



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

TEMA:

**Análisis comparativo del rendimiento de estándares  
inalámbricos utilizando Opnet Modeler**

AUTOR:

Prieto Sánchez, Jaime Joshua

Componente práctico del examen complejo previo a la  
obtención del grado de **INGENIERO EN  
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador  
08 de Marzo del 2018



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

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Prieto Sánchez, Jaime Joshua** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

---

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 08 días del mes de Marzo del año 2018



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

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Prieto Sánchez, Jaime Joshua**

**DECLARÓ QUE:**

El **componente práctico del examen complejo, Análisis comparativo del rendimiento de estándares inalámbricos utilizando Opnet Modeler** previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 08 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

---

PRIETO SÁNCHEZ, JAIME JOSHUA



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

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Prieto Sánchez, Jaime Joshua**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Análisis comparativo del rendimiento de estándares inalámbricos utilizando Opnet Modeler**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 08 días del mes de Marzo del año 2018

EL AUTOR

---

PRIETO SÁNCHEZ, JAIME JOSHUA

# REPORTE DE URKUND

The screenshot displays the URKUND interface. On the left, a document summary is provided: 'Documento: Prieto Jaime FINAL\_2017B.docx (D36224952)', 'Presentado: 2018-03-07 21:52 (-05:00)', 'Presentado por: fernandopm23@hotmail.com', 'Recibido: edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com', and 'Mensaje: Revisión E. Complexivo Jaime Prieto. A link to 'Mostrar el mensaje completo' is present. Below the message, a green box indicates '0% de estas 13 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' (List of sources) table is shown with columns for 'Categoría', 'Enlace/nombre de archivo', and a checkbox. The table lists four sources: 'Tesis UCSG huilcapi.docx', 'proyectoSALAVARRIA.doc', 'https://doi.org/10.1109/ICACCI.20...', and 'https://doi.org/10.1109/VTCSprin...'. Below the table is a 'Fuentes alternativas' section. At the bottom, a toolbar contains icons for 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir', along with a notification for '0 Advertencia'.

Categoría	Enlace/nombre de archivo	
	<a href="#">Tesis UCSG huilcapi.docx</a>	<input type="checkbox"/>
	<a href="#">proyectoSALAVARRIA.doc</a>	<input type="checkbox"/>
	<a href="https://doi.org/10.1109/ICACCI.20...">https://doi.org/10.1109/ICACCI.20...</a>	<input type="checkbox"/>
	<a href="https://doi.org/10.1109/VTCSprin...">https://doi.org/10.1109/VTCSprin...</a>	<input type="checkbox"/>

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

TEMA: Análisis comparativo del rendimiento de  
estándares inalámbricos utilizando Opnet Modeler

AUTOR: Prieto Sánchez, Jaime Joshua

Componente práctico del examen complejo  
previo a la obtención del grado de INGENIERO EN  
TELECOMUNICACIONES

REVISOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

## **DEDICATORIA**

### **A Dios.**

Por permitirme alcanzar este punto de mi vida llenándome de salud y vida para completar este objetivo.

### **A mis familiares.**

A mi abuelo Jorge Sánchez mi ejemplo de vida, amigo, padre, alguien sin duda irremplazable en mi vida, a mi madre Mirian Sánchez su entrega para que no me falte nada me ha formado como un hombre de bien; a mi esposa Pamela Yambay quien en estos últimos años me ayudó con la asignatura de inglés enseñándome con paciencia sus conocimientos adquiridos y más que en una materia en específico con el apoyo incondicional para ser quien hoy llego a ser; un Ingeniero en Telecomunicaciones.

EL AUTOR

PRIETO SÁNCHEZ, JAIME JOSHUA

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme guiado por el camino de la perseverancia hasta el día de hoy, a mi familia por estar a mi lado con su apoyo constante en especial a 3 grandes personas, mi abuelo quien ha sido más que un padre un ejemplo de hombre, también a mi madre pues su constante lucha de impulsarme a la superación, hoy tiene sus frutos y por último mi esposa una gran mujer que llego a mi vida hace muy pocos años pero que su presencia fue importante para poder culminar hoy con unas de mis tantas metas.

A los docentes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, particularmente a los docentes de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo por sus conocimientos impartidos, en todos estos años de estudio.

**EL AUTOR**

**PRIETO SÁNCHEZ, JAIME JOSHUA**



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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**MANUEL DE JESUS ROMERO PAZ**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_  
**MIGUEL ARMANDO HERAS SÁNCHEZ**  
DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
**LUIS SILVIO CORDOVA RIVADENEIRA**  
OPONENTE



## ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras .....	XI
Índice de Tablas .....	XIII
Resumen .....	XIV
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO.....	15
1.1. Introducción.....	15
1.2. Antecedentes. ....	16
1.3. Definición del problema. ....	17
1.4. Objetivo General. ....	17
1.5. Objetivos Específicos. ....	18
CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.....	19
2.1. Estándares IEEE.....	19
2.2. Arquitectura de redes inalámbricas. ....	20
2.3. Tipos de WLAN.....	23
2.4. Transmisión de tramas en WLAN.....	25
2.5. Autenticación y seguridad en redes inalámbricas.....	25
2.6. Topologías WLAN .....	27
2.6.1. IBSS .....	27
2.6.2. BSS .....	28
2.6.3. ESS .....	28
2.7. Calidad de servicio .....	29
2.7.1. Rendimiento .....	30
2.7.2. Retardo o Delay.....	30
2.7.3. Jitter.....	30
2.8. Tasas de datos y tamaños de búfer .....	31
2.9. Por qué la simulación en OPNET .....	31

2.10. Los principales componentes en OPNET Guru (Edición Académica).	32
2.11. Árbol de paleta de objetos.....	32
Capítulo 3: Desarrollo del componente práctico.....	34
3.1. Programa de simulación utilizado.....	34
3.2. Modelado de redes inalámbricas.....	35
3.2.1. Aplicación de conexión de sitio remoto.....	36
3.2.2. Implementación de la red en campus universitario.....	37
3.3. Estudio y análisis del sistema.....	38
3.4. Resultados.....	43
Conclusiones.....	47
Recomendaciones.....	48
Referencias bibliográficas.....	49

## Índice de Figuras

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Adaptador de escritorio inalámbrico G D-Link WDA-1320.....	21
Figura 2. 2: Adaptador USB inalámbrico TP-Link TL-WN322G 54M. ....	21
Figura 2. 3: Cisco Aironet 1200.....	22
Figura 2. 4: Cisco Aironet 1200 con antenas. ....	22
Figura 2. 5: Itinerancia o roaming en redes inalámbricas.....	23
Figura 2. 6: Ejemplo de red ad hoc inalámbrica. ....	24
Figura 2. 7: Integración de CSA dentro de la arquitectura de red inalámbrica unificada de Cisco. ....	24
Figura 2. 8: Red inalámbrica BBS independiente (IBSS). ....	28
Figura 2. 9: Rred inalámbrica BSS.....	28
Figura 2. 10: Red WLAN de ESS.....	29
Figura 2. 11: Aplicación y definición de perfil. ....	32
Figura 2. 12: Árbol de paleta de objetos. ....	33

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Modelo de simulación de enlace a sitios remotos. ....	36
Figura 3. 2: Diagrama de red del sitio-1.....	37
Figura 3. 3: Red del campus universitario creada con un sistema de distribución por cable.....	38
Figura 3. 4: Tasas de transferencia de datos de los estándares IEEE 802.11a e IEEE 802.11b. ....	39
Figura 3. 5: Carga de datos del punto de acceso a la red del campus.....	40
Figura 3. 6: Latencias promedio de acceso a los medios (802.11a - 802.11b). ....	40
Figura 3. 7: Latencia media de acceso a los medios (802.11g-HiperLAN/2). ....	41
Figura 3. 8: Tiempo promedio de respuesta http (802.11g – HiperLAN). ....	41

Figura 3. 9: Tiempo medio de respuesta HTTP (802.11a - 802.11b). .....	42
Figura 3. 10: Tasas de transmisión inalámbrica de datos en interiores de la red del campus. ....	42

## Índice de Tablas

### Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Cuadro comparativo entre estándares 802.11a/b/g/n.....20

### Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación para los cuatro escenarios. ....37

Tabla 3. 2: Resumen de resultados obtenidos. ....43

## Resumen

El presente documento consiste en el desarrollo del componente práctico correspondiente al examen complejo de la carrera de Telecomunicaciones. De acuerdo con las orientaciones recibidas, se realizó el análisis comparativo del rendimiento de una red inalámbrica a través de cuatro diferentes estándares sobre la plataforma de simulación Opnet Modeler. Se realizó una descripción general del componente práctico, donde se plantea la problemática a resolver, así como también, los antecedentes de trabajos relacionados con redes inalámbricas. Después, se describe los fundamentos teóricos tales como, los estándares IEEE 802.11 a/b/g/n, las arquitecturas de redes inalámbricas, tipos de WLAN, entre otras relevantes a este documento. Posteriormente, se explica brevemente el motivo por el cual se escogió el software de simulación Opnet Modeler, y es donde se realizan los modelados de simulación en Opnet Modeler de los escenarios escogidos para analizar los estándares. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos con su respectivo análisis comparativo.

**Palabras claves:** RENDIMIENTO, MODELADO, SIMULACIÓN, REDES INALÁMBRICAS, ESTÁNDARES, WLAN

## CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO

### 1.1. Introducción.

Las redes inalámbricas han sido una parte muy importante de la comunicación estos días, ya que todos quieren tener acceso a la información en cualquier momento y en cualquier lugar. Se ha producido un rápido crecimiento del uso de dispositivos inalámbricos que ha permitido a los usuarios tener conexiones en cualquier lugar, por lo tanto, la necesidad de continuar estudiando las prestaciones y las limitaciones de las redes inalámbricas. Una LAN inalámbrica (WLAN) proporciona conectividad de red entre dispositivos, también conocidos como estaciones, mediante el uso de la radio como medio de comunicación.

Para Pradeepkumar, Talukdar, Choudhury, & Singh, (2017) las redes inalámbricas son cada vez más comunes en estos días. Con el rápido aumento en la ocurrencia de redes inalámbricas, sus vulnerabilidades y amenazas también han aumentado. La mayoría de estas amenazas explota puntos de acceso falsos o deshonestos presentes en la red.

Todos los dispositivos que se comunican a través de WLAN se ajustan a las interfaces y procedimientos definidos por los estándares IEEE 802.11. Existen cuatro tipos de redes inalámbricas, a saber: **(1)** redes inalámbricas de área local (WLANs), **(b)** redes inalámbricas de área personal (WPANs), **(3)** redes inalámbricas de área metropolitana (WMANs) y **(d)** redes inalámbricas de área amplia (WWANs).

Hoy en día, la red de área local inalámbrica (WLAN) cuyo estándar es IEEE 802.11 está ampliamente implementada y se ha convertido en una de las tecnologías de acceso inalámbrico dominantes. La transmisión de video se está convirtiendo en una fuente dominante de tráfico en redes inalámbricas. Para una entrega de video eficiente, la multidifusión sobre redes WLAN IEEE 802.11 ha recibido una atención significativa. Con la multidifusión, el mismo video se transmite simultáneamente a un grupo de usuarios para que pueda ahorrar ancho de banda en comparación con la unidifusión individual del mismo video para cada usuario. (Lim & Hong, 2017)

En este componente práctico del examen complejo, se realizará el análisis comparativo entre los estándares de comunicaciones inalámbricas utilizando la herramienta de ingeniería de redes optimizadas conocida como OPNET Modeler.

## **1.2. Antecedentes.**

En la carrera de telecomunicaciones no se han encontrado trabajos de titulación donde realicen la simulación de redes inalámbricas como WLAN, que abarca los estándares IEEE 802.11, IEEE 802.11 a/b/g. A continuación, se describe brevemente los trabajos encontrados en la búsqueda bibliográfica de temas publicados en revistas y/o congresos.

- Chaudhary, Patil, & Yadao, (2016) publicaron el trabajo “WLAN-IEEE 802.11ac: Simulación y evaluación del rendimiento con MIMO-OFDM”. Evaluaron la tecnología MIMO-OFDM siendo muy importante para el desarrollo de varios sistemas de comunicación inalámbrica. Es decir, que



una WLAN para 5G es para un rendimiento muy alto. La combinación de MIMO con multiportadora, multiplexación por división de frecuencia ortogonal (MIMO-OFDM) ofrece una mejora significativa en el rendimiento en términos de parámetros (velocidad de transmisión, BER, capacidad y mayor fiabilidad). Demostraron un buen rendimiento en términos de BER utilizando una mejor técnica de codificación de canal y esquema de modulación para WLAN-IEEE 802.11ac. IEEE 802.11ac es una comunicación robusta con muy alto rendimiento utilizando MIMO con órdenes de modulaciones superiores. Estudiaron los efectos de las diferentes técnicas de modulación y codificación digital, así como el rendimiento de MIMO utilizando STBC. Utilizaron MatLab/Simulink para el análisis de rendimiento variando la configuración de antena MIMO bajo el canal de desvanecimiento de Rayleigh y los efectos sobre la BER.

- Lin et al., (2016) publicaron el trabajo “Plataforma de simulación de nivel de sistema de enlace integrado para la próxima generación de WLAN - IEEE 802.11ax”

### **1.3. Definición del problema.**

Necesidad de modelar los estándares de redes inalámbricas IEEE 802.11 mediante un análisis comparativo determinar el más eficiente utilizando el software Opnet Modeler.

### **1.4. Objetivo General.**

Realizar el análisis comparativo del rendimiento de los estándares inalámbricos utilizando Opnet Modeler.

### **1.5. Objetivos Específicos.**

- a. Describir los fundamentos teóricos de los estándares de redes inalámbricas y de las topologías de WLAN.
- b. Diseñar los escenarios de simulación de los estándares de comunicación inalámbricas IEEE 802.11 utilizando la plataforma de simulación Opnet Modeler.
- c. Evaluar los resultados obtenidos de los escenarios desarrollados en la plataforma de simulación Opnet Modeler.

## **CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.**

Las demandas de conexiones inalámbricas en altas velocidades de datos están aumentando rápidamente. Gracias a esto, la tecnología de red de área local inalámbrica (WLAN) se desarrolla de forma diversa y rápida. El valor central de comercialización de WLAN es que la tecnología WLAN es adecuada para la demanda de alta densidad y un mayor rendimiento y velocidad que una red celular.

### **2.1. Estándares IEEE.**

El estándar de red inalámbrica común entre el fabricante y el usuario de la red es tan importante como el dinero en efectivo común entre el vendedor y el comprador. No puede usar un dispositivo 802.11a en la red 802.11b ya que no puede usar euros en China. Lo que es peor, ni siquiera se mencionó el estándar 802.11a/b al elegir entre los tipos de redes y los tipos de dispositivos hasta los estándares IEEE para WLAN. Estos estándares se conocen hoy como miembros del Grupo de Trabajo IEEE 802.11 (WG), y Wi-Fi es su marca comercial en el mercado mundial.

En la tabla 2.1 se muestra las velocidades máximas de datos de WLAN desde 11 Mbps (802.11b) hasta 150 Mbps (802.11n), que es mucho más que la velocidad de datos de 3G. Como tecnología complementaria de redes inalámbricas malladas (*Mesh Wireless Local Area Network, MWLAN*), las normativas IEEE 802.11a/b/g son los estándares inalámbricos implementados más populares a nivel mundial.

Tabla 2. 1: Cuadro comparativo entre estándares 802.11a/b/g/n.

Estándar	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
<b>Bandas de frecuencia</b>	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4/5 GHz
<b>Velocidad de datos</b>	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	150 Mbps
<b>Tipo de modulación</b>	64 QAM	DQPSK	OFDM	OFDM

Fuente: (Mughal, Yang, & Umar, 2018)

Varios tipos de dispositivos terminales inalámbricos están disponibles en el mercado para diferentes usuarios. La creación de WLAN y el desarrollo de aplicaciones sobre la red inalámbrica se están volviendo relativamente fácil y rentable tanto para las personas como para las empresas.

## 2.2. Arquitectura de redes inalámbricas.

Una red inalámbrica incluye al menos dos nodos que son dos dispositivos con adaptador WLAN. La figura 2.1 muestra un adaptador WLAN incorporado. Mientras, que la figura 2.2 muestra un complemento de adaptador inalámbrico USB. Estos dos nodos pueden ser tanto una estación de trabajo de escritorio como una computadora portátil.

Siempre y cuando estén equipados con adaptadores inalámbricos, ellos son compañeros de esta red privada de peer-to-peer. En este entorno de red, cada dispositivo puede ser el servidor o cliente, pero el rendimiento y la seguridad de esta conexión de red son relativamente bajos. Otro defecto técnico es que los adaptadores WLAN de diferentes fabricantes a menudo son incompatibles entre sí.



Figura 2. 1: Adaptador de escritorio inalámbrico G D-Link WDA-1320.  
Fuente: (D-Link, 2018)



Figura 2. 2: Adaptador USB inalámbrico TP-Link TL-WN322G 54M.  
Fuente: (TP-Link, 2018)

Un punto de acceso inalámbrico (*Access Point, AP*), tal como se muestra en la figura 2.3, se conecta a una LAN cableada a través de una línea fija, proporcionando conectividad a una LAN cableada y acceso a Internet. El AP está conectado con antenas (véase la figura 2.4) que se utilizan para recibir y transmitir señales de radio. Estas señales de radio cubrirán un rango de área, y esta área en particular se llama celda o célula. Esta célula de WLAN actúa de forma similar a la célula de la red de telefonía móvil mencionada anteriormente, pero está compuesta por puntos de acceso en lugar de estaciones base.

Por lo general, el tamaño de la celda puede oscilar entre 91,4 y 152,4 metros, dependiendo del tamaño y la ganancia del AP, y la condición

geográfica, así como la construcción arquitectónica de la ubicación donde se instala el AP. Una red inalámbrica enorme formado por puntos de acceso (APs) compatible con la itinerancia que es similar a los servicios de una red de telefonía móvil.



Figura 2. 3: Cisco Aironet 1200.  
Fuente: (Cisco, 2018b)



Figura 2. 4: Cisco Aironet 1200 con antenas.  
Fuente: (Cisco, 2018b)

Cada uno de estos AP se puede establecer dentro de un cierto rango de cobertura de su WLAN respectiva. Los dispositivos inalámbricos (tal como, portátil, netbook y teléfono celular con Wi-Fi) pueden disfrutar de itinerancia sin interrupciones a través de estas WLAN superpuestas (véase la figura 2.5). Sin embargo, vale la pena señalar que la tasa de superposición WLAN de itinerancia sin interrupciones jugará un papel clave.

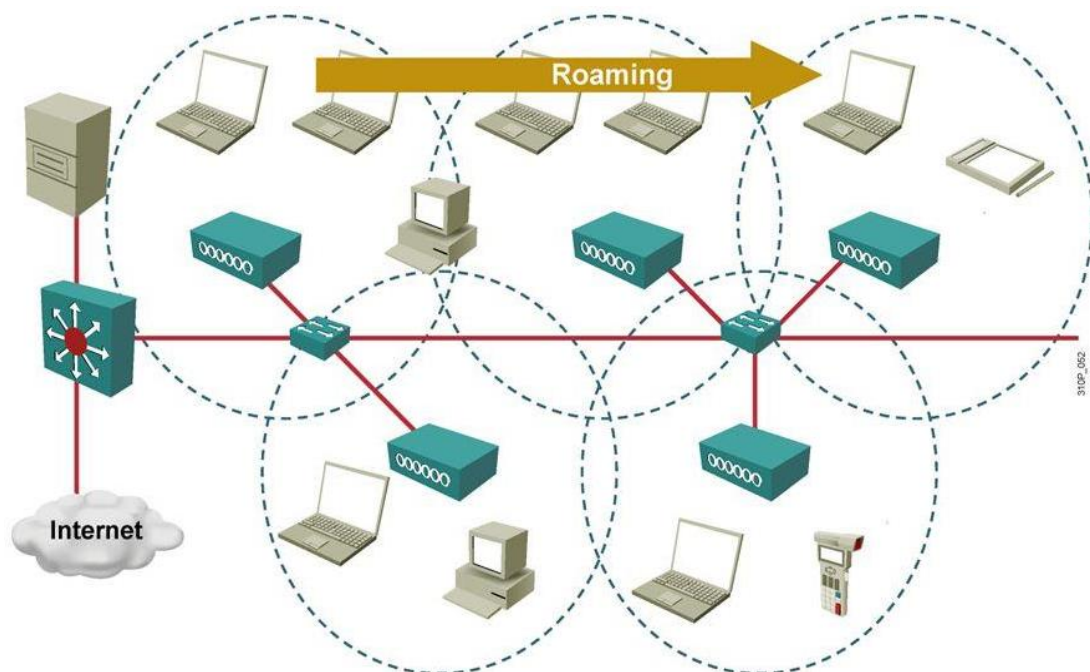


Figura 2. 5: Itinerancia o roaming en redes inalámbricas.  
Fuente: (Cisco, 2018a)

Además, debido a este problema de velocidad superpuesta, la cobertura de la red inalámbrica se ve superada por la cobertura de la red de telefonía móvil.

### 2.3. Tipos de WLAN.

En general, existen dos tipos de WLAN: red punto a punto y red de infraestructura.

- Red punto a punto: consiste en un grupo de computadoras que están equipadas con adaptadores de red inalámbricos. Estas computadoras están conectadas directamente entre sí dentro del mismo nombre de grupo de trabajo, SSID y WEP, y pueden comunicarse entre sí sin necesidad de un AP central. La red Ad Hoc (véase la figura 2.6) es un tipo de red típico punto a punto.

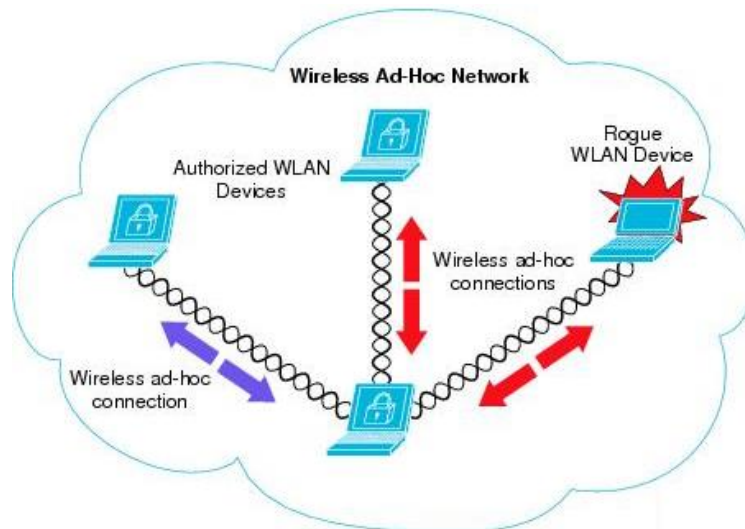


Figura 2. 6: Ejemplo de red ad hoc inalámbrica.  
Fuente: (Ilyas, 2003)

- Red de infraestructura: la conectividad entre dispositivos inalámbricos y la WLAN diversa y compleja se establece entre puentes inalámbricos, puertas de enlace inalámbricas, controladores de acceso inalámbrico y servidores de acceso inalámbrico, basándose en un AP como el centro de la red. La red de infraestructura es la topología de WLAN desplegada principalmente (véase la figura 2.7).

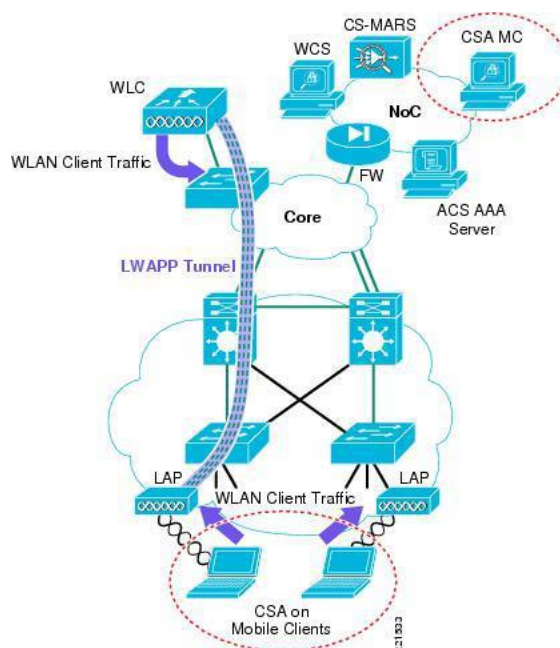


Figura 2. 7: Integración de CSA dentro de la arquitectura de red inalámbrica unificada de Cisco.  
Fuente: (Cisco, 2008)



## **2.4. Transmisión de tramas en WLAN.**

Aunque WLAN comparte tecnologías tales como enrutamiento y conmutación con redes de área local (*Local Area Network, LAN*), pertenecen a diferentes estándares IEEE WG. LAN está cubierto por el IEEE 802.3 WG que también se refiere a Ethernet. Por esta razón, WLAN no pasa tramas de 802.3. Por lo general, el tamaño de la trama de una WLAN está limitada a 1518 bytes porque, por lo general, está conectado a una red Ethernet por cable.

## **2.5. Autenticación y seguridad en redes inalámbricas.**

La autenticación WLAN es el proceso de autenticación del dispositivo inalámbrico. Hay dos métodos de autenticación:

- Sistema abierto: este proceso es un estándar de conectividad abierta en el que solo el SSID debe coincidir. Para que la autenticación de sistema abierto funcione, tanto el dispositivo inalámbrico como el punto de acceso inalámbrico deben tener exactamente el mismo SSID.
- Clave compartida: se requiere un método de encriptación en este proceso. Además del SSID, el usuario debe compartir la misma clave de cifrado que se configuró en el AP inalámbrico.

Las WLAN no seguras pueden exponer el tráfico y los recursos de red a usuarios no autorizados. Estas personas pueden usar la suplantación de ARP para explotar los recursos de la red y capturar la privacidad de los demás, como los registros de chat en línea, la información del correo electrónico e incluso la información de cuentas bancarias.

Entonces, la seguridad es una consideración principal para implementar una red WLAN. Hay que comprender los tipos de cifrado, a continuación, se describen brevemente los métodos adecuados para proteger una WLAN.

### **Tipos de cifrado de 802.11 WG.**

- WEP: Wired Equivalency Privacy, el estándar de seguridad original para LAN inalámbricas, fácilmente explotado por software que puede romper el cifrado después de capturar el tráfico y reconocer patrones de encriptación.
- 802.1X: 802.1X es el estándar IEEE para el control de acceso LAN cableado e inalámbrico. Proporciona un medio para autenticar y autorizar dispositivos conectados a una LAN. 802.1X define el Protocolo de Autenticación Extensible (EAP). EAP utiliza un servidor de autenticación central para autenticar a cada usuario de la red. EAP también tiene algunas vulnerabilidades.
- LEAP: El protocolo de autenticación extensible ligero (LEAP), desarrollado por Cisco, se basa en el marco de autenticación 802.1X pero aborda varias debilidades mediante el uso de WEP dinámico y administración sofisticada de claves. LEAP también agrega autenticación de dirección MAC.
- PEAP: Protocolo de autenticación extensible protegido (PEAP) proporciona transporte seguro de datos de autenticación, incluidas contraseñas y claves de cifrado. Con PEAP, los clientes inalámbricos pueden ser autenticados sin certificados, simplificando la arquitectura LAN inalámbrica segura.

- WPA: acceso protegido Wi-Fi (WPA) es un subconjunto del estándar de seguridad 802.11i y se espera que reemplace WEP. WPA combina el Protocolo de integridad de clave temporal (TKIP) y 802.1X para cifrado de clave dinámica y autenticación mutua.
- TKIP: el protocolo de integridad de clave temporal (TKIP) es parte del estándar de encriptación IEEE 802.11i. TKIP proporciona una combinación de claves por paquete, una comprobación de integridad de mensaje y un mecanismo de reintroducción de clave, solucionando los defectos de WEP.
- WPA2: WPA2 es WPA de segunda generación, que brinda a los usuarios de Wi-Fi un alto nivel de seguridad de que solo los usuarios autorizados pueden acceder a sus redes inalámbricas. WPA2 se basa en la enmienda final IEEE 802.11i al estándar 802.11.

## **2.6. Topologías WLAN**

La provisión de acceso a la red mediante la transmisión de una señal a través de una portadora de radiofrecuencia inalámbrica (RF) se lleva a cabo mediante una WLAN. Una estación receptora puede estar dentro del rango de un número de transmisores, el transmisor muestra su comunicación con un Identificador de conjunto de servicios (SSID). Hay tres tipos básicos de topologías de WLAN compatibles con IEEE 802.11 y son IBSS, BSS y ESS.

### **2.6.1. IBSS**

Estos son conjuntos de estaciones inalámbricas que se comunican directamente entre sí en ausencia de una red AP o cableada, como se muestra

en la figura 1 a continuación. También se conoce como una red ad-hoc debido a su base de igual a igual. Es muy útil en caso de una emergencia donde se requiere rápidamente una conexión o configuración de red.



Figura 2. 8: Red inalámbrica BSS independiente (IBSS).

Fuente: (Salazar Soler, 2016)

### 2.6.2. BSS

Este tipo de topologías WLAN usa un AP que está conectado a la red cableada de la infraestructura como se muestra en la figura 2 a continuación. Las estaciones inalámbricas en este tipo de red se comunican a través del AP que sirve como un servidor lógico.



Figura 2. 9: Red inalámbrica BSS.

Fuente: (Salazar Soler, 2016)

### 2.6.3. ESS

Esto es cuando varias BSS de infraestructura, cada una con un AP, están conectadas entre sí por medio del Sistema de distribución (DS) que es

principalmente y Ethernet LAN. La Figura 3 a continuación muestra un ESS con dos AP.



Figura 2. 10: Red WLAN de ESS.  
Fuente: (Salazar Soler, 2016)

## 2.7. Calidad de servicio

Una red de comunicaciones es la columna vertebral de cualquier organización exitosa, y estas redes tienen varias aplicaciones y datos, como video de alta calidad y datos sensibles a la demora, como voz en tiempo real. El tráfico de alta prioridad o las aplicaciones intensivas en ancho de banda estiran los recursos de la red pero también aseguran un proceso de negocios fluido. Las redes deben, por lo tanto, proporcionar servicios seguros, predecibles, duraderos, mensurables y garantizados.

Esto es para lograr la QoS requerida mediante la gestión de los parámetros de demora, variación de retardo (jitter), ancho de banda y pérdida de paquetes en una red. Por lo tanto, QoS es un conjunto de técnicas para garantizar el manejo exitoso de los recursos de la red.

### **2.7.1. Rendimiento**

El rendimiento es uno de los mejores indicadores del rendimiento de una WLAN debido a que proporciona el tiempo real que lleva enviar la información. Es el flujo de información en el tiempo a través de un canal de comunicación. Por lo tanto, podemos concluir que el rendimiento es una medida de la cantidad de datos que se pueden transferir desde la fuente de origen al destino en un período de tiempo dado; su unidad es Mbps.

### **2.7.2. Retardo o Delay.**

El retraso es una medida de rendimiento importante que se puede utilizar para determinar la QoS de una red inalámbrica en su mayoría, aplicaciones multimedia en tiempo real. Es el tiempo que tardan los datos de la red en llegar a su destino desde su origen. La demora de cualquier red se puede medir en tres capas diferentes y son: retardo LAN inalámbrico, retardo de extremo a extremo y retardo de control de acceso a los medios.

### **2.7.3. Jitter**

Esto también se conoce como variación en el retardo de extremo a extremo (ETE), ya que los paquetes se ponen en colas, el retraso ETE en la transmisión de paquetes de una fuente a destino variará dependiendo de la posición de los paquetes en la cola y también los diferentes tamaños de cola. Por lo tanto, es muy importante minimizar la inestabilidad a fin de mejorar la calidad de la información transmitida, especialmente en aplicaciones que requieren transmisión de datos en tiempo real.

## **2.8. Tasas de datos y tamaños de búfer**

Las velocidades de datos son la velocidad de los nodos o estaciones de trabajo conectadas a una red. Es la velocidad de los transmisores y receptores conectados a un Control de acceso a medios (MAC) de WLAN, cada uno asociado con un flujo de canal por separado.

El tamaño del búfer es la longitud máxima especificada de la llegada de datos de capa superior. Por ejemplo, si se alcanza el límite del búfer, los datos recibidos de la capa superior se eliminan hasta que se eliminen muchos paquetes del búfer para crear espacio para nuevos paquetes.

## **2.9. Por qué la simulación en OPNET**

Debido al alto costo de configurar equipos de laboratorio para mediciones de redes en tiempo real, el uso de un simulador de red como OPNET se ha vuelto efectivo y realista. OPNET es uno de los principales softwares de desarrollo de redes introducido en 1986 con el objetivo de simular redes y entornos de telecomunicaciones modelando el comportamiento del sistema por parte del usuario.

Es un simulador de nivel de red basado en eventos de alto nivel que opera a nivel de paquete, contiene una gran biblioteca de modelos precisos, comportamiento preciso de la red y hardware y protocolos de red fija disponibles comercialmente. Su interfaz de usuario de alto nivel está desarrollada a partir de código fuente C y C ++ y el modelado se divide en tres

dominios principales: dominio de red, dominio de proceso de anuncio de dominio de nodo.

## 2.10. Los principales componentes en OPNET Guru (Edición Académica).

Los principales componentes y características utilizados para esta tesis son la definición de la aplicación (figura 4), la definición del perfil (figura 4), el menú del proyecto y el menú de escenarios y el árbol de la paleta de objetos.

La aplicación describe los parámetros para cualquier aplicación elegida para ser utilizada. La definición de perfil se utiliza para seleccionar el patrón de actividad del usuario con respecto a la aplicación elegida, mientras que el árbol de paletas de objetos da acceso a todos los modelos disponibles en OPNET, como dispositivos de red, y también ayuda a modelar topologías de red.

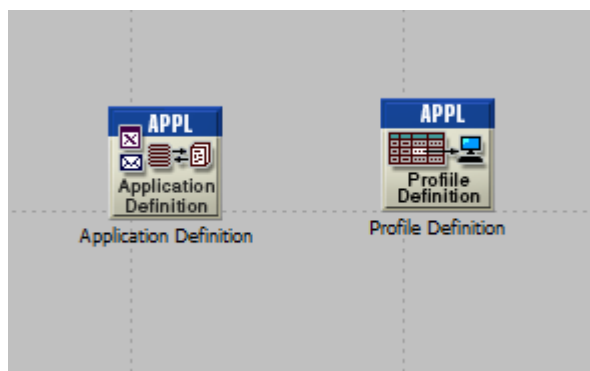


Figura 2. 11: Aplicación y definición de perfil.  
Fuente: (Opnet Modeler, 2018)

## 2.11. Árbol de paleta de objetos

El árbol de paletas de objetos es muy importante en OPNET, ya que contiene todos los dispositivos de red necesarios para modelar una red,



también se puede usar para crear un modelo personalizado. Es una ventana que se abre automáticamente a medida que se crea el nuevo proyecto. También se puede iniciar desde el editor del proyecto haciendo clic en su icono en la barra de herramientas o seleccionando topología.

En la figura 5 (a continuación), podemos ver los servidores inalámbricos, las estaciones de trabajo, el servidor Ethernet y los enrutadores WLAN que se usan para modelar tanto la red BSS como la ESS.

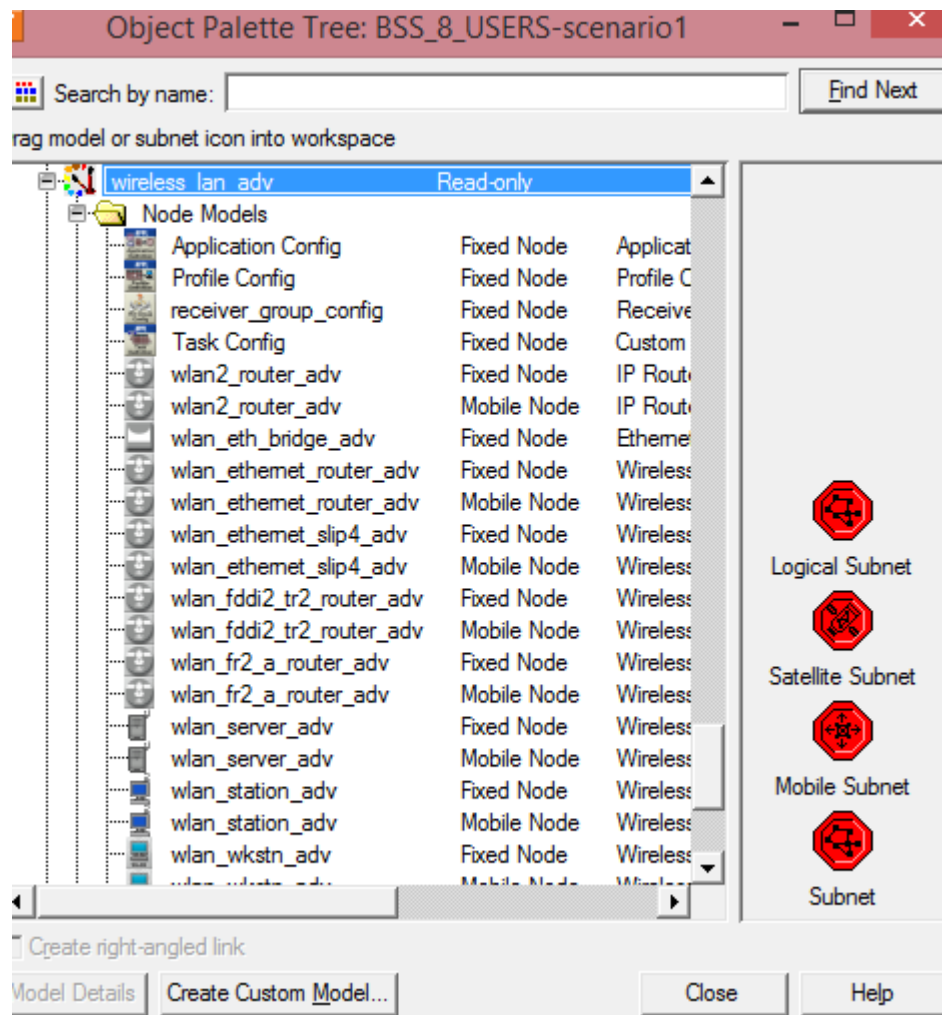


Figura 2. 12: Árbol de paleta de objetos.  
Fuente: (Opnet Modeler, 2018)

### **Capítulo 3: Desarrollo del componente práctico.**

En el presente capítulo, se modelan diferentes aplicaciones estándar de redes de área local inalámbricas (*Wireless Local Area Network, WLAN*) con la ayuda del programa de simulación Opnet Modeler y sus actuaciones en diversas formas de conexión y se comparativa con diferentes servicios. El modelado de los sistemas de redes, generalmente se hace eliminando el modelo matemático analítico. Sin embargo, en sistemas complejos donde es difícil extraer el modelo matemático, se usa el método de simulación.

#### **3.1. Programa de simulación utilizado.**

Se prefiere utilizar el programa de simulación OPNET Modeler debido a sus funciones avanzadas basadas en objetos y al soporte de aplicaciones en el modelado de redes inalámbricas. Con el programa OPNET Modeler, se puede realizar el análisis del comportamiento del sistema y la simulación de eventos discretos. Cada uno consiste en objetos con propiedades intercambiables. Los nodos y protocolos definidos por el usuario se pueden crear con editores para crear el modelo de nodo y el modelo de proceso. Las definiciones de perfil y las descripciones de las aplicaciones se pueden cambiar con la ayuda de editores.

Hay tres niveles en el programa de simulación OPNET Modeler. Estos son: red, nodo y proceso. Estos niveles se pueden mejorar mediante el uso de editores visuales. Hay editores reguladores para cada nivel. El programa también incluye herramientas para trazar los parámetros de la simulación y crear gráficos mediante el análisis de datos.

La estructura de red, los modelos de nodo y proceso se crean en escenarios que se incluyen en un archivo de proyecto. Cuando se completa el diseño, las estadísticas que se recopilan con la ayuda de la herramienta de simulación se determinan y ejecutan. Los datos obtenidos por la herramienta de análisis incluida en el programa pueden mostrarse en el tipo de gráfico deseado. También es posible comparar datos de múltiples escenarios en el mismo gráfico.

### **3.2. Modelado de redes inalámbricas.**

Los modelos de red se crearon utilizando el programa de simulación Opnet Modeler. Las simulaciones se llevaron a cabo en dos etapas. En la primera etapa, se crearon 4 subredes con los nombres Site-1, Site-2, Site-3 y Site-4 conectados a una red cableada remota para recibir servicios de protocolos de transferencia de archivos (*File Transfer Protocol, FTP*) y de transferencia de hipertexto (*HyperText Transfer Protocol, HTTP*) (véase la figura 3.1). Cada sitio tiene un punto de acceso y 20 clientes inalámbricos.

Los clientes se conectan a la red cableada remota a través de la puerta de enlace IP y están en espera de solicitudes de servicio de servidores FTP y HTTP. Las subredes en la misma estructura topológica están definidas por diferentes modelos de nodos estándar, y serán comparados sus desempeños en tráfico FTP, HTTP, video y audio. En la segunda etapa, se diseñó una red para el campus universitario con 4 edificios diferentes que se comunican entre sí a través de un sistema de distribución por cable.

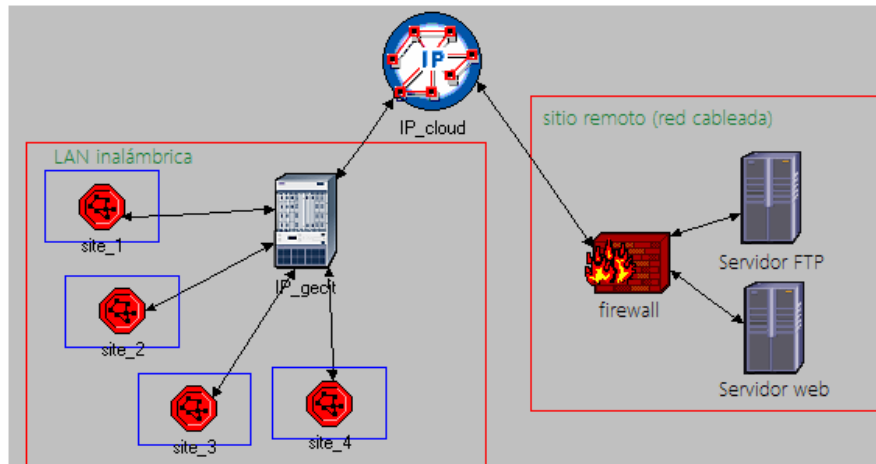


Figura 3. 1: Modelo de simulación de enlace a sitios remotos.  
Elaborado por: Autor.

### 3.2.1. Aplicación de conexión de sitio remoto.

El modelo de red que se muestra en la figura 3.1 es la primera parte de la simulación. Los parámetros de los cuatro terminales inalámbricos conectados entre sí por la puerta de enlace IP están determinados para utilizar 4 estándares diferentes de red inalámbrica, tales como, 802.11a, 802.11b, 802.11g e HiperLAN.

La figura 3.2 muestra la estructura de red cubierta por site\_1. Los componentes de otros sitios y las estructuras topológicas son los mismos que site\_1. Las características distintivas de cada sitio se muestran en la tabla 3.1 que serán los parámetros de simulación. Existen muchos parámetros que afectan los resultados de rendimiento. En simulaciones, algunos de estos parámetros se consideran ineficaces e ignorados. No se consideran las características como el modelo de antena que se utilizará para la comunicación inalámbrica ni la ubicación física de la antena. Se supone que el entorno físico tiene un campo de visión lineal.

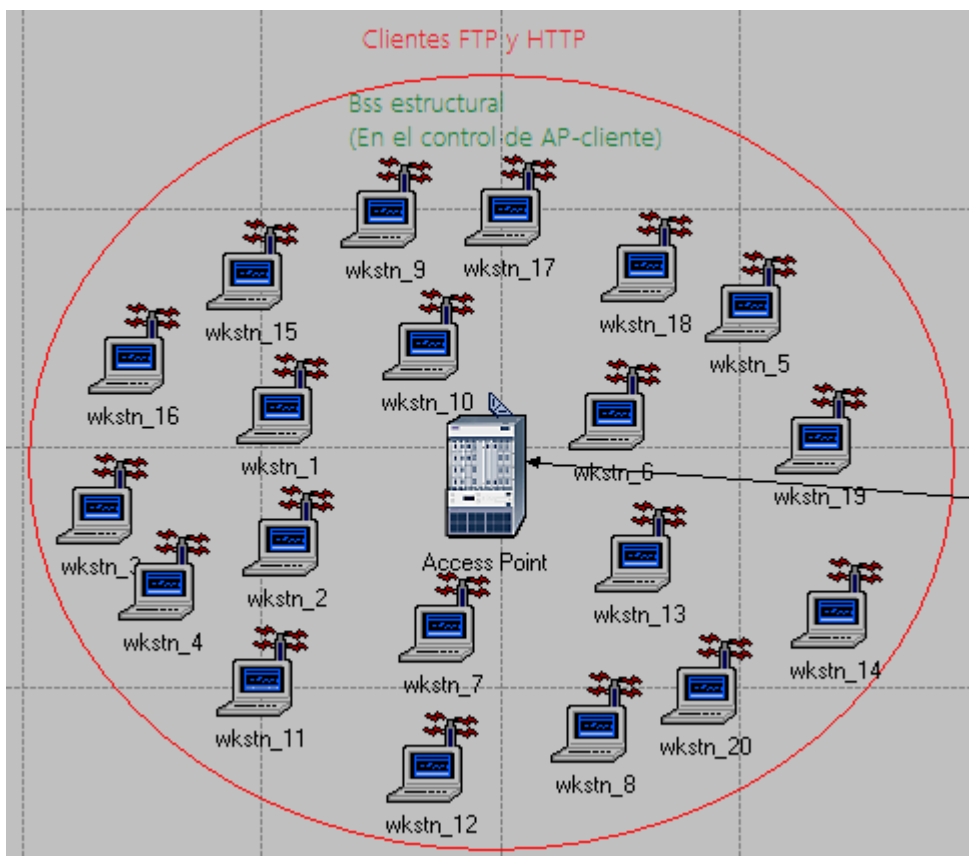


Figura 3. 2: Diagrama de red del sitio-1.

Elaborado por: Autor

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación para los cuatro escenarios.

	site_1 (802.11a)	site_2 (802.11b)	site_3 (802.11g)	site_4 (HiperLAN /2)
Características físicas	FHSS	DSSS	OFDM	OFDM
modulación	DPSK	GMSK	DPSK	GMSK
Frecuencia mínima	2,4 GHz	5 GHz	2,4 GHz	5 GHz
Ancho de banda	5 MHz	1 MHz	1 MHz	1 MHz

Elaborado por: Autor

### 3.2.2. Implementación de la red en campus universitario.

Se estableció un modelo de red para permitir que las subredes inalámbricas en diferentes edificios se comuniquen entre sí con la ayuda de enrutadores, tal como se muestran en la figura 3.3. Cada edificio tiene puntos

de acceso y estaciones de trabajo inalámbricas. Los estándares de red inalámbrica utilizados en estos edificios se seleccionaron de forma diferente y se realizó una comparativa de rendimiento.

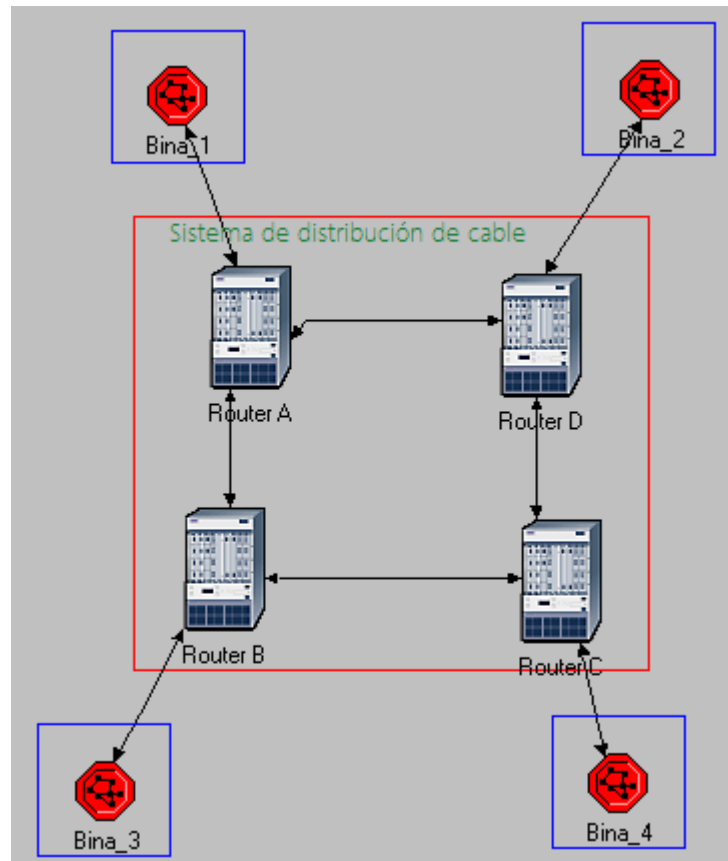


Figura 3. 3: Red del campus universitario creada con un sistema de distribución por cable.

Elaborado por: Autor.

### 3.3. Estudio y análisis del sistema.

Para garantizar la fiabilidad de los resultados, el tiempo de ejecución de la simulación se establece en 1 hora. Los criterios utilizados para la evaluación del rendimiento son; retraso o retardo (delay), retraso de capa MAC, carga de datos, y cantidad de transferencia de datos. La figura 3.4 muestra los resultados de la simulación de los estándares IEEE 802.11a e IEEE 802.11b para la primera aplicación de red. En comparación con las tasas de transmisión de datos, el estándar 802.11a parece tener una capacidad mayor.

La diferencia de tiempo entre los dos estándares está disminuyendo. Esto se debe al aumento en la cantidad de carga que viene con el funcionamiento del sistema. La primera vez que el sistema está inactivo, es decir, cuando la transferencia de datos recién comienza, la carga del sistema es cero. A partir de entonces, a medida que aumentaba la carga del sistema, se observaba una disminución dependiente del tiempo en la velocidad de transferencia de datos.

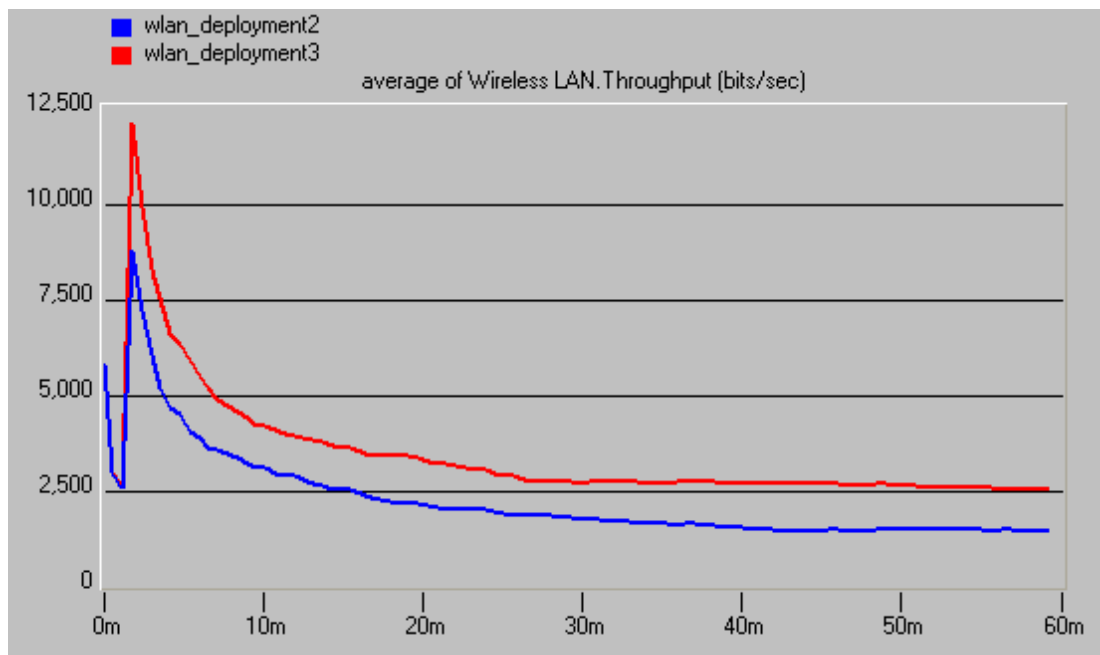


Figura 3. 4: Tasas de transferencia de datos de los estándares IEEE 802.11a e IEEE 802.11b.

Elaborado por: Autor.

Ahora, comparado los retrasos de la capa MAC, se observó que el estándar IEEE 802.11b mostraba más latencia (véase la figura 3.5). Las latencias promedio de acceso a los medios en la red del campus universitario se muestran en las figuras 3.6 y 3.7. La figura 3.6 compara los retrasos de los estándares IEEE 802.11a e IEEE 802.11b. De esta manera, IEEE 802.11b parece tener una latencia más alta. En comparación con los estándares

802.11g e HiperLAN, la latencia promedio del estándar IEEE 802.11g resultó ser menor, tal como se muestra en la figura 3.6).

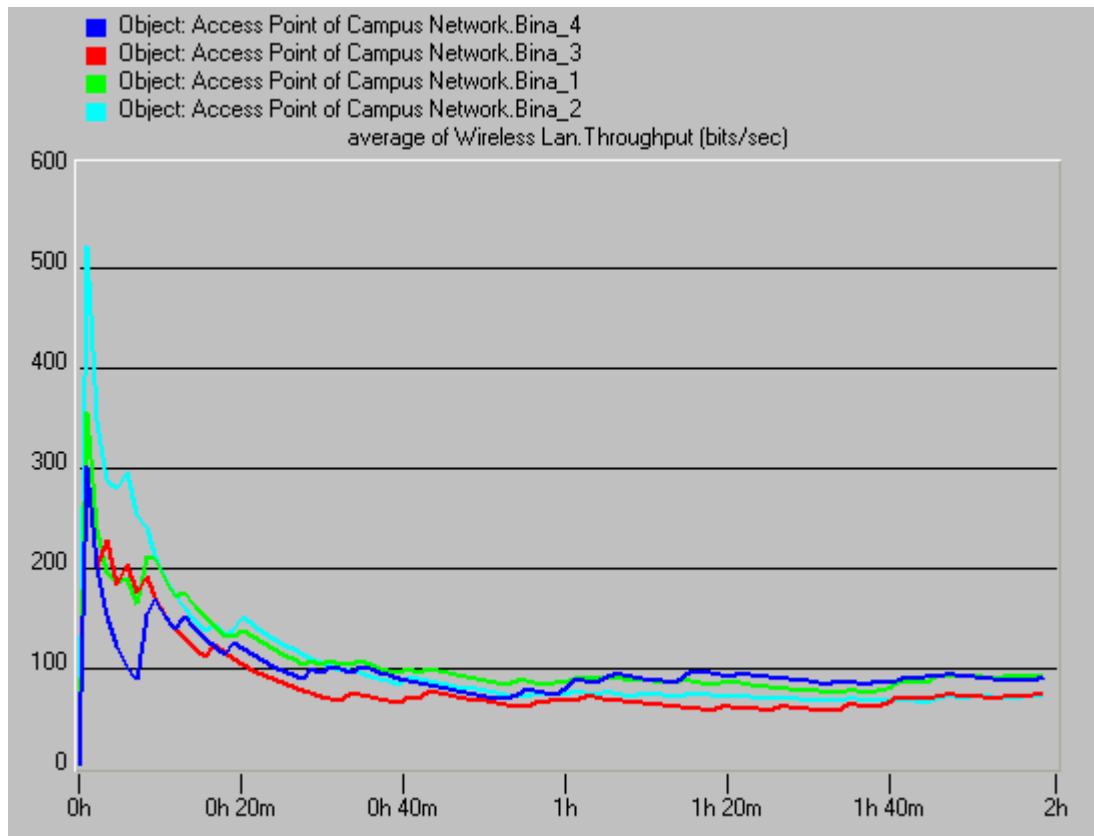


Figura 3. 5: Carga de datos del punto de acceso a la red del campus.  
Elaborado por: Autor.

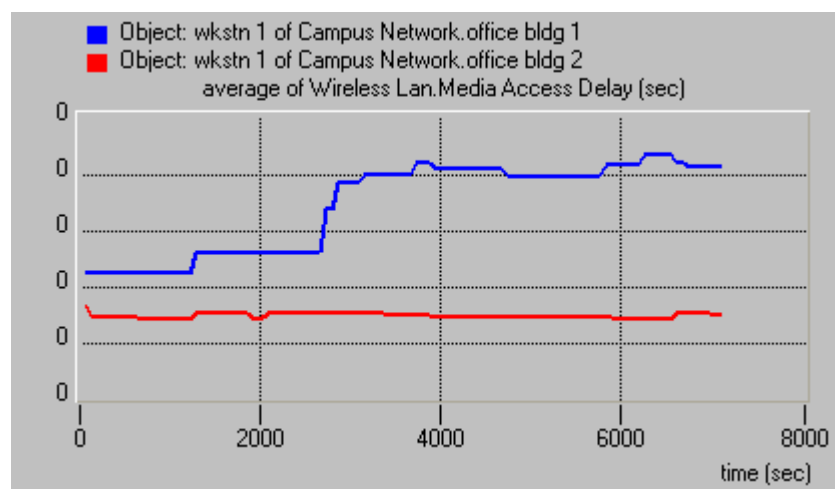


Figura 3. 6: Latencias promedio de acceso a los medios (802.11a - 802.11b).  
Elaborado por: Autor.



Cuando se compararon los tiempos de respuesta HTTP de los nodos, se observó que el estándar IEEE 802.11a era más alto que IEEE 802.11b (véase la figura 3.7). En la figura 3.8 se muestra el tiempo de respuesta del estándar IEEE 802.11g que resultó ser más alto que el de HiperLAN/2.

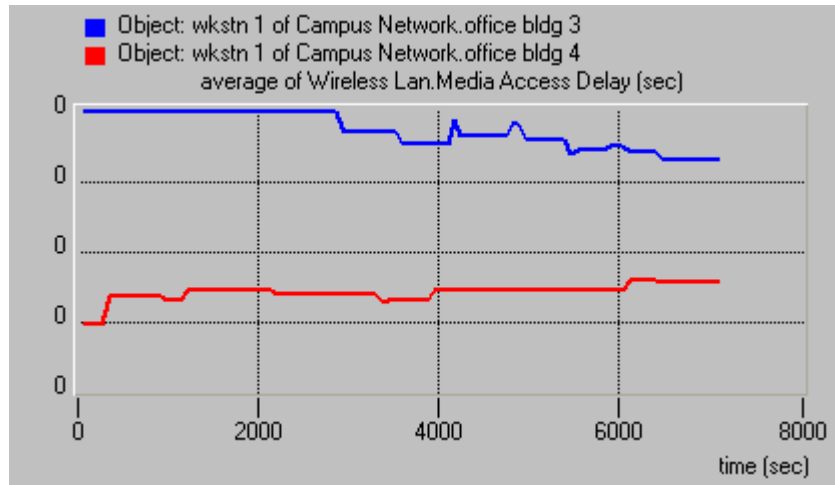


Figura 3. 7: Latencia media de acceso a los medios (802.11g-HiperLAN/2).  
Elaborado por: Autor.

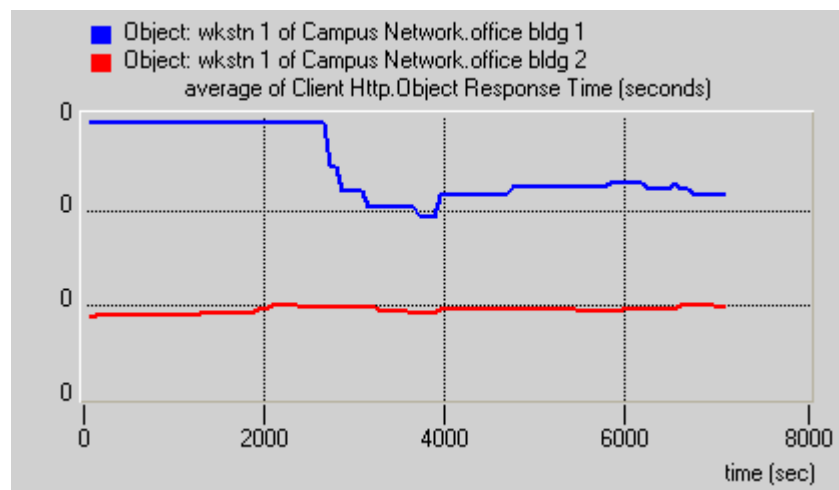


Figura 3. 8: Tiempo promedio de respuesta http (802.11g – HiperLAN).  
Elaborado por: Autor.

La figura 3.10 muestra las tasas de transmisión de datos inalámbricos en el campus universitario. También, se ve que los valores de retardo de acceso son máximos para la estación 1 y 2 (wkstn 1 y 2) del edificio 3 (bldg 3), que están dispuestos de acuerdo con el estándar IEEE 802.11b. Las

estaciones con el mejor valor de retardo son las definidas en bldg 1 de acuerdo con IEEE 802.11g.

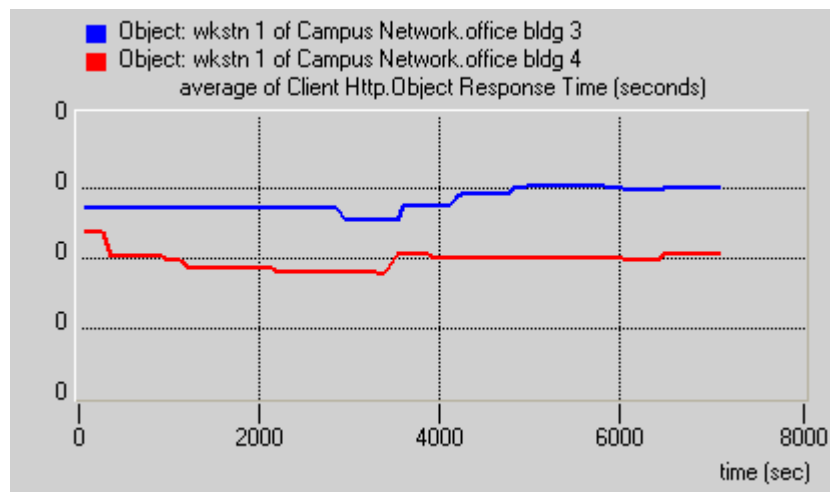


Figura 3. 9: Tiempo medio de respuesta HTTP (802.11a - 802.11b).  
Elaborado por: Autor.

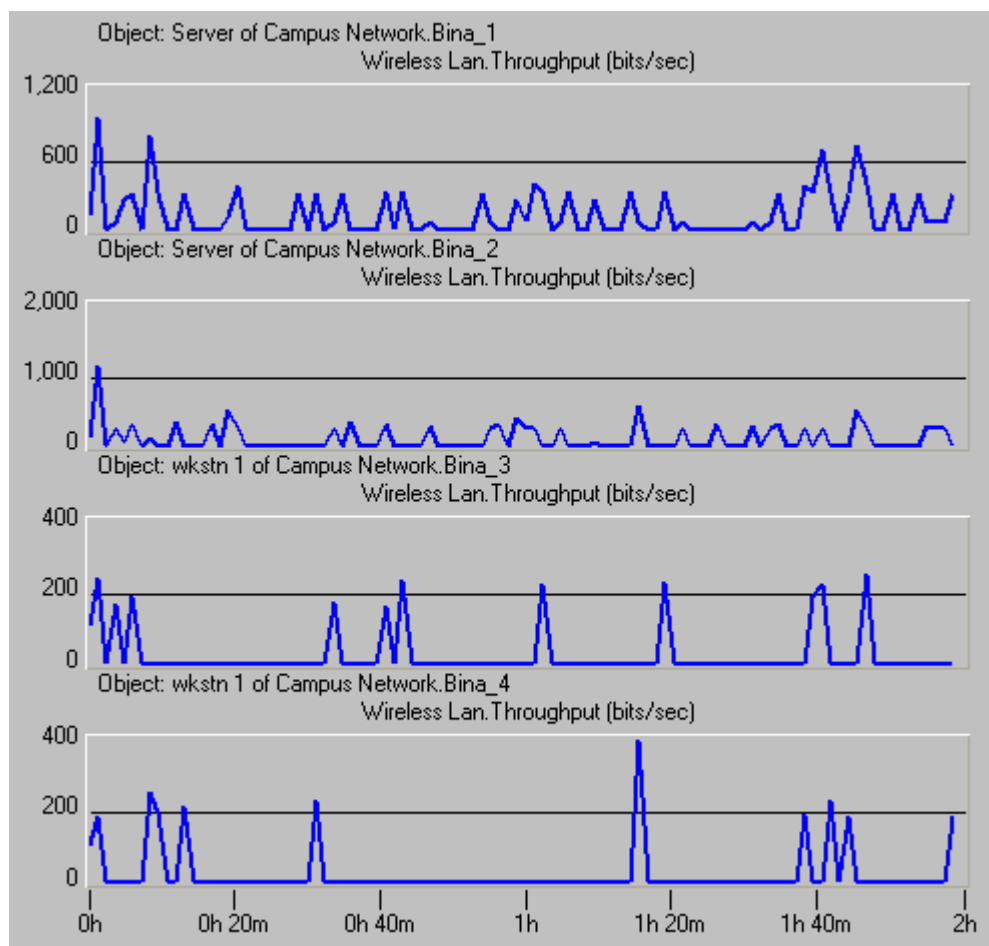


Figura 3. 10: Tasas de transmisión inalámbrica de datos en interiores de la red del campus.  
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 2: Resumen de resultados obtenidos.

Terminal	Mínimo	Promedio	Máximo
Bina_3.Wkstn1	0,0382	0,0759	0,122
Bina_3.Wkstn2	0,0386	0,0590	0,103
Bina_3.AP	0	0,0414	0,098
Bina_4.wkstn2	0,0191	0,0355	0,061
Bina_4.wkstn1	0,0145	0,0321	0,063
Bina_2.wkstn1	0,0154	0,0317	0,056
Bina_2.wkstn2	0,0198	0,0305	0,039
Bina_4.AP	0	0,0195	0,042
Bina_2.server	0,0031	0,0124	0,034
Bina_2.AP	0	0,0124	0,048
Bina_1.server	0,0019	0,0083	0,030
Bina_1.AP	0	0,0083	0,025
Bina_1.wkstn2	0,0018	0,0079	0,015
Bina_1.wkstn1	0,0017	0,0068	0,015

Elaborado por: Autor.

### 3.4. Resultados.

Gracias a la conveniencia que brindan las redes de computadoras inalámbricas, cada día se desarrollan nuevas y diferentes tecnologías en paralelo con la expansión de las áreas de uso. Este desarrollo ha llevado a la creación de estándares que satisfacen diferentes necesidades. El uso de diferentes frecuencias y estándares para los fines previstos, en función de la distancia y la distancia a la que se transportarán los datos, ofrece mejores resultados. Las nuevas tecnologías emergentes se desarrollan y se complementan entre sí.

Los estándares de comunicaciones inalámbricas utilizados en sistemas informáticos tales como ATM, LMDS y algunos servicios para redes de área extensa, como el estándar IEEE 802.16. Mientras que los estándares IEEE 802.11, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, HiperLAN se utilizan en redes inalámbricas de área local. Además de estos, existen los estándares ZigBee, Bluetooth y 802.14.5 que permiten que las computadoras se comuniquen con periféricos o sistemas de control. Todos estos estándares se clasifican de acuerdo con su uso.

El rendimiento de los estándares IEEE 802.11, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, HiperLAN utilizados en redes de área local fue modelado y comparado con el tráfico de datos con el programa OPNET. Según los resultados de la simulación con la ayuda de OPNET, se ve que los estándares IEEE 802.11g y ETSI HiperLAN/2 alcanzan velocidades de transmisión de datos más altas. Comparando con el retardo o delay, el estándar IEEE 802.11b proporciona la demora máxima. Mientras, que la mejor tasa de retardo se observó en el estándar IEEE 802.11g.

Al comparar las tasas de transferencia de datos, las diferencias entre los estándares disminuyen con el tiempo. Esto se debe al aumento en la cantidad de carga que viene con el funcionamiento del sistema. Para garantizar la estabilidad, el tiempo de simulación debe mantenerse hasta que el sistema se estabilice. Se deben seleccionar 1 o 2 horas de tiempo de ejecución en las ejecuciones de simulación.

Cuando se comparan los tiempos de respuesta de HTTP de los nodos, se observa que el estándar IEEE 802.11a es más alto que el estándar IEEE 802.11b. Se encontró que el tiempo de respuesta del estándar IEEE 802.11g era más alto que el de HiperLAN/2.

Aunque los estándares HiperLAN/2 e IEEE 802.11g operan en diferentes frecuencias, las simulaciones muestran que están cerca uno del otro. Se ha encontrado que el estándar IEEE 802.11a proporciona una velocidad de datos más alta sobre IEEE 802.11b. Cuanto mayor sea la frecuencia de funcionamiento, más rápida será la velocidad de transferencia de datos. Los sistemas que funcionan en la frecuencia de 5 GHz son más eficaces que los sistemas que operan a 2,4 GHz.

Las técnicas de modulación y la naturaleza de la transmisión física también influyen en las velocidades de transmisión de datos y los valores de retardo. De acuerdo con los resultados, se observa que los sistemas de modulación OFDM funcionan mejor que otros. Algunos parámetros que no se pueden considerar en las simulaciones pueden cambiar esta conclusión en la práctica. La ventaja del estándar IEEE 802.11b es que tiene una cobertura más amplia que el estándar IEEE 802.11a.

La selección de los estándares de red que se utilizarán es importante en términos de implementación y portabilidad. Hay algunos factores externos que no se pueden aplicar durante la simulación. Esto se ejemplifica por las características del entorno físico y el efecto de interferencia de otros

dispositivos de comunicación inalámbrica en el entorno. Las frecuencias de trabajo pueden mostrarse como negativas de los estándares IEEE 802.11a e IEEE 802.11g. Ambos se comunican en la banda ISM de 2,4 GHz. En particular, existe una interacción con los dispositivos Bluetooth porque usan la misma frecuencia en los entornos donde se usan y la pérdida de datos se experimenta en la práctica.

## **Conclusiones.**

- A través de la descripción teórica de los sistemas de comunicaciones inalámbricas se logró fundamentar los estándares IEEE 802.11, así como conocer de las métricas necesarias para evaluar los escenarios de simulación.
- La plataforma de simulación escogida fue Opnet Modeler por ser un software robusto en la simulación de sistemas de comunicaciones alámbricos e inalámbricos (incluida telefonía móvil).
- Se diseñaron y evaluaron los escenarios de simulaciones de los estándares de comunicación inalámbrica, los mismos cumplieron con todos los parámetros La plataforma que permitió realizar los diseños de los escenarios de simulación, fue Opnet Modeler.

### **Recomendaciones.**

- Desarrollar escenarios de simulación de una red de sensores inalámbricos (WSN) utilizando protocolos de comunicación Mqtt.
- Incentivar a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones en el desarrollo de nuevas propuestas de simulación de protocolos de enrutamiento



## Referencias bibliográficas.

- Chaudhary, S. R., Patil, A. J., & Yadao, A. V. (2016). WLAN-IEEE 802.11ac: Simulation and performance evaluation with MIMO-OFDM (pp. 440–445). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CASP.2016.7746211>
- Cisco. (2008). CSA for Mobile Client Security. Recuperado el 22 de enero de 2018, a partir de [https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/secwlandg20/csa\\_mobile\\_secure.html](https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/secwlandg20/csa_mobile_secure.html)
- Cisco. (2018a). CCNP 3 Wireless LANs. Recuperado el 22 de enero de 2018, a partir de [http://mars.merhot.dk/w/index.php/CCNP\\_3\\_Wireless\\_LANs](http://mars.merhot.dk/w/index.php/CCNP_3_Wireless_LANs)
- Cisco. (2018b). Cisco Aironet 1200 Series. Recuperado el 22 de enero de 2018, a partir de <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/aironet-1200-series/index.html>
- D-Link. (2018). User Manual WDA-1320. Recuperado el 22 de enero de 2018, a partir de [ftp://ftp2.dlink.com/PRODUCTS/WDA-1320/REVA/WDA-1320\\_MANUAL\\_1.10\\_EN.PDF](ftp://ftp2.dlink.com/PRODUCTS/WDA-1320/REVA/WDA-1320_MANUAL_1.10_EN.PDF)
- Ilyas, M. (2003). *The handbook of ad hoc wireless networks*. Boca Raton: CRC Press. Recuperado a partir de <http://www.crcnetbase.com/isbn/9781420040401>
- Lim, W.-S., & Hong, Y.-G. (2017). Energy-Efficient Multicasting in IEEE 802.11 WLANs for Scalable Video Streaming (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VTCspring.2017.8108552>
- Lin, W., Li, B., Yang, M., Qu, Q., Yan, Z., Zuo, X., & Yang, B. (2016). Integrated Link-System Level Simulation Platform for the Next Generation WLAN - IEEE 802.11ax (pp. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2016.7841905>

- Mughal, S., Yang, F., & Umar, R. (2018). Space-time labeling diversity for WLAN based on 8-PSK modulation (pp. 778–783). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IBCAST.2018.8312311>
- Pradeepkumar, B., Talukdar, K., Choudhury, B., & Singh, P. K. (2017). Predicting external rogue access point in IEEE 802.11 b/g WLAN using RF signal strength (pp. 1981–1986). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICACCI.2017.8126135>
- Salazar Soler, J. (2016). *Redes inalámbricas*. European Virtual Learning Platform for Electrical and Information Engineering. Recuperado a partir de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/100918>
- TP-Link. (2018). User Guide TL-WN322G 54M Wireless USB Adapter. Recuperado el 22 de enero de 2018, a partir de <https://static.tp-link.com/resources/software/2007116170351.pdf>



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **PRIETO SÁNCHEZ, JAIME JOSHUA** con C.C: # 0604488460 autor del Trabajo de Titulación: **Análisis comparativo del rendimiento de estándares inalámbricos utilizando Opnet Modeler** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 08 de Marzo de 2018

f. \_\_\_\_\_

Nombre: PRIETO SÁNCHEZ, JAIME JOSHUA

C.C: 0604488460



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Análisis comparativo del rendimiento de estándares inalámbricos utilizando Opnet Modeler		
<b>AUTOR(ES)</b>	PRIETO SÁNCHEZ, JAIME JOSHUA		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. EDWIN F. PALACIOS MELÉNDEZ		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	08 de Marzo de 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	50
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Fundamentos de Comunicación, Comunicaciones Inalámbricas, Transmisiones		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	RENDIMIENTO, MODELADO, SIMULACIÓN, REDES INALÁMBRICAS, ESTÁNDARES, WLAN		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El presente documento consiste en el desarrollo del componente práctico correspondiente al examen complejo de la carrera de Telecomunicaciones. De acuerdo con las orientaciones recibidas, se realizó el análisis comparativo del rendimiento de una red inalámbrica a través de cuatro diferentes estándares sobre la plataforma de simulación Opnet Modeler. Se realizó una descripción general del componente práctico, donde se plantea la problemática a resolver, así como también, los antecedentes de trabajos relacionados con redes inalámbricas. Después, se describe los fundamentos teóricos tales como, los estándares IEEE 802.11 a/b/g/n, las arquitecturas de redes inalámbricas, tipos de WLAN, entre otras relevantes a este documento. Posteriormente, se explica brevemente el motivo por el cual se escogió el software de simulación Opnet Modeler, y es donde se realizan los modelados de simulación en Opnet Modeler de los escenarios escogidos para analizar los estándares. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos con su respectivo análisis comparativo.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-9-80194835	E-mail: <a href="mailto:james-23@hotmail.com">james-23@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-68366762		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			