. iee 802.22, 2006) (Shellhammer, 2008).

- **Equipamiento de red**

El equipamiento que lleva cualquiera de las posibles topologías de red es el siguiente:

- Transmisores/receptores

La potencia de transmisión es de las estaciones base es de 36dBm mientras que la sensibilidad debe ser de -107dBm para que sea capaz de detectar las emisiones de micrófonos inalámbricos que son los transmisores más débiles en el rango de frecuencia de operación.

- Antenas

Se requieren de antenas direccionales en las estaciones base. En los terminales de usuario pueden existir dos variantes: una con una sola antena direccional, y otra con una antena omnidireccional para la exploración y mediciones y una direccional para la comunicación con la estación base.

- **LMDS y MMDS**

La tecnología LMDS es el acrónimo de (*Local Multipoint Distribution System*) y constituye un estándar de la FCC de 1998. Se trata de un servicio de banda ancha donde la aplicación final depende del proveedor de servicio, puede ser desde internet hasta TV. Trabaja en la banda de 28GHz a 40GHz, la cual es sensible a la lluvia, niebla, etc. Por lo que se utiliza para distancias no mayores a 4 Km. Soporta cualquiera de las topologías de red ya descritas pero la más utilizada es punto a multipunto. Utiliza modulación QPSK y alcanza tasas de transmisión de hasta 8Mbps.

Las empresas proveedoras de servicio LMDS tienen la opción de ofrecer una variedad de servicios tales como acceso rápido a Internet, redes privadas de datos (incluyendo Intranets), telefonía y transporte troncal de datos, especialmente a medianas y grandes empresas pues el sector residencial ha sido ocupado por xDSL.

Uno de los obstáculos para el rápido desarrollo comercial de LMDS ha sido la carencia de estándares para interoperabilidad.

Tabla 2. 5 Características de la tecnología LMDS.

Velocidad de transmisión/tamaño de la célula	Modulación	Acceso al medio	Frecuencia de trabajo	Ancho de banda del canal	Topología de red
8Mbps/4Km	QPSK	TDMA	28-40GHz bajo licencia	6 MHz	Punto a multipunto

Fuente: Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE)

Los sistemas LMDS son sistemas de estructura celular. El radio de la célula y la topografía del terreno determinan el número de células necesario para la cobertura de una zona determinada. Para disminuir en lo posible la interferencia entre células adyacentes se utilizan técnicas de re-utilización de frecuencia similares a las utilizadas en telefonía celular.

Dentro de cada célula, el parámetro más crítico es la densidad de abonados, las velocidades de datos promedios y las estadísticas de tráfico para cada categoría de abonado. En zonas de alta densidad de abonados se divide la célula en sectores que van desde los 180° hasta los 30°, cada uno de los cuales puede verse desde el punto de vista del sistema como una célula independiente. El radio de la célula viene determinado fundamentalmente por el criterio de diseño adoptado para la disponibilidad del enlace, que se mueve entre 99.992 % y 99.999 %.

La tecnología MMDS es el acrónimo de (*Multichannel Multipoint Distribution System*) y es una versión para redes rurales de LMDS la cual no resulta rentable en áreas poco pobladas. Su principal uso en sus orígenes era para transmisiones de TV como alternativa a la TV por cable, en la actualidad puede ser utilizada como soporte para redes de datos. Trabaja en la banda de 2GHz a 3GHz, la cual no es sensible a la lluvia, niebla, etc; permite transmisión aún sin visibilidad directa y permite aumentar el área de cobertura (15Km generalmente aunque puede ser mayor) en comparación con LMDS. Una desventaja es su menor velocidad de transmisión (3Mbps). Puede trabajar con cualquier modulación entre BPSK, QPSK, hasta 64QAM.

Tabla 2. 6 Características de la tecnología MMDS

Velocidad de transmisión/tamaño de la célula	Modulación	Acceso al medio	Frecuencia de trabajo	Ancho de banda del canal	Topología de red
3Mbps/15Km	QPSK/BPSK /64QAM	TDM/FDM	2-3GHz	6 MHz	Punto a multipunto

Fuente: Breeze, A. (2014)

El equipamiento para ambas tecnologías es similar. En la estación cabecera se encuentran los equipos de generación y modulación de vídeo y/o el módem de cabecera, el sistema de gestión de red y la conexión a la red de datos o a Internet, está conectada por fibra o microondas a las estaciones base, donde se encuentra un transmisor multicanal y un receptor de conversión en bloque, generalmente conectados por medio de un duplexor a antenas omnidireccionales o sectoriales.

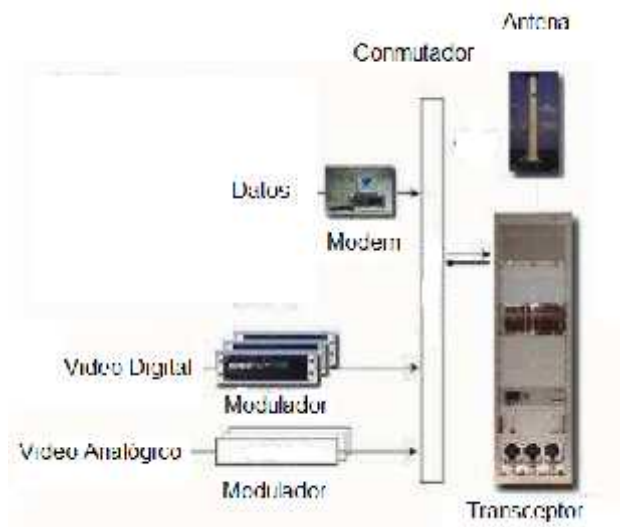


Figura 2. 16 Equipamiento de estación base.
Fuente: Breeze, A. (2014)

Los transmisores modernos son unidades de banda ancha que permiten multiplexar todas las portadoras (vídeo analógico, vídeo digital y datos) en una sola entrada. Las unidades de abonado consisten en una unidad exterior de RF integrada con una antena direccional. La unidad de RF consiste en un transmisor, integrado con el duplexor y un convertidor de bajada en bloque similar al LNB utilizado en la televisión por satélite. La unidad interior de abonado puede configurarse con un “set-top” analógico (si los canales analógicos vienen codificados), un “set-top” digital y/o un modem de datos con conexión directa (Ethernet) al ordenador o al LAN. En la figura 2.17 a) se muestra la unidad RF de LMDS y en la 2.17 b) la de MMDS. En la tabla 2.6 se muestran algunas características de un transmisor/receptor de MMDS de una estación base (Breeze, 2014).

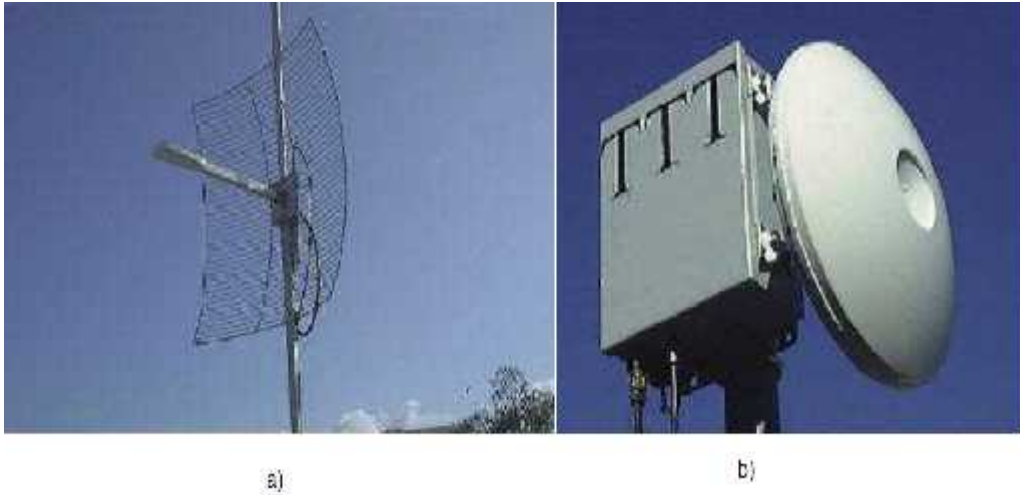


Figura 2. 17 Equipamiento externo de usuario para LMDS (a) y MMDS (b).
Fuente: Breeze, A. (2014)

Tabla 2. 7 Algunas características de un transmisor MMDS

Frecuencia	2.5 GHz-2.7 GHz
Acceso al medio	CDMA
Ancho de banda del canal	3MHz
Ganancia de antena y ancho del lóbulo principal	17dB, 20°
Potencia de transmisión	28dBm
Radio de la célula	15Km
Velocidad de transmisión	3Mbps como máximo
Modo de operación	TDM

Fuente: Breeze, A. (2014)

2.4 Características de los enlaces de radio

La banda de radiofrecuencias de 2GHz a 5GHz se corresponde con la banda de microondas y se caracteriza por la necesidad de visibilidad directa entre transmisor y receptor. Esto se debe a que a estas frecuencias las ondas se atenúan mucho por la presencia de edificios, árboles u otros obstáculos pues no son capaces de contornearlos.

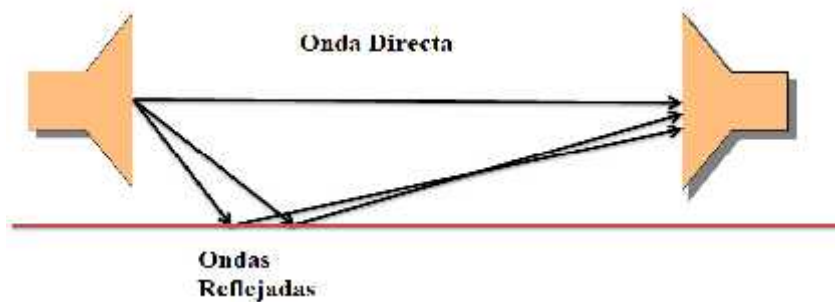


Figura 2. 18 Ondas directa y reflejada.
Fuente: Seybold, J. (2005)

La distancia máxima para la transmisión de una onda está determinada por la sensibilidad del receptor y la distancia de visibilidad directa. La primera se puede resolver utilizando transmisores más potentes y/o antenas de mayor ganancia. La segunda se puede resolver con la altura a la cual se encuentra la antena teniendo en cuenta la curvatura de la tierra. En la figura 2.19 se muestra este efecto de curvatura.

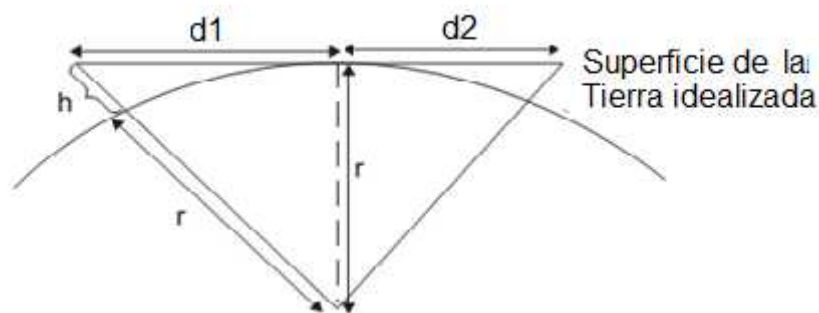


Figura 2. 19 Efecto de la curvatura de la tierra en la propagación de una onda directa.
Fuente: Seybold, J. (2005)

Se observa que se puede incrementar el alcance aumentando la altura a la cual se coloca la antena.

Aplicando el teorema de Pitágoras, teniendo en cuenta que r es el radio de la Tierra ($r=6371\text{Km}$) se tiene que la distancia d es (Seybold, 2005):

$$d(\text{millas}) = \sqrt{2h(\text{pies})} \quad (2.4)$$

O en el sistema internacional de unidades:

$$d(\text{Km}) = 2.885\sqrt{2h(\text{m})} \quad (2.5)$$

La distancia total sería la suma de d_1 y d_2 .

En la ecuación 2.5 solamente se tiene en cuenta la curvatura de la tierra y no los obstáculos que se encuentran sobre la superficie de esta. Para determinar la influencia de los obstáculos se utilizan las zonas de Fresnel. Estas no son más que elipses que envuelven el enlace y que tienen a las antenas de ambos puntos en sus focos. En la figura 2.20 se muestran las dos primeras zonas de Fresnel y la región que debe estar sin obstruir para que el enlace se considere abierto. Se muestra el área tanto por encima como por debajo de la línea de visibilidad directa, en la práctica se utiliza solo una de ellas. La altura h es la altura del objeto que interfiere el enlace, d_1 y d_2 son las distancias entre cada antena y el obstáculo.

El criterio que se utiliza es que debe estar libre, por lo menos, el 60% de la primera zona; o sea que la división de h con el radio de la primera zona debe ser mayor o igual a 0.6 (Seybold, 2005). Se tiene el convenio de que la altura h se toma negativa si sobrepasa la altura de la línea de visibilidad directa y negativa si se encuentra por debajo. El criterio de forma matemática es:

$$-0.6 \leq \frac{h}{r_1} \leq 0.6 \quad (2.6)$$

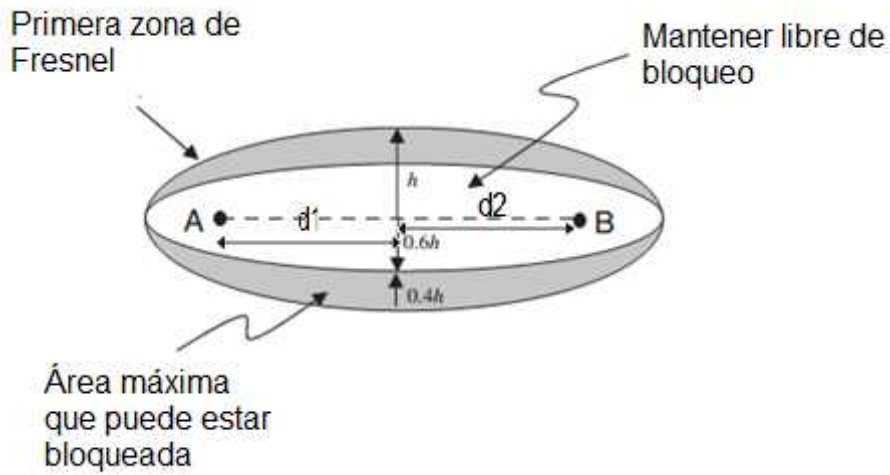


Figura 2. 20 Zona de Fresnel y el área de la primera zona que tiene que estar libre de obstrucción

Fuente: Seybold, J. (2005)

El radio de una zona de Fresnel se calcula por:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.7)$$

Donde $n=1$ para la primera zona y λ es la longitud de onda. Este valor se debe sumar al valor de la curvatura de la Tierra en el punto de obstrucción.

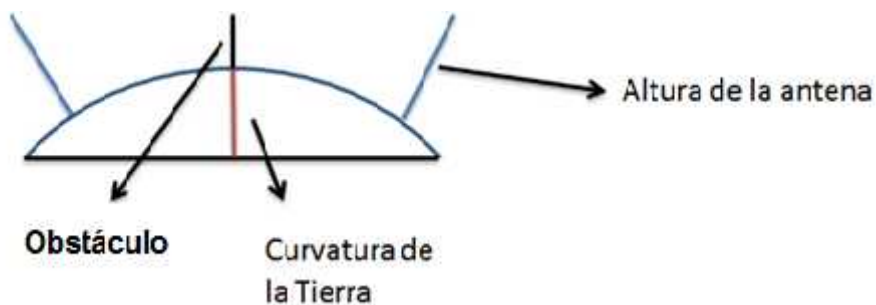


Figura 2. 21 Influencia de la curvatura de la Tierra y el radio de la 1^a zona de Fresnel en la altura de las antenas.

Fuente: Seybold, J. (2005)

Dicha curvatura se calcula por:

$$h(m) = \frac{d_1 d_2}{2R} \quad (2.8)$$

Donde:

d_1, d_2 Distancias entre las antenas y el obstáculo en metros

R Radio de la Tierra en metros

Otro aspecto a tener en cuenta es el efecto de la curvatura del rayo electromagnético sobre el obstáculo que no se tratará en profundidad pues depende mucho de las condiciones atmosféricas y de la altitud a la cual se trabaja el enlace. De esta forma se puede resumir que para determinar la altura de las antenas para lograr un enlace a una distancia dada se debe:

1. Calcular la curvatura de la tierra a la distancia del obstáculo.
2. Calcular el radio de la zona de la primera zona de Fresnel (con un criterio de apertura de 0.6 a 1).
3. Sumar los resultados. Este resultado final es la altura a la cual se deben emplazar las antenas.

Una vez que se tiene la altura de las antenas es necesario determinar los parámetros del transmisor y de la antena. Esto se realiza mediante el cálculo del margen del enlace (*link margin*) según Seybold (2005) Con esta expresión se puede determinar la ganancia de antena, tanto en el transmisor como en el receptor o en ambos, o la potencia del transmisor para alcanzar determinado umbral de señal que satisfaga las condiciones de sensibilidad del receptor.

$$\text{margen de enlace} = \text{EIRP} - L_{\text{enlace}} + G_{\text{RX}} - S_{\text{RX}} \quad (2.9)$$

Donde:

EIRP: es la potencia isotrópica efectiva radiada por la antena en dBm. Se deben tener en cuenta las pérdidas de las líneas de transmisión entre el transmisor y la antena.

L_{enlace} : es la pérdida total del enlace en dB. La primera causa es la dispersión de la energía radiada, pero incluye también las pérdidas atmosféricas, por reflexión, ruido, interferencias, etc.

G_{RX} es la ganancia del receptor en dB. Es la ganancia de la antena menos las pérdidas por causa de líneas de transmisión, ruido, cambios de polarización, etc.

S_{RX} : es la sensibilidad del receptor en dBm.

Las pérdidas del enlace provocadas solamente por la dispersión de las ondas se puede calcular por:

$$L = G_T G_R (\lambda / 4\pi d)^2 \quad (2.10)$$

Donde:

G_T es la ganancia de la antena transmisora en dB.

G_R es la ganancia de la antena receptora en dB

λ es la longitud de onda de la frecuencia de trabajo del enlace.

d es la distancia del enlace.

Sin duda el cálculo de un enlace de radio es una tarea compleja, felizmente hoy existen programas de diseño asistido por computadora que permiten realizar estos cálculos. Uno de ellos es el RadioMobile que tiene la ventaja de ser preciso, gratuito y de utilizar una base de datos de mapas donde se tiene en cuenta el perfil topográfico del suelo. Entre sus principales características se encuentran:

- Uso del modelo Longley-Rice del Instituto de Ciencias y Telecomunicaciones para enlaces entre 1Km y 1200Km en terreno irregular y en las bandas entre 20MHz y 40GHz.
- Incluye pérdidas atmosféricas y por absorción de agua, así como el análisis de zonas de Fresnel.
- Uso de una base de datos de perfiles tomadas vía satélite (SRTM) que se considera la más exacta del mundo hasta la fecha.
- Permite definir las características del enlace y a partir de estas y la localización geográfica de los puntos de transmisión/recepción se puede validar la calidad del enlace.

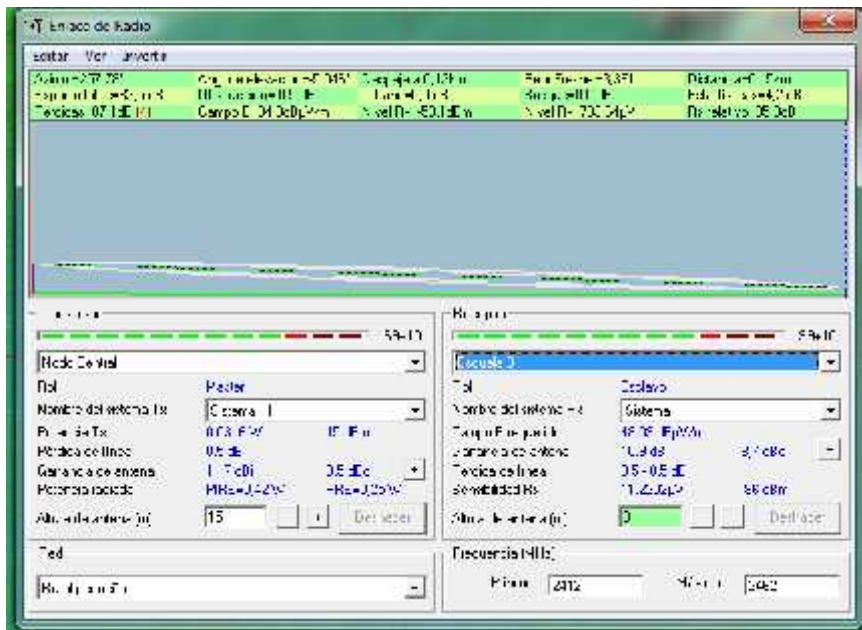


Figura 2. 22 Perfil de un enlace calculado con el RadioMobile
Fuente: Imagen obtenida del programa RadioMobile

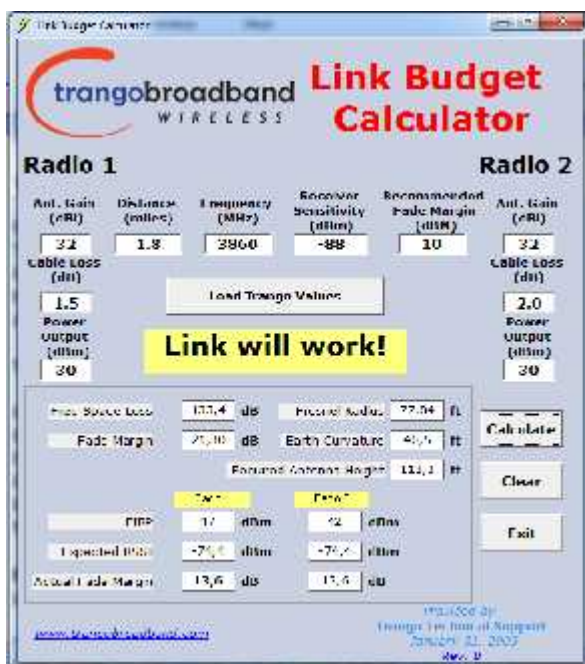


Figura 2. 23 Cálculo de un enlace con el Link Budget Calculator
Fuente: Imagen en línea obtenida del programa Link Budget Calculator

Otro programa de utilidad es *Link Budget Calculator* (www.trangobroadband.com, 2009) que permite calcular el margen de enlace a partir de los datos descritos en la

ecuación 2.9. En la figura 2.22 se muestra el perfil de un enlace calculado con el RadioMobile y en la 2.23 se muestra al *Link Budget Calculator*

CAPÍTULO III. LEVANTAMIENTO TOPOLÓGICO DEL TERRENO

En este capítulo se describen las características de las regiones donde se pretende implementar las redes de datos. Para ello se pueden utilizar imágenes satelitales, planos topográficos o bases de datos de relieve. Se utiliza el programa Google Earth debido a la gran nitidez que presentan sus imágenes satelitales, a que es gratuito y además a que permite determinar las coordenadas geográficas de la región bajo observación. Para la información de relieve se puede utilizar las bases de datos del programa RadioMobile.

3.1 Levantamiento topológico de una región urbana rural pequeña

Se considera en este trabajo una región urbana rural pequeña, aquella población rural, que en su extensión territorial no sobrepasa los 2 km de longitud desde su centro geográfico hasta su extremo más alejado y que se encuentra en una zona rural. Un ejemplo se muestra en la figura 3.1.

Una vez que se tiene ubicada la zona de interés se hace necesario seleccionar los puntos a los cuales se desea proveer el servicio de internet. Los criterios para seleccionar dichos puntos son variados. De forma general el criterio más extendido en la actualidad en las redes públicas municipales es el proveer el servicio en parques y áreas públicas pertenecientes al gobierno municipal. Este es el criterio que se toma en este trabajo incluyendo además, escuelas y centros de salud públicos. Una vez seleccionados se pasa a ubicar estos en el mapa y se miden las distancias entre el nodo central (donde se tiene la cabecera de la red) y los distintos puntos como se muestra en la figura 3.2 prestando atención a la extensión territorial, las alturas dominantes, la localización de los sitios en los cuales se pretende dar servicio entre otras.



Figura 3. 1 Región urbana pequeña.
Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth



Figura 3. 2 Ubicación de los puntos de servicio de internet y sus distancias al nodo central
Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth

En la figura 3.2 se observa que se trata de un relieve bastante plano y algunas líneas de visión que se pueden encontrar obstruidas por árboles por lo que en el nodo central, el nodo Escuela, el nodo Escuela 2 y el nodo Área Deportiva deben tener antenas elevadas.

El próximo paso es tomar detalles de las zonas que se encuentran al aire libre como los parques y el área deportiva, para poder ver, en los primeros, su extensión y en el segundo su extensión y arquitectura. Esto se muestra en las figuras 3.3 y 3.4.



Figura 3. 3 Detalle de Área Deportiva.
Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth

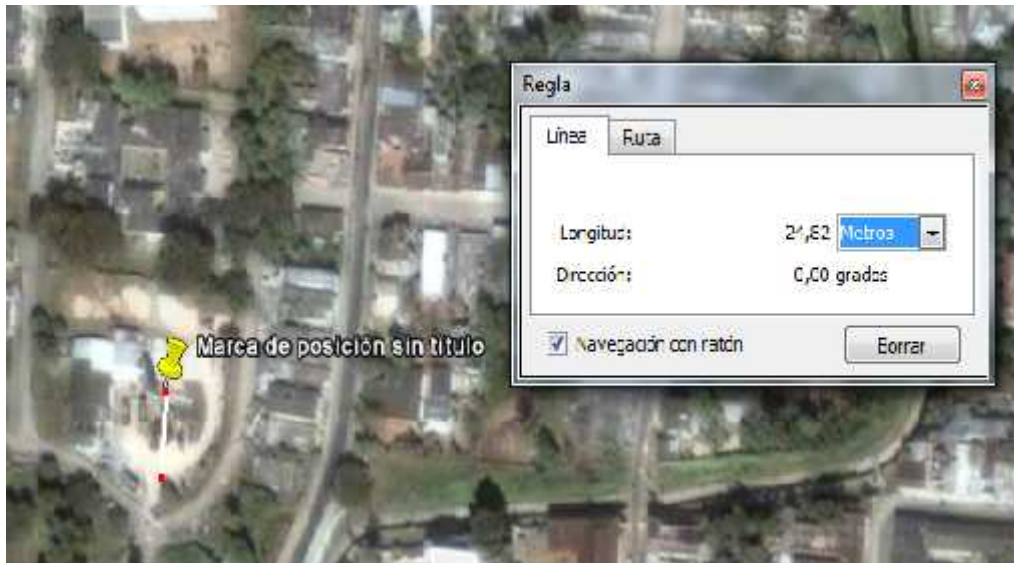


Figura 3. 4 Detalle de Parque.
Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth

De estos detalles se puede observar que la zona del parque no presenta problemas en cuanto a tamaño o distancia para enlaces de radio con equipamiento estándar como el descrito en el capítulo I, pero en el caso del Área Deportiva las distancias son un poco grandes y existen zonas cerradas donde se tiene atenuación de las ondas de radio.

3.2 Levantamiento topológico de una región rural extensa

Se considera en este trabajo una región rural extensa, aquella región rural, con escasa infraestructura que cubre un área de cerca de 10km de diámetro. Esta región puede tener varias áreas urbanas o centros de producción o de recreo como fincas o una combinación de estas. Un ejemplo es el que se muestra en la figura 3.5.

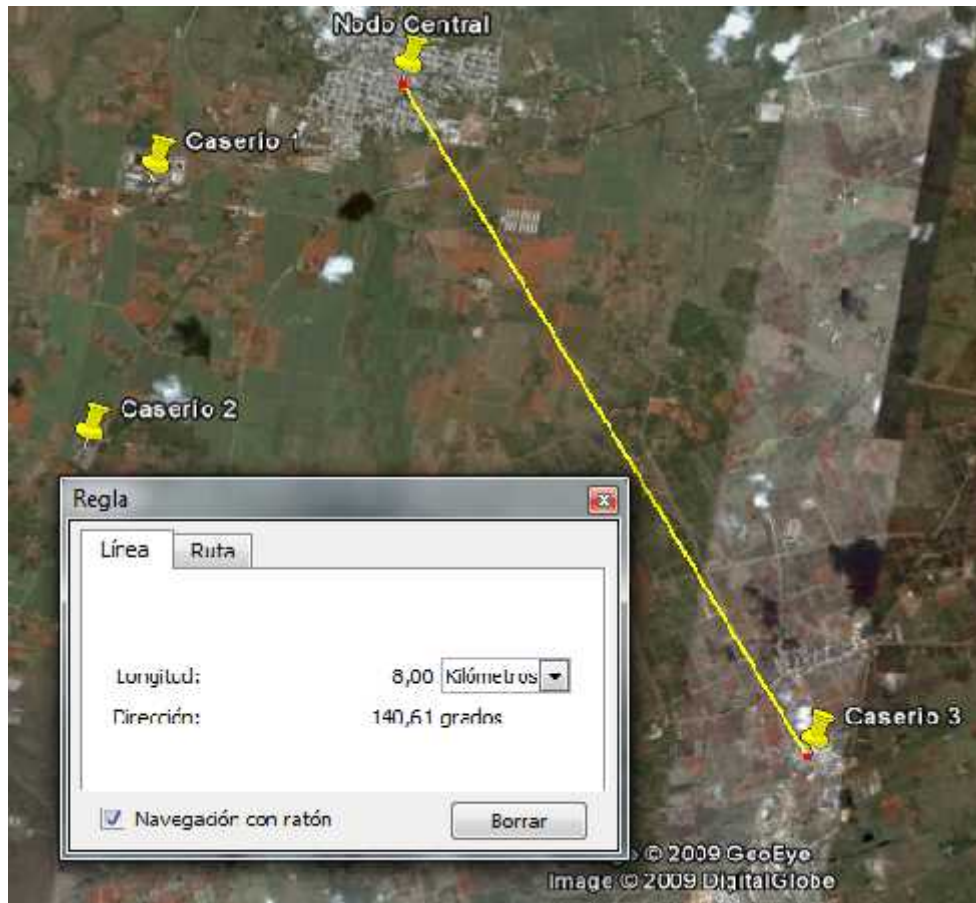


Figura 3. 5 Zona rural extensa con varios poblados en ella.
 Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth

Una vez que se tiene ubicada la zona de interés se hace necesario conocer las distancias desde el centro urbano de mayor importancia hasta los otros y a su vez entre cada uno de estos como se muestra en las figuras 3.6 y 3.7. Estas medidas permiten poder decidir la topología de red que se utilizará en dependencia de las distancias más cortas y de la visibilidad entre los poblados así como la altitud de estos.



Figura 3. 6 Distancias entre los caseríos y el poblado principal.
 Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth



Figura 3. 7 Distancia entre caseríos.
 Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth

3.3 Metodología para la implementación de una red de datos en entornos rurales.

Aquí se describen dos metodologías para la implementación de un sistema de banda ancha público. El primero es en el entorno de pequeñas ciudades rurales y se utiliza Wi-Fi. El segundo es para regiones rurales extensas utilizando una estructura mixta de WiMAX y Wi-Fi.

3.3.1 Implementación de la red inalámbrica en áreas urbanas rurales.

Teniendo en cuenta la pequeña extensión del área rural urbana y buscando una elevada velocidad de transmisión, y simplicidad del equipamiento, se puede observar que de las tecnologías descritas en el capítulo I la que ofrece las mejores prestaciones es Wi-Fi debido a la presencia en el mercado de equipamiento que permite alcanzar distancias de hasta 5km con antenas muy direccionales y velocidades de hasta 300Mbps. La metodología que se propone se basa en los siguientes pasos:

1. Selección de los puntos a los cuales se proveerá de servicio de Internet.
2. Determinar la calidad de servicio para cada punto.
3. Proyectar las redes locales.
4. Calcular el enlace de radio.

El punto 1 ya fue definido en el capítulo II por lo que a continuación se describen cada uno de los pasos siguientes.

3.3.1.1 Calidad de servicio para cada punto

En la calidad de servicio influye mucho el tipo de servicio que se ofrece. Los servicios más comunes hoy en día son voz sobre IP, acceso a redes sociales, correo electrónico, acceso a *youtube* y navegación de páginas web. En el caso de voz IP se

considera que el ancho de banda mínimo que se requiere es de 200Kbps (Rackley, 2007), para el acceso a *youtube* basta con la velocidad de datos práctica de HSPA de 3.6Mbps (sin embargo con el formato FLV que utiliza la codificación H.263 teóricamente se requieren solamente 64Kbps), por lo que esta velocidad de 3.6Mbps puede ser considerada la velocidad de transmisión a garantizar para un usuario de la red y para lograrla se recomienda utilizar entre el nodo central y los puntos de acceso puentes que soporten el estándar 802.11n que alcanza hasta 300Mbps. Es necesario conocer la cantidad de usuarios en cada sector pues para lograr una calidad de servicio homogénea en cada área se deben repartir los usuarios de forma equitativa, esto puede llevar al uso de antenas de distinto patrón de radiación (incluso pudiese ser un solo puente con una antena omnidireccional) y al uso de más de tres puentes que es el caso que se considera.

En la figura 3.8 se muestra una topología de red punto a multipunto donde el nodo central utiliza antenas con patrones de 120°. Basados en esta distribución, si cada transmisor del nodo central tiene una velocidad de transmisión de 300Mbps, para una velocidad mínima de 3.6Mbps por usuario se pueden conectar simultáneamente 83 usuarios sea con terminales que soporten 802.11b/g/n.

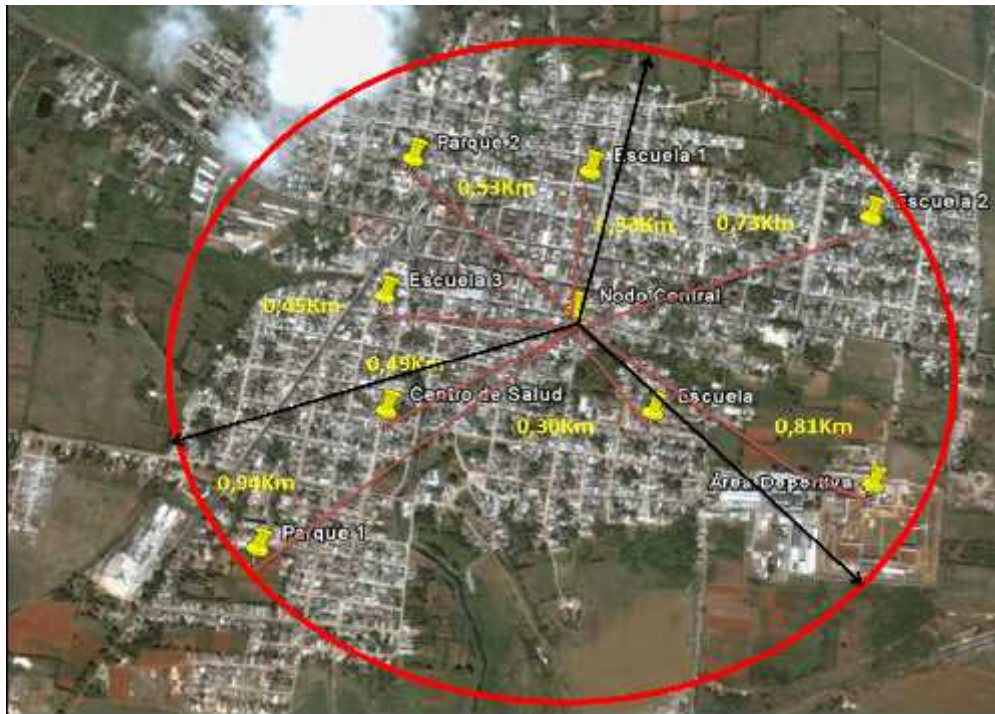


Figura 3. 8 Topología punto-multipunto con antenas sectoriales de 120°.
 Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth

3.3.1.2 Proyecto de las redes locales

En la red punto a multipunto, en cada nodo se debe colocar un puente del mismo tipo que el colocado en el nodo central para garantizar la comunicación. La situación varía en cada red local pues para conectar a las estaciones de trabajo pueden ser puntos de acceso del tipo 802.11b/g/n (como sería obligatorio en los parques y en el centro deportivo) mientras que en las escuelas y el centro de salud se puede implementar de tres formas:

1. Totalmente inalámbrico. Cada estación de trabajo se conecta de forma inalámbrica, pueden ser PC de escritorio, laptops, tablets o teléfonos celulares.

2. Totalmente cableado. Cada estación de trabajo se debe conectar por un puerto Ethernet con conector RJ-45. Limita las estaciones a PC de escritorio y laptops.
3. Mixto. Que sería la más flexible pues permite crear laboratorios mediante una red cableada y con puntos de acceso 802.11b/g permite acceso a otros usuarios (profesores en sus gabinetes, alumnos que estudian pero no pueden acceder al laboratorio de computadoras por encontrarse ocupado, pacientes o acompañantes de estos que acceden a servicio de correo electrónico). Esta topología se muestra en la figura 3.9.

No se entra en detalles de cómo estructurar la red a nivel de estaciones de trabajo pues es una tarea suficientemente documentada.

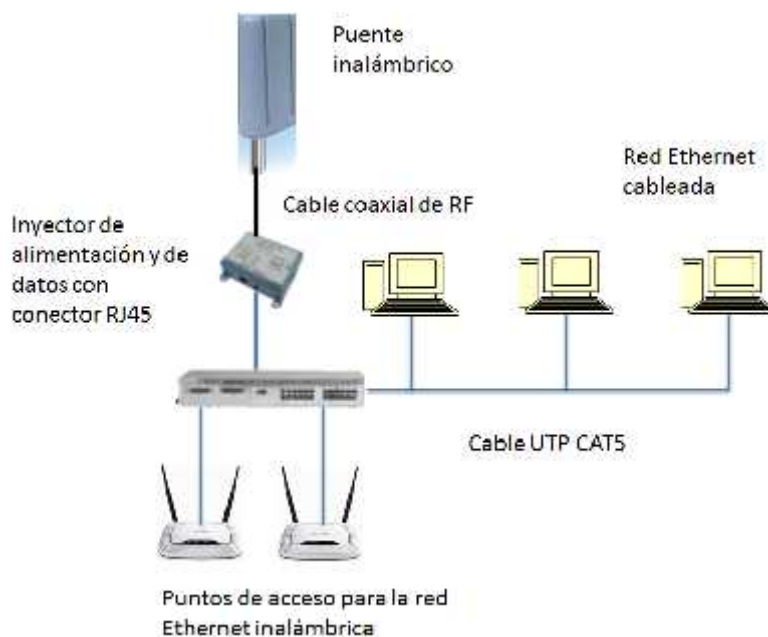


Figura 3. 9 Estructura de una red mixta.

Fuente : Rackley, S. (2007)

▪ **Área Deportiva**

El área deportiva, como se observa en la figura 3.10 es complicada de cubrir por lo disperso de sus edificaciones y por la necesidad de evitar la interferencia entre puntos de acceso lo que lleva a un deterioro de la señal. En este caso el problema se puede dividir en dos soluciones teniendo en cuenta:

1. Localizar tres torres con puentes 802.11n que establecen el enlace con el nodo central.
2. En las torres Norte y Sur, proveer la mayor cobertura posible mediante antenas omnidireccionales externas conectadas a puntos de acceso que se encuentren bajo techo para protegerlos de la intemperie. Se puede utilizar el punto de acceso TL-WR842ND sustituyendo su antena de 5dB por una de 8dB. Las características de ambos se encuentran en los anexos 1 y 2.
3. Para las edificaciones de la zona Oeste utilizar un *router* ya que la distancia entre edificios es pequeña y se puede llevar un cable UTP para exteriores del *router* a cada edificio y en cada uno colocar un punto de acceso modelo TL-WR720N. Las especificaciones se muestran en el anexo 3. Esta estructura se muestra en la figura 3.10.

▪ **Parques**

En el caso de los parques pequeños como el de la figura 3.11 la solución es simple. Basta utilizar un punto de acceso TL-WR842ND sustituyendo su antena de 5dB por una de 8dB.

3.3.1.3 Calcular el enlace de radio

Para calcular el enlace de radio se utiliza el programa RadioMobile, introduciendo las coordenadas de cada estación que se buscan previamente en el Google Earth.



Figura 3. 10 Solución para el área deportiva
Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth



Figura 3. 11 un parque pequeño basta con un solo punto de acceso y una antena externa de mayor ganancia.

Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth

Se toma como equipamiento de radio al Linkys RE6500 que es un puente Wi-Fi con la posibilidad de colocar antenas externas desmontables ASU-24005g de ALCON que puede ser configurado como puente con una antena direccional de 12dB y una sensibilidad de -86dBm. Se toma como potencia de transmisión 15dBm para la zona Este y 10dBm para la zona Oeste teniendo en cuenta que puede ser elegida en el programa de configuración.

Como altura de la antena del nodo central se toma 10m teniendo en cuenta la presencia de árboles. En las siguientes figuras se muestran el patrón de radiación de la antena, las propiedades de las redes, y la calidad de los enlaces. Del cálculo del enlace se observa que con dos equipos en el Nodo Central es suficiente y no se requieren los 3 que se pensaron inicialmente.

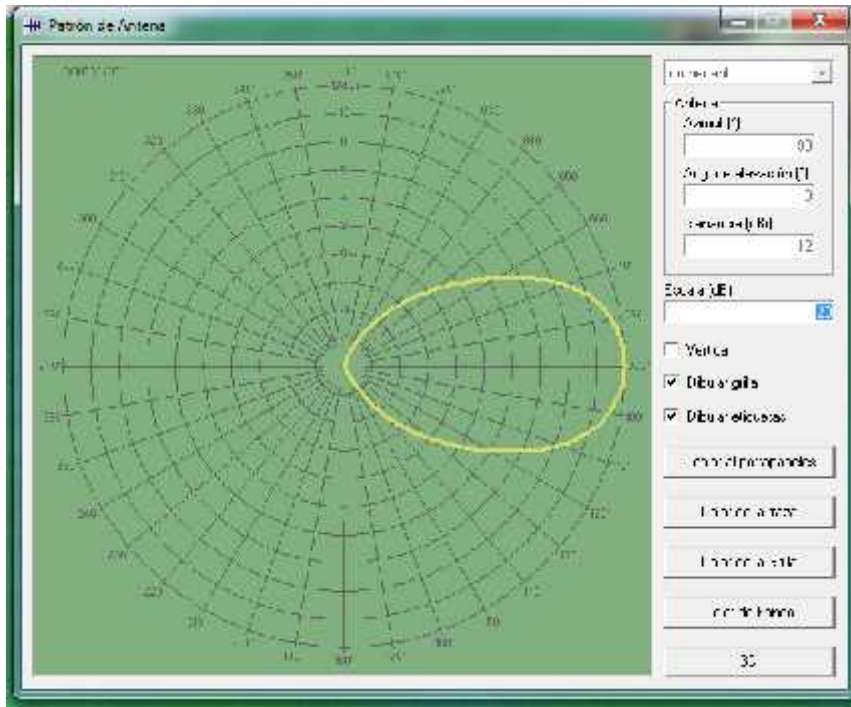


Figura 3. 12 Patrón de radiación de la antena. Se elige la corner porque es la que más se asemeja a una antena sectorial.

Fuente: Imagen obtenida del programa RadioMobile

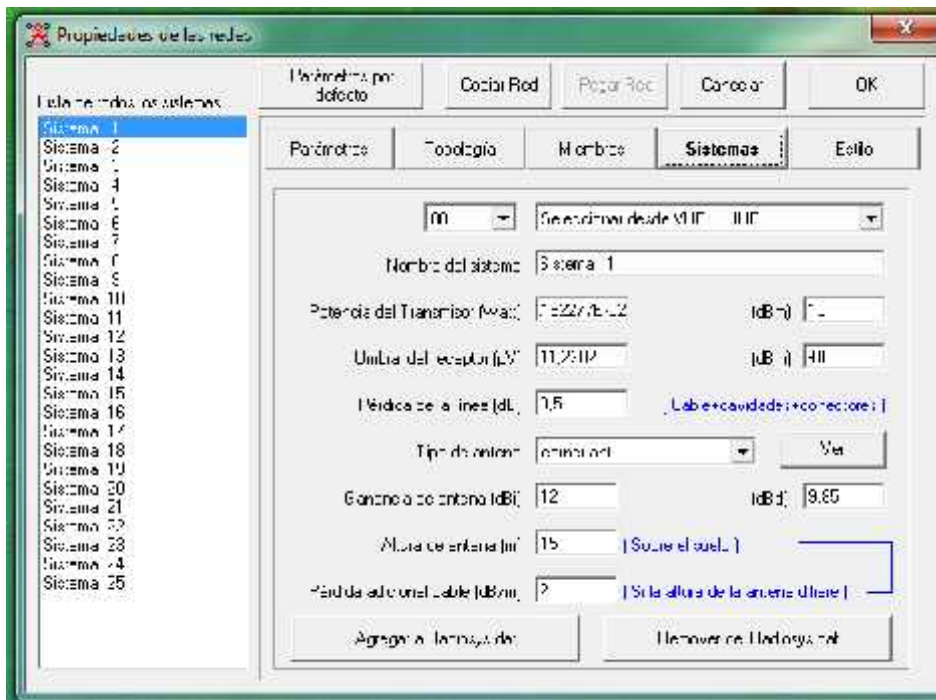


Figura 3. 13 Características de la red Este.

Fuente: Imagen obtenida del programa RadioMobile



Figura 3. 14 Calidad de los enlaces de la red Este.
Fuente: Imagen obtenida del programa RadioMobile

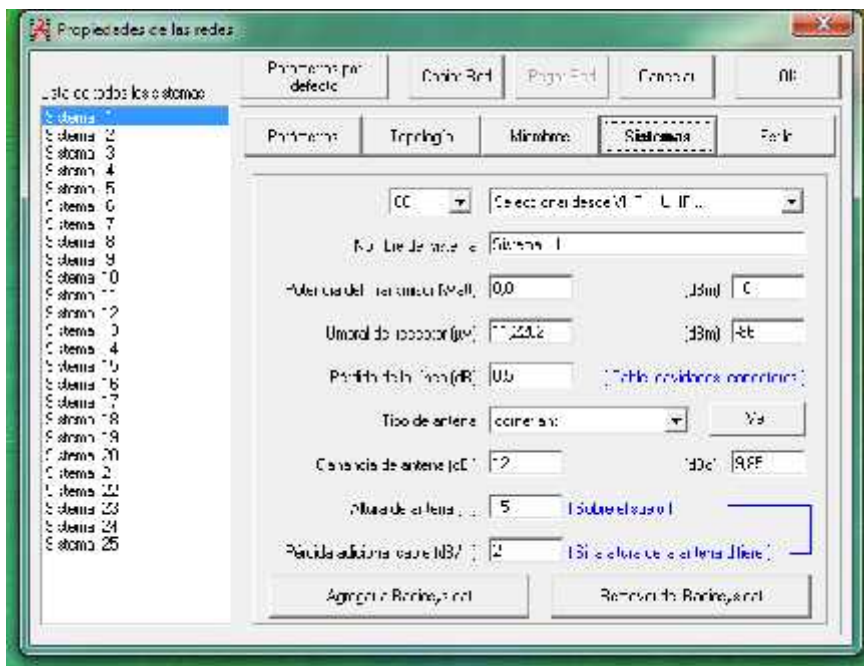


Figura 3. 15 Características de la red Oeste.
Fuente: Imagen obtenida del programa RadioMobile



Figura 3. 16 Calidad de los enlaces de la red Oeste.

Fuente: Imagen obtenida del programa RadioMobile

En la tabla 3.1 se muestra la altura de las antenas en cada punto.

Tabla 3. 1 Altura de las antenas.

Altura de la antena (m)	Unidad de radio
5	Área Deportiva
5	Torre 2
5	Torre 1
8	Escuela
3	Parque 1
3	Centro Salud
3	Escuela 3
10	Nodo Central
3	Escuela 2
3	Escuela 1
2.5	Parque 2

Diseño: El autor

Como canales de frecuencia para la red Este se puede utilizar el canal 1 (2.4112 GHz) y para la red Oeste el canal 11 (2.4576 GHz). En los puntos de acceso locales se puede utilizar el canal 6 (2.457GHz) y de esta forma se disminuye la interferencia.

3.3.2 Implementación de la red inalámbrica en áreas rurales extensas.

Teniendo en cuenta la extensión del área rural y buscando una elevada velocidad de transmisión, se puede elegir entre dos tecnologías: WiMAX y WRAN. En la actualidad es difícil decidir por una en específico pues si bien la primera no ha tenido el inmenso impacto esperado al surgir sí se encuentra en uso hace algún tiempo con equipos probados sobre el campo y existe suficiente documentación de su empleo en zonas rurales (Chatterjee, Mainak; Sengupta, Shamik, 2008) (Santhi, K. R.; Kumaran, G. Senthil; Butare, Albert, 2008). Es por estas dos causas que se elige WiMAX sobre WRAN.

La concepción de la red sería el uso de redes WiMAX a nivel proveedor de conectividad, apoyados por redes Wi-Fi como las descritas en el tópico anterior para las áreas pequeñas.

La metodología que se propone se basa en los siguientes pasos:

1. Selección de la topología de red.
2. Selección del equipamiento.
3. Calcular el enlace de radio.

A continuación se describen cada uno de estos pasos.

3.3.2.1 Selección de la topología de red.

Entre las topologías de redes que se pueden elegir, se encuentra una red punto-multipunto o una red punto a punto y luego punto a multipunto. Estas posibilidades se muestran en las figuras 3.17 y 3.18. En el primer caso se requiere de dos transceptores en el nodo central con una antena cada uno y una antena y un transceptor en cada nodo secundario; mientras que en la segunda opción se requiere un transceptor en cada nodo de conexión punto a punto con una antena altamente direccional en cada uno y un transceptor en cada nodo de la conexión punto a multipunto con una antena de 60° cada uno. Se observa que en la segunda opción se requiere de un transmisor de más por lo que es preferible implementar la primera opción por razones de costo y de homogeneidad del equipamiento.

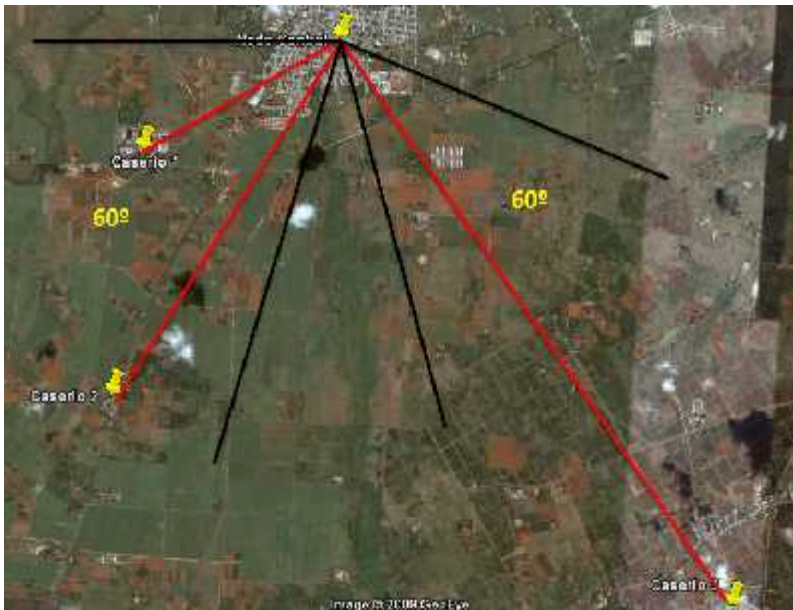


Figura 3. 17 Topología punto multipunto con antenas sectoriales de 60° .

Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth



Figura 3. 18 Topología punto a punto y punto multipunto.
Fuente: Imágenes tomadas de Google Earth

Existe equipamiento WiMAX de topología punto a multipunto que permite establecer enlaces de hasta 50Km con una velocidad de transmisión de hasta 54Mbps por lo que las distancias no constituyen un problema, además de que el terreno es plano por lo que no existen obstrucciones en la línea de visión.

3.3.2.2 Selección del equipamiento.

Para el equipamiento de las estaciones base se elige el sistema modular BreezeACCESS VL IP67 de Alvarion que trabaja a 5.4GHz, está diseñado para trabajo en exteriores, soporta hasta 6 enlaces con antenas sectoriales de distintos patrones de radiación, soporta velocidades de hasta 54Mbps y todo se suministra en un solo módulo. En la figura 3.19 se muestra este sistema (CENTER, 2014). Para la estaciones de usuario se recomienda el sistema BreezeACCESS SU-54-BD con antena externa que soporta hasta 54Mbps también de Alvarion. Este sistema se muestra en la figura 3.20. La torre de antenas de la estación base se puede construir o alquilar una ya existente.

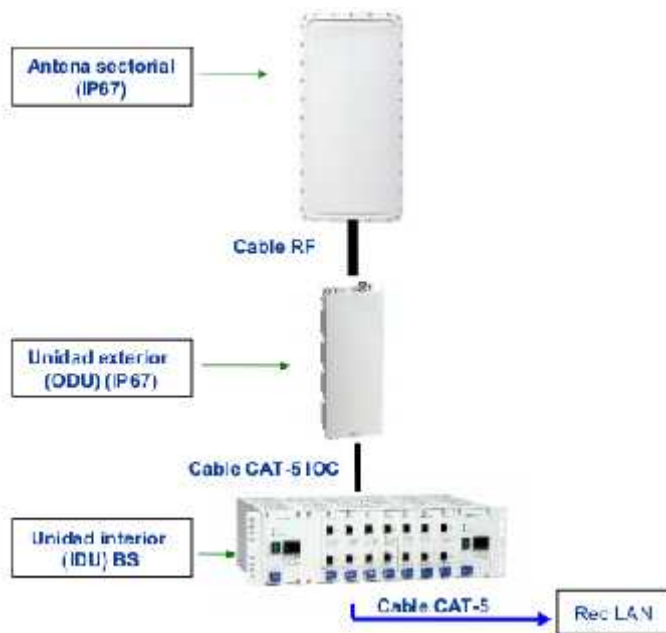


Figura 3. 19 Equipamiento propuesto para la estación base.
Fuente: (Wu, Leijia; Sandrasegaran, Kumbesan, 2008)



Figura 3. 20 Equipamiento propuesto para la estación de usuario.
Fuente: (Wu, Leijia; Sandrasegaran, Kumbesan, 2008)

Este equipamiento cuenta con una antena direccional de 90° con una ganancia de 17dB, con una potencia de salida ajustable en pasos de 1dBm en el terminal de antena del AU o del SU entre -10dBm y 21dBm. La sensibilidad varía con el esquema de modulación estando entre -71dBm y -89dBm (Alvarion, 2014)

3.3.2.3 Calcular el enlace de radio.

Para calcular el enlace de radio se utiliza el programa RadioMobile, introduciendo las coordenadas de cada estación que se buscan previamente en el Google Earth.

Se toma como características del equipamiento antenas de 90° con ganancia de 17dB, sensibilidad del receptor de -71dBm y potencia de transmisión de 20dBm. En las figuras 3.21, 3.22 y 3.23 se muestran las configuraciones y los resultados.

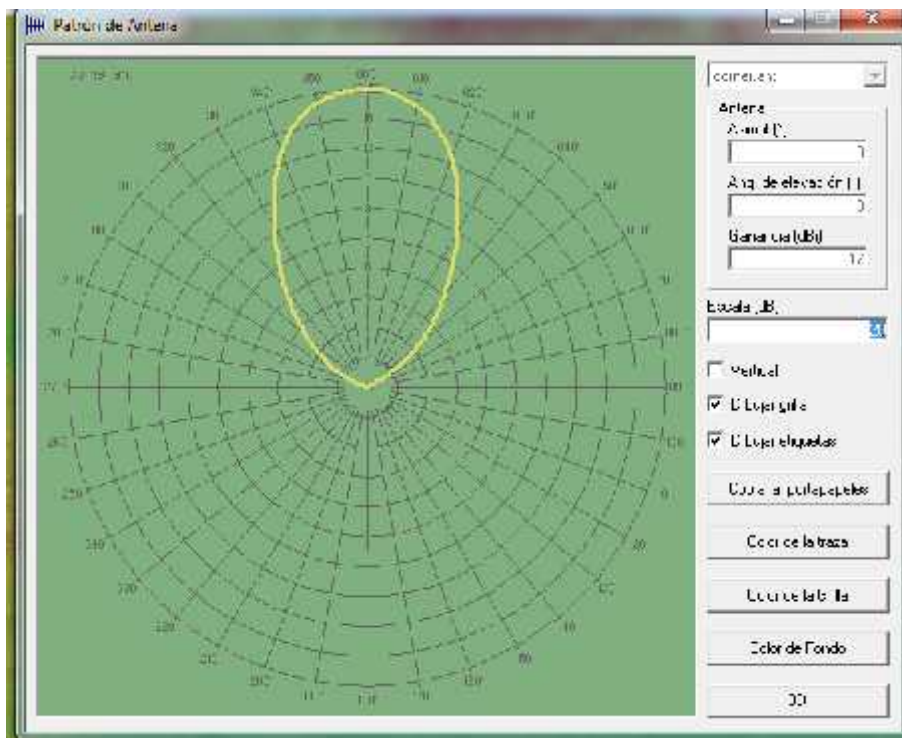


Figura 3. 21 Patrón de radiación de la antena. Se elige la corner porque es la que más se asemeja aunque el ancho del lóbulo es un poco más estrecho.

Fuente: Imagen obtenida del programa RadioMobile

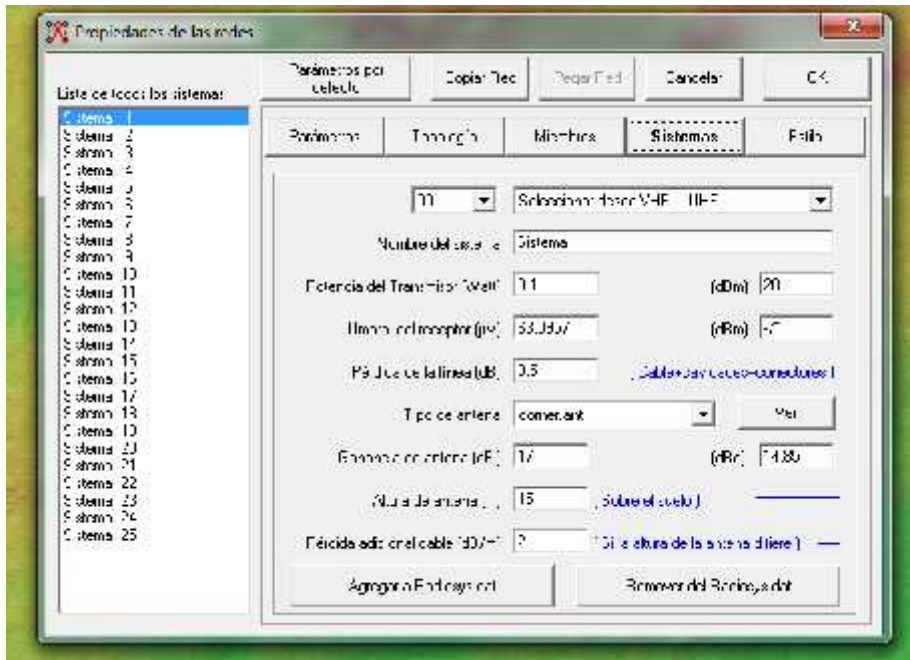


Figura 3. 22 Características de la red.
Fuente: Imagen obtenida del programa RadioMobile

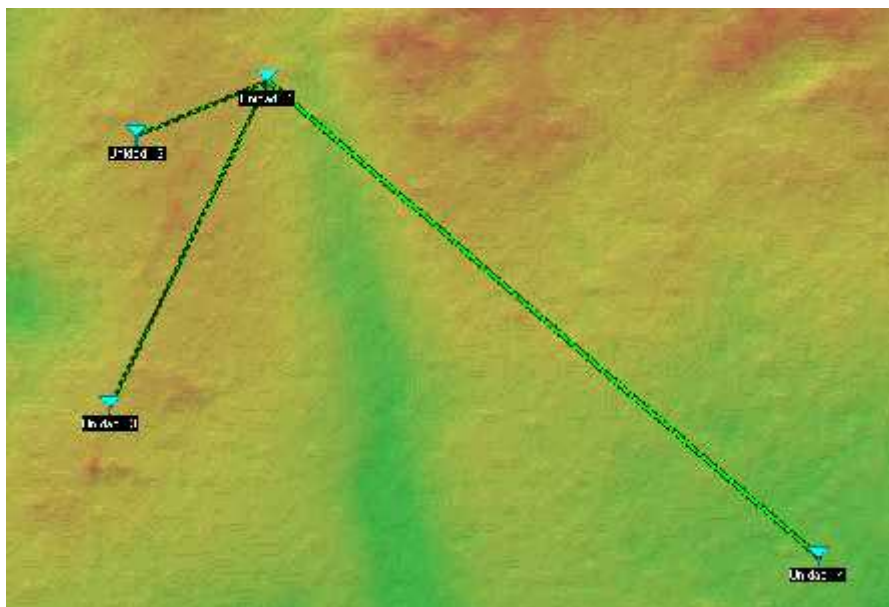


Figura 3. 23 Calidad de los enlaces.
Fuente: Imagen obtenida del programa RadioMobile

En la tabla 3.2 se muestra la altura de las antenas en cada punto.

Tabla 3. 2 Altura y orientación de las antenas

Altura de la antena (m)	Azimut de la antena	Unidad de radio
14	217°	Estación base. Red 1.
14	217°	Estación base. Red 1
9	75°	Caserío 1
10	10°	Caserío 2
15	325°	Caserío 3

Diseño: El autor

Como canales de frecuencia se deben utilizar canales lo más alejados posibles.

CAPITULO IV CONCLUSIONES

Se concluye que la tecnología WiMAX planteada y calculada es la más indicada para el uso, en los sectores rurales de la ciudad de Guayaquil.

Las diferentes aplicaciones que se dan para acceder al internet, la comodidad que da de la movilización y la versatilidad para con los equipos que hoy en día vienen incluidas las tarjetas inalámbrica, sin generar algún costo adicional al usuario porque ya está asumido por la demanda que los equipos o periféricos requieren.

Se demuestra además, el cálculo realizado con el software RadioMobile demuestra que la tecnología propuesta es la adecuada, ya que se obtiene los cálculos aceptables se demuestra que la tecnología WiMAX es factible mediante los cálculos realizados la eficiencia del equipo y los beneficios para el usuario.

El equipamiento del fabricante de la tecnología WiMAX cumple con las exigencias de la topología del sector rural de la ciudad de Guayaquil

Las facilidades de montar y desmontar los equipos a usarse y que la tecnología WiMAX está con más estudio.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar las factibilidades el uso de la tecnología WiMAX , para el sector más complejo en su topología, esta tecnología por la gran cantidad de equipos

Se propone el análisis del empleo de otro estándar, cuando se disponga mayor presupuesto incluso como señal redundante por satélite, o realizando otro enlace para terminar haciendo un anillo de enlaces WiMAX

Bibliografía

- Alvarion. (2014, Marzo). *www.alvarion.com*. Retrieved from <http://www.alvarion.com>
- Breeze, A. (2014). *www.airlinx.com*. Retrieved 2014, from <http://www.airlinx.com/products.cfm>
- CENTER, C. (2014). *Sistema WiMAX ALVARION*. Retrieved from <http://www.cctvcentersl.es>
- Chatterjee, Mainak; Sengupta, Shamik. (2008). VoIP over WiMAX. WIMAX APLICATION, (61-65), CRC Press, ISBN 1-4200-4547-4.
- Cordeiro, Carlos; Challapali, Kiran;. Birru, Dagnachew; Shankar N, Sai. *ieee 802.22*. (2006). An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios.
- Extende, L. R. (2014, Marzo). *www.linkys.com*.
- Gast, M. (2002). *Wireless networks: The Definitive Guide*. Versión de O' Reilly. ISBN 0-596-00183-5.
- Gómez, M. M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica 1ra edición*. Córdoba : Editorial Berujas .
- Philip, E. (2001). *Adaptive Techniques for Multiuser OFDM*. ((. d. University., Ed.)
- Rackley, S. (2007). *Wireless Networking Technology. From Principles to Sucessful Implementation*. Versión de Elsevier ISBN 0-7506-6788-5.
- Ross, J. (2008). *The book of wireless: a painless guide to Wi - Fi and broadband wireless* (Versión de No Starch Press Inc. Segunda Edición ISBN 1-59327-197-7 ed.).
- Santhi, K. R.; Kumaran, G. Senthil; Butare, Albert. (2008). VoIP over WiMAX. WIMAX APLICATION. CRC Press, ISBN 1-4200-4547-4.
- Seybold, J. (2005). *Introduction to RF Propagation*. [Versión de Wiley-Interscience, John Wiley and Sons]. ISBN 13 978-0-47165596-1.
- Shellhammer, S. J. (2008). *www.eurasip.org*. Retrieved 2014, from <http://www.eurasip.org/Proceedings/Ext/CIP2008/papers/1569094657.pdf>
- System, C. (2005). *Wireless-G Access Point user Guide WAP54G*. Linksys®.
- Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de Computadoras*. [Versión de Pearson-Prentice Hall México, Cuarta edición]. ISBN 970-26-0162-2.
- TP-LINK. (2014, Marzo). *User Guide TL-WR720N 150Mbps Wireless N Router*.

TP-LINK. (2014, Marzo). User Guide TL-WR842ND 300Mbps Multi-Function Wireless N Router.

Wu, Leijia; Sandrasegaran, Kumbesan. (2008). Overview of WiMAX Standards and Applications. WIMAX APLICATION, (15-33), CRC Press, ISBN 1-4200-4547-4.

www.airlinx.com. (2014, Junio). Retrieved from www.airlinx.com/products.cfm

www.trangobroadband.com. (2009, Febrero).

ANEXOS

Anexo 1. Punto de acceso Wi-Fi TL-WR842ND.



Fig A.1.1 Punto de acceso TP-LINK WR842ND. (TP-LINK, User Guide TL-WR842ND 300Mbps Multi-Function Wireless N Router, 2014)

General	
Standards	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b, IEEE 802.11a, IEEE 802.11e, IEEE 802.11L, IEEE 802.1X, IEEE 802.3X, IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab
Protocols	TCP/IP, FTPoE, DHCP, ICMP, NAT, SNTT
Ports	One 10/100M Auto-Negotiation Internet RJ45 port Four 10/100M Auto-Negotiation LAN RJ45 ports supporting Auto MDI/MDIX One USB port supporting storage/FTP/Media/Print Server
Cabling Type	10BASE-T: UTP category 3, 4, 5 cable (maximum 100m) EIA/TIA-568 100Ω STP (maximum 100m)
	100BASE-TX: UTP category 5, 5e cable (maximum 100m) EIA/TIA 568 100Ω STP (maximum 100m)
LEDs	SYS, Wireless, LAN (1-4), Internet, USB, WPS
Safety & Emissions	FCC, CE
Wireless	
Frequency Band*	2.4~2.483GHz
Radio Data Rate	11b: 1/2/5.5/11Mbps
	11g: 6/9/12/18/24/36/48/54Mbps
	11n: up to 300Mbps
Frequency Expansion	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
Modulation	DSSS, DQPSK, CCK, OFDM, 16-QAM, 64-QAM
Security	WEP/WPA/WPA2/PSK/WPA PSK
Sensitivity @PER	270M: -88dBm@10% PER; 130M: -88dBm@10% PER; 108M: -88dBm@10% PER; 54M: -63dBm@10% PER; 11M: -85dBm@6% PER; 6M: -88dBm@10% PER; 1M: -90dBm@6% PER
Antenna Gain	5dBi External Antenna
Environmental and Physical	
Temperature	Operating: 0°C~40°C (32°F~104°F)
	Storage: -40°C~70°C (-40°F~158°F)
Humidity	Operating: 10%~90% RH, Non-condensing
	Storage: 5%~90% RH, Non-condensing

Fig A.1.2 Especificaciones del punto de acceso TP-LINK WR842ND.

Anexo 2. Antena omnidireccional HGV-240XX.

2.4 GHz Value Series Omnidirectional Antennas

4 dBi: HGV-2404U

6 dBi: HGV-2406U

8 dBi: HGV-2409U

Features

- High performance
- Economical
- Light weight
- All weather operation
- Compact Size
- Available in 4 dBi, 6 dBi or 8 dBi
- Integral N-Female Connector
- Includes Mast Mounting Kit

Description



High Performance

The Hype-Gain® Value Series Omnidirectional Antennas are designed for the 2.4 GHz ISM band. These economical yet high performance compact and lightweight antennas are ideally suited for IEEE 802.11b/g wireless LANs, Bluetooth, public wireless hotspot application and other multipoint applications where wide coverage is desired.

Versatile and Economical

These antennas feature an integral N-female bulkhead type connector that mounts through the wall of an equipment enclosure. Included with these antennas is the mast mounting kit. Consisting of a heavy-duty steel bracket and a pair of U-bolts, this kit allows installation on masts up to 2.0" in diameter.



Specifications

Model	HGV-2404U	HGV-2406U	HGV-2409U
Frequency	2400-2500 MHz		
Gain	4 dBi	6 dBi	8 dBi
Polarization	Vertical		
Vertical Beam Width	50°	28°	15°
Horizontal Beam Width	360°		
Impedance	50 Ohm		
Max. Input Power	100 Watts		
VSWR	< 1.5:1 avg.		
Weight	.21 lbs. (0.09 kg)	.24 lbs. (0.1 kg)	1.1 lbs. (0.5 kg)
Length	9.8 in. (25 cm)	12 in. (30 cm)	20 in. (50.8 cm)
Radome Material	White Fiberglass		
Wind Survival	>150 MPH		
Operating Temperature	-40° C to +85° C (-40° F to 185° F)		

Fig A2.2 Especificaciones de las antenas omnidireccionales HGV-240XX

Anexo 3. Punto de acceso Wi-Fi TL-WR720N.



Fig A.3.1 Punto de acceso TP-LINK WR720N. (TP-LINK, User Guide TL-WR720N 150Mbps Wireless N Router, 2014)

General	
Standards	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE802.11n, IEEE802.11b, IEEE 802.11g
Protocols	TCP/IP, PPPoE, DHCP, ICMP, NAT, SNTP
Ports	One 10/100M Auto-Negotiation WAN RJ45 port, Two 10/100M Auto-Negotiation LAN RJ45 ports supporting Auto MDI/MDIX
Cabling Type	10BASE-T: UTP category 3, 4, 5 cable (maximum 100m) EIA/TIA-568 100Ω STP (maximum 100m)
	100BASE-TX: UTP category 5, 5e cable (maximum 100m) EIA/TIA-568 100Ω STP (maximum 100m)
LEDs	PWR, SYS, WLAN, WAN, LAN, WPS
Safety & Emissions	FCC, CE
Wireless	
Frequency Band*	2.4~2.4835GHz
Radio Data Rate	11n: up to 150Mbps (Automatic) 11g: 54/48/36/24/18/12/9/6M (Automatic) 11b: 11/5.5/2/1M (Automatic)
Frequency Expansion	DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)
Modulation	DBPSK, DQPSK, CCK, OFDM, 16-QAM, 64-QAM
Security	WEP/WPA/WPA2/WPA2-PSK/WPA-PSK
Sensitivity @PER	130M: -68dBm@10% PER 108M: -68dBm@10% PER; 54M: -68dBm@10% PER 11M: -85dBm@8% PER; 6M: -88dBm@10% PER 1M: -90dBm@8% PER
Antenna Gain	5dBi
Environmental and Physical	
Temperature.	Operating : 0°C~40°C (32°F~104°F)
	Storage: -40°C~70°C(-40°F~158°F)
Humidity	Operating: 10% - 90% RH, Non-condensing
	Storage: 5% - 95% RH, Non-condensing

Fig A.3.2 Especificaciones del punto de acceso TP-LINK WR720N.

Anexo 4. Equipamiento BreezeACCESS VL 5.4G

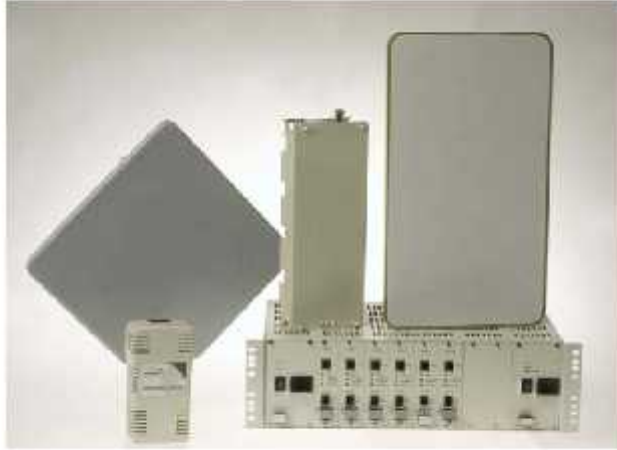


Fig A4.1 Equipamiento de estación base y de suscriptor.

Frequency	5.47 - 5.725 GHz	
Operation Mode	Time Division Duplex	
Radio Access Method	OFDM	
Channel Bandwidth	20 MHz	
Antenna	SU Antenna	21dBi, 10.5° horizontal x 10.5° vertical, EN 302 085, Class TS 1,2,3,4,5 compliant
	Sector Antenna	16dBi, 60° horizontal x 10° vertical, EN 302 085, Class CS 3 compliant
		17dBi, 90° horizontal x 6° vertical, EN 302 085, Class CS 3 compliant
		15dBi, 120° horizontal x 6° vertical, EN 302 085, Class CS 3 compliant

Fig A.3.2 Especificaciones de radio.

AU Output Power (@ antenna port)	-10 to 21dBm, Adjustable in 1dB steps Note: the output power is limited according to the antenna gain in order to comply with 30dBm with EIRP regulation							
SU Output Power (@ antenna port)	-10 to 21dBm, ATPC							
Modulation ¹	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM							
Modulation levels	1	2	3	4	5	6	7	8
Sensitivity (dBm)	-89	-88	-86	-84	-81	-77	-73	-71

Fig A.3.3 Sensibilidad del receptor.

GLOSARIO

CDMA: *Code Division Multiple Access*, técnica de acceso al medio por la cual cada transmisor que trabaja a una misma frecuencia tiene un código único que le permite ser identificado de forma inequívoca por el receptor.

CRC: Comprobación de Redundancia Cíclica, es una función que a partir de una secuencia de datos aleatoria permite determinar un valor para dicha secuencia. Al ser transmitidos ambos el receptor calcula nuevamente el valor y si no coinciden decide que ha ocurrido un error en la transmisión.

DSS: *Direct Sequence Spread Spectrum*, técnica de espectro ensanchado que consiste en multiplicar la información a transmitir por una secuencia de datos pseudo aleatoria antes de ser modulada por una portadora, lo cual amplía el espectro de la señal a transmitir. Se diferencia en la técnica de saltos de frecuencia en que la frecuencia de la portadora no cambia mientras que en la técnica de salto de frecuencia la frecuencia de la portadora varía de acuerdo al código.

FCC: *Federal Communications Commission*, agencia estatal independiente de Estados Unidos encargada de la regulación de las telecomunicaciones por radio, televisión, teléfonos, satélites y redes de datos inalámbricas.

HSPA: *High Speed Packet Access*, es la combinación de tecnologías complementarias de los servicios de telefonía celular de tercera generación y que han llevado a la llamada 3.5G de telefonía celular.

IEEE: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, es una asociación técnica internacional dedicada a la estandarización y comprende esferas de la electricidad, electrónica, informática y telecomunicaciones entre otros.

LNB: *Low Noise Block*, dispositivo utilizado en la recepción de señales procedentes de satélites.

MAC: *Media Access Control*, se refiere al control de acceso al medio por parte de terminales de datos, en el caso de dirección MAC se refiere a un identificador único de 48bits de la tarjetas de red Ethernet, sea inalámbrica o alambrada.

MODEM: *Modulator – Demodulator*, equipo utilizado para acondicionar señales digitales a medios de transmisión que soportan señales analógicas.

OSI: *Open System Interconnection*, es un modelo de red descriptivo creado por la Organización Internacional de Estandarización. Consiste en un marco de referencia para el diseño de arquitecturas de comunicación de datos.

UTP: *Unshielded Twisted Pair*, cable trenzado no blindado que se utiliza en la transmisión de datos Ethernet y en telefonía.

WLAN: *Wireless Local Area Network*, red de datos de área local inalámbrica.

WPA: *Wi-Fi Protected Access*, se trata de un protocolo para garantizar la protección de las redes Wi-Fi ante la conexión de intrusos a la red mediante la introducción de una clave. En la actualidad existen dos variantes WPA y WPA2.

xDSL: Conjunto de tecnologías que forman parte de la familia DSL, utilizada para la transmisión de datos por medio de los pares de cobre telefónicos que forman parte de la Red Pública Telefónica Conmutada.