



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

TESINA DE SEMINARIO

**“ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS PLATAFORMAS
DE RADIOENLACE WLAN”**

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN TELEMÁTICA

Presentada por:

MARÍA BELÉN DELGADO COROZO

ABRAHAM JARAMILLO GARÓFALO

GUAYAQUIL – ECUADOR

**AÑO
2014**

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a cada una de las personas que ayudaron en las diferentes etapas del proyecto, gracias a la Ing. Margarita Filián y el Ing. Marcos Millán por facilitarnos los equipos para las pruebas y a la Ing. Patricia Chávez por guiarnos en la elaboración de este documento.

DEDICATORIA

A mi madre
A mi abuela y tíos
Por su apoyo incondicional
MARÍA BELÉN DELGADO

A Dios el pilar
Fundamental de mi vida
Mi madre por su apoyo y
Esfuerzo en darnos lo mejor
ABRAHAM JARAMILLO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Marcos Millán

PROFESOR DE SEMINARIO DE GRADUACIÓN

Ing. Patricia Chávez

PROFESORA DELEGADA DE LA UNIDAD ACADÉMICA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

María Belén Delgado Corozo

Abraham Jaramillo Garófalo

RESUMEN

En la actualidad el análisis del rendimiento de un sistema sobre otro similar se ha convertido en una práctica común debido a que permite obtener resultados cuantificables. Sin embargo el potencial de la evaluación comparativa aún no ha sido muy aplicado a sistemas de comunicación inalámbricas que operan en banda libre.

El presente proyecto está enfocado en implementar y analizar dos plataformas de radioenlace WLAN en entornos reales, utilizando antenas directivas que operan en la banda de 2.4GHz. Para la ejecución del estudio se usaron antenas de las marcas HYPERLINK y TRENDNET junto con dispositivos de comunicación de la marca TP-LINK.

Este documento está orientado a personas con conocimientos previos sobre sistemas telemáticos y puedan utilizarlo como guía para evaluar el rendimiento de plataformas de radioenlaces y determinar la más adecuada según las necesidades en base a la calidad de servicio.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
INDICE DE TABLAS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes y Justificación.....	1
1.2 Identificación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Metodología.....	4
1.5 Alcances y Limitaciones.....	5
1.5.1 Alcance.....	5
1.5.2 Limitaciones.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Radioenlace.....	7
2.2 Antenas.....	8
2.3 Parámetros de las antenas.....	9
2.3.1 Patrón de radiación.....	9

2.3.2	Ancho de banda.....	10
2.3.3	Directividad.....	10
2.3.4	Ganancia de una antena.....	11
2.3.5	Impedancia de entrada.....	11
2.3.6	Ancho de haz de media potencia.....	12
2.3.7	Polarización.....	12
2.3.8	Eficiencia.....	13
2.3.9	Campo cercano y lejano.....	13
2.4	Tipo de antenas.....	14
2.4.1	Antenas omnidireccionales.....	15
2.4.2	Antenas direccionales.....	16
2.4.3	Antena panel.....	17
2.4.4	Antena parabólica.....	18
2.5	Transmisor.....	19
2.6	Receptor.....	20
2.7	Estructura de soporte de antenas.....	21
2.8	Cables.....	22
2.9	Implementación del radioenlace.....	24
2.9.1	Línea de vista y claridad.....	25
2.9.2	Reflexión, atenuación y difracción.....	25
2.9.3	Zona de Fresnel.....	26
2.10	Consideración teóricas para el diseño del radioenlace.....	28

2.10.1	Propagación de las ondas electromagnéticas.....	28
2.10.2	Perdida de transmisión en el espacio libre.....	32
2.11	Modulación.....	34
2.12	Redes WLAN.....	35
2.13	Estándar IEEE 802.11.....	35
2.14	Calidad de servicio.....	37
2.15	Parámetros de calidad de servicio ideales para servicios multimedios.....	40
3.	Implementación de los radioenlaces en la banda de 2.4 GHz que permita realizar un análisis comparativo de los parámetros de calidad y servicio.....	41
3.1	Consideraciones técnicas.....	41
3.1.1	Ubicación de los radioenlaces.....	42
3.1.2	Perfil del radioenlace EDCOM.....	44
3.1.3	Perfil del radioenlace Alborada.....	44
3.1.4	Altura de las antenas.....	45
3.1.5	Frecuencia de operación.....	47
3.1.6	Elección de la modulación.....	48
3.2	Descripción de los equipos.....	49
3.2.1	Equipos de radio.....	50
3.2.2	Antenas.....	50
3.2.3	Conectores y cables.....	51
3.3	Presupuesto de potencia del enlace.....	52

3.4	Esquema de red.....	54
3.5	Descripción de las pruebas.....	56
4.	Análisis comparativo de la implementación de dos radioenlaces en la banda de 2.4 GHz en base a los parámetros de calidad de servicio.....	61
4.1	Evaluación de la capacidad de los enlaces.....	61
4.2	Evaluación de los parámetros de calidad de servicio.....	64
4.2.1	Latencia.....	64
4.2.2	Variación de retardo.....	67
4.2.3	Throughput.....	69
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES.....	77
	ANEXOS.....	78
	ANEXO A: Configuración de equipos.....	78
	ANEXO B: Entorno de pruebas.....	82
	ANEXO C: Especificaciones de los dispositivos.....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	86

ABREVIATURAS

AGC:	Control automático de ganancia (automatic gain control)
CCK:	Modulación por código complementario (complementary code keying)
dB:	Decibel
DSSS:	Espectro ensanchado por secuencia directa (direct sequence spread spectrum)
GHz:	Giga Hertz
HF:	Alta frecuencia (high frequency)
ICMP:	Protocolo de mensajes de control de Internet (Internet control message protocol)
IEEE:	Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (institute of electrical and electronics engineer)
LAN:	Red de área local (local area network)
MAC:	Control de acceso al medio (media access control)
MHz:	Mega Hertz
MIMO:	Múltiple entrada múltiple salida (multiple-input multiple-output)
OFDM:	Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (orthogonal frequency-division multiplexing)
OSI:	Modelo de Interconexión de sistemas abiertos (open

	system interconnection)
QoS:	Calidad de servicio (quality of service)
RF:	Radio frecuencia (radio frequency)
RFC:	Petición de comentarios (request for comments)
SHF:	Frecuencia súper alta (super high frequency)
RP SMA:	Conector SMA con polaridad inversa (reverse polarity - subminiature versión A)
RTT	Tiempo de ida y vuelta (round trip time)
TCP:	Protocolo de control de transmisión (transmission control protocol)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Metodología aplicada.....	5
Figura 2.1	Elementos fundamentales de un radioenlace.....	8
cFigura 2.2	Patrones de radiación.....	10
Figura 2.3	Impedancia de entrada de una antena.....	12
Figura 2.4	Ancho de haz de una antena.....	12
Figura 2.5	Tipos de polarización.....	13
Figura 2.6	Campo cercano y lejano de una antena.....	14
Figura 2.7	Propagación de microondas en la atmosfera.....	15
Figura 2.8	Patrón de radiación de una antena omnidireccional.....	16
Figura 2.9	Lóbulos de radiación de una antena directiva.....	17
Figura 2.10	Patrón de azimuth antena panel.....	18
Figura 2.11	Patrón de elevación antena parabólica.....	19
Figura 2.12	Diagrama de bloques del transmisor.....	20
Figura 2.13	Diagrama de bloques del receptor.....	21
Figura 2.14	Estructura de soportes para antenas.....	22
Figura 2.15	Tipo de cables coaxiales.....	23
Figura 2.16	Zona de Fresnel.....	27
Figura 2.17	Propagación en superficie.....	29
Figura 2.18	Propagación en troposférica.....	30
Figura 2.19	Propagación en ionosférica.....	30

Figura 2.20	Línea de vista.....	31
Figura 2.21	Modelo de tierra plana.....	32
Figura 3.1	Radioenlace EDCOM.....	42
Figura 3.2	Radioenlace Alborada.....	43
Figura 3.3	Perfil radioenlace EDCOM.....	44
Figura 3.4	Perfil radioenlace Alborada.....	45
Figura 3.5	Primera zona de Fresnel despejada 60%.....	46
Figura 3.6	Análisis espectro en EDCOM.....	48
Figura 3.7	Análisis espectro en la Alborada.....	48
Figura 3.8	Enlace con antena panel (Plataforma 1).....	54
Figura 3.9	Enlace con antena rejilla (Plataforma 2).....	55
Figura 4.1	Capacidad de enlace en el sector de la Alborada.....	64
Figura 4.2	Latencia de la plataforma 1.....	65
Figura 4.3	Latencia de la plataforma 2.....	66
Figura 4.4	Comparativa de latencia entre plataformas.....	66
Figura 4.5	Variación de retardo de plataforma 1.....	68
Figura 4.6	Variación de retardo de plataforma 2.....	68
Figura 4.7	Comparativa de variación de retardo entre plataformas.....	69
Figura 4.8	Throughput plataforma 1.....	70
Figura 4.9	Throughput plataforma 2.....	71
Figura 4.10	Comparativa de throughput entre plataformas.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I	Tipos de cables.....	24
Tabla II	Estándar IEEE 802.11.....	36
Tabla III	Valores de los parámetros de calidad de servicio.....	42
Tabla IV	Coordenadas de los radioenlaces.....	43
Tabla V	Zona de Fresnel a diferentes distancias.....	46
Tabla VI	Capacidad del equipo según el modo de operación.....	49
Tabla VII	Potencia del sistema punto de acceso – antena.....	51
Tabla VIII	Pérdidas por cables y conectores.....	52
Tabla IX	Presupuesto de potencia enlace Alborada antena rejilla.....	52
Tabla X	Presupuesto de potencia enlace Alborada antena panel.....	53
Tabla XI	Presupuesto de potencia enlace EDCOM antena rejilla.....	53
Tabla XII	Presupuesto de potencia enlace EDCOM antena panel.....	53
Tabla XIII	Direcciones de red para los puntos de acceso.....	55
Tabla XIV	Direcciones de red para las portátiles.....	55
Tabla XV	Capacidad de enlace de las plataformas.....	63
Tabla XVI	Porcentaje de paquetes perdidos.....	72

INTRODUCCIÓN

El comienzo de las comunicaciones inalámbricas marcó un hecho sin precedente con gran impacto en la actualidad, debido a que en los últimos años ha habido un gran interés en la aplicación de la tecnología inalámbrica en entornos industriales, comerciales, educativos e incluso domésticos ya que estos ofrecen movilidad y accesibilidad en zonas lejanas donde la implementación de una red cableada puede tener limitaciones y por ende un enlace de radio se convierte en una solución viable.

En el mercado podemos encontrar gran variedad de plataformas de comunicación inalámbrica, lo cual puede influir en el desempeño del sistema a implementar. Por tal motivo, realizar una comparación de rendimiento de dichas plataformas se convierte en una herramienta útil para tener un criterio más amplio al momento de seleccionar la tecnología de comunicación adecuada en base a la aplicación que se desea implementar. Una manera de llevar a cabo el análisis comparativo es aplicando el concepto de benchmarking ya que permite establecer comparativas sobre otro sistema similar. En este estudio se analiza la eficiencia de los sistemas implementados considerando los parámetros de calidad y servicio, para tener una visión más general del funcionamiento del sistema y no simplemente de un elemento del enlace.

Se investigaron diversos parámetros que pueden influir en el desempeño del radioenlace, además se realizó un análisis del espectro en los lugares donde se llevaron a cabo las pruebas y se tomaron en consideración ciertas recomendaciones de organismos internacionales especializados en Telecomunicaciones.

La implementación de los radioenlaces se realizó en la ciudad de Guayaquil en diferentes entornos, donde se tomaron muestras de las pruebas realizadas en el sector de la Alborada y dentro de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Finalmente se muestran los resultados de las pruebas y se realiza un análisis comparativo entre las dos plataformas de radioenlace.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

En el siguiente capítulo se explica los objetivos generales y específicos del proyecto, además se expone los alcances y limitaciones y la metodología utilizada en el desarrollo del mismo.

1.1 Antecedentes y Justificación

Las comunicaciones han ido evolucionando con el nacimiento de las tecnologías de transmisión de información a distancia, como el telégrafo, el teléfono y otros sistemas alámbricos, pero el uso de las comunicaciones inalámbricas han permitido reducir los costos de implementación debido a su flexibilidad y movilidad. Por tal motivo nuestro proyecto permitirá establecer comparativas entre estos sistemas a través del análisis de dos plataformas de radioenlace y así determinar el desempeño de los mismos.

Hoy en día una red LAN cableada puede ofrecer a los usuarios altas velocidades de transmisión para satisfacer los requisitos de ancho de banda y consumo de servicios tales como videoconferencias, video streaming, etc. Con esto en mente el usuario de una red LAN inalámbrica también exigirá los mismos beneficios con respecto al rendimiento, por esta razón se ha planteado un enfoque relacionado a la calidad de servicio en nuestro análisis.

1.2 Identificación del problema

El uso de plataformas inalámbricas para implementar radioenlaces en banda libre se ha convertido en una práctica común en la industria de las telecomunicaciones, por ello la evaluación del rendimiento de estos sistemas ha cobrado mayor importancia. Las técnicas de evaluación comprenden una gama de complejos modelos matemáticos, pero muchas veces se suele usar la simulación como un enfoque práctico para la evaluación del desempeño de tales sistemas, sin embargo por la falta de realismo podríamos obtener un análisis no tan confiable. Una manera de lograr realismo es llevar a cabo los experimentos en entornos reales mediante la comparación de un sistema sobre otro, de modo que el análisis de los sistemas haciendo uso de los parámetros de calidad de servicio se convierte

en una alternativa que permita tener un criterio al momento de elegir la plataforma de radioenlace.

1.3 Objetivos

A continuación se detallan los objetivos generales y específicos del presente proyecto.

1.3.1 Objetivo general

Analizar el desempeño de dos plataformas de radioenlace WLAN y establecer comparativas en relación a los parámetros de calidad de servicio.

1.3.2 Objetivos específicos

- Implementar dos radioenlaces WLAN haciendo uso de dos plataformas diferentes.
- Analizar los parámetros de calidad de servicio que permita comprobar la estabilidad y funcionalidad del radio enlace WLAN
- Comparar dos sistemas de radioenlace WLAN en base a los parámetros de calidad de servicio: Variación de retardo, Throughput, latencia y pérdida de paquetes.

1.4 Metodología

La ejecución de este proyecto contempló las siguientes etapas:

- Planificación: se realizó un análisis previo a la implementación de los radioenlaces, tomando en consideración los factores que afectan la comunicación entre los dispositivos de acuerdo a ciertas recomendaciones establecidas por la ITU.
- Implementación: se basó en la configuración del escenario sobre el cual se llevó a cabo las mediciones.
- Experimentación: se basó en un conjunto de pruebas para obtener datos relacionados a los parámetros de calidad de servicio y de esta manera evaluar la calidad de la transmisión.
- Recopilación de datos: se realizan tablas y gráficos estadísticos para representar los datos obtenidos en la experimentación.
- Análisis de los datos: se exponen los resultados obtenidos para establecer comparativas en cuanto al rendimiento de los radioenlaces.

En la figura 1.1 se muestra un resumen de la metodología aplicada en el proyecto.

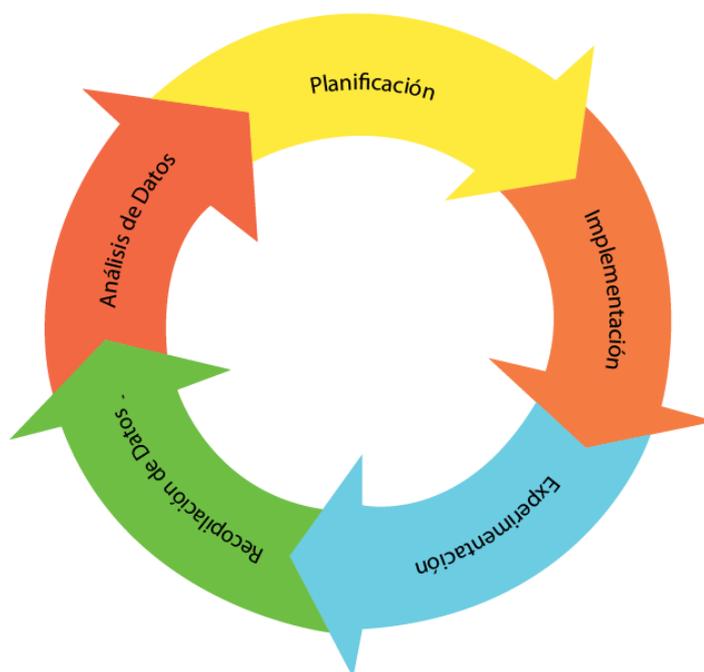


Figura 1.1 Metodología aplicada

1.5 Alcances y Limitaciones

A continuación se detalla los alcances y las limitaciones del presente proyecto.

1.5.1 Alcances

Los datos obtenidos en las diferentes pruebas ayudarán a determinar algunas de las limitaciones en cuanto a la calidad de servicio de los radioenlaces a implementar y este estudio permitirá tener un criterio más amplio al momento de montar un radioenlace. Para el análisis comparativo se plantean dos escenarios en ambientes abiertos, donde se implementan dos

plataformas de radioenlace, siendo las antenas el elemento no común. El análisis de eficiencia se apoya en base al promedio de los datos de calidad de servicio obtenidos en la generación de paquetes UDP, TCP e ICMP de longitudes variables menor o igual a 1512 bytes, para poder llevar a cabo una comparativa de la eficiencia de cada uno de los sistemas.

1.5.2 Limitaciones

La implementación del radioenlace está limitada por las características de las antenas y equipos de comunicación ya que los parámetros son obtenidos a partir de las hojas técnicas de los fabricantes.

Las pruebas se realizan en ambientes no controlados lo cual incluye complejidades en torno al volátil espectro radioeléctrico, imperfecciones en software y hardware debido a calibraciones y a esto se le suma que será casi imposible asegurar las mismas condiciones del canal a usar, a menos que las pruebas se realicen en entornos totalmente aislados de la interferencia.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

Para realizar un estudio del rendimiento de un radioenlace WLAN, primero es necesario enfocarnos en los conceptos teóricos relacionados a la infraestructura adecuada de un radioenlace para su óptimo funcionamiento, factores que afectan la propagación de ondas electromagnéticas, las redes WLAN y los parámetros de calidad de servicio QoS.

2.1 Radioenlace

En términos generales, se denomina radioenlace a una conexión inalámbrica entre dispositivos que son capaces de intercambiar datos entre sí, usando ondas radioeléctricas que se propagan a través del aire.

Para poder diseñar un radioenlace es importante tener claro los componentes que intervienen, ya que de estos también depende que la comunicación entre los terminales pueda realizarse.

Un radioenlace está formado por los siguientes componentes: antenas, transmisores, receptores, estructura de soporte de antenas, cables y equipos interfaces.

En la figura 2.1 se puede observar los elementos que forman parte de un radioenlace

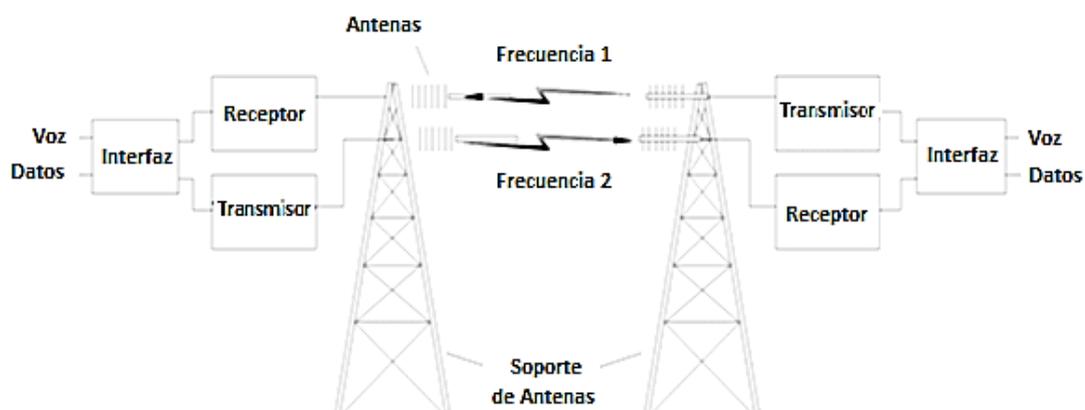


Figura 2.1 Elementos fundamentales de un radioenlace [1]

2.2 Antenas

Las antenas son dispositivos utilizados para radiar o detectar ondas electromagnéticas, si la antena emite las ondas se define como

antena trasmisora pero si el objetivo es captar esta se define como antena receptora. Para permitir la propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre, las antenas se encuentran compuestas de sustancias conductoras que realizan la función de acoplamiento entre la línea de transmisión y el espacio libre. La dimensión de una antena varía dependiendo de la longitud de onda que se desea emitir o recibir, por lo que a mayor frecuencia se tiene antenas de menor dimensión y a menor frecuencia se tiene antenas de mayor dimensión.

2.3 Parámetros de las antenas

Las antenas son la base fundamental en un radioenlace, por ende será indispensable analizar los parámetros que influyen en su funcionamiento para una implementación de enlaces microondas.

2.3.1 Patrón de radiación

En términos sencillos el patrón de radiación de una antena representa la energía que irradia, vista desde una gráfica tridimensional. Existen dos formas de representar este patrón, ya sea a través de un patrón de elevación o de azimuth. El patrón de elevación representa la energía irradiada con una vista de perfil, en cambio el patrón de

azimuth representa la energía irradiada con una vista desde arriba. Ver figura 2.2

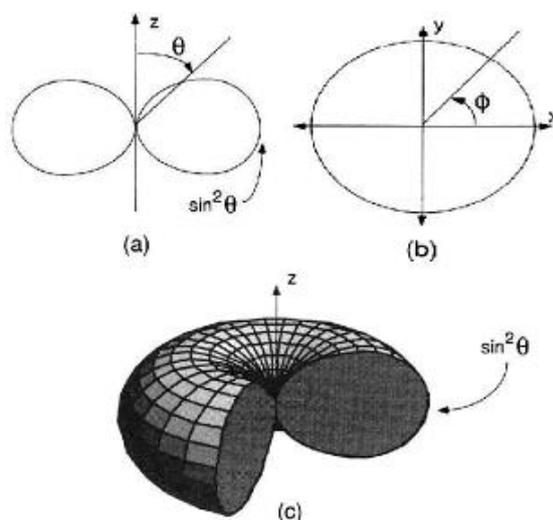


Figura 2.2 Patrones de radiación a) Patrón de elevación b) Patrón de azimuth c) Patrón de radiación 3D [2]

2.3.2 Ancho de banda

El ancho de banda es un intervalo de frecuencias donde la antena puede operar de manera correcta. Usualmente este valor corresponde a la diferencia entre la frecuencia máxima y mínima de operación.

2.3.3 Directividad

Es la capacidad que posee la antena, para poder concentrar su valor máximo de radiación en una dirección establecida.

Por ejemplo si una antena irradia de la misma manera en todas las direcciones, se considera una direccionalidad de cero.

2.3.4 Ganancia de una antena

La ITU define la ganancia de una antena como *“la relación generalmente expresada en decibelios, que debe existir entre la potencia necesaria a la entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la antena en cuestión, para que ambas antenas produzcan en una dirección dada, la misma intensidad de campo, o la misma densidad de flujo de potencia, a la misma distancia”* [3]

2.3.5 Impedancia de entrada

Se define como la relación que existe entre el voltaje y la corriente en los terminales de una antena y este valor representa la oposición de la antena a radiar en el espacio libre. Ver figura 2.3

2.3.6 Ancho de haz de media potencia

El ancho de haz de media potencia se lo puede definir como el ángulo de separación donde la densidad de potencia radiada es equivalente a la mitad de la máxima. Ver figura 2.4

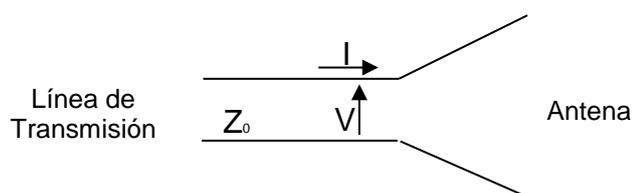


Figura 2.3 Impedancia de entrada de una antena

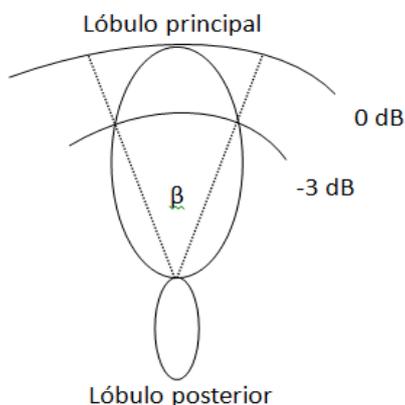


Figura 2.4 Ancho de haz de una antena

2.3.7 Polarización

La polarización de una antena se relaciona con la orientación del campo eléctrico que esta irradia. Las antenas pueden polarizarse de forma lineal, circular o elíptica. Ver figura 2.5

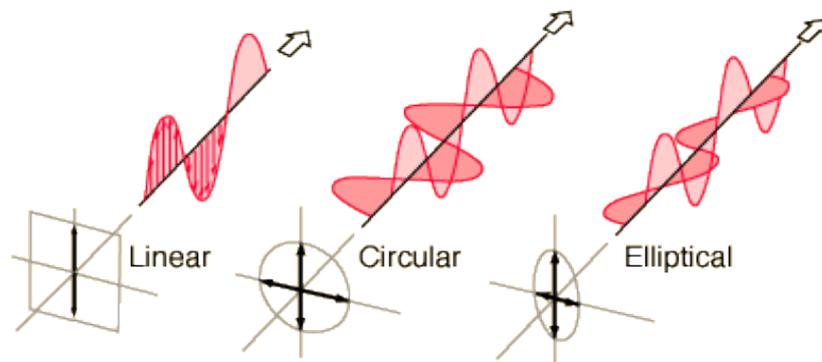


Figura 2.5 Tipos de polarización [4]

2.3.8 Eficiencia

La eficiencia está relacionada con la potencia que irradia y la potencia que recibe la antena, por lo que una antena con alta eficiencia irradia la mayor parte de su energía de entrada y una con baja eficiencia tiende a producir mayores pérdidas de potencia.

2.3.9 Campo cercano y lejano

El campo de radiación que se encuentra cercano a la antena es diferente al campo de radiación ubicado a una mayor distancia. En el campo cercano o campo de inducción, cierta cantidad de potencia es irradiada en medio ciclo y es almacenada de manera temporal, permitiendo así que en el siguiente medio ciclo esta potencia almacenada regrese a la

antena. La zona del campo cercano está dentro de una distancia D^2/λ , donde D es el diámetro de la antena y λ la longitud de onda. En el campo lejano o campo de radiación la potencia irradiada nunca vuelve a la antena, al contrario esta continua alejándose como se observa en la figura 2.6

$$\text{Campo Cercano} = \frac{D^2}{\lambda} \quad \text{Ecuación (2,1)}$$

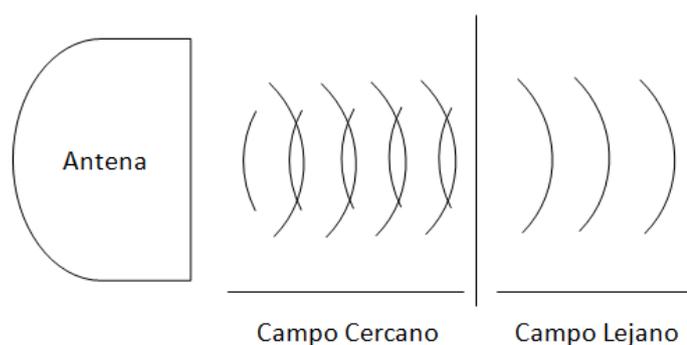


Figura 2.6 Campo cercano y lejano de una antena

2.4 Tipo de antenas

Las antenas usadas para enlaces de microonda se caracterizan por ser altamente directivas, de las cuales podemos mencionar las antenas parabólicas, usadas para radioenlaces de microonda terrestre punto a punto. Por lo general las antenas usadas para enlaces microondas se sitúan en el rango de frecuencias de 2 a 18 GHz dado a las características de propagación en la atmosfera. En

la figura 2.7 se puede notar que para el rango de frecuencias comprendido entre 1 y 5 GHz la atenuación debida a la absorción atmosférica es prácticamente nula. La presencia de lluvias también afecta absorbiendo y dispersando las microondas, pero su efecto es muy reducido por debajo de los 10 GHz.

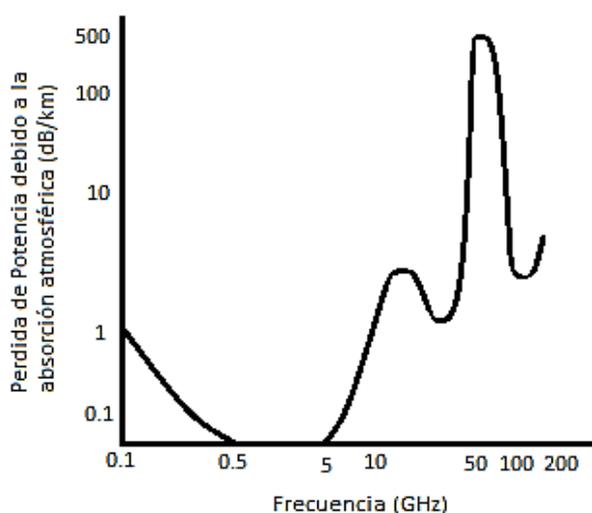


Figura 2.7 Propagación de microondas en la atmosfera [5]

En relación al patrón de radiación las antenas se pueden dividir en dos grandes grupos:

2.4.1 Antenas omnidireccionales

Una antena omnidireccional es la que puede irradiar energía en cualquier sentido. Idealmente una antena omnidireccional

trata de cubrir áreas grandes, que en teoría intenta ser uniforme en todos los sentidos, es decir tiene una cobertura de 360° . Ver figura 2.8

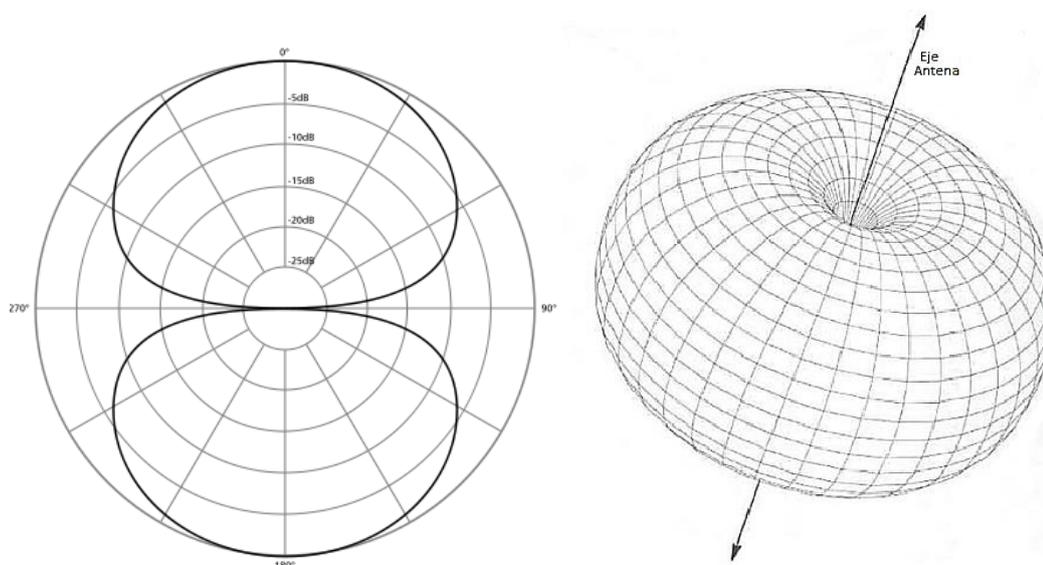


Figura 2.8 Patrón de radiación de una antena omnidireccional

2.4.2 Antenas direccionales

Como su nombre lo indica, estas antenas irradian la mayor parte de su energía en una dirección específica. El patrón de radiación de estas antenas se identifica por los lóbulos de radiación que se forman: principal, lateral y posterior.

En el lóbulo principal se encuentra concentrada la mayor parte de la energía y es muy importante que este sea lo más cerrado posible ya que así la antena obtiene una mayor direccionalidad. El lóbulo lateral también conocido como

secundario, es aquel en donde se concentra la energía no deseada, ya que genera un impacto negativo en la recepción de las señales, llegando a provocar cierto tipo de interferencia. El lóbulo posterior está localizado en dirección contraria al lóbulo principal. Ver figura 2.9

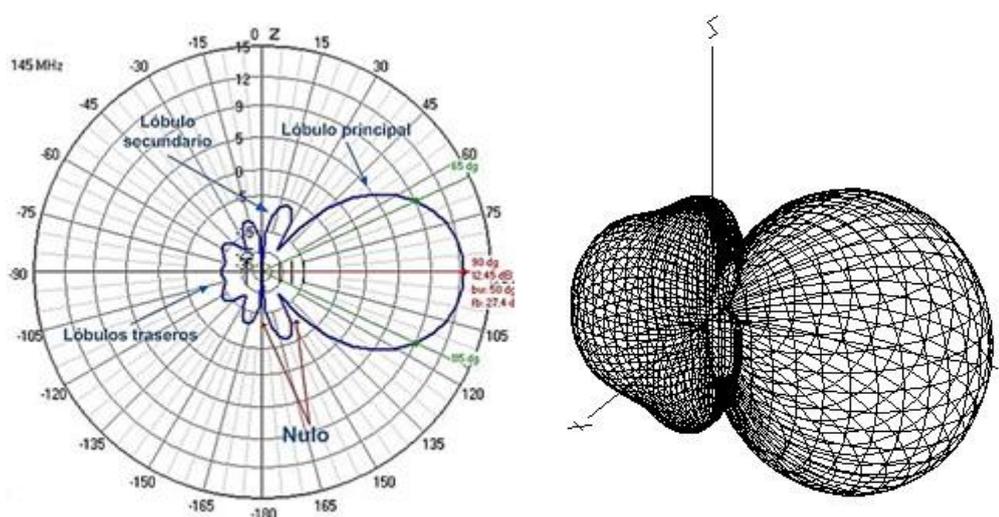


Figura 2.9 Lóbulos de radiación de una antena directiva

Existen diversos tipos de antenas, pero las más usadas para aplicaciones en banda libre son: antenas dipolo, dipolo multi-elemento, yagi, panel y parabólicas.

2.4.3 Antena panel

Las antenas panel como lo indica su nombre tienen forma cuadrada o rectangular. Estas antenas son muy

direccionales ya que la mayor parte de su potencia es irradiada en una sola dirección. En la gráfica 2.10 se puede observar la direccionalidad de la antenna.

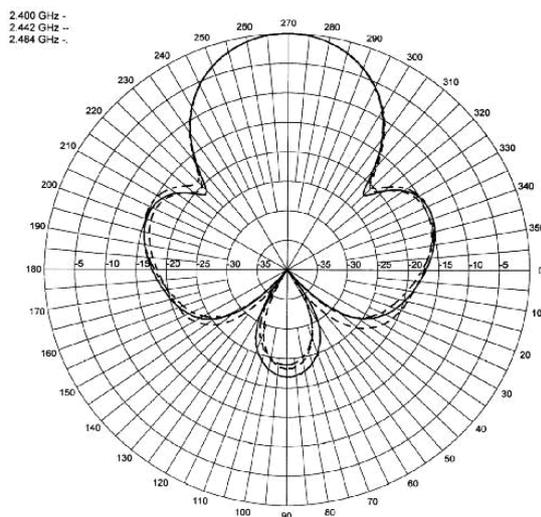


Figura 2.10 Patrón de azimuth antenna panel

2.4.4 Antena parabólica

Las antenas parabólicas usan ciertas propiedades físicas de la misma para obtener alta ganancia y direccionalidad. Estas antenas usan un plato en forma de parábola para así poder concentrar las ondas de radio recibidas en el punto focal. Como se puede ver en la figura 2.11 esta antena es muy direccional ya que es capaz de enfocar en una sola dirección toda la potencia que llega a la antena.

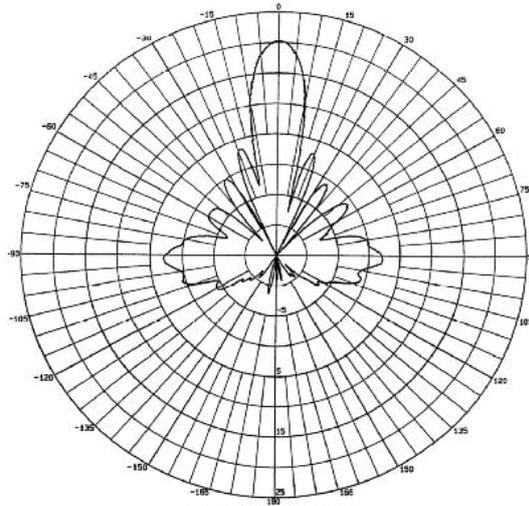


Figura 2.11 Patrón de elevación antena parabólica

2.5 Transmisor

Es un dispositivo electrónico que tiene la función de convertir señales mecánicas, eléctricas u ópticas en ondas electromagnéticas para que mediante una antena estas ondas puedan ser irradiadas. La figura 2.12 muestra el diagrama de bloques de un transmisor, donde la señal digital llega al codificador y se almacena temporalmente para que se le añada información adicional de paridad. La señal luego pasa por un filtro paso banda para eliminar el ruido y armónicos. Después la señal es enviada al modulador donde un conmutador de alta velocidad dirige la información binaria a una de las dos compuertas mezcladoras, dependiendo del estado binario. Una compuerta proporciona una señal portadora a una frecuencia intermedia y otra compuerta proporciona la misma

frecuencia pero con un desplazamiento en fase de 90° . Luego la señal puede ir a otro mezclador o al up-converter, el cual actúa de interfaz transformando las señales de banda base de los equipos a la banda de frecuencias de la antena.

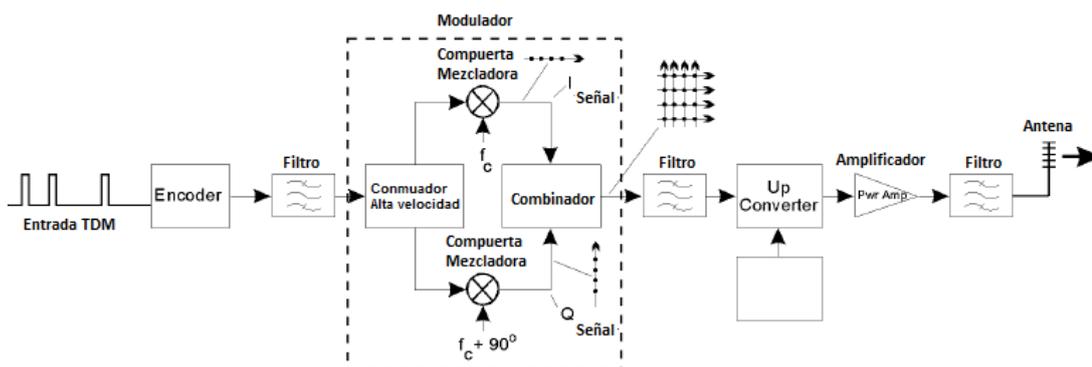


Figura 2.12 Diagrama de bloques del transmisor [6]

2.6 Receptor

Es un dispositivo electrónico que se encarga de recibir las ondas de radio para luego convertirlas en información, para esto se requiere de una antena ya que es la encargada de interceptar las ondas electromagnéticas. En la figura 2.13 se muestra como el receptor recibe por la antena la señal de radiofrecuencia y pasa a través de un filtro paso banda para eliminar cualquier interferencia que pudo captar la antena. Luego la señal pasa al amplificador RF y a un down-converter, el cual se encarga de llevar la señal RF a una IF para luego enviarla al amplificador

AGC, siendo este amplificador capaz de compensar las variaciones en el nivel de la señal RF causadas por el desvanecimiento a la entrada de la antena. La señal IF resultante del amplificador AGC pasa al demodulador donde se divide para alimentar a dos conmutadores de alta velocidad o detectores de fase los cuales alimentan a un regenerador que se encarga de reconstruir la señal digital para que después pase al decodificador y se realice comprobaciones de paridad.

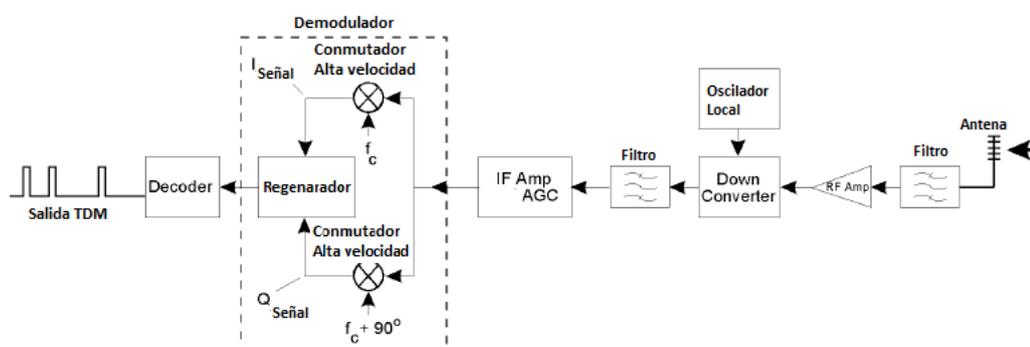


Figura 2.13 Diagrama de bloques del receptor [7]

2.7 Estructura de soporte de antenas

Es usado para montar las antenas con el fin de proporcionar mayor altura teniendo como ventaja incrementar la distancia de transmisión de la señal. Esta estructura se define como mástil cuando está sujeto por cables y cuando no los tiene a la estructura se la llama torre como se puede ver en la figura 2.14

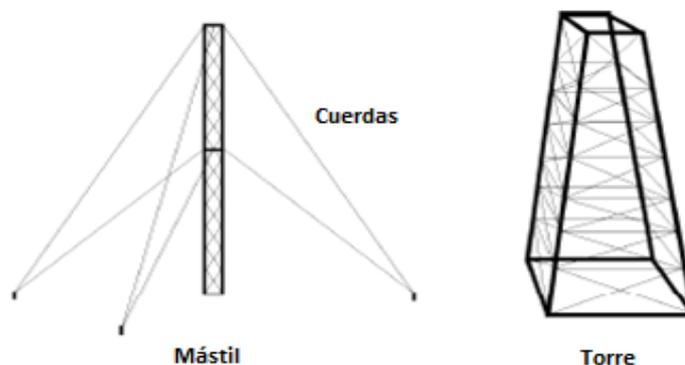


Figura 2.14 Estructura de soportes para antenas [8]

2.8 Cables

En el diseño de un radioenlace hay 3 tipos de cables que son fundamentales: el coaxial, el par trenzado y el cable de poder, pero esto puede variar en función del tipo de instalación ya que la fibra óptica también es una alternativa.

Se utilizan cables coaxiales casi sin excepción para todas las antenas que operan entre las bandas de frecuencias HF hasta la banda SHF. El tamaño del cable coaxial está determinado por dos condiciones: la potencia del transmisor que alimenta a la antena y la frecuencia que se utilizará. En la figura 2.15 se puede observar como varía el tipo de cable en función de la frecuencia de operación.



Figura 2.15 Tipo de cables coaxiales [9]

Cuando un cable coaxial se usa como conductor de frecuencias de radio, se comporta de igual manera que una línea de transmisión, por lo que la máxima transferencia de energía entre la antena y el transmisor se da cuando todos los elementos tienen la misma impedancia, como por ejemplo en equipos de transmisión de datos que usan el estándar WiFi, esa impedancia es de 50 ohmios. Es importante notar que si se coloca un cable con impedancia diferente a la del sistema, parte de la energía será reflejada hacia el transmisor provocando pérdidas adicionales.

Muchas de las pérdidas que se dan dentro de un sistema de radio son producidas por los cables que se conectan al transmisor y receptor de las antenas, estas pérdidas dependen de la frecuencia de operación y el tipo de cable a utilizar. Adicional a esto hay que tomar en cuenta las pérdidas por conectores que como regla general se considera de 0.3 a 0.5 dB por conector. La tabla I muestra los valores típicos de pérdidas para la frecuencia de 2.4GHz

Tabla I Tipos de cables [10]

Tipo de Cable	Pérdida [db/100m]
RG 58	80-100
RG 213	50
LMR-100	130
LMR-200	50
LMR-400	22
Aircom plus	22
LMR-600	14
Flexiline de 1/2"	12
Flexiline de 7/8"	6.6
C2FCP	21
Heliac de 1/2"	12
Heliac de 7/8"	7

2.9 Implementación del radioenlace

Existe un sin número de características que se definen al momento de implementar un radio enlace, pero en breves rasgos daremos a conocer las más importantes que ayudaron a la implementación de nuestro enlace. Existen dos aspectos fundamentales a tomar en cuenta: ubicación geográfica y aspectos técnicos de diseño. Es imprescindible la selección del espacio físico en donde se ubicará las antenas, ya que de esto dependen los aspectos técnicos a considerar en el diseño del enlace, por lo que se tratará de abordar los factores a tomar en cuenta dentro del marco de propagación de ondas y de radiocomunicaciones.

2.9.1 Línea de vista y claridad

El primer obstáculo al que nos enfrentamos al momento de implementar un radio enlace es la necesidad de tener línea de vista. El término “línea de vista” no se refiere solamente al hecho de observar sino también de contar con la primera zona de Fresnel despejada en por lo menos un sesenta por ciento, lo cual analizaremos más adelante.

Suele suceder que en el espacio físico donde se va a implementar el enlace exista edificios en construcción, árboles y otros obstáculos que estén muy cerca a la posición de los equipos, por lo que pueden llegar a interferir en la comunicación de los mismos. Por lo tanto es necesario considerar que exista al menos 20 metros de claridad en cualquier extremo del enlace. En términos sencillos la claridad se refiere a la distancia mínima que existe desde la antena hasta el primer obstáculo.

2.9.2 Reflexión, atenuación y difracción

En un radioenlace el fenómeno que incide más de estos tres es la atenuación, debido a las condiciones del medio como la vegetación y el clima del lugar. Por otro lado la

difracción y reflexión no se consideran como fenómenos que tengan mucha incidencia sobre el enlace.

Existen muchos factores que pueden atenuar la señal tales como: lluvias, viento, árboles, edificios, etc. En el instante que las ondas electromagnéticas atraviesan un material, estas por lo general pierden potencia, es decir se atenúan. La cantidad de potencia que se pierda va a depender del material que atraviesa y la frecuencia a la que viaja la onda. En torno al fenómeno de reflexión cabe indicar que en zonas urbanas la densidad poblacional y gran cantidad de edificaciones pueden causar un efecto de propagación multicamino, el cual es producido cuando las ondas electromagnéticas llegan al receptor en intervalos de tiempo diferentes usando múltiples trayectorias hacia el destino, como su nombre lo indica.

2.9.3 Zona de Fresnel

Se puede definir como el campo electromagnético que resulta al momento de establecer el enlace. Para poder obtener un enlace confiable es importante considerar una zona de Fresnel despejada en por lo menos un sesenta por ciento como se puede ver en la figura 2.16.

Además de la línea de vista entre las dos antenas, la zona de Fresnel es un factor que hay que tomar muy en cuenta debido a que se la considera como una zona de despeje adicional, ya que por la expansión de las ondas electromagnéticas un obstáculo en el camino puede significar un aumento o disminución de la potencia de la señal.

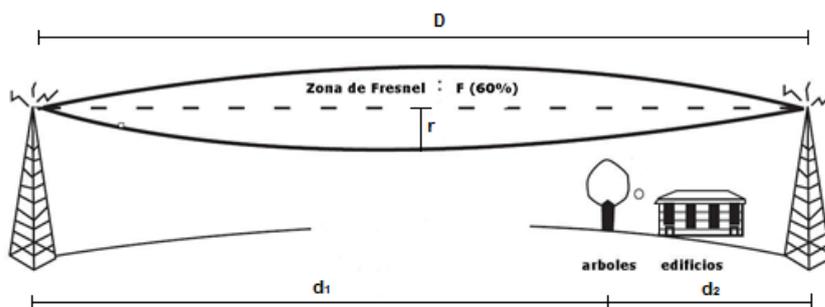


Figura 2.16 Zona de Fresnel

Para el caso de que no exista ningún obstáculo entre el transmisor y receptor, se puede usar la ecuación (2,2) para calcular el radio de la zona de Fresnel:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}} \quad \text{Ecuación (2,2)}$$

Cuando existe un obstáculo entre el emisor y receptor se usa la ecuación (2,3) para hallar el radio de la n-sima zona de Fresnel:

$$r_n = 548 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f \cdot D}} \quad \text{Ecuación (2,3)}$$

Dónde:

r = radio (m)

r_n = radio n-sima zona de Fresnel (m)

d_1 = distancia del emisor hasta el obstáculo (Km)

d_2 = distancia del obstáculo hasta el receptor (Km)

D = distancia entre el transmisor y receptor (Km)

f = frecuencia (MHz)

2.10 Consideraciones teóricas para el diseño de radioenlace

Con el fin de comprender la naturaleza de las comunicaciones vía radio, es indispensable comprender los factores que afectan la propagación de las ondas electromagnéticas como por ejemplo la frecuencia utilizada, la época del año, etc. Ya que tanto el modo de propagación y las pérdidas asociadas se ven afectadas por distintos factores ambientales.

2.10.1 Propagación de las ondas electromagnéticas

Entre los modos de propagación que se consideran al momento de realizar un análisis de ondas tenemos:

Propagación en superficie: es cuando las ondas electromagnéticas viajan cerca de la superficie de la tierra por lo que es importante considerar que la propagación de la onda puede verse afectada por la proximidad de la tierra y la forma esférica de la misma, además de los efectos causados por la atmosfera y la ionosfera. Un esquema de la propagación en superficie puede verse en la Figura 2.17.

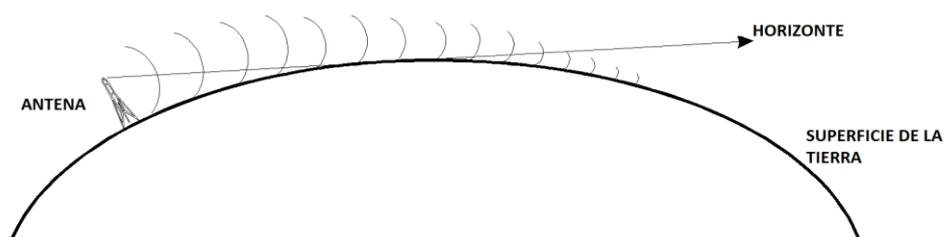


Figura 2.17 Propagación en Superficie

Propagación troposférica: en este modo de propagación las ondas de radio son irradiadas desde los terminales con un cierto ángulo hasta la troposfera donde se reflejan hacia la superficie de la tierra como se puede ver en la Figura 2.18.

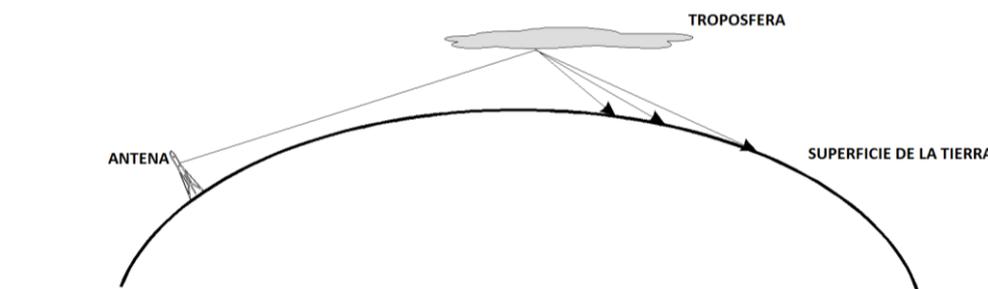


Figura 2.18 Propagación en Troposférica

Propagación ionosférica: esta forma de propagación permite alcanzar distancias de miles de kilómetros y se logra debido a la variación de la densidad entre la troposfera y la ionosfera que hace que las ondas de radio se aceleren y se curven de vuelta a hacia la superficie de la tierra provocando lo que se denomina dispersión. Un esquema de la propagación ionosférica se puede ver en la Figura 2.19

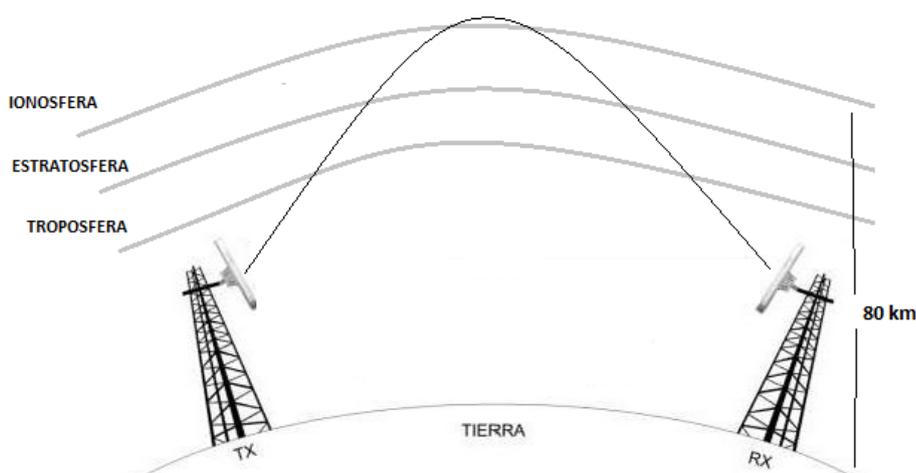


Figura 2.19 Propagación en ionosférica

Propagación en línea de vista: este tipo de propagación es cuando las ondas electromagnéticas viajan aproximadamente en línea recta hacia el destino tal como se puede apreciar en la Figura 2.20, en este caso es importante considerar la orientación, la altura de las antenas y distancia de separación de las mismas para evitar ligeras desviaciones debido a la refracción de la atmosfera de la tierra y que la curvatura de la tierra sea un obstáculo para la propagación.

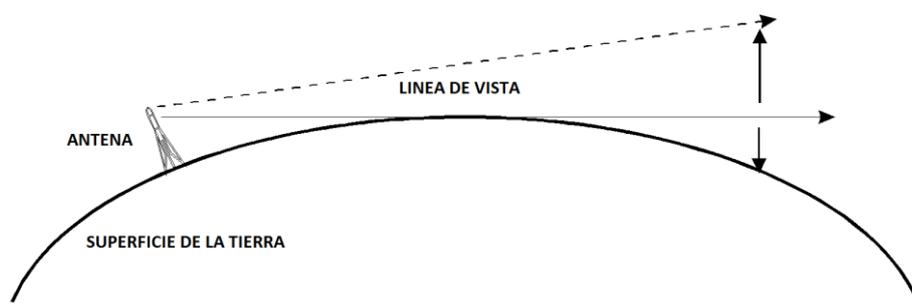


Figura 2.20 Línea de Vista

Modelo de tierra plana: hacer un análisis de la propagación en la cercanía de la superficie terrestre se convierte en una tarea difícil de cuantificar en qué grado se ve afectada la propagación de las ondas electromagnéticas, por ello se trata de idealizar las condiciones reales mediante modelos simplificados. Para

efectos prácticos podemos ignorar la curvatura de la tierra si se trabaja a distancias inferiores a 15 Km, dando origen a lo que conoce como el modelo de tierra plana. El caso más simple de propagación sobre la tierra plana se ilustra en la Figura 2.21

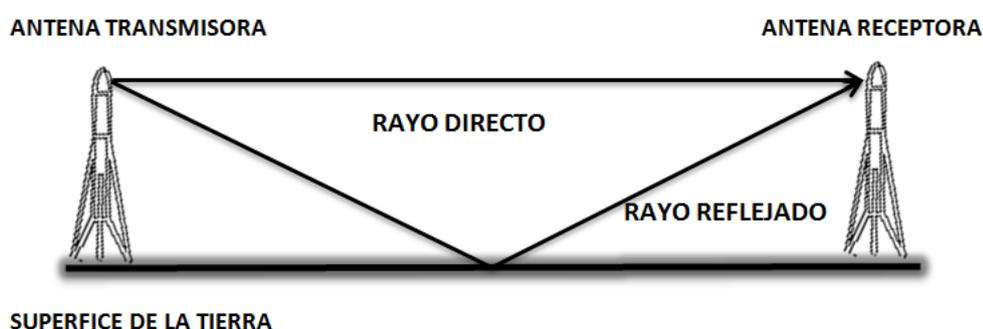


Figura 2.21 Modelo de Tierra Plana

2.10.2 Pérdida de transmisión en el espacio libre

En condiciones de propagación en el espacio libre en enlaces punto a punto que se encuentren en línea de vista y donde la señal es absolutamente resistente a otros factores ambientales, según la Recomendación UIT-R P.525-2 la atenuación de la onda de radio se puede calcular por la ecuación (2,4):

$$A = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad \text{Ecuación (2,4)}$$

Dónde

A = Atenuación (dB)

f = frecuencia (MHz)

d = distancia (km).

Las condiciones de espacio libre se dan en casos ideales en un entorno que esté libre de ruidos extraños como por ejemplo en una sala blindada contra interferencias RF o una cámara anecoica, para que el patrón de radiación de la antena no pueda ser alterado. Sin embargo en un ambiente de propagación que no es el espacio libre se puede aproximar la situación ideal cuando se trabaja con frecuencias superiores a 30 MHz, utilizando antenas altamente directivas y que la altura de las antenas sea considerable sobre el nivel del suelo.

En un ambiente no ideal la degradación de las ondas electromagnéticas también puede verse afectada por las múltiples reflexiones que son provocadas por los obstáculos que están presente en el medio ambiente circundante, como por ejemplo colinas, vallas, vehículos, edificios, lagos, ríos, etc. Al tener reflexiones de múltiples

fuentes que llegarían a la antena receptora en o fuera de fase con la señal que se pretende transmitir se puede presentar un grado de adición o cancelación de la señal, respectivamente.

2.11 Modulación

La modulación es fundamental para todas las comunicaciones inalámbricas y es el proceso de transportar la información sobre una onda portadora. La mayoría de las transmisiones inalámbricas hoy en día son digitales y con el limitado espectro disponible, el tipo de modulación a usar es un factor crítico. El objetivo principal de la modulación hoy en día es enviar la mayor cantidad de datos en la menor cantidad posible de espectro. Este objetivo se lo conoce como la eficiencia espectral, que mide la rapidez con que los datos pueden ser transmitidos en un ancho de banda asignado. La unidad de medida es bits por segundo por Hz (b/s/Hz). Múltiples técnicas han surgido para lograr y mejorar la eficiencia espectral.

Hay tres formas básicas para modular una onda portadora de radio sinusoidal: la modificación de la amplitud, la frecuencia, o fase. Métodos más sofisticados combinan dos o más de estas variaciones para mejorar la eficiencia espectral. Estas formas de

modulaciones básicas todavía se utilizan hoy en día con señales digitales.

2.12 Redes WLAN

Podemos definir a las redes WLAN como un tipo de red LAN que permite el intercambio de datos utilizando como medio de comunicación el aire, básicamente se logra esto enlazando dos o más dispositivos que utilizan algún método de distribución inalámbrica como por ejemplo OFDM.

Se detalla a continuación ciertas razones para elegir una red inalámbrica en lugar de las redes cableadas tradicionales:

- Para interconectar edificios remotos donde la implementación de una red cableada no es una solución viable.
- Implementación de redes WLAN donde los usuarios se encuentran siempre en movimiento.
- Utilizadas como una alternativa para interconectar dispositivos debido a que puede presentarse congestión en las redes cableadas.

2.13 Estándar IEEE 802.11

La implementación del radioenlace tiene como base fundamental el estándar IEEE 802.11, ya que los equipos de comunicación

usados tienen como base esta tecnología de redes inalámbricas, la cual se describe a continuación. El estándar IEEE 802.11 está constituido por una serie de especificaciones asociadas a la capa física del modelo OSI, adaptando este nivel de la capa a las exigencias que involucran trabajar en un entorno inalámbrico, pero manteniendo la interoperabilidad con las demás capas. La tabla II muestra un resumen de las características más importantes propuestas por el estándar IEEE 802.11 para las redes inalámbricas.

Tabla II Estándar IEEE 802.11 [11]

	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
Modulación	DSSS	DSSS/CCK	OFDM	OFDM DSSS/CCK	SDM/ SDM OFDM
Tase de datos (Mbps)	1.2	5.5 – 11	6 – 54	1 – 54	6 – 600
Frecuencia (GHz)	2.4	2.4	5	2.4	2.4 – 5
Ancho de Canal (MHz)	25	25	20	25	20 - 40

El estándar IEEE 802.11n incorpora grandes mejoras en velocidad, alcance y confiabilidad, ya que permite velocidades de transferencia de 2 a 5 veces más rápido que los estándares anteriores, usando la modulación OFDM de manera más eficiente ya que proporciona un ancho de banda ampliado a 40Mhz. Incorpora un sistema de entradas múltiples al receptor y múltiples

salidas en el transmisor (MIMO), con la capacidad de enviar o recibir simultáneamente varias cadenas de datos. El estándar implementa mejoras sobre la capa MAC reduciendo la transmisión de encabezados, ya que se pueden enviar varias tramas de manera simultánea, logrando completar la transmisión en un menor tiempo, incrementando así el rendimiento de la red.

2.14 Calidad de servicio

Conforme aumenta el uso de las comunicaciones inalámbricas, crece la necesidad de utilizarlas en muchas aplicaciones a tal punto que puedan reemplazar en su totalidad a los sistemas cableados, pero el espectro radioeléctrico es bastante inestable y escaso, con lo que resulta importante que las nuevas tecnologías estén dotadas con características de calidad de servicio para asegurar un funcionamiento adecuado de un sistema de comunicación.

En general la calidad de servicio se refiere al conjunto de mecanismos que aseguran las mínimas condiciones de rendimiento en un sistema de comunicación en base a métricas como la latencia, Throughput, la variación de retardo, la pérdida de las tramas que afectan directamente la experiencia del usuario final de un servicio.

La calidad de servicio se puede ver afectada por muchos factores como el tipo de tecnología de comunicación utilizada, los equipos de comunicación utilizados, etc. Por eso es importante en un radioenlace tener una comunicación equilibrada en todos los extremos para aprovechar al máximo la capacidad del enlace. Existen muchos parámetros de calidad de servicio que pueden medir el rendimiento de un sistema, en este proyecto se analizarán los más importantes los cuales se detallan a continuación:

Throughput: es la cantidad máxima de datos que pueden ser transportados desde el origen hasta el destino sin que se pierdan tramas o la cantidad de tramas perdidas este dentro del nivel aceptable. Su valor depende del tamaño de la trama que se envía por el enlace.

Latencia: desde el punto de vista de la capa física podemos definir a la latencia como el tiempo total necesario para que las tramas viajen desde origen hacia el destino. Este tiempo total es la suma de los retrasos en el procesamiento de los elementos de red y el retardo de propagación a lo largo del medio de transmisión. La latencia se mide en unidades de segundos.

Pérdida de paquetes: es el número de tramas que se han transmitido con éxito desde la fuente, pero nunca fueron recibidas en el destino. Las tramas pueden perderse por un número de razones incluida los errores y el retraso excesivo. Además considerando que el medio inalámbrico es bastante inestable por lo que contribuye a la pérdida de paquetes debido a las interferencias que se presentan en el momento de la transmisión. Esta métrica suele representarse en porcentajes como por ejemplo si 100 paquetes son enviados por el transmisor y solamente 98 son recibidos por el receptor entonces la pérdida de paquetes entre los dos puntos es de un 2%.

Variación de retardo: es la fluctuación entre los tiempos de llegada de los paquetes consecutivos para un determinado flujo de tráfico. Estas fluctuaciones tienen un efecto importante en aplicaciones sensibles al retardo tales como la voz y video, ya que esperan recibir paquetes a un ritmo constante con retardo fijo entre paquetes consecutivos y si la variación incrementa la aplicación puede quedar inutilizable.

2.15 Parámetros de calidad de servicio ideales para servicios multimedia

La recomendación UIT-T G.1010 proporciona referencias sobre los parámetros de calidad de servicio desde el punto de vista del usuario de final para medir el desempeño de los sistemas haciendo uso de diferentes aplicaciones como por ejemplo audio, voz en conversaciones, video, datos, etc. Es de gran importancia conocer si se quiere lograr que el sistema permita una comunicación fluida en ambientes realistas. Los valores aceptables se describen en la Tabla III.

Tabla III Valores de los parámetros de calidad de servicio [12]

Aplicación	Velocidad de datos típicas	Tiempo de transmisión (RTT)	Variación de retardo	Perdida de información
Audio (voz en conversación)	4-64 kbit/s	< 300 ms	<1 ms	< 3%
Audio (mensajería vocal)	4-32 kbit/s	< 2 s	<< 1 ms	< 3%
Audio (en tiempo real)	16-128 kbit/s	< 20 s	<< 1 ms	< 1%
Video	16-384 kbit/s	300 ms	<1 ms	< 1%
Datos	< 10 KB	< 500 ms	No aplicable	NULA

CAPITULO 3

3. Implementación de los radioenlaces en la banda de 2.4 GHz que permita realizar un análisis comparativo de los parámetros de calidad de servicio

En el siguiente capítulo se detalla todas las consideraciones que tuvimos al momento de realizar la implementación de los radioenlaces, las configuraciones de los equipos y se explica cómo se realizaron las pruebas experimentales del rendimiento de los enlaces.

3.1 Consideraciones técnicas

Para realizar la implementación de los radioenlaces WLAN fue necesario tomar en consideración los elementos que participaron en los enlaces, haciendo un análisis previo de algunos parámetros importantes de diseño que se describen a continuación:

3.1.1 Ubicación de los radioenlaces

Los radioenlaces fueron implementados en ambientes al aire libre, donde se tuvo línea de vista directa entre los terminales. Los lugares escogidos para llevar a cabo las pruebas en ambientes al aire libre fueron: La Escuela de Diseño y Comunicación Visual de la ESPOL y el sector de la Alborada atrás del Riocentro Norte, que corresponden a una zona suburbana y urbana respectivamente, donde fue necesario tomar en cuenta que la presencia de obstáculos no interfieran en los resultados significativamente. La ubicación de los radioenlaces se puede apreciar en las figuras 3.1 y 3.2



Figura 3.1 Radioenlace EDCOM

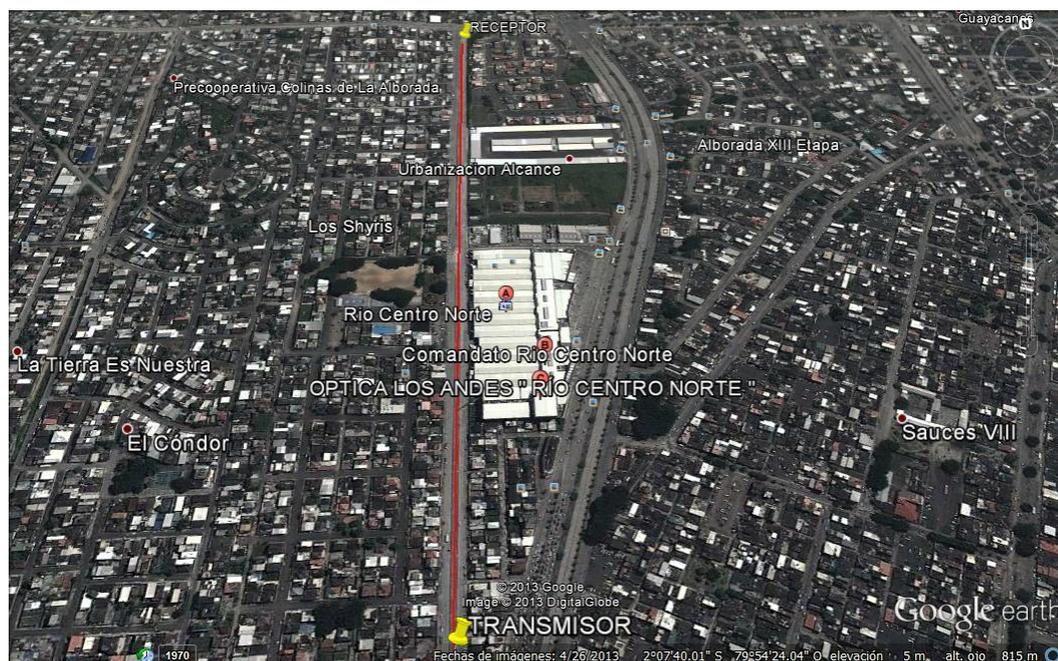


Figura 3.2 Radioenlace Alborada

Las coordenadas de la ubicación de los radioenlaces se pueden ver en la Tabla IV, las cuales se obtuvieron utilizando Google Earth.

Tabla IV Coordenadas de los radioenlaces

Lugar	Dispositivo	Latitud	Longitud
EDCOM	Transmisor	2° 8' 42.53"S	79° 57' 48.22"O
	Receptor	2° 8' 41.10"S	79° 57' 46.49"O
Alborada	Transmisor	2° 7' 52.93"S	79° 54' 27.88"O
	Receptor	2° 7' 16.13"S	79° 54' 26.27"O

3.1.2 Perfil del radioenlace EDCOM

Como se puede ver en la figura 3.3 el perfil del terreno de EDCOM fue idóneo para realizar las pruebas de calidad de servicio puesto que no existía muchas irregularidades en el terreno. En este lugar se estableció una distancia de aproximadamente 70 metros entre los enlaces, donde cabe indicar que existió poca afluencia de personas ya que las pruebas se realizaron los fines de semana.

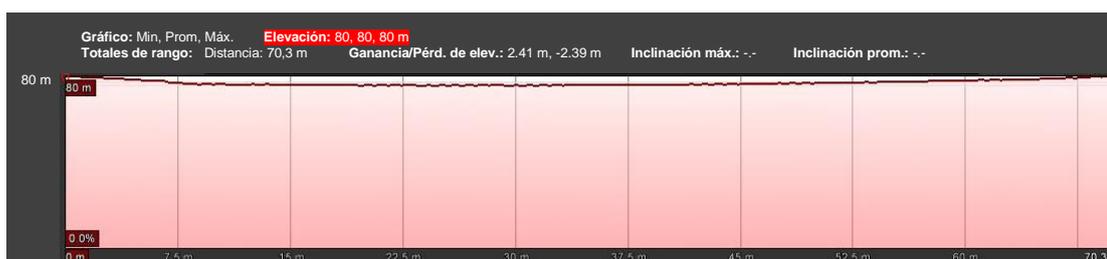


Figura 3.3 Perfil radioenlace EDCOM

3.1.3 Perfil del radioenlace Alborada

En la figura 3.4 se puede verificar que la longitud de separación de ambos radioenlaces es aproximadamente 1 Kilometro, es por ello que para análisis posteriores se puede despreciar el radio de curvatura de la tierra. En este sector el cual se considera urbano, se pudo notar mucha afluencia de personas y automóviles, sin embargo se realizó las pruebas

en una zona intermedia libre de autos pero con afluencia de personas en los alrededores.



Figura 3.4 Perfil radioenlace Alborada

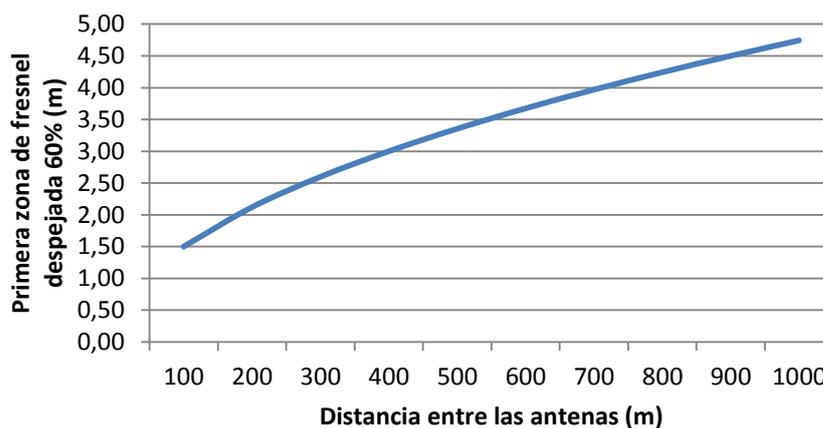
3.1.4 Alturas de las antenas

Se realizaron pruebas a diferentes distancias es por ello que lo primero que se verificó para determinar la altura adecuada de las antenas es que se deba tener línea de visión libre de obstáculos al menos el 60 por ciento de la primera zona de Fresnel. Aplicando la ecuación (2,2) para calcular la primera zona de Fresnel a diferentes distancias obtuvimos los resultados que se muestran en la Tabla V.

En la figura 3.5 se puede observar que a medida que la distancia entre las antenas aumenta es necesario aumentar la altura de las antenas para garantizar un despeje del 60 por ciento de la zona de Fresnel.

Tabla V Zona de Fresnel a diferentes distancias

Distancia (m)	Radio primera zona de Fresnel (m)	Primera zona de Fresnel despejada 60% (m)
100	2,50	1,50
200	3,54	2,12
300	4,33	2,60
400	5,00	3,00
500	5,59	3,35
600	6,12	3,67
700	6,61	3,97
800	7,07	4,24
900	7,50	4,50
1000	7,91	4,74

**Figura 3.5** Primera zona de Fresnel despejada 60%

En la implementación de los radioenlaces la altura de las antenas estaba limitada por la altura de los soportes utilizados, los cuales tienen una altura máxima de 2 metros aproximadamente, pero debido a las condiciones climáticas fue conveniente poner las antenas a una altura menor a la

máxima, para evitar que las antenas se balanceen por efectos del viento, siendo la altura seleccionada 1,50 metros lo cual está dentro del margen de la zona de Fresnel despejada 60% para distancias menores a 100m.

3.1.5 Frecuencia de operación

Para seleccionar la frecuencia de operación fue necesario realizar un análisis del espectro utilizando WifiAnalyzer en cada uno de los lugares donde se realizó la implementación de los radioenlaces.

Escuela de Diseño y Comunicación Visual de la ESPOL

En la gráfica 3.6 se puede observar que a partir del canal 6 no hay ninguna red inalámbrica operando por lo tanto se eligió el canal 11, el cual tiene asociada la frecuencia 2462 MHz.

Sector de la Alborada

El canal seleccionado para llevar a cabo la implementación del radioenlace fue el canal 6 debido a que no se encontraba ninguna señal que pudiera interferir con las pruebas como se observa en la gráfica 3.7; sin embargo es importante recalcar

que al tratarse de una zona urbana habían muchas fuentes operando en la banda de 2.4 GHz.

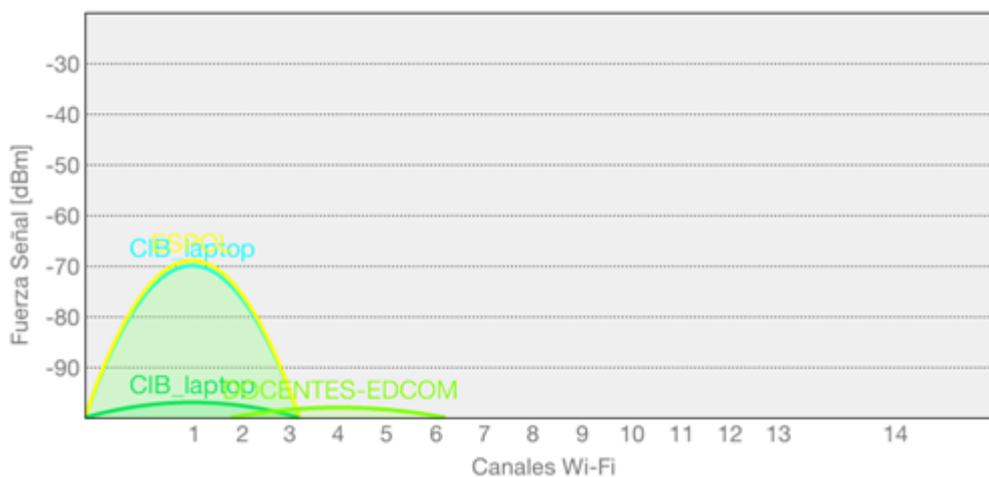


Figura 3.6 Análisis espectro en EDCOM

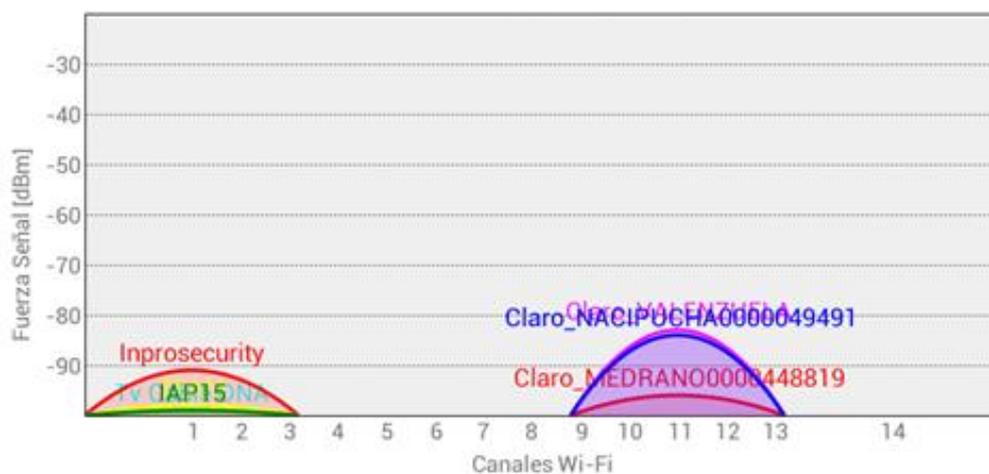


Figura 3.7 Análisis espectro en la Alborada

3.1.6 Elección de la modulación

La modulación a usar en el enlace depende del modo de operación del dispositivo de comunicación utilizado, por lo

que la elección de este parámetro se lo estableció en base a la velocidad de transmisión definido en cada estándar como se puede ver en la Tabla II. Pero para obtener datos reales de los equipos a usar, se realizaron pruebas en el laboratorio de simulación de telecomunicaciones, variando el modo de operación de los puntos de acceso. Los resultados se pueden ver en la Tabla VI.

Tabla VI Capacidad del equipo según el modo de operación

Modo de Operación	Capacidad (Mbits/s)
Modo b	5,67
Modo g	18,0
Modo n	44,8

De acuerdo a los resultados obtenidos se seleccionó el modo de operación n, ya que en base a los datos reales se verificó que este modo de operación brinda una mayor capacidad de enlace.

3.2 Descripción de los equipos

En esta sección se describe de forma general los elementos que intervinieron en la implementación del enlace.

3.2.1 Equipos de radio

Se hizo uso de equipos de acceso inalámbrico de la marca TP-LINK que operan en la banda de 2.4GHz en el estándar IEEE 802.11 b/g/n y se los configuró de manera que puedan formar un puente inalámbrico como se detalla en el Anexo A. Los parámetros a considerar en el cálculo del enlace son la potencia de transmisión igual a 20dBm y la sensibilidad en el receptor que es igual a - 90dBm.

Las demás especificaciones técnicas del dispositivo se encuentran en el Anexo C. Adicional a esto se hicieron pruebas para medir la potencia real de los equipos de comunicación haciendo uso del analizador de espectro NARDA SRM-3000. El resultado de la prueba se puede ver en el Anexo B, siendo la potencia real del equipo igual a 16.75 dBm considerando las pérdidas debido a los conectores.

3.2.2 Antenas

Las antenas que se usaron para las pruebas fueron del tipo rejilla y panel las cuales operan en la banda de 2.4GHz, con una ganancia de 24 dBi para la antena rejilla y de 14 dBi para la antena panel. Las demás características de la antena se

muestran en el Anexo C. Adicional a esto se realizaron pruebas para medir la potencia del sistema (punto de acceso - antena) usando el NARDA SRM-3000 y el equipo analizador de espectros AGILENT E4411B. Los resultados se pueden ver en la Tabla VII.

Tabla VII Potencia del sistema punto de acceso - antena

Equipo de medición	Potencia con antena panel (dBm)	Potencia con antena rejilla (dBm)
NARDA SRM-3000	-54,2187	-39,0135
AGILENT E4411B	-40,25	-38,80

Es importante recalcar que los resultados obtenidos son en base a la antena de referencia de cada equipo de medición.

3.2.3 Conectores y cables

El equipo de acoplo entre el radio y la antena está compuesto por cables y conectores que se muestran en la Tabla VIII tomando en consideración las pérdidas que estos introducen al sistema:

Tabla VIII Pérdidas por cables y conectores

Equipo de Acoplo	Pérdidas
Pigtail 35cm (Cable LMR-100)	0,46 dB
Conector RPSMA hembra	0,3 dB
Conector tipo N macho	0,3 dB

3.3 Presupuesto de potencia del enlace

Este cálculo ayudará a estimar las ganancias y pérdidas presentes en los radioenlaces, los cuales se resumen en las Tablas IX, X, XI y XII.

De forma general los valores de potencia resultantes se encuentran dentro del margen establecido, el cual se recomienda que sea mayor a 22 dB [13]. Dentro de los cálculos se tomó en consideración la ecuación (2,4) para estimar las pérdidas de espacio libre y para las pérdidas debido a conectores y cables se consideró la Tabla VIII.

Tabla IX Presupuesto de potencia enlace Alborada con antena rejilla

Datos	Elementos	Valores
Distancia: 1km Ubicación: Alborada Frecuencia: 2.4Ghz Antena: Rejilla	Salida Transmisor	20 dBm
	Cables y Conectores	-2,12 dB
	Antena Transmisor	24 dBi
	Antena Receptor	24 dbi
	Pérdida espacio libre	-100 dB
	Sensibilidad Receptor	90 dBm
	Margen Total	55,88 dB

Tabla X Presupuesto de potencia enlace Alborada con antena panel

Datos	Elementos	Valores
Distancia: 1km Ubicación: Alborada Frecuencia: 2.4Ghz Antena: Panel	Salida Transmisor	20 dBm
	Cables y Conectores	-2,12 dB
	Antena Transmisor	14 dBi
	Antena Receptor	14 dBi
	Pérdida espacio libre	-100 dB
	Sensibilidad Receptor	90 dBm
	Margen Total	35,88 dB

Tabla XI Presupuesto de potencia enlace EDCOM con antena rejilla

Datos	Elementos	Valores
Distancia: 70m Ubicación: EDCOM Frecuencia: 2.4Ghz Antena: Rejilla	Salida Transmisor	20 dBm
	Cables y Conectores	-2,12 dB
	Antena Transmisor	24 dBi
	Antena Receptor	24 dBi
	Pérdida espacio libre	-76,91 dB
	Sensibilidad Receptor	90 dBm
	Margen Total	78,97 dB

Tabla XII Presupuesto de potencia enlace EDCOM con antena panel

Datos	Elementos	Valores
Distancia: 70m Ubicación: EDCOM Frecuencia: 2.4Ghz Antena: Panel	Salida Transmisor	20 dBm
	Cables y Conectores	-2,12 dB
	Antena Transmisor	14 dBi
	Antena Receptor	14 dBi
	Pérdida espacio libre	-76,91 dB
	Sensibilidad Receptor	90 dBm
	Margen Total	58,97 dB

3.4 Esquema de red

El esquema de red de nuestro escenario de pruebas lo conforman los equipos anteriormente descritos en este capítulo y a partir de este escenario se realizará el análisis con el software adecuado, lo cual se detalla más adelante en la descripción de las pruebas. Para el escenario se debe considerar que existe validez siempre y cuando exista visión directa entre los dos nodos, lo cual será fundamental a la hora de establecer el enlace y también será importante que en cada lado este ubicado un equipo de comunicación TP-LINK configurado de manera adecuada para así poder establecer la comunicación. En la figura 3.8 y 3.9 se muestra el esquema de las dos plataformas utilizadas para las pruebas.

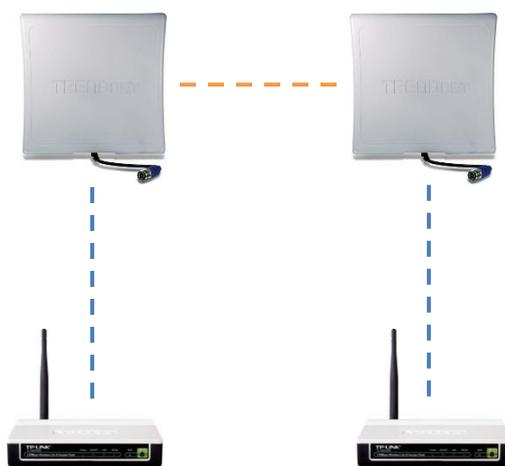


Figura 3.8 Enlace con antena panel (Plataforma 1)

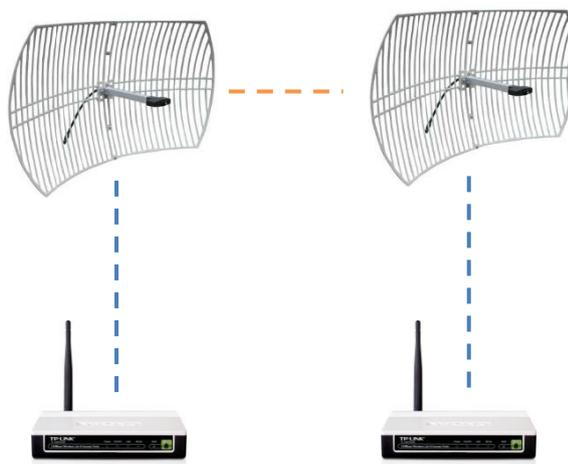


Figura 3.9 Enlace con antena rejilla (Plataforma 2)

A continuación se muestran las configuraciones de red de los equipo de acceso TP-LINK, a los cuales le asignaremos una IP como se muestra en la Tabla XIII.

Tabla XIII Direcciones de red para los puntos de acceso

Dispositivo	IP
Transmisor	192.168.1.253
Receptor	192.168.1.254

También se asignará una dirección IP a los computadores la cual se muestra en la Tabla XIV.

Tabla XIV Direcciones de red para las portátiles

Dispositivo	IP
Portátil A	192.168.1.25
Portátil B	192.168.1.26

3.5 Descripción de las pruebas

Una de las interrogantes que se presentan al momento de realizar un estudio descriptivo es saber cuántos datos se necesitan recopilar para el análisis con el fin de obtener una muestra representativa del evento que se pretende describir.

Definir el número de datos que forman la muestra es necesario para que los datos sean representativos y el tamaño necesario depende de tres variables las cuales se estimarán y son:

Nivel de confianza: se define como el riesgo aceptable de equivocarse al momento de presentar los resultados.

Varianza: es el grado de homogeneidad del conjunto de datos obtenidos.

Margen de error: es el error que se acepta al momento de analizar una muestra en lugar de analizar toda la población.

Para calcular el tamaño de la muestra representativa para poblaciones de gran tamaño (infinitas) se utiliza la ecuación (3,1):

$$n = \frac{(z^2 \cdot \sigma)}{e^2} \quad \text{Ecuación (3,1)}$$

Dónde:

z = corresponde al nivel de confianza

σ = varianza

e = error muestral

Para el tamaño de la muestra se consideraron los siguientes valores:

$z = 2$, lo que corresponde a un nivel de confianza del 95,5%.

$e = 0,05$, siendo este valor equivalente a un 5% de error muestral.

σ = el valor de la varianza esperado es 0,25, partiendo de la hipótesis de que $p=q=0,50$; siendo la varianza igual a $p \times q$ donde p corresponde a la probabilidad de que la muestra sea menor al parámetro de calidad de servicio máximo permitido y siendo q el caso contrario. Los valores máximos para los parámetros de calidad de servicio permitidos, recomendados por la UIT-T G.1010 se muestran en la Tabla III.

Realizando los cálculos respectivos se obtiene un tamaño de muestra de 400 datos para cada tamaño de trama.

Para realizar las pruebas se tomó como base los procedimientos que se describen en la RFC 2544 lo cual permitió obtener los datos necesarios para realizar un estudio descriptivo del rendimiento de los escenarios implementados, en los cuales el factor variante fueron las antenas. Como se explicó al inicio del capítulo, las

pruebas se realizaron en diferentes ambientes y a continuación se detalla cómo se realizaron las mismas:

Se realizaron pruebas para determinar la capacidad de los enlaces a diferentes distancias con el objetivo de verificar como reduce la tasa de transferencia conforme aumenta la distancia. La prueba se realizó en el sector de la Alborada aumentando la distancia progresivamente en 100 m hasta llegar a 1 km aproximadamente.

Se utilizó la herramienta iperf que permitió configurar a un nodo como cliente y a otro como servidor para realizar la transferencia de datos en 10 repeticiones durante un periodo de 50 segundos cada una y de esta manera obtener un valor promedio de la tasa de transferencia en ese tiempo.

Las pruebas para medir latencia, throughput, variación de retardo y paquetes perdidos se realizaron en EDCOM a una distancia de 70 metros. Se tomaron muestras por cada tamaño de trama recomendado por RFC 2544 para un medio Ethernet, siendo estas: 64, 128, 256, 512, 1024, 1280 y 1512 bytes. Dado que el estudio descriptivo se centra en la recolección de datos, para cada tamaño de trama se tomó 8 muestras de 50 datos cada una para formar una muestra compuesta de 400 datos por tamaño de trama.

La prueba de latencia consistió en enviar paquetes ICMP de longitudes variables utilizando el comando ping desde la consola de Windows, la cual proporcionó información útil como el tiempo en que tarda un paquete de datos en volver al emisor pasando primero por el receptor. Se tomaron muestras sucesivas de 50 ping cada una.

En las pruebas realizadas para medir el throughput se enviaron tramas UDP de longitudes variables recomendadas en la RFC 2544, estas ráfagas se enviaron a velocidades específicas para así determinar la cantidad de tramas máximas que se pueden enviar a dichas velocidades aceptando un porcentaje de paquetes perdidos menor al 1%. La herramienta utilizada para poder hacer estas verificaciones fue iperf la cual permitió visualizar la cantidad de paquetes que llegan al destino además de poder configurar el tiempo de duración de cada ráfaga enviada el cual fue de 50 segundos.

Dentro de las pruebas también se considera la variación de retardo ya que es de suma importancia para comprender el comportamiento de los enlaces implementados. Al momento de realizar las pruebas de throughput con la herramienta iperf también se logró obtener

información acerca de variación de retardo para cada longitud de trama logrando completar una muestra de 400 datos por cada tamaño de trama.

CAPITULO 4

4. Análisis comparativo de la implementación de dos radioenlaces en la banda de 2.4 GHz en base a los parámetros de calidad de servicio

En el siguiente capítulo se exponen todos los resultados obtenidos y se establecen comparativas en base a los promedios de las muestras y de esta manera obtener un esquema representativo que permita medir el desempeño de dos plataformas de radioenlace en relación a los parámetros de la calidad de servicio. Es importante recalcar que no se puede generalizar el comportamiento de los sistemas debido a la variabilidad del medio donde se realizaron las pruebas, sin embargo los datos si reflejan una idea del rendimiento de las dos plataformas de radioenlace en los escenarios donde fueron implementados.

4.1 Evaluación de la capacidad de los enlaces

Antes de realizar las pruebas de los parámetros de calidad de servicio se determinó la capacidad de enlace en cada una de las

plataformas implementadas. Los resultados obtenidos en las pruebas se pueden apreciar en la Tabla XV donde se muestra los valores específicos de la tasa de transferencia promedio a diferentes distancias, se puede ver que a la distancia de 1 km se obtuvo una tasa de transferencia de 10,61 Mbps con la plataforma 2 y con la plataforma 1 se alcanzó una tasa de transferencia de 1,036 Mbps, en general para la plataforma 1 la tasa de transferencia es decreciente conforme aumenta la distancia pero en la plataforma 2 se evidencia mayor variación de este parámetro a diferentes distancias.

Según el escenario de red descrito en el capítulo 3 se tiene una computadora conectada en cada extremo del enlace a través de una conexión FastEthernet, por lo que podemos indicar que en esa porción cableada se puede alcanzar una tasa de transferencia teórica máxima de 100 Mbps, en cambio en el enlace inalámbrico al configurar el modo de operación n en los puntos de acceso, se logró alcanzar una tasa de transferencia de 44,8 Mbps como se mostró en la Tabla VI. Podemos concluir que los valores de tasa de transferencia obtenidos están limitados netamente por la capacidad de los enlaces inalámbricos.

Tabla XV Capacidad de enlace de las plataformas

Distancia (m)	Tasa de transferencia plataforma 1(Mbps)	Tasa de transferencia plataforma 2 (Mbps)
100	32,73	29,222
200	32,096	29,654
300	25,178	29,458
400	23,292	29,08
500	18,895	23,292
600	12,5566	19,192
700	3,0698	18,9034
800	2,91814	24,752
900	2,1563	21,972
1000	1,0358	10,61

En la figura 4.1 se ilustra la comparación de la tasa de transferencia entre las dos plataformas, los resultados reflejan que a mayores distancias se obtuvieron mejores resultados con la plataforma 2 debido a que la antena es de mayor ganancia pero es importante recalcar que con la plataforma 1 también fue posible el enlace a 1 km a pesar de que las pruebas se realizaron en un medio no controlado.

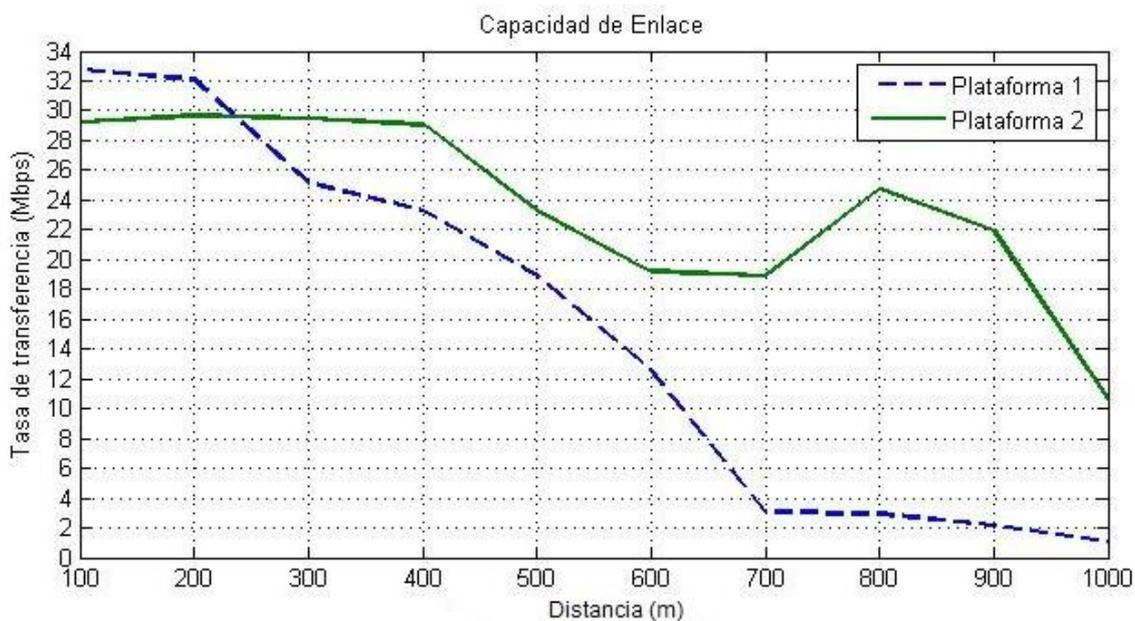


Figura 4.1 Capacidad de enlace en el sector de la Alborada

4.2 Evaluación de los parámetros de calidad de servicio

4.2.1 Latencia

Los resultados que se muestran a continuación permitirán realizar una comparativa respecto al tiempo de respuesta de las dos plataformas y así poder cuantificar un valor promedio para cada una de las tramas enviadas dentro de las pruebas. La figura 4.2 muestra la latencia promedio para cada una de las tramas donde se puede notar que este valor va en aumento a medida que aumenta el tamaño de la trama. Es importante hacer énfasis que a partir de la trama de 512

bytes el valor de latencia se dispara hacia los 9,666 ms y disminuye a 8,562 ms para la trama de 1512 bytes.

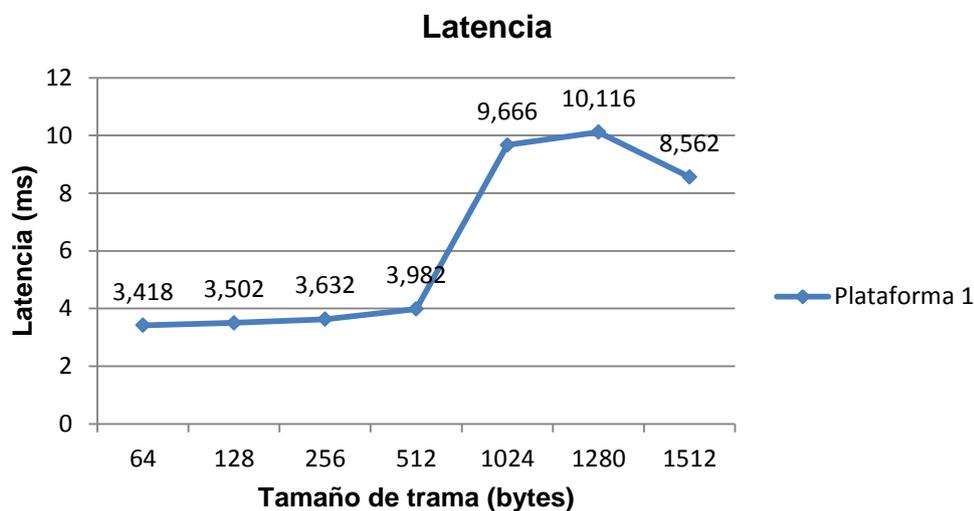


Figura 4.2 Latencia de la plataforma 1

En la figura 4.3 se puede observar la latencia para plataforma 2, donde se aprecia que existe menor variabilidad en la muestra llegando a un valor máximo de 6,516 ms para la trama de 1512 bytes y a un valor mínimo de 3,862 ms para la trama de 256 bytes.

En la gráfica 4.4 se muestra la comparativa de latencia entre las dos plataformas, donde se puede observar que ambas cumplen con valores aceptables para el buen desempeño dentro de una red WLAN, ya que los valores promedios están muy por debajo de los límites permitidos para las

aplicaciones más susceptibles a este parámetro, como son la voz y video como se lo mostró en la Tabla III.

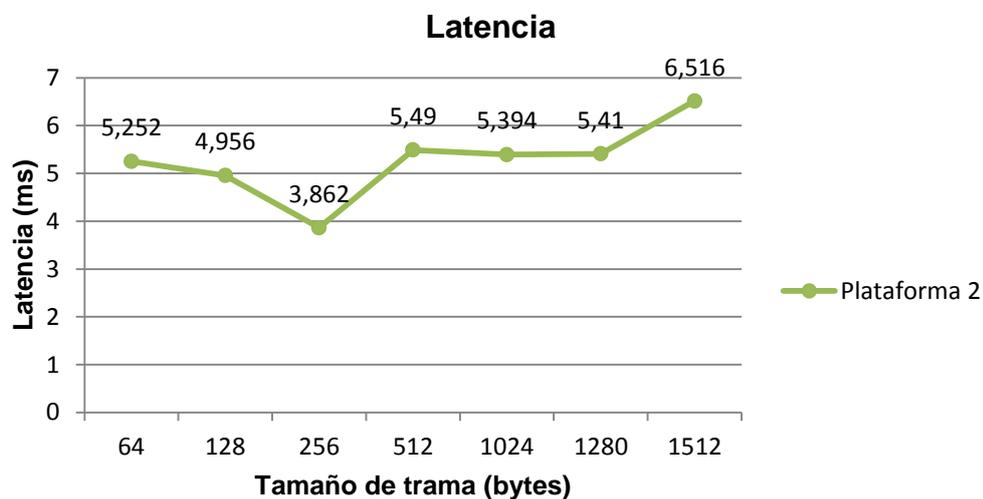


Figura 4.3 Latencia de la plataforma 2

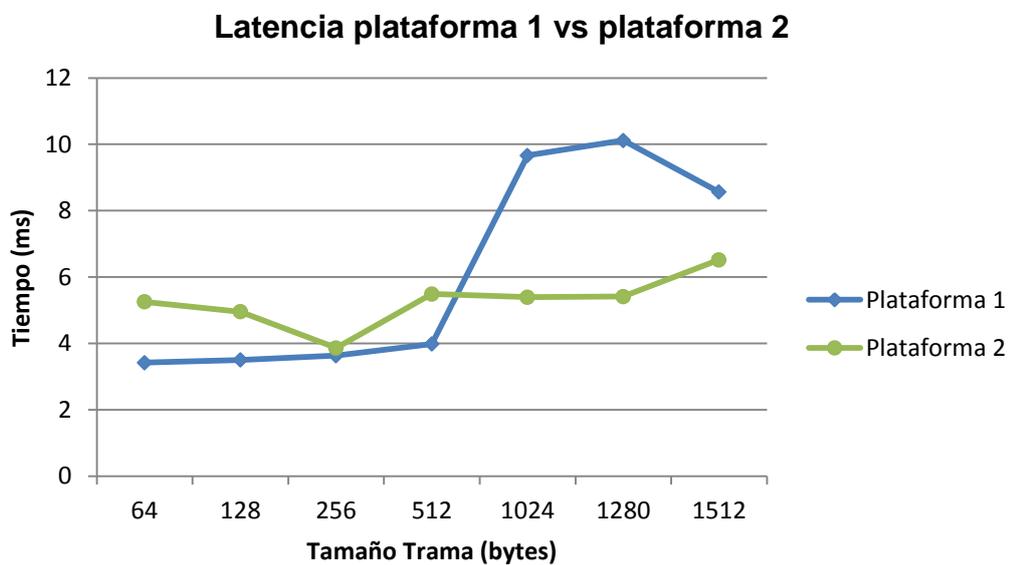


Figura 4.4 Comparativa de latencias entre plataformas

Es importante considerar que estos valores de retardo son con respecto al tiempo de procesamiento de los paquetes en los puntos de acceso, siendo el tiempo que le toma al paquete en ir al receptor y volver al emisor. Para este caso se puede despreciar el tiempo de propagación de la onda, sin embargo dependiendo de la condiciones del medio la onda puede verse afectada causando problemas en la transmisión, lo que provocaría un aumento en la latencia.

4.2.2 Variación de retardo

En la figura 4.2 y 4.3 se pueden apreciar la variación de retardo promedio de la plataforma 1 y la plataforma 2 respectivamente para diferentes tamaños de trama, donde se puede verificar que el valor promedio máximo que se obtuvo para la plataforma 1 fue de 0,462 ms y para la plataforma 2 de 0,511 ms. Si se compara los valores obtenidos con las variaciones de retardo aceptables para ciertas aplicaciones que recomienda la ITU podemos decir que los valores son favorables debido a que se encuentran dentro del límite permitido el cual es 1 ms como se puede ver en la Tabla III.

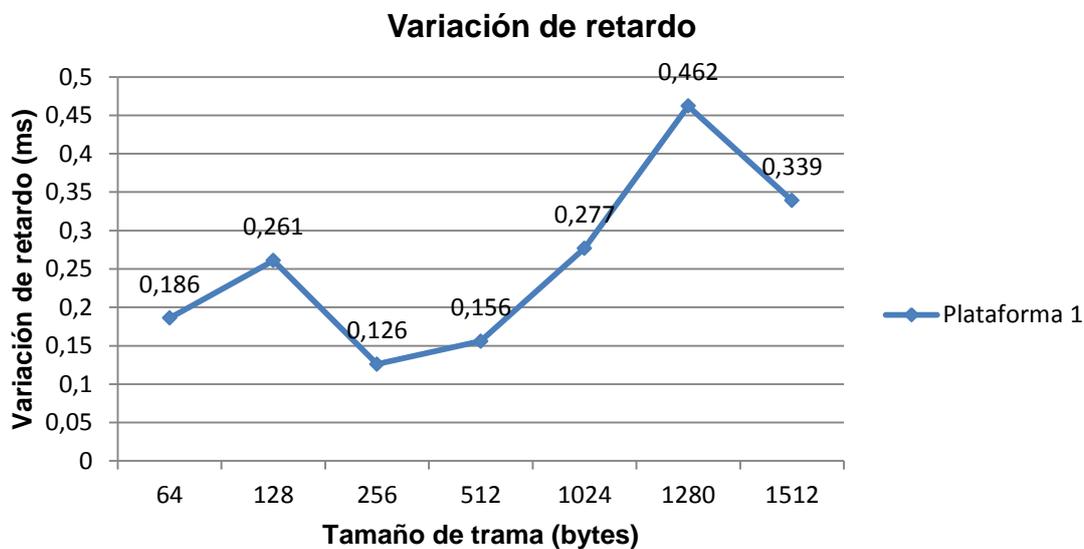


Figura 4.5 Variación de retardo de plataforma 1

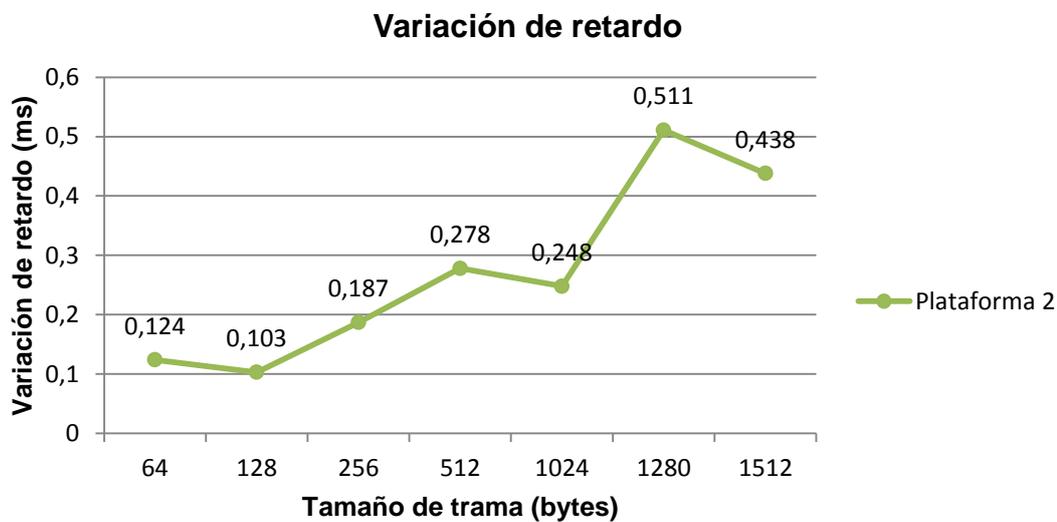


Figura 4.6 Variación de retardo plataforma 2

La figura 4.4 muestra el grafico comparativo de variación de retardo de las dos plataformas implementadas donde se

puede observar que en la plataforma 2 hasta la trama de 256 bytes se obtuvieron valores de retardo menores que la plataforma 1, pero luego estos valores aumentan hasta la trama de 1024 bytes y a partir de esa trama se obtuvieron valores bastantes similares, con una fluctuación bastante pequeña.

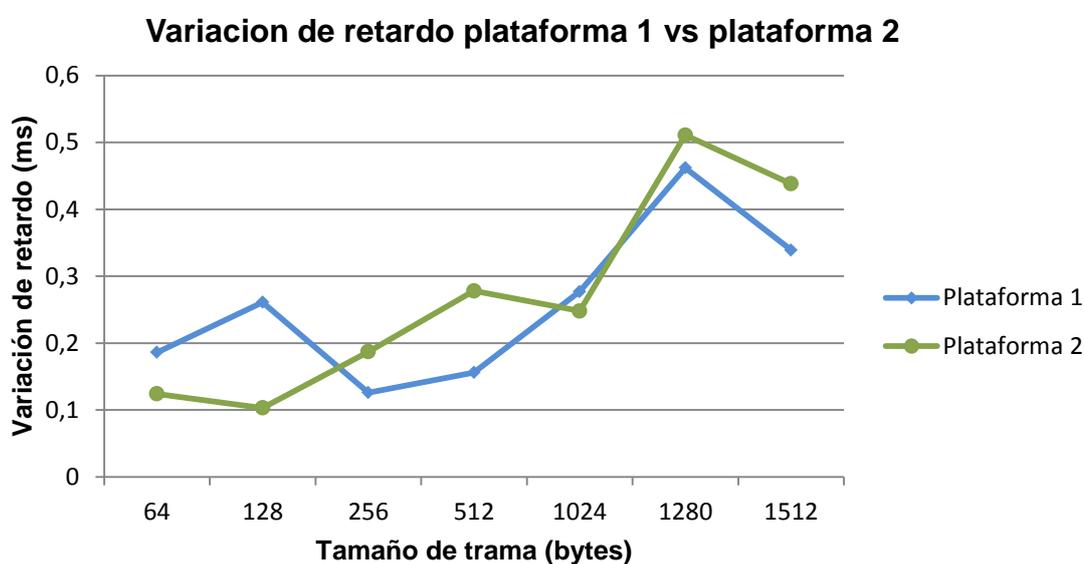


Figura 4.4 Comparativa de variación de retardo entre plataformas

4.2.3 Throughput

La figura 4.5 corresponde al throughput de la plataforma 1, donde se puede apreciar que los valores incrementan conforme aumenta el tamaño de la trama, llegando a un valor máximo de 42 Mbps para la trama de 1512 bytes y un valor mínimo de 3,01 Mbps para la trama de 64 bytes.

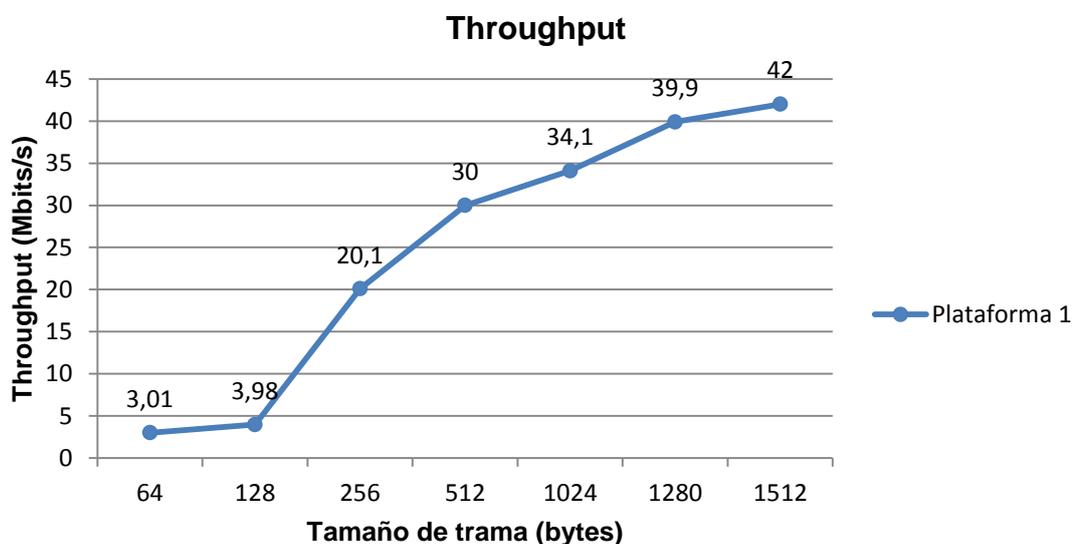


Figura 4.5 Throughput plataforma 1

En la figura 4.6 se puede observar un comportamiento similar para la plataforma 2, que describe un crecimiento del throughput a medida que aumenta la trama, aunque cabe recalcar que para esta plataforma se alcanza un valor máximo de 45,1 Mbps para la trama más grande y valor mínimo de 5,01 Mbps para la trama de 64 bytes.

En la figura 4.7 se puede observar la comparativa del throughput entre las dos plataformas, estos resultados permiten tener un indicativo de la capacidad de enlace pero omitiendo el control de flujo en la transmisión, sin embargo se logra obtener valores de throughput aceptables para diferentes tamaños de trama y con porcentajes pequeños de

pérdidas de paquetes, los cuales fueron menos del 1% para ambas plataformas, los resultados se pueden apreciar en la Tabla XVII, si se compara estos valores con el porcentaje recomendado para aplicaciones vulnerables a la pérdida de paquetes como audio y video se puede verificar que se obtuvieron resultados por debajo del límite.

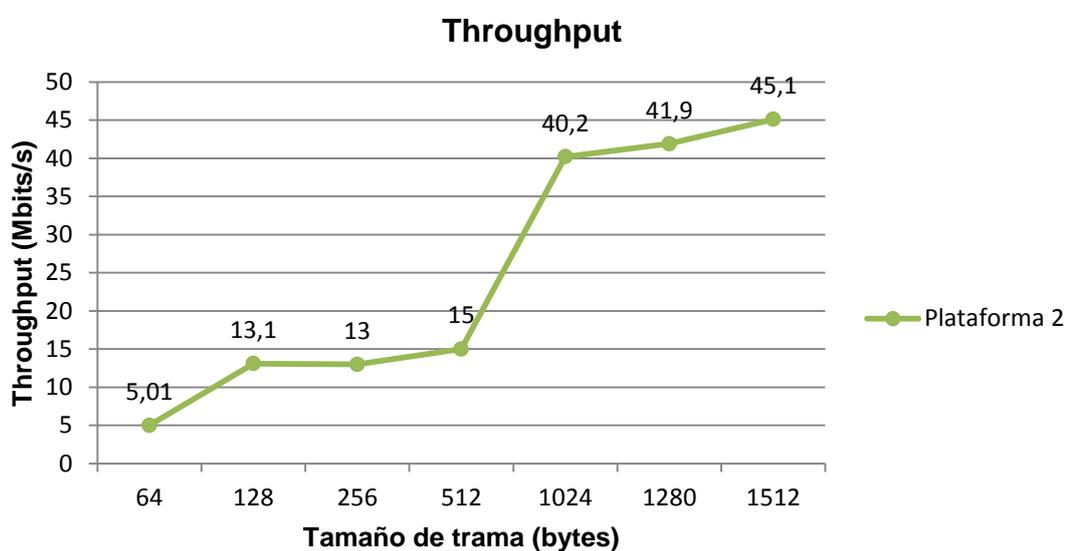


Figura 4.6 Throughput plataforma 2

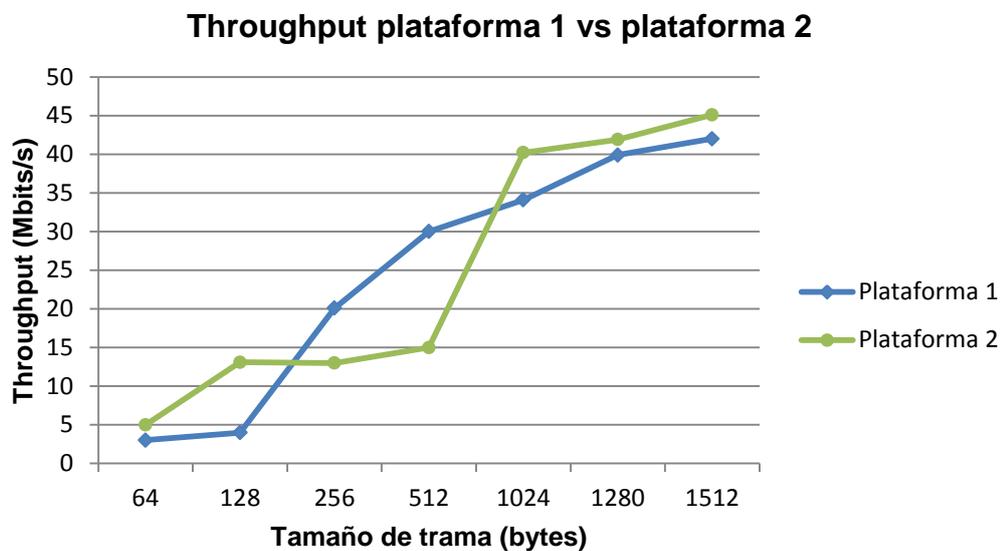


Figura 4.7 Comparativa de throughput entre plataformas

Tabla XVII Porcentaje de paquetes perdidos

Tamaño de Trama (bytes)	Paquetes perdidos plataforma 1 (%)	Paquetes perdidos plataforma 2 (%)
64	0	0,081292
128	0,547461	0,020925
256	0,017773	0,008804
512	0,021286	0,111393
1024	0,02497	0,002448
1280	0,265847	0,000978
1512	0,044945	0,006969

CONCLUSIONES

Se realizó la implementación de dos radioenlaces en el sector de la Alborada y la Escuela de Diseño y Comunicación Visual haciendo uso de dos plataformas diferentes, los cuales se pusieron en marcha para ser sometidos a diferentes pruebas que permitieron determinar el desempeño de los mismos en relación a los parámetros de calidad de servicio, llegando a las siguientes conclusiones:

1. Con respecto a la tasa de transferencia, para las distancias de 100 m y 200 m se obtuvo un mejor aprovechamiento con la plataforma 1 que logró en promedio un 12% más de velocidad a 100 m y 8,23% más de velocidad a 200 m comparado con la plataforma 2, mientras que a mayores distancias la plataforma 2 logró una tasa de transferencia en promedio 5 veces mayor que con la plataforma 1. Si comparamos los valores obtenidos a la distancia de 100 m con la capacidad del enlace que se obtuvo con el modo de operación IEEE 802.11n como se ilustra en la Tabla VI, se obtienen porcentajes de aprovechamiento de la capacidad del

enlace del 73% y 65 % para la plataforma 1 y 2 respectivamente y a partir de los 200 m conforme aumenta la distancia se estima que se aprovecha en un 30% de la capacidad con la plataforma 1 y un 51% con la plataforma 2. Sin embargo con ambas plataformas se lograron niveles por debajo de los 150 Mbps que es lo especificado por el fabricante del equipo cuando se configura el modo de operación IEEE 802.11 n como se puede ver en el anexo C. Es importante considerar que para el buen rendimiento de un enlace es importante considerar la capacidad máxima del mismo, esto debido a que inyectar más tráfico del máximo permitido provocaría tener valores de latencia altos, pérdidas de paquetes, etc. Obteniendo un enlace totalmente deficiente.

2. En cuanto a la latencia las pruebas han demostrado que con ambas plataformas se consiguen tiempos menores a 300 ms para cualquier tamaño de trama, que es lo recomendado por la ITU tal como se ilustra en la Tabla III, aunque con la plataforma 1 a partir de la trama de 1024 bytes la latencia aumenta en promedio 6 ms más, comparado con las tramas inferiores, esto puede deberse a muchos factores involucrados ya que la latencia es considerada a partir del momento en que el emisor codifica la señal hasta que es percibida y decodificada por el receptor y en ese trayecto se involucran factores como el tiempo de propagación, tiempo de procesamiento, etc. Sin embargo estos cambios bruscos se consideran

imperceptibles para el usuario final del sistema a la distancia de 70 m implementada en la Escuela de Diseño y Comunicación Visual, pero probablemente a mayores distancias estos resultados pueden ser muy significativos reduciendo la estabilidad del sistema.

3. En relación a la variación de retardo para los tamaños de trama de 256, 512, 1280 y 1512 bytes se obtuvieron valores superiores con la plataforma 2 en un 41% en comparación con la plataforma 1, pero para las tramas de 64, 128 y 1024 bytes con la plataforma 1 se obtuvieron valores superiores en aproximadamente un 72% más que con la plataforma 2. Sin embargo para ambas plataformas los valores de variación de retardo son aceptables, menores a 1 ms, lo cual indica un buen rendimiento según la recomendación UIT-T G.1010 cómo se puede ver en la Tabla III.

4. Con respecto a la eficiencia de la tasa de transferencia se puede notar variabilidad en los resultados, específicamente para las tramas de 128 y 512 bytes ya que con la plataforma 2 se obtuvo un valor promedio aproximadamente 3 veces mayor para la trama de 128 bytes con respecto a la plataforma 1 y para la trama de 512 bytes el valor promedio es 2 veces mayor para la plataforma 1 con respecto a la plataforma 2. Es importante notar que el cambio que se presenta en la plataforma 1 para las tramas de 256 y 512 bytes puede deberse a que los valores de tasa

efectiva no solo dependen de la capacidad de procesamiento de los puntos de acceso utilizados, sino también a la influencia del medio inalámbrico, por lo que estos resultados para la eficiencia de tasa de transferencia no permiten establecer una comparativa en relación al rendimiento total de los sistemas. Con ambas plataformas se obtuvieron porcentajes de pérdidas de paquetes por debajo del 1%, valor tolerable para una red inalámbrica según la ITU como se puede ver en la Tabla III, siendo el porcentaje más alto obtenido con la plataforma 1 del 0,55% para la trama de 128 bytes y con la plataforma 2 el valor más alto obtenido es del 0,11% para la trama de 512 bytes.

RECOMENDACIONES

1. La efectividad de los radioenlaces en la banda de 2.4 GHz depende del nivel de interferencia presente en el medio donde se realiza las implementaciones por ello se recomienda una adecuada planificación del uso de frecuencias para evitar que las interferencias influyan significativamente en los resultados.
2. Se recomienda tomar en consideración el presente trabajo para realizar la implementación de radioenlaces punto a punto independientemente de la plataforma utilizada, con el fin de estudiar las alternativas que ofrece el mercado actual.
3. Se recomienda hacer uso de equipos que operen en la banda de 5 GHz ya que el uso de esta frecuencia no es muy común.

ANEXO A

Configuración de los Equipos

Configuración del Transmisor

Dentro de la interfaz web que provee el dispositivo de acceso configuramos los parámetros de red asignados anteriormente.

The screenshot shows the TP-LINK web interface for configuring the LAN settings of a 150M Wireless Lite N Access Point (Model No. TL-WA701N / TL-WA701ND). The interface includes a sidebar with navigation options: Status, QSS, Network, Wireless, DHCP, and System Tools. The main content area is titled 'LAN' and contains the following configuration fields:

- MAC Address: F8-D1-11-BB-C5-3A
- Type: Static IP (dropdown menu)
- IP Address: 192.168.1.253
- Subnet Mask: 255.255.255.0 (dropdown menu)
- Gateway: 0.0.0.0

A 'Save' button is located below the configuration fields. To the right of the configuration area is a 'LAN Help' section with the following text:

You can configure the IP parameters of LAN on this page.

- MAC Address** - The physical address of the LAN ports, as seen from the LAN. The value can not be changed.
- Type** - Choosing dynamic IP to get IP address from DHCP server, or choosing static IP to config IP address manually.
- IP Address** - Enter the IP address of your system in dot-decimal notation (factory default: 192.168.1.254).
- Subnet Mask** - An address code that determines the size of the network. Normally 255.255.255.0 is used as the subnet mask.
- Gateway** - The gateway should be in the same subnet as your IP address.

Note:

- If you change the IP address, you must use the new IP address to login the system.
- If you select the type of dynamic IP, the DHCP server in this device will not startup.
- If the new IP address you set is not in the same subnet, the IP Address pool in the DHCP server will not take effect, until they are re-configured.
- The device will reboot automatically after you click the **Save** button.

Click the **Save** button to save your settings.

Note: When you choose the **Dynamic IP** mode, the DHCP

El transmisor se deberá configurar en el modo de Operación “Puentes con AP”, debido a que asegura que existan varias rutas a partir de una única ubicación, logrando así un puente inalámbrico entre los dispositivos.

TP-LINK 150M Wireless Lite N Access Point
Model No. TL-WA701H / TL-WA701ND

Wireless Settings

Operation Mode: Bridge with AP

SSID: TELECO

Region: Ecuador

Warning: Ensure you select a correct country to conform local law. Incorrect settings may cause interference.

Channel: 6

Mode: 11bgn mixed

Channel Width: 20/40MHz

Max Tx Rate: 150Mbps

Enable Wireless Radio

Enable SSID Broadcast

MAC of AP1: F8-D1-11-BB-C1-13

MAC of AP2:

MAC of AP3:

MAC of AP4:

Survey

Wireless Settings Help

Note: The operating distance or range of your wireless connection varies significantly based on the physical placement of the AP. For best results, place your AP

- Near the center of the area in which your wireless stations will operate.
- In an elevated location such as a high shelf.
- Away from the potential sources of interference, such as PCs, microwaves, and cordless phones.
- With the Antenna in the upright position.
- Away from large metal surfaces.

Note: Failure to follow these guidelines can result in significant performance degradation or inability to wirelessly connect to the AP.

Operation Mode - Several Operation Modes are supported, including: (1)Access Point (2)Multi-SSID (3)Client (4)Repeater (5)Universal Repeater (6)Bridge with AP. The available setting options are different in various operation modes, and they are explained below.

Access Point - This operation mode allows wireless stations to access.

Multi-SSID - AP can support up to 4 SSID.

- Enable VLAN - Check this box to enable the VLAN function. The AP supports up to 4 VLANs. All wireless PCs in the VLANs are able to access this AP. The AP can also work with an IEEE 802.1Q Tag VLAN configuration Switch. If this Switch enables the Tag VLAN

Este modo de operación utiliza enrutamiento estático, basado en las direcciones MAC de los puntos de acceso, por lo que será indispensable colocar la MAC de los clientes en la configuración del transmisor. La Tabla XIV muestra los parámetros configurados en el transmisor.

Modo Operación	Puente con AP
SSID	TELECO
Región	Ecuador
Modo IEEE 802.11	Modo n
Ancho del Espectro	20/40 MHz
Velocidad	150 Mbps
MAC Cliente	F8:D1:11:BB:C1:13

Configuración del Receptor

De igual manera configuramos los parámetros de red del receptor definidos anteriormente.

TP-LINK 150M Wireless Lite N Access Point
Model No. TL-WA701N / TL-WA701ND

LAN

MAC Address: F8-D1-11-BB-C5-3A

Type:

IP Address:

Subnet Mask:

Gateway:

LAN Help

You can configure the IP parameters of LAN on this page.

- **MAC Address** - The physical address of the LAN ports, as seen from the LAN. The value can not be changed.
- **Type** - Choosing dynamic IP to get IP address from DHCP server, or choosing static IP to config IP address manually.
- **IP Address** - Enter the IP address of your system in dotted-decimal notation (factory default: 192.168.1.254).
- **Subnet Mask** - An address code that determines the size of the network. Normally 255.255.255.0 is used as the subnet mask.
- **Gateway** - The gateway should be in the same subnet as your IP address.

Note:

1. If you change the IP address, you must use the new IP address to login the system.
2. If you select the type of dynamic IP, the DHCP server in this device will not startup.
3. If the new IP address you set is not in the same subnet, the IP Address pool in the DHCP server will not take effect, until they are re-configured.
4. The device will reboot automatically after you click the Save button.

Click the **Save** button to save your settings.

Note: When you choose the **Dynamic IP** mode, the DHCP

El receptor deberá ser configurado en modo cliente, ya que de esta manera el dispositivo funciona de manera similar a una tarjeta inalámbrica usada por los clientes, permitiendo así la conexión con el transmisor.

TP-LINK 150M Wireless Lite N Access Point
Model No. TL-WA701N / TL-WA701ND

Wireless Settings

Operation Mode:

Enable WDS

SSID:

MAC of AP:

Region:

Warning: Ensure you select a correct country to conform local law. Incorrect settings may cause interference.

Channel Width:

Enable Wireless Radio

Wireless Settings Help

Note: The operating distance or range of your wireless connection varies significantly based on the physical placement of the AP. For best results, place your AP

- Near the center of the area in which your wireless stations will operate.
- In an elevated location such as a high shelf.
- Away from the potential sources of interference, such as PCs, microwaves, and cordless phones.
- With the Antenna in the upright position.
- Away from large metal surfaces.

Note: Failure to follow these guidelines can result in significant performance degradation or inability to wirelessly connect to the AP.

Operation Mode - Several Operation Modes are supported, including: (1)Access Point (2)Multi-SSID (3)Client (4)Repeater (5)Universal Repeater (6)Bridge with AP. The available setting options are different in various operation modes, and they are explained below.

Access Point - This operation mode allows wireless stations to access.

Multi-SSID - AP can support up to 4 SSID.

- **Enable VLAN** - Check this box to enable the VLAN function. The AP supports up to 4 VLANs. All wireless PCs in the VLANs are able to access this AP. The AP can also work with an IEEE 802.1Q Tag VLAN supporting Switch. If this Switch enables the Tag VLAN function, besides all wireless PCs, only the PCs in the VLAN same with SSID1 are able to access the AP. If a

Será importante definir la MAC del transmisor, para así poder establecer el enlace entre los dispositivos. La Tabla XV muestra los parámetros configurados en el receptor.

Modo Operación	Cliente
SSID	TELECO
MAC Remota	F8:D1:11:BB:C5:3A
Ancho del Espectro	20/40 MHz
Región	Ecuador

ANEXO B

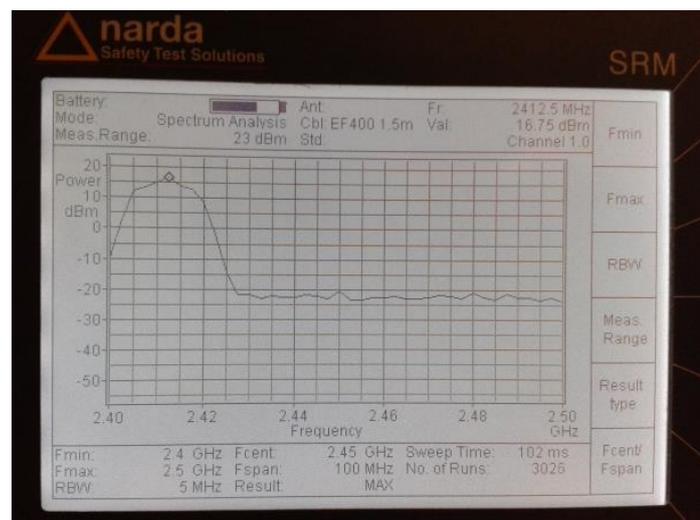
Entorno de Pruebas

Prueba de Potencia del punto de acceso TP-LINK

Para la prueba de potencia se conectó directamente el punto de acceso con el NARDA SRM-3000, tal como se muestra en la figura usando un cable pigtail.



Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la figura, donde el punto de acceso alcanzó una potencia de 16.75 dBm.



ANEXO C

Especificaciones de los dispositivos

Especificaciones punto de acceso TP-LINK TL-WA701ND

General	
Standards and Protocols	IEEE 802.3, 802.3u, 802.11n, 802.11b and 802.11g, TCP/IP, DHCP
Safety & Emission	FCC、CE
Ports	One 10/100M Auto-Negotiation LAN RJ45 port, supporting passive PoE
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)
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	3dBi
Physical and Environment	
Working Temperature	0℃~40℃ (32℉~104℉)
Working Humidity	10% ~ 90% RH, Non-condensing
Storage Temperature	-40℃~70℃(-40℉~158℉)
Storage Humidity	5% ~ 90% RH, Non-condensing

Especificaciones de Antena Rejilla



www.L-com.com

HyperLink Wireless brand 2.4 GHz 24 dBi High Performance Die Cast Reflector Grid Wireless LAN Antenna - Model: HG2424G

Applications and Features

- Applications:**
- 2.4 GHz ISM Band
 - IEEE 802.11b, 802.11g Wireless LAN
 - IEEE 802.11n (Pre-N, Draft-N, MIMO) Applications
 - WiFi Systems
 - Long-range Directional Applications
 - Point to Point Systems
 - Point to Multi-point Systems
 - Wireless Bridges
 - Backhaul Applications
 - Wireless Video Systems

- Features:**
- Superior performance
 - Die Cast aluminum construction
 - UV stable light gray powder coat finish
 - All weather operation
 - 8° beam-width
 - 12 inch coax lead
 - Easy to assemble
 - RoHS Compliant

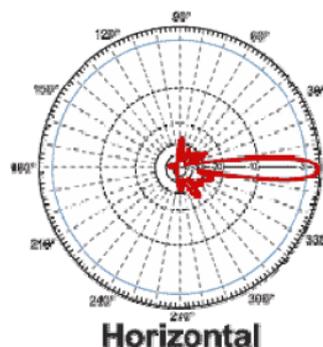
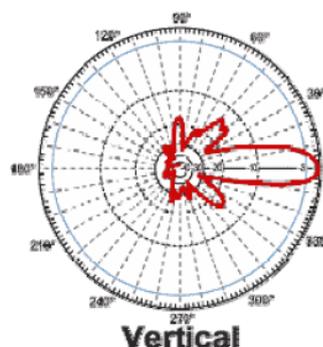


Specifications

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	24 dBi
-3 dBi Beam Width	8 degrees
Cross Polarization Rejection	26 dBi
Front to Back Ratio	24 dB
Sidelobe	-20dB Max
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	50 Watts
VSWR	< 1.5:1 avg.
Weight	8 lbs. (3.62 kg)
Grid Dimensions	39.5 in (100 cm) x 23.5 in (60 cm)
Mounting	1.25 - 2 in. (31.8 - 50.8 mm) dia. mast
Elevation Angle	0 to +10 degrees
RoHS Compliant	Yes
Operating Temperature	-40° C to to 85° C (-40° F to 185° F)
Lightning Protection	DC Short

Wind Loading Data

Wind Speed (MPH)	Loading (2.1 sq. ft.)
100	80.5 lb.
140	125.5 lb.



Especificaciones de Antena Panel

Antena direccional exterior de alto alcance de 14 dBi TEW-A014D

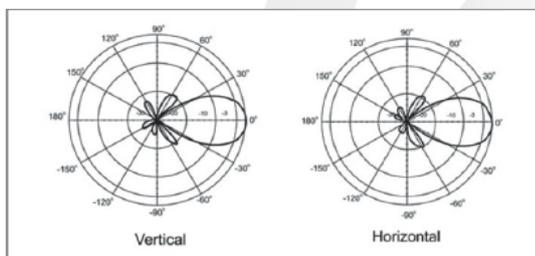
Especificaciones

Hardware	
Rango de frecuencia	• 2.4 ~ 2.5 GHz
Alcance de la antena	• 14dBi
VSWR	• Máx 1.5:1
Polarización	• Lineal, Vertical
HPBW/ Horizontal	• 30°
HPBW/ Vertical	• 30°
Radio de cobertura de frontal a trasero	• 15dB
Potencia	• 50W (cw)
Impedancia	• 50 ohmios
Conector	• Hembra Tipo-N
Velocidad de resistencia	• 216 km/hora (134 millas/hora)
Protección antirrayos	• Toma de tierra DC
Material de Radome	• ABS
Dimensión	• 225 x 228 x 30mm (8,9 x 9,0 x 1,2 pulgadas)
Peso	• 450g (15,9 onzas)
Temperatura	• -40°C ~ 80°C (-40°F ~ 176°F)

Características

- Compatible con dispositivos inalámbricos 802.11b/g de 2.4GHz
- Revestimiento a prueba de agua tanto para aplicaciones interiores como exteriores
- Base ajustable para conseguir una orientación y rendimiento óptimos
- Ideal para conexiones en puente punto a punto entre edificios y zonas
- Ofrece un punto de acceso de amplio alcance en ambientes de gran extensión de un sólo nivel
- Su gran salida de alimentación amplía el rango de transmisión a través de materiales con una baja pérdida dB (madera laminada/cartón yeso) usados normalmente para la construcción de pisos y paredes*
- Aumenta la cobertura inalámbrica y mejora la transmisión y recepción de señal
- Amplifica la potencia estándar de la antena desde un mínimo de 2dBi a un respetable 14dBi
- Fácil de instalar contra la pared o de montar en torre
- 3 años de garantía

Patrón



BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Bailey, Practical Radio Engineering and Telemetry for Industry, Primera edición, 2003, Pág. 4
- [2] Tipos de Antenas y Funcionamiento, Disponible: http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenasoporte&catid=31:general&Itemid=79, Fecha de Consulta: Julio 2013
- [3] Plan nacional de Frecuencias 2012, CONATEL, Fecha de Consulta: Julio 2013
- [4] Clasificación de la polarización, Disponible: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/polclas.html>, Fecha de Consulta: Julio 2013
- [5] Propagación de microondas en la atmosfera, Recomendación UIT-R P.676-5- Figura 5, Fecha de consulta: Agosto 2013
- [6] D. Bailey, Practical Radio Engineering and Telemetry for Industry, Primera edición, 2003, Diagrama de bloques del transmisor, Pág. 111
- [7] D. Bailey, Practical Radio Engineering and Telemetry for Industry, Primera edición, 2003, Diagrama de bloques del receptor, Pág. 111
- [8] D. Bailey, Practical Radio Engineering and Telemetry for Industry, Primera edición, 2003, Estructura de soportes, Pág. 5

- [9] Tipos de conectores según la frecuencia, Disponible:
<http://sincables.com.ve/v3/content/50-cable-coaxial-conectores>,
Fecha de Consulta: Agosto 2013
- [10] Antenas y Cables, Disponible: www.wilac.net/tricalcar, Fecha de
Consulta: Agosto 2013
- [11] Estándar 802.11, Disponible:
https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/70846/mod_resource/content/1/80211fisica.pdf, Fecha de consulta: Septiembre 2013
- [12] Valores de los parámetros de calidad de servicio, Recomendación
UIT-T G.1010, Fecha de consulta : Septiembre 2013
- [13] Margen de operación - presupuesto de potencia, Disponible:
<http://www.tp-link.com/en/support/calculator/>, Fecha de consulta:
Septiembre 2013