



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO:

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE REDES WLAN Y DE LA CALIDAD
DE SERVICIO EN LA CAPA LAN INALÁMBRICA**

AUTOR:

Edwin Fabián Oñate Moreira

Previa la obtención del Título

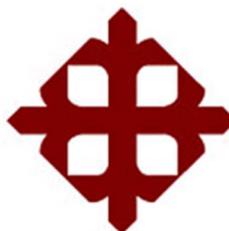
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

MsC. Néstor Armando Zamora Cedeño

Guayaquil, Ecuador

2015



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Edwin Fabián Oñate Moreira como requerimiento parcial para la obtención
del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.

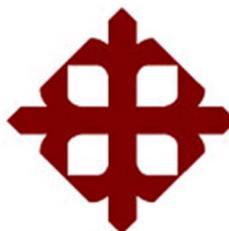
TUTOR

MsC. Néstor Armando Zamora Cedeño

DIRECTOR DE CARRERA

MsC. Miguel A. Heras Sánchez.

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Edwin Fabián Oñate Moreira**

DECLARÓ QUE:

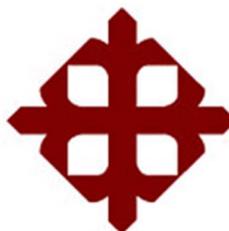
El trabajo de titulación “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE REDES WLAN Y DE LA CALIDAD DE SERVICIO EN LA CAPA LAN INALÁMBRICA” previa a la obtención del Título de Ingeniero en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015

EL AUTOR

EDWIN FABIÁN OÑATE MOREIRA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Edwin Fabián Oñate Moreira**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE REDES WLAN Y DE LA CALIDAD DE SERVICIO EN LA CAPA LAN INALÁMBRICA”, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 15 del mes de Febrero del año 2015

EL AUTOR

EDWIN FABIÁN OÑATE MOREIRA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a **Dios**, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres, **Elsy Moreira y Byron Oñate** por ser los pilares más importantes en mi vida y por demostrar siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar las diferencias de opiniones que podamos tener. A mi primo **Danny Zúñiga**, a quien quiero como un hermano ya que fue el quien me extendió su mano en unos de los momentos más duros de mi carrera. A mis hermanos **Emily y Diego** que se convirtieron en mi motivación para seguir adelante y yo me convertí en un ejemplo de superación para ellos. Mi trabajo de titulación se lo dedico con todo mi amor, mi cariño y mi aprecio para todas las personas que arrimaron el hombro y creyeron en mi sueño, a ellos les dedico.

EL AUTOR

EDWIN FABIÁN OÑATE MOREIRA

AGRADECIMIENTO

Agradezco a **Dios** por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

A mis padres, **Elsy y Byron** que con sus demostraciones de personas buenas y correctas me han enseñado a nunca desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar hasta conseguir lo que se desea, pero jamás haciendo daño al prójimo.

A mi primo **Danny**, que siempre fue una voz más de aliento, demostrando así el gran hombre que es extendiendo su mano sin necesidad de pedir nada a cambio.

A mis hermanos **Emily y Diego**, agradezco que a pesar de mis errores siempre fueron capaces de entender los buenos y malos momentos que pasaba y aun siendo más pequeños comprendían mis ideales, ahora solo espero que ellos sean capaces de superarme.

Agradezco infinitamente a todos los profesores que tuvieron la amabilidad de compartir sus conocimientos y agradezco aún más a los que más que profesores se convirtieron en amigos.

Un agradecimiento muy especial para dos grandes amigos, el Ing. **Santiago Fajardo** y el Ing. **Cristhian Pazán**, que con el pasar del tiempo más que amigos se convirtieron en hermanos y me extendieron su mano cuando más la necesitaba.

EL AUTOR

EDWIN FABIÁN OÑATE MOREIRA

Índice General

Índice de Figuras	IX
Índice de Tablas.....	XI
Resumen	XII
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	13
1.1. Antecedentes.	13
1.2. Justificación del Problema.....	14
1.3. Definición del Problema.....	15
1.4. Objetivos del Problema de Investigación.....	15
1.4.1. Objetivo General.....	15
1.4.2. Objetivos Específicos.	15
1.5. Hipótesis.....	16
1.6. Metodología de Investigación.....	16
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE REDES WLAN.....	17
2.1. Introducción de redes inalámbricas.....	17
2.2. ¿Por qué inalámbrico?	18
2.3. Espectro radioeléctrico: El recurso clave.....	20
2.3.1. La adopción temprana de 802.11	20
2.3.2. Las bandas ISM.....	23
2.4. ¿Qué hace diferente a las redes inalámbricas?	24
2.4.1. Ausencia de límite o frontera física.....	25
2.4.2. Medio físico dinámico.	26
2.4.3. Seguridad en redes WLAN.....	28
2.5. Estándares IEEE 802.11.	28

2.6.	Árbol genealógico de Tecnología de red 802.....	31	
2.7.	Nomenclatura y diseño de redes 802.11.....	34	
2.8.	Tipos de redes.....	36	
2.8.1.	Redes independientes BSS o Ad-Hoc.....	36	
2.8.2.	Redes con infraestructura BSS.....	37	
2.8.3.	Las áreas de servicio extendido.	38	
2.8.4.	Entornos Multi-BSS: "APs virtuales".....	39	
2.8.5.	Redes de seguridad robustas (RSN).....	40	
2.9.	Fundamentos de la MAC.....	41	
2.10.	Desafíos para la MAC.	42	
2.10.1.	Calidad del enlace RF.	42	
2.10.2.	El problema del nodo oculto.	44	
CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL MODELO WLAN Y RESULTADOS			
	OBTENIDOS.....	47	
3.1.	Escenario 1: Desempeño de una red WLAN mixta 11g/11n.	47	
3.2.	Resultados del escenario 1.....	59	
3.3.	Escenario 2: Mejoras del rendimiento de QoS en la capa WLAN.	61	
3.4.	Resultados del escenario 2.....	65	
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....			69
4.1.	Conclusiones.....	69	
4.2.	Recomendaciones.....	70	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....			71

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Usuarios con teléfonos inteligentes mientras conduce un vehículo.	17
Figura 2. 2: Usuarios con conectividad inalámbrica en aeropuertos.....	19
Figura 2. 3: Redes WLAN para vehículos en movimiento.....	24
Figura 2. 4: La familia IEEE 802 y sus relación con el modelo OSI.	31
Figura 2. 5: Componentes de la capa física (PHY)	33
Figura 2. 6: Componentes de las redes IEEE 802.11.....	34
Figura 2. 7: Tipos de BSS - Independiente e infraestructura.	36
Figura 2. 8: Conjunto de servicio extendido, ESS.....	39
Figura 2. 9: Acuse de recibo positivo de transmisiones de datos.	43
Figura 2. 10: Nodos 1 y 3 están "ocultos".	44
Figura 2. 11: Compensación RTS/CTS.	45

Capítulo 3

Figura 3. 1: Asistente de implementación o despliegue de red inalámbrica.	48
Figura 3. 2: Fase para la creación de red.	48
Figura 3. 3: Fase para la ubicación de la red.....	49
Figura 3. 4: Fase para especificar la tecnología WLAN.	50
Figura 3. 5: Fase para especificar la topología de la red.	51
Figura 3. 6: Especificación de APs y nodos móviles en la topología de la red.	52
Figura 3. 7: Fase para especificar la movilidad del nodo de la red.	52
Figura 3. 8: Fase del resumen de configuración de red WLAN.....	53
Figura 3. 9: Simulación del primer escenario para la red WLAN.....	54
Figura 3. 10: Configuración de atributos para APs y nodos de la red WLAN.	54
Figura 3. 11: Configuración de parámetros de alto rendimiento.	55

Figura 3. 12: Configuración del enlace 1000Base X.....	56
Figura 3. 13: Vínculo para enlace 1000Base X.....	56
Figura 3. 14: Configuración de atributos para equipo de destino.....	57
Figura 3. 15: Configuración de atributos para nodos móviles.	57
Figura 3. 16: Parámetros de generación de tráfico.....	58
Figura 3. 17: Argumentos de la generación de paquetes.	59
Figura 3. 18: Selección de los resultados para redes WLAN.....	59
Figura 3. 19: Selección gráfica de los resultados para el primer escenario.	60
Figura 3. 20: Comparativas del rendimiento y tiempo de retardo en nodos 802.11n y 802.11g.	60
Figura 3. 21: Comparativas de los datos caídos en nodos 802.11n y 802.11g.	61
Figura 3. 22: Simulación del segundo escenario de QoS en una red WLAN.	62
Figura 3. 23: Parámetros de HCF en cada nodo de WLAN.....	63
Figura 3. 24: Parámetros de HFC en el punto de acceso.....	63
Figura 3. 25: Diagrama de bloques del modulador IQ.	64
Figura 3. 26: Diagrama de bloques del modulador IQ.	65
Figura 3. 27: Tráfico de Http enviado y recibido.....	65
Figura 3. 28: Rendimiento de las aplicaciones Http.....	66
Figura 3. 29: Datos perdidos para WLAN Best Effort.....	66
Figura 3. 30: Diferentes gráficas del resultado obtenido en el segundo escenario.	68

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico.....	22
Tabla 2. 2: Bandas de frecuencias más utilizadas del espectro radioeléctrico.	23
Tabla 2. 3: Comparativa de las capas físicas (PHY) en el estándar IEEE 802.11.....	27
Tabla 2. 4: Normas de redes IEEE 802.11	30

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Tabla de mapeo del estándar IEEE 802.11e.	64
--	----

Resumen

El presente proyecto de titulación al inicio se describen las generalidades del trabajo, tales como Antecedentes, Planteamiento del Problema de Investigación, Objetivo General, Objetivos Específicos, Hipótesis y la Metodología de Investigación utilizada para el desarrollo satisfactorio de Evaluación del desempeño de redes WLAN y de la calidad de servicio en la capa LAN inalámbrica.

En el presente trabajo de titulación se realizó la investigación a nivel de simulación de redes WLAN sobre la plataforma OPNET Modeler, por tal motivo surge la necesidad de evaluar el desempeño de redes WLAN y de la calidad de servicio en la capa LAN Inalámbrica a través de dos escenarios modelados en OPNET.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1. Antecedentes.

En las últimas dos décadas la tecnología y el mercado de la computación han estado evolucionando aceleradamente. Como resultado de esta evolución, los recursos son cada vez aislados y no son utilizados de manera eficiente. Por otra parte, la comunicación es cada vez más esencial para todos los negocios, científicos, y otras tareas específicas.

La tecnología de comunicaciones inalámbricas se está convirtiendo cada vez más avanzada y utilizado en diversas aplicaciones en las últimas tres décadas. La característica principal de esta tecnología es que utiliza aire o espacio libre para la transmisión de información. La información se transfiere en forma de una onda electromagnética.

Como cualquier otro producto comercial, WLANs son producidas por diferentes proveedores. Pero se requieren de los estándares que aseguran ciertos servicios prestados de un cierto nivel de calidad, así como la compatibilidad entre los diferentes productos de proveedores. WLAN tiene dos organizaciones principales de estándares, que produjeron dos conjuntos de estándares para redes WLAN. Estas organizaciones y sus estándares son:

a) El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), que produce los estándares 802.11.

b) El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI), que produce los estándares de alto rendimiento LAN (HIPERLAN).

En la realidad WLAN es como cualquier otra LAN categorizada por el protocolo MAC, que es utilizado para compartir el medio. Uno de los protocolos más utilizados es el llamado acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisión (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA*). Este protocolo se adoptó en muchos productos en el mercado y es el más utilizado por los estándares IEEE 802.11.

1.2. Justificación del Problema.

Si bien las técnicas de simulación pueden dar una expectativa de cómo se comportarán los protocolos de comunicación y su rendimiento esperado, para una buena precisión, el análisis de protocolos de comunicación siempre da una mejor comprensión de cómo funciona el protocolo y lleva a cabo en diferentes condiciones. También ayuda a un gran tanto en la mejora del protocolo y afinar sus parámetros para un mejor rendimiento.

En este trabajo de titulación se pretende evaluar el desempeño de redes WLAN y la calidad de servicio (QoS) en la capa LAN inalámbrica, a través de algunos protocolos como CSMA/CA y CSMA/CD emitidos por IEEE 802.11. Estos dos son los protocolos principales del control de acceso al medio (MAC) utilizados para redes LAN inalámbricas.

1.3. Definición del Problema.

En la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo (FETD) no existen investigaciones realizadas a nivel de simulación de redes WLAN sobre la plataforma OPNET Modeler, por tal motivo surge la necesidad de evaluar el desempeño de redes WLAN y de la calidad de servicio en la capa LAN Inalámbrica a través de dos escenarios modelados en OPNET.

1.4. Objetivos del Problema de Investigación.

A continuación se presenta el objetivo general del trabajo de titulación y sus respectivos objetivos específicos.

1.4.1. Objetivo General.

Evaluar el desempeño de redes WLAN y la calidad de servicio en el capa LAN Inalámbrica sobre la plataforma de simulación OPNET.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Describir los fundamentos teóricos de redes inalámbricas y sus respectivos estándares IEEE 802.11.
- Evaluar el rendimiento combinado de los nodos 802.11g en una red WLAN 802.11n.
- Evaluar el desempeño de la red WLAN mediante la aplicación de voz de alta calidad, junto con la solicitud HTTP en una infraestructura 802.11n WLAN LAN BSS operando a 7.2 Mbps

1.5. Hipótesis.

El modelamiento de los dos escenarios propuestos para redes WLAN, permitirá evaluar el rendimiento de la red mediante el ajuste de parámetros 802.11 basándose en la carga de aplicaciones y condiciones de topología de la red y facilitará a los estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones el uso de la herramienta de simulación OPNET.

1.6. Metodología de Investigación.

El trabajo de titulación consiste en la evaluación de rendimiento en redes WLAN basado en los estándares IEEE 802.11n/g. La metodología es del tipo empírico-analítico.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE REDES WLAN

2.1. Introducción de redes inalámbricas.

En los últimos cinco años, el mundo se ha vuelto cada vez más móvil. Como resultado, las formas tradicionales de la interconexión del mundo han resultado insuficientes para afrontar los retos planteados por la nueva forma de vida colectiva. Si los usuarios deben estar conectados a una red por cables físicos, su movimiento se reduce drásticamente. La conectividad inalámbrica, sin embargo, no posee tal restricción y permite mucho más libertad de movimiento por parte del usuario de la red.

Como resultado, las tecnologías inalámbricas están invadiendo la esfera tradicional de redes "cableadas" o "fijas". Este cambio, por ejemplo, es evidente para cualquiera que conduzca de manera regular. Uno de los desafíos de "vida o muerte" para aquellos que conducimos de forma regular es haber conseguido sobrevivir a diario conduciendo vehículos de forma errática, debido a que los usuarios contienen teléfonos móviles en manos (véase la figura 2.1) o asiento del conductor.



Figura 2. 1: Usuarios con teléfonos inteligentes mientras conduce un vehículo.
Fuente: Olmedo, B. (2012)

La telefonía inalámbrica ha sido exitosa, ya que permite a las personas conectarse entre sí sin importar su ubicación. Las nuevas tecnologías dirigidas a las redes de computadoras también hacen lo mismo para conectividad a Internet. La tecnología de las redes inalámbricas de datos de mayor éxito hasta el momento ha sido IEEE 802.11.

2.2. ¿Por qué inalámbrico?

Para sumergirse en una tecnología específica a estas alturas, es buscar información a través de la historia. Las redes inalámbricas tienen varias ventajas importantes. La ventaja más obvia de las redes inalámbricas es la movilidad. Los usuarios de redes inalámbricas pueden conectarse a las redes existentes y luego se les permite navegar libremente. Un usuario de teléfono móvil puede conducir millas en el curso de una sola conversación debido a que el teléfono del usuario se conecta a través de las torres de celulares. Inicialmente, la telefonía móvil era cara.

Las redes inalámbricas tienen típicamente un alto grado de flexibilidad, que puede traducirse en un rápido despliegue. Las redes inalámbricas utilizan una serie de estaciones de base para la conexión de los usuarios a una red existente. En una red 802.11, las estaciones base se denominan puntos de acceso. El lado de la infraestructura de una red inalámbrica, sin embargo, es cualitativamente el mismo si va a conectar un usuario o un millón de usuarios. Para ofrecer un servicio en un área determinada, necesita estaciones base y antenas en su lugar.

La flexibilidad es otro atributo importante para los proveedores de servicios. Uno de los muchos mercados que proveen equipos 802.11 han perseguido el llamado mercado de la conectividad "punto caliente". Por ejemplo, en aeropuertos los viajeros acceden a la red durante los retrasos de conexión (véase la figura 2.2). Las cafeterías y otros lugares de reunión pública son lugares sociales en las que el acceso a la red es deseable.



Figura 2. 2: Usuarios con conectividad inalámbrica en aeropuertos.
Fuente: Olmedo, B. (2012)

La flexibilidad también puede ser particularmente importante en edificios antiguos, ya que se reduce la necesidad de construcción. Una vez que un edificio es declarado histórico, la remodelación puede ser particularmente difícil y por lo tanto, las redes inalámbricas pueden desplegarse muy rápidamente en dichos ambientes, porque sólo hay una pequeña red por cable a instalar.

La flexibilidad también ha dado lugar al desarrollo de las redes comunitarias. Con la erosión de precios rápida de equipos 802.11, las bandas voluntarias son la creación de redes inalámbricas compartidas y

abierta a los visitantes. Las redes comunitarias también están ampliando la gama de acceso a Internet más allá de las limitaciones de DSL en las comunidades donde el acceso a Internet de alta velocidad ha sido sólo un sueño.

2.3. Espectro radioeléctrico: El recurso clave.

Los dispositivos inalámbricos están limitados para operar en una cierta banda de frecuencia. Cada banda tiene un ancho de banda asociado, que es simplemente la cantidad de espacio de la frecuencia en la banda. El ancho de banda, ha adquirido una connotación de ser una medida de la capacidad de datos de un enlace. Una gran parte de las matemáticas, la teoría de la información y el procesamiento de señales, se pueden utilizar para demostrar que las proporciones de mayor ancho de banda son utilizadas para transmitir más información. Por ejemplo, un canal analógico de telefonía móvil requiere un ancho de banda de 20 kHz, mientras que las señales de televisión son mucho más complejas ya que tienen un ancho de banda proporcionalmente mayor a 6 MHz.

2.3.1. La adopción temprana de 802.11

Algunos mercados han evolucionado más rápidamente que otros debido a que el valor de las redes inalámbricas, es más pronunciado en algunos mercados. En general, cuanto mayor sea el valor colocado en la movilidad y la flexibilidad, mayor es el interés en las redes WLAN. Las organizaciones responsables de las mercaderías que requieren de logística (UPS, FedEx, o líneas aéreas), fueron tal vez los primeros en adoptar

802.11. Mucho antes de la llegada de 802.11, el seguimiento de paquetes se realiza con redes LAN inalámbricas propietarias. Los productos estandarizados bajaron el precio y permitieron la competencia entre los proveedores de equipos de red, y fue una decisión fácil para sustituir productos patentados con las normalizadas.

La asistencia de salud ha sido pionera en la adopción de las redes inalámbricas, debido a la gran flexibilidad que frecuentemente requieren de equipos de atención médica. Organizaciones tecnológicamente avanzadas de la salud, han adoptado las redes WLAN para que la información del paciente esté disponible y así mejorar la atención al paciente haciendo que la información sea más accesible a los médicos. Los registros computarizados pueden ser transferidos entre departamentos sin necesidad de descifrar los garabatos legendarios de los médicos. En los ambientes desordenados de una sala de emergencias, el acceso rápido a los datos de imagen puede literalmente ser un salvavidas.

Muchas instituciones educativas adoptaron con entusiasmo las redes WLAN. Por ejemplo, unos 10 años atrás, las universidades disputaron con estudiantes de cómo debía ser el "cableado" dentro del campus. Hoy en día, las principales historias en la educación son las universidades que utilizan redes WLAN para una cobertura total en todo el campus.

La asignación del espectro radioeléctrico ha sido rigurosamente controlada por autoridades reguladoras a través de procesos de concesión

de licencias. La mayoría de los países tienen sus propios órganos reguladores, aunque existen reguladores regionales.

En EE.UU., la regulación se hace por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). Las normas FCC son adoptadas por otros países de América. La asignación Europea se lleva a cabo por la Oficina Europea de Radiocomunicaciones (ERO). Otros trabajos de asignación se realizan por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Para evitar la superposición de ondas de radio, la frecuencia se asigna en bandas, que son simplemente gamas de frecuencias disponibles para aplicaciones específicas.

En la tabla 2.1 se enumera algunas bandas de frecuencias comunes, mientras que en la tabla 2.2 se muestran las bandas de frecuencias más utilizadas en las telecomunicaciones.

Tabla 2. 1: Bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico.

Banda	Rango de frecuencia
HF	3-30 MHz
VHF	30 a 300 MHz
UHF	300 a 1000 MHz
L	1-2 GHz
S	2 a 4 GHz
C	4-8 GHz
X	De 8 a 12 GHz
Ku	12 a 18 GHz
K	18-27 GHz
Ka	27-40 GHz

Fuente: UIT

Tabla 2. 2: Bandas de frecuencias más utilizadas del espectro radioeléctrico.

Banda	Rango de frecuencia
UHF-ISM	902-928 MHz
S	2 a 4 GHz
S-ISM	2.4 a 2.5 GHz
C	4-8 GHz
C-Satélite Downlink	3.7 a 4.2 GHz
C-Radares	5.25 a 5.925 GHz
C-ISM	5.725 a 5.875 GHz
C-Satélite Uplink	5.925 a 6.425 GHz
X	De 8 a 12 GHz
X-Radar (policía/meteorología)	8.5 a 10.55 GHz
Ku	12 a 18 GHz
K-Radar (Policía)	13.4 a 14 GHz 15.7 a 17.7 GHz

Fuente: UIT

2.3.2. Las bandas ISM.

En la tabla 2.1 hay tres bandas etiquetadas con ISM, que es una abreviatura de industrial, científica y médica. Las bandas ISM se reservan para los equipos que en términos generales, están relacionados con los procesos industriales o científicos o equipos médicos. Tal vez el dispositivo ISM de banda más familiar, es el horno de microondas, que opera en la banda ISM de 2,4 GHz ya que la radiación electromagnética a esa frecuencia es particularmente eficaz para calentar el agua.

Debemos prestar atención a las bandas ISM, porque esas bandas permiten un funcionamiento sin licencia, siempre que los productos cumplen

con las restricciones de potencia. 802.11 opera en las bandas ISM, junto con muchos otros dispositivos. Por ejemplo, los teléfonos inalámbricos comunes también operan en la banda ISM. Los dispositivos 802.11b y 802.11g operan en la banda ISM a 2,4 GHz, mientras que los dispositivos 802.11a operan en la banda de 5 GHz. Los dispositivos más comunes 802.11b/g operan en la banda S-ISM.

2.4. ¿Qué hace diferente a las redes inalámbricas?

Las redes inalámbricas son un excelente complemento a las redes fijas, pero no son una tecnología de sustitución. Al igual que los teléfonos móviles complementan la telefonía fija, las redes LAN inalámbricas complementan las redes fijas existentes al proporcionar movilidad a los usuarios. Los servidores y demás equipos del Data Center (central de datos) deben acceder a los datos, pero la ubicación física del servidor es irrelevante. Mientras que los servidores no se mueven, pueden también ser conectados a los cables que no se mueven.



Figura 2. 3: Redes WLAN para vehículos en movimiento.
Fuente: Olmedo, B. (2012)

En el otro extremo del espectro, las redes inalámbricas deben estar diseñadas para cubrir grandes áreas, para dar cabida a los clientes de movimiento rápido. Los típicos APs 802,11 no cubren grandes áreas, y tendrían dificultades para hacer frente a los usuarios de vehículos que se mueven rápidamente, tal como se muestra en la figura 2.3.

2.4.1. Ausencia de límite o frontera física.

La seguridad de la red tradicional pone un gran énfasis en la seguridad física de los componentes de la red. Los datos en la red se desplaza sobre vías bien definidas, generalmente de cobre o de fibra, y la infraestructura de red está protegida por un fuerte control de acceso físico. El equipo está bloqueado de forma segura lejos en los armarios de cableado y configurado de modo que no se puede configurar por los usuarios.

La seguridad básica deriva (la verdad es marginal) la seguridad de la capa física. Aunque es posible para redirigir las señales de control de acceso físico hace que sea mucho más difícil para un intruso acceder encubierto a la red. Las redes inalámbricas tienen un medio de red mucho más abierto. Por definición, el medio de red en una red inalámbrica no es un camino bien definido que consiste en un cable físico, pero un enlace de radio con una codificación y modulación particular.

Las señales pueden ser enviadas o recibidas por cualquier persona en posesión de las técnicas de radio, que son, por supuesto, bien conocidos porque son estándares abiertos. La interceptación de datos es un juego de

niños, ya que el medio está abierto a cualquier persona con la interfaz de red, y dicha interfaz de red se puede comprar por menos de \$ 50 en tiendas de electrónica de consumo local.

Por otra parte, las ondas de radio tienden a viajar fuera de su ubicación prevista. No hay límite físico abrupto del medio de red, y el rango en el que las transmisiones pueden recibirse se puede ampliar con antenas de alta ganancia a cada lado. Cuando se diseña una red WLAN debe considerarse cuidadosamente el aseguramiento a la conexión, para evitar el uso no autorizado y análisis de tráfico.

2.4.2. Medio físico dinámico.

Una vez que una red cableada se pone en su lugar, tiende a ser aburrido, es decir, predecible. Una vez que los cables se han puesto en su lugar, tienden a hacer lo mismo día tras día. Siempre que la red se ha diseñado de acuerdo con las normas de ingeniería establecidos en el pliego de condiciones, la red debe funcionar como se espera. La capacidad puede ser añadida a una red cableada fácilmente mediante la mejora de los interruptores en el armario del cableado.

En contraste, el medio físico en WLANs es mucho más dinámico. Las ondas de radio rebotan en los objetos, penetran a través de las paredes, y, a menudo pueden comportarse un tanto impredecible. Las ondas de radio pueden sufrir un número de problemas de propagación que pueden

interrumpir el enlace de radio, tales como la interferencia de trayectos múltiples y las sombras.

Sin un medio de red fiable, las redes inalámbricas deben validar cuidadosamente tramas recibidas para protegerse contra la pérdida de tramas. Los enlaces de radio están sujetos a varias restricciones adicionales que no suceden en las redes fijas. Debido a que el espectro radioeléctrico es un recurso relativamente escaso, se regula con cuidado. Existen dos maneras de hacer que las redes de radio vayan más rápido.

Tabla 2. 3: Comparativa de las capas físicas (PHY) en el estándar IEEE 802.11.

Estándar IEEE	Velocidad	Frecuencia	Descripción
802.11	1 Mbps a 2 Mbps	2.4 GHz	Primer estándar de la capa PHY (1997). Representa las técnicas de salto de frecuencia y modulación de secuencia directa.
802.11a	Hasta 54 Mbps	5 GHz	Segundo estándar PHY (1999), pero los productos no fueron liberados hasta finales del 2000.
802.11b	5.5 Mbps a 11 Mbps	2.4 GHz	Tercer estándar PHY, pero la segunda oleada de productos.
802.11g	Hasta 54 Mbps	2.4 GHz	Cuarto estándar PHY (2003). Aplica técnicas de codificación de 802.11a para una mayor velocidad en la banda de 2,4 GHz, mientras que conserva la compatibilidad con redes 802.11b existentes. La tecnología más común incluida en las computadoras portátiles en 2005.

Los métodos de codificación pueden aumentar la velocidad, pero tienen un inconveniente, debido a que el método de codificación más rápida depende del receptor, para recoger las diferencias de señales sutiles, se requieren mucho mayores a la relación de señal a ruido. Por lo tanto, las velocidades de datos más altas requieren de una estación que se encuentre

más cercano al AP. La tabla 2.3 muestra las capas físicas estandarizadas en 802.11 y sus respectivas velocidades.

2.4.3. Seguridad en redes WLAN.

Muchas redes inalámbricas se basan en ondas de radio, lo que hace al medio de red intrínsecamente abierto a la interceptación. Proteger adecuadamente las transmisiones de radio en cualquier red es siempre una preocupación para los diseñadores de protocolos. El hacer frente a la falta de fiabilidad inherente del medio inalámbrico y la movilidad necesaria de varias características del protocolo para confirmar la entrega de tramas, ahorro de potencia, y ofrecen movilidad.

Las redes inalámbricas deben estar fuertemente autenticadas para prevenir el uso por personas no autorizadas, y las conexiones autenticadas deben estar cifradas fuertemente para evitar la interceptación.

2.5. Estándares IEEE 802.11.

Varios grupos de estándares están involucrados en los esfuerzos de normalización relacionadas con 802.11. La mayor parte del esfuerzo se mantiene concentrado en el IEEE, pero importantes contribuciones a estándares de LAN inalámbricas han venido de varios lugares importantes. El primero es el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE). Además de sus actividades como una sociedad profesional, la IEEE trabaja en la estandarización de los equipos eléctricos, incluyendo varios tipos de

tecnología de la comunicación. Los esfuerzos de estandarización IEEE están organizados por proyectos, cada uno de los cuales se le asigna un número.

Dentro de un proyecto, los grupos de trabajo individuales se desarrollan normas para hacer frente a una faceta particular del problema. Los grupos de trabajo también se asignan un número, que se escribe después del punto decimal para los proyectos correspondientes. Ethernet, la tecnología IEEE LAN más utilizada, se estandarizó en el tercer grupo de trabajo, 802.3. Las redes WLAN formaron el grupo undécimo de trabajo, de ahí el nombre de 802.11.

En las redes WLAN, el primer grupo de trabajo para obtener un amplio reconocimiento fue el grupo de trabajo B (TGB), que produjo el estándar IEEE 802.11b. La tabla 2.4 muestra una lista básica de los diferentes estándares IEEE 802.11. El estándar IEEE 802.11b añade una nueva cláusula a 802.11, pero no puede estar solo, por lo que la "b" se escribe en minúsculas. Por el contrario, las normas como IEEE 802.1Q e IEEE 802.1X son especificaciones independientes, que son completamente autónomos en un solo documento, y por lo tanto utilizan letras mayúsculas.

Cuando se hizo evidente la autenticación en las redes WLAN, IEEE aprobó varias normas de autenticación originalmente desarrollados por la Internet Engineering Task Force (IETF). La autenticación de redes WLAN dependen en gran medida de los protocolos definidos por el IETF.

Tabla 2. 4: Normas de redes IEEE 802.11

Estándar IEEE	Descripción
802.11	Primer estándar (1997) que especifica la MAC y las técnicas de salto de frecuencia y modulación de secuencia directa.
802.11a	Segundo estándar de capa física (1999).
802.11b	Tercer estándar de capa física (1999).
TGc	Grupo de tareas que produjo una corrección en el ejemplo de codificación en 802.11a. Dado que el único producto era una corrección, no existió el estándar 802.11c.
802.11d	Extiende la capa PHY de salto de frecuencia para su uso a través de múltiples dominios reguladores.
802.11e	Grupo de tareas productoras de calidad de servicio (QoS) y extensiones para la MAC.
802.11F	Protocolo de punto de Inter-acceso para mejorar la itinerancia entre puntos de acceso conectados directamente.
802.11g	Estandarizado de la capa PHY (2003) para redes en la banda ISM.
802.11h	Estándar para hacer 802.11a compatible con la normativa europea de emisiones de radio.
802.11i	Mejoras en la seguridad en la capa de enlace.
802.11j	Mejoras en 802.11a para que se ajusten a las normas de emisiones de radio japoneses.
802.11k	Grupo de tareas para mejorar la comunicación entre los clientes y la red para gestionar mejor el uso de radio.
TGm	Grupo de tareas para incorporar los cambios realizados por 802.11a, 802.11b, y 802.11d, así como los cambios realizados por TGc en la especificación principal. (m para el mantenimiento.)
802.11n	Grupo de tareas fundada para crear un estándar de alto rendimiento. El objetivo fue tener velocidades superiores a 100 Mbps.
802.11p	Grupo de tareas para adoptar 802.11 para su uso en automóviles.
802.11r	Mejoras en el rendimiento de itinerancia.
802.11s	Mejoras en la tecnología de redes.
802.11T	Grupo de tareas de diseño de especificación de prueba y medida para 802.11.
802.11u	Grupo de tareas que modifican 802,11 para el interfuncionamiento con otras tecnologías de red.

La alianza Wi-Fi, es una combinación de una asociación comercial, es decir, para organización de pruebas, y organización de estandarización. La mayor parte del énfasis de la alianza Wi-Fi, está en actuar como una asociación comercial para sus miembros, aunque también muy conocido por el programa de certificación Wi-Fi.

Los esfuerzos de estandarización de la alianza Wi-Fi se realizan en apoyo de la IEEE. Cuando la seguridad de las redes inalámbricas se puso en duda, la alianza Wi-Fi produjo una especificación provisional de seguridad llamado Wi-Fi Protected Access (WPA). WPA fue esencialmente una instantánea de los trabajos realizados por el grupo de trabajo sobre la seguridad IEEE. Es más una norma de comercialización que una norma técnica, ya que la tecnología fue desarrollada por IEEE.

2.6. Árbol genealógico de Tecnología de red 802.

802.11 es un miembro de la familia IEEE 802, que es una serie de especificaciones para las tecnologías de red de área local (LAN). La figura 2.4 muestra la relación entre los diversos componentes de la familia 802 y su lugar en el modelo OSI.

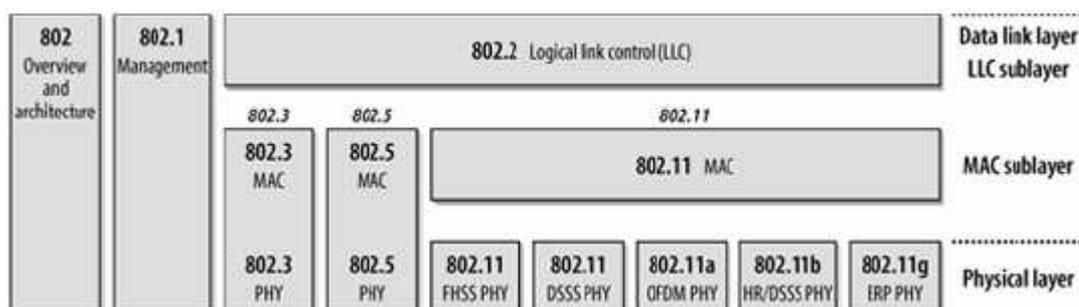


Figura 2. 4: La familia IEEE 802 y sus relación con el modelo OSI.

Fuente:

Las especificaciones de IEEE 802 se centran en las dos capas más bajas del modelo OSI, porque incorporan componentes tanto físicos como de enlace de datos. Todas las redes 802 tienen capas tanto MAC como PHY. La MAC es un conjunto de reglas que determinan la forma de acceder al medio y enviar datos, pero los detalles de la transmisión y la recepción se deja a la capa PHY.

Las especificaciones individuales en la serie 802 se identifican por un número de segundos. Por ejemplo, 802.3 es la especificación para una red de acceso múltiple por detección de portadora con detección de colisión (CSMA/CD), que está relacionada con (y a menudo llamado erróneamente) Ethernet, y la especificación 802.5 es Token Ring. Otras especificaciones describen otras partes de la pila del protocolo 802.

802.2 especifica una capa de enlace común, el control de enlace lógico (LLC), que puede ser utilizado por cualquier tecnología de redes LAN de capa inferior. Las funciones de administración de redes 802 se especifican en 802.1. 802.11 es sólo otra capa de enlace que puede utilizar el 802.2/encapsulado LLC. La base de la especificación 802.11 incluye la capa MAC 802.11 y dos capas físicas: un espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS) de la capa física y una secuencia directa de espectro extendido (DSSS) de la capa de enlace.

Las revisiones posteriores a 802.11 añaden capas físicas adicionales. 802.11b especifica una capa de secuencia directa de alta velocidad

(HR/DSSS). 802.11a describe una capa física basada en multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM).

Se ofrece una mayor velocidad a través del uso de OFDM, pero con la compatibilidad hacia atrás con 802.11b. Cuando los usuarios 802.11b y 802.11g coexisten en el mismo punto de acceso, se requiere sobrecarga de protocolo adicional, y reducción de la velocidad máxima para los usuarios 802.11g.

802.11 permite un acceso a la red móvil; en el cumplimiento de este objetivo, se incorporaron una serie de características adicionales en la MAC. Como resultado, la MAC del 802.11 puede parecer complejo en comparación con otras especificaciones MAC de IEEE 802.

802.11 divide la capa PHY en dos componentes genéricos: la capa física de procedimiento de convergencia (PLCP), para asignar las tramas MAC en el medio, y un sistema de medio físico dependiente (PMD) para transmitir las tramas. PLCP extiende a ambos lados del límite de la MAC y las capas físicas, como se muestra en la figura 2.5. En 802.11, PLCP añade un número de campos a la trama a medida que se transmite "en el aire.

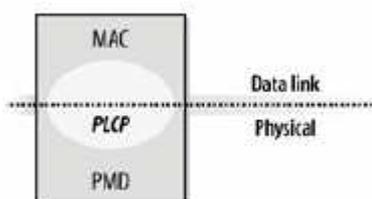


Figura 2. 5: Componentes de la capa física (PHY)

Fuente:

2.7. Nomenclatura y diseño de redes 802.11.

Las redes 802.11 consisten en cuatro grandes componentes físicos, que se resumen en la figura 2.6. Estos componentes son: estaciones, puntos de acceso, medio de transmisión inalámbrico y sistema de distribución.

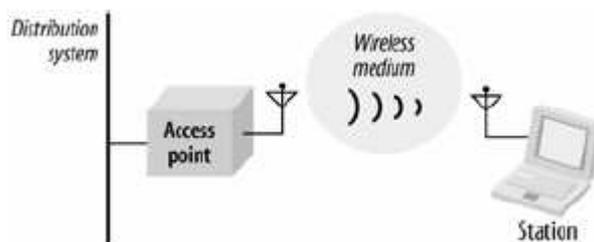


Figura 2. 6: Componentes de las redes IEEE 802.11.

Fuente: Gil, P., Pomares, J., & Candelas, F. (2010).

a. Estaciones: las redes se construyen para transferir datos entre estaciones. Las estaciones son dispositivos informáticos con interfaces de red inalámbricas. Por lo general, las estaciones son computadores portátiles (llamadas laptops) que funcionan con baterías o cualquier otro dispositivo electrónico portátil. No existe una razón por la que las estaciones deben ser dispositivos informáticos portátiles. Sin embargo, en algunos entornos, las redes inalámbricas se emplean para evitar tirar nuevo cableado y equipos de escritorio se conectan a redes WLAN. Grandes espacios verdes también pueden beneficiarse de las redes inalámbricas, tales como una planta de fabricación mediante una LAN inalámbrica para conectar componentes.

b. Los puntos de acceso: las tramas (frames) en una red 802.11 deben ser convertidos a otro tipo de tramas para su entrega al resto del mundo. Los dispositivos llamados puntos de acceso (AP) inalámbrico,

realizan la función de puente con cables. Inicialmente, las funciones de punto de acceso se pusieron en dispositivos independientes.

c. Medio de transmisión inalámbrico: para mover las tramas de estación a estación, el estándar utiliza el medio de transmisión inalámbrico. Diferentes capas físicas se definen; la arquitectura permite que múltiples capas físicas puedan desarrollarse para apoyar el MAC 802.11. Inicialmente, dos capas como las de radio frecuencias (RF) y otra de infrarrojos fueron estandarizados, aunque las capas de RF han demostrado ser mucho más populares. Varias capas de RF adicionales se han estandarizado también.

d. Sistema de distribución: cuando varios puntos de acceso están conectados para formar una gran área de cobertura, deben comunicarse entre sí para seguir los movimientos de las estaciones móviles. El sistema de distribución, es el componente lógico de 802.11 utilizado para enviar las imágenes a su destino. 802.11 no especifica ninguna tecnología en particular para el sistema de distribución. En la mayoría de los productos comerciales, el sistema de distribución se implementa como una combinación de un puente y un medio de sistema de distribución, que es la red troncal utilizada para retransmitir tramas entre puntos de acceso; que a menudo se denominan simplemente la red troncal. En casi todos los productos de éxito comercial, Ethernet se utiliza como tecnología de red troncal.

2.8. Tipos de redes.

El componente básico de una red 802.11, es el conjunto de servicios básicos (Basic Service Set, BSS), que es simplemente un grupo de estaciones que se comunican entre sí. Las comunicaciones tienen lugar dentro de un área un tanto difusa, llamado el área de servicio básica, definida por las características de propagación del medio inalámbrico. Cuando una estación se encuentra en el área de servicio básico, puede comunicarse con los demás miembros de la BSS. Según Barbancho, J., Benjumea, J., Rivera, O., Romero, M., Roper, J., Sánchez, G., & Sivianes, F. (2012) existen dos tipos de BSS, la BSS independiente (IBSS) o Ad-Hoc y BSS en modo infraestructura, tal como se muestra en la figura 2.7.

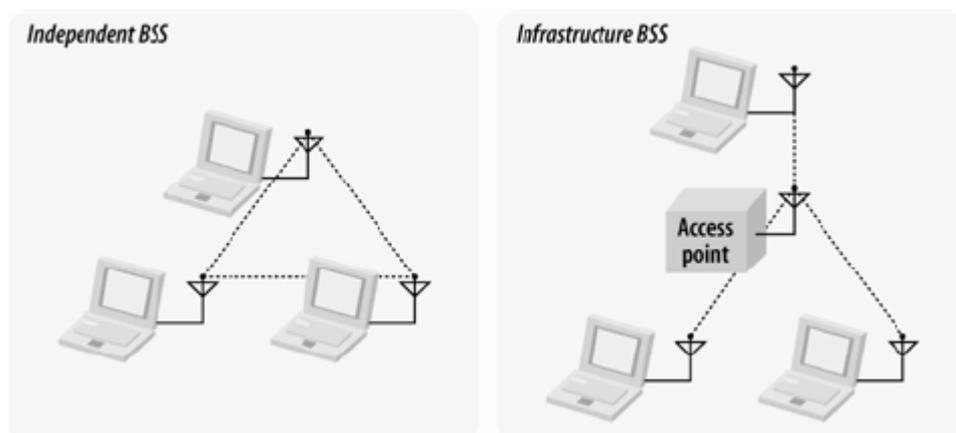


Figura 2. 7: Tipos de BSS - Independiente e infraestructura.
Fuente: Barbancho, J., et al. (2012).

2.8.1. Redes independientes BSS o Ad-Hoc.

En la parte izquierda de la figura 2.7 se muestra una BSS independiente (IBSS). Las estaciones de un IBSS se comunican directamente entre sí y por lo tanto deben estar dentro del alcance de comunicación directa. La más pequeña red 802.11 posible, es una IBSS con dos estaciones. Según Barbancho, J., et al. (2012) las IBSSs se componen

de un pequeño número de estaciones establecidas para un propósito específico y por un corto período de tiempo. Un uso común es crear una red de corta duración para apoyar a una sola reunión en una sala de conferencias. Al comenzar la reunión, los participantes crean un IBSS para compartir datos. Cuando termina la reunión, el IBSS se disuelve. Voinea, J. G. (2011) manifiesta que debido a su corta duración, tamaño pequeño, y propósito centrado, las IBSSs se conocen como BSS ad hoc o redes ad hoc a veces.

2.8.2. Redes con infraestructura BSS.

En el lado derecho de la figura 2.7 se muestra una red BSS de modo infraestructura. (Para evitar la sobrecarga de la sigla, un BSS infraestructura nunca se llama un IBSS). Las redes de infraestructura se distinguen por el uso de un punto de acceso. Los puntos de acceso se utilizan para todas las comunicaciones en las redes de infraestructura, incluyendo la comunicación entre los nodos móviles en la misma área de servicio.

Gil, P., et al (2010) sostienen que si una estación móvil en una infraestructura BSS necesita comunicarse con una segunda estación móvil, la comunicación debe tomar dos saltos. En primer lugar, la estación móvil de origen transfiere la trama al punto de acceso. En segundo lugar, el punto de acceso transfiere la trama a la estación de destino. Con todas las comunicaciones transmitidas a través de un AP, el área de servicio básico correspondiente a una infraestructura BSS está definida por los puntos en los que las transmisiones desde el APs se pueden recibir.

En una red de infraestructura, las estaciones deben asociarse con un punto de acceso para obtener los servicios de red. La asociación es el proceso por el cual la estación móvil se une a una red 802.11; es lógicamente equivalente a enchufar el cable de red en una red Ethernet. No es un proceso simétrico. Las estaciones móviles siempre inician el proceso de asociación, y los puntos de acceso pueden optar por conceder o denegar el acceso según el contenido de una solicitud de asociación.

2.8.3. Las áreas de servicio extendido.

Barbancho, J., et al. (2012) sostienen que una BSS puede crear cobertura en pequeñas oficinas y hogares, pero no puede proporcionar cobertura de la red de áreas más grandes. 802.11 permite redes inalámbricas de tamaño arbitrariamente grande para ser creados mediante la vinculación de los BSSs en un conjunto de servicio extendido (*Extended Service Set*, ESS). El ESS es creado por el encadenamiento de los BSS junto con una red troncal. Todos los puntos de acceso en una ESS se les dan al mismo identificador de conjunto de servicios (SSID), que sirve como un "nombre" de la red para los usuarios.

802.11 no especifica una tecnología troncal en particular; sólo requiere que la columna vertebral proporcione una definición de los servicios. En la figura 2.8 se muestra a la ESS como la unión de los cuatro BSS (siempre que todos los puntos de acceso están configurados para ser parte de la misma ESS). En las implementaciones del mundo real, el grado de solapamiento entre el BSS probablemente sería mucho mayor que el

SSID se asocia con una VLAN. La red de invitado está conectada a una VLAN preparado para el acceso público por usuarios desconocidos y no confiables, y es casi seguro que unido fuera del firewall.

Los dispositivos inalámbricos ven dos redes separadas en el dominio de la radio, y puede conectarse a cualquier cosa que se adapte a sus necesidades. (Naturalmente, la red interna es, probablemente, protegida por la autenticación de impedir el uso no autorizado.) Los usuarios que se conectan a la red inalámbrica llamada invitado serán colocados en la VLAN de invitados, mientras que los usuarios que se conectan a la red inalámbrica llamada interna serán autenticados y se colocan en la red interna.

Este ejemplo un tanto artificial ilustra el desarrollo de lo que muchos llaman puntos de acceso virtuales. Cada BSS actúa como su propio AP autónomo, con su propia dirección ESSID, MAC, configuración de autenticación y de cifrado. Los APs virtuales también son utilizados para crear redes paralelas con diferentes niveles de seguridad.

2.8.5. Redes de seguridad robustas (RSN).

Las primeras redes WLAN demostraron tener debilidad de seguridad integrada. 802.11i, ratificada en junio de 2004, especifica un conjunto de mejoras de los mecanismos de seguridad que proporcionan las asociaciones de redes de seguridad robustas (RSNAs). Las asociaciones de redes de seguridad robusta se forman cuando mejoraron los protocolos de autenticación y confidencialidad definidas por 802.11i.

2.9. Fundamentos de la MAC.

Esta sección comienza con la exploración del estándar 802.11 en profundidad, donde hay una gran cantidad de información sobre la especificación 802.11 y los diversos estándares relacionados que utiliza liberalmente. Es posible, sin embargo, la construcción de una red de cable sin un conocimiento profundo y detallado de los protocolos, y lo mismo es cierto para las redes inalámbricas.

Por ejemplo, Ethernet es generalmente libre de problemas, pero los administradores de redes han sabido por mucho tiempo que cuando no se meten en problemas graves, no hay sustituto para el conocimiento profundo de cómo la red está funcionando. Ethernet tiene sólo una media docena de nodos y no es probable que sea una fuente de problemas; los problemas se producen cuando se agrega un par de servidores de alta capacidad, unos pocos cientos de usuarios, y los puentes asociados y routers.

La clave para la especificación 802.11 es el MAC. Se monta en cada capa física y controla la transmisión de datos de usuario en el aire. Proporciona las operaciones de encuadre fundamentales y la interacción con un backbone de red cableada. Diferentes capas físicas pueden proporcionar diferentes velocidades de transmisión, todos los cuales suponen interoperación.

802.11 no se aparta de las normas IEEE 802 anteriores de ninguna manera. El estándar adaptado con éxito en redes Ethernet para enlaces de

radio, utilizan un esquema de detección de portadora de acceso múltiple (CSMA) de soporte para controlar el acceso al medio de transmisión. Sin embargo, las colisiones pierden la valiosa capacidad de transmisión, por lo que en lugar de utilizar la detección de colisiones (CSMA/CD) por Ethernet, 802.11 utiliza la evitación de colisión (CSMA/CA).

También como Ethernet, 802.11 utiliza un esquema de acceso distribuido sin control centralizado. Cada estación 802.11 utiliza el mismo método para obtener acceso al medio. Las principales diferencias entre 802.11 y Ethernet es el medio subyacente.

2.10. Desafíos para la MAC.

Las diferencias entre el entorno de red inalámbrica y el medio ambiente cableado tradicional crean retos para los diseñadores de protocolos de red. Esta sección examina algunos de los obstáculos que los 802,11 diseñadores enfrentaron.

2.10.1. Calidad del enlace RF.

Sobre un cable Ethernet, es razonable transmitir una trama y asumir que el destino la recibe correctamente. Los enlaces de radio son diferentes, especialmente cuando las frecuencias utilizadas son bandas ISM sin licencia. Incluso las transmisiones de banda estrecha están sujetas a ruidos e interferencias, pero existen dispositivos sin licencia que asumen la existencia de interferencia y funcionan alrededor de ella. Además del ruido, el desvanecimiento por trayectos múltiples también puede conducir a

situaciones en las que las tramas no se pueden transmitir porque un nodo se mueve en un punto muerto.

A diferencia de muchos otros protocolos de la capa de enlace, 802.11 incorpora reconocimientos positivos. Todas las tramas de transmisión deben ser reconocidas, como se muestra en la figura 2.9. Si cualquier parte de la transferencia falla, la trama (frame) se considera perdido.

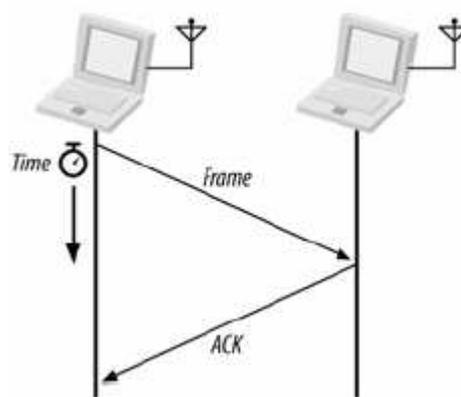


Figura 2. 9: Acuse de recibo positivo de transmisiones de datos.
Fuente:

La secuencia en la figura 2.9, es una operación atómica, lo que significa que es una sola unidad transaccional. Aunque hay varios pasos en la transacción, se considera una única operación indivisible. Las operaciones atómicas son "todo o nada". O bien cada paso en la secuencia debe completarse con éxito, o toda la operación se considera un fracaso.

Una complejidad adicional del tratamiento de transmisión de tramas de la figura 2.9 como atómica, es que la transacción se produce en dos piezas, sujetas al control de dos estaciones diferentes. Ambas estaciones deben trabajar conjuntamente para adoptar en conjunto el control del medio de red para transmisiones durante toda la transacción.

2.10.2. El problema del nodo oculto.

En las redes Ethernet, las estaciones dependen de la recepción de transmisiones para realizar las funciones de detección de portadora de CSMA/CD. Los cables en el medio físico contienen las señales y las distribuyen a los nodos de la red. Las redes inalámbricas tienen límites difusos, a veces hasta el punto en el que cada nodo puede no ser capaz de comunicarse directamente con cada otro nodo en la red inalámbrica, tal como se muestra en la figura 2.10.



Figura 2. 10: Nodos 1 y 3 están "ocultos".
Fuente:

En la figura 2.10, el nodo 2 se puede comunicar con los dos nodos 1 y 3, pero algo impide que los nodos 1 y 3 se comuniquen directamente. (El obstáculo en sí no es relevante, sino que podría ser tan simple, como los nodos 1 y 3 están tan lejos de 2 como sea posible, de modo que las ondas de radio no pueden alcanzar la distancia completa de 1 a 3. Desde la perspectiva del nodo 1, el nodo 3 es un nodo "oculto".

Si se ha utilizado un protocolo simple de transmisión, sería fácil para el nodo 1 y el nodo 3 a transmitir datos simultáneamente, haciendo así el nodo 2 incapaz de dar sentido a nada. Por otra parte, los nodos 1 y 3 no tienen

ninguna indicación del error debido a que el choque fue local al nodo 2. Las colisiones resultantes de nodos ocultos pueden ser difíciles de detectar en redes inalámbricas ya que los transceptores inalámbricos son generalmente half-dúplex, es decir, que no transmiten y reciben al mismo tiempo. Para evitar colisiones, 802.11 permite a las estaciones utilizar el proceso de compensación RTS/CTS.

La figura 2.11 muestra el proceso de compensación, donde la solicitud de envío (Request to Send, RTS) y anulación para enviar señales (Clear to Send, CTS) permiten despejar un área. Tanto las tramas RTS y CTS extienden la trama de la transacción, de modo que la tramas RTS, CTS, de datos, y el reconocimiento son considerados parte de la misma operación atómica.

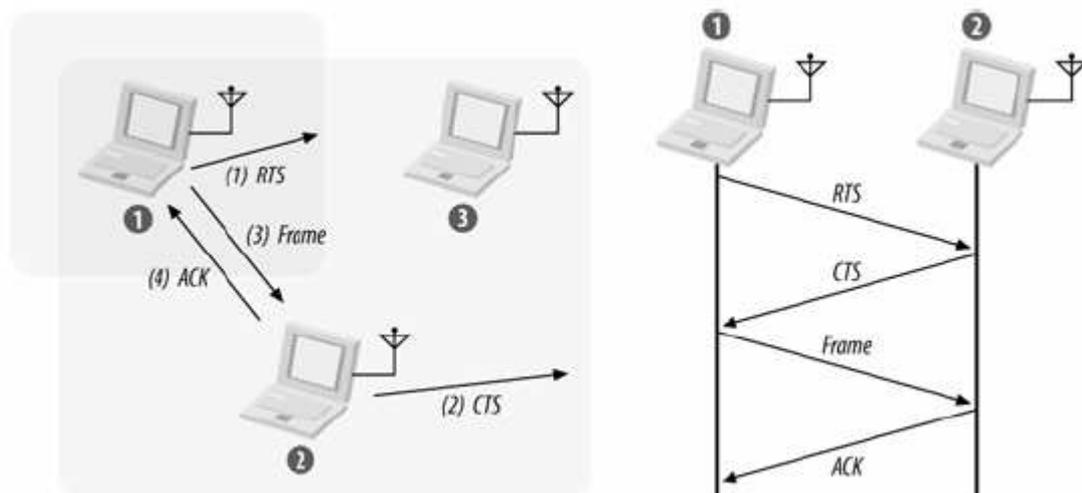


Figura 2. 11: Compensación RTS/CTS.

Fuente:

En la figura 2.11, el nodo 1 tiene una trama para enviar; se inicia el proceso mediante el envío de una trama RTS. La trama RTS sirve para varios propósitos: además de la reserva de la conexión de radio para la

transmisión, silencia las estaciones que lo escuchan. Si la estación de destino recibe una RTS, esta responde con una CTS. Al igual que la trama RTS, la trama CTS silencia estaciones en las inmediaciones.

Una vez que el intercambio RTS/CTS está completo, el nodo 1 puede transmitir sus tramas sin preocuparse de la interferencia de los nodos ocultos. Nodos ocultos más allá del rango de la estación de envío son silenciados por la CTS desde el receptor. Cuando se utiliza el procedimiento de compensación RTS/CTS, las tramas deben ser reconocidas positivamente.

El procedimiento de transmisión multi-trama RTS/CTS consume una buena cantidad de capacidad, especialmente debido a la latencia adicional incurrido antes de que la transmisión pueda comenzar. Como resultado, sólo se usa en entornos de alta capacidad y ambientes con la afirmación significativa en la transmisión. Para entornos de menor capacidad, no es necesario.

En muchos entornos más grandes, la cobertura es lo suficientemente densa ya que los clientes se encuentran lo suficientemente cercano al APs que se encuentra a poca distancia el uno del otro. CTS se realiza para las tramas mayores que el umbral.

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL MODELO WLAN Y RESULTADOS OBTENIDOS.

En el presente capítulo se consideran ciertos escenarios de simulación de una red inalámbrica para evaluar y mejorar su desempeño en la capa WLAN.

3.1. Escenario 1: Desempeño de una red WLAN mixta 11g/11n.

Para este escenario, un administrador de la red WLAN de una empresa planea actualizar todos los puntos de acceso en el edificio de la compañía, desde puntos de acceso (APs) 802.11g hasta puntos de acceso (APs) 802.11n y así mejorar el rendimiento de la red. Los usuarios de la red no están obligados a comprar nuevas tarjetas 802.11n, porque la tecnología es compatible con APs 802.11n para proveer servicio a dispositivos 802.11g.

El objetivo en este escenario, es que el administrador de red desea investigar el impacto de los dispositivos heredados 11g en el BSS 11n. Es decir, que los usuarios 11n no verán degradación en el rendimiento de la red aunque el grado de degradación si está presente. Mediante el programa OPNET se realizará la simulación de escenarios para redes WLAN.

En la figura 3.1 se muestra el acceso al asistente para la implementación virtual WLAN, desde la barra de herramientas seleccionamos **<<Topology>>** y escogemos **<<Deploy Wireless Network>>**.

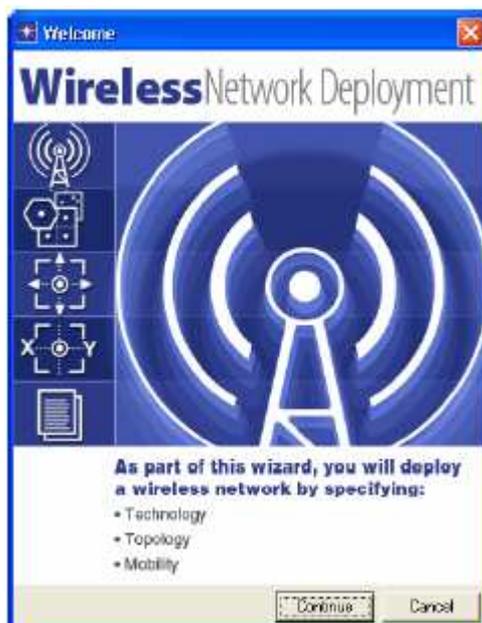


Figura 3. 1: Asistente de implementación o despliegue de red inalámbrica.
Elaborado por: El Autor.

La figura 3.2 muestra la fase **Network Creation**, donde se debe elegir entre especificar parámetros de implementación de red o utilizar un archivo de especificación de red guardado previamente. Es necesario, que el “uso del asistente para proporcionar especificaciones de red” este seleccionada.

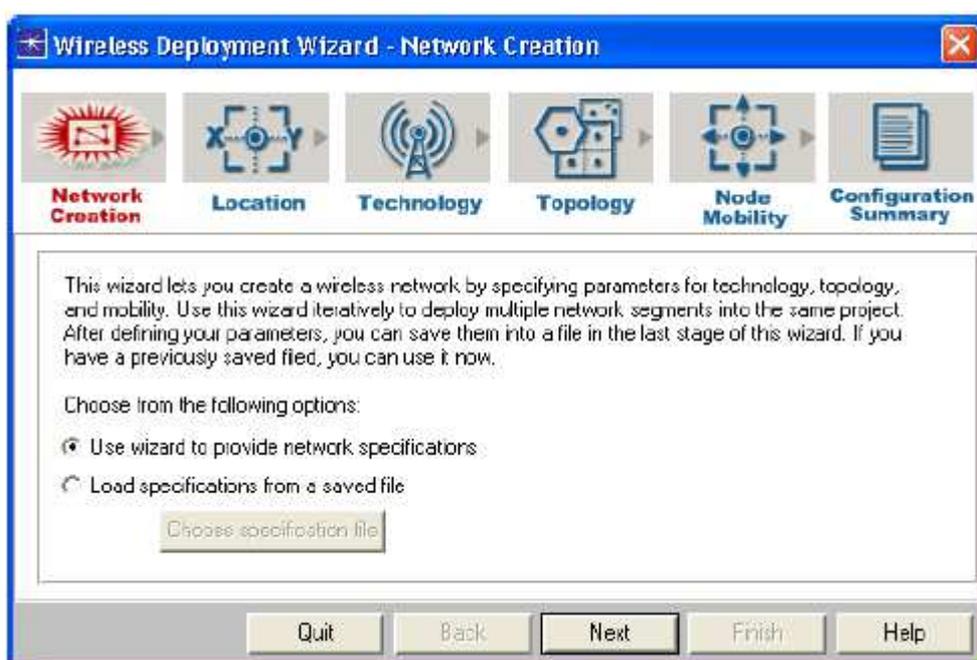


Figura 3. 2: Fase para la creación de red.
Elaborado por: El Autor.

La siguiente etapa es **Location** en la cual especificamos la ubicación de la red. La figura 3.3 muestra los ajustes de configuración de especificación de la ubicación de la red.

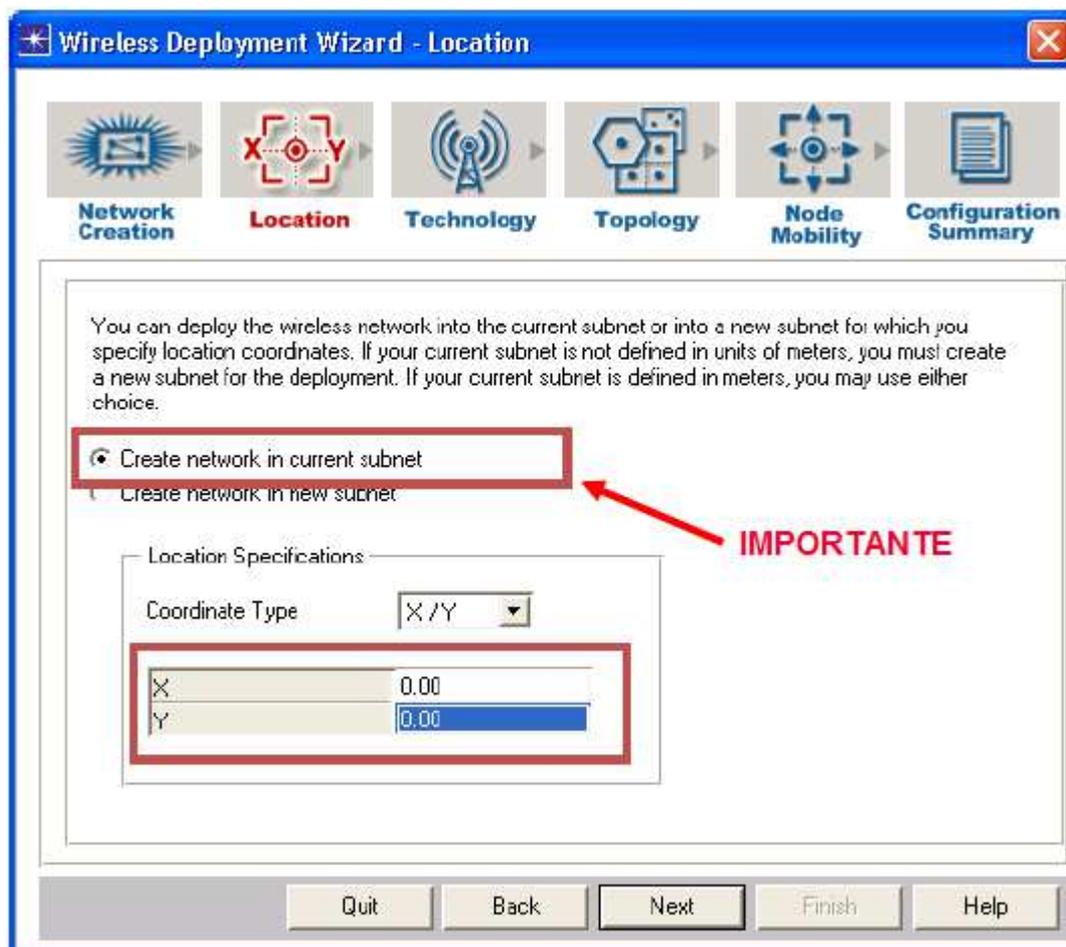


Figura 3. 3: Fase para la ubicación de la red.
Elaborado por: El Autor.

La etapa **Technology** se utiliza para seleccionar una tecnología de implementación particular y para especificar parámetros específicos de tecnología. La figura 3.4 muestra los parámetros requeridos para WLAN, así como el modo de funcionamiento deseado para la red de 802.11n (2,4 GHz). Esto implica que todos los nodos estarán operando en el modo 802.11n. Debemos ajustar la velocidad de datos entre 26 Mbps y 240 Mbps como mínimo y máximo respectivamente.

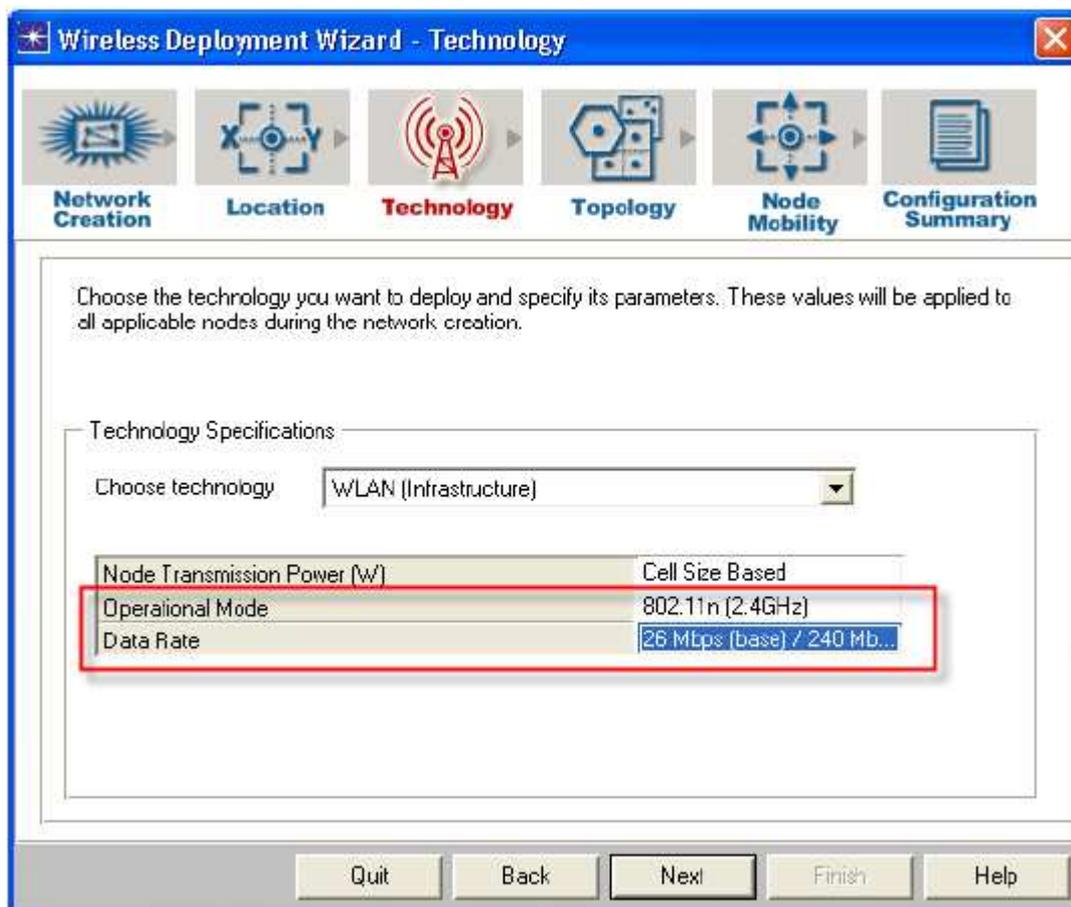


Figura 3. 4: Fase para especificar la tecnología WLAN.
Elaborado por: El Autor.

La siguiente etapa o fase es **Topology**, la que nos permite configurar la especificación de recubrimiento geográfico y colocación del nodo móvil. La figura 3.5 muestra las especificaciones necesarias para esta red WLAN. Donde,

- a) la célula (hexagonal) se selecciona como recubrimiento geográfico, el número de células se establece en 1 y el radio de la célula es 0,25 km;
- b) y la especificación de colocación del nodo móvil debe ser establecido en aleatorio (random).

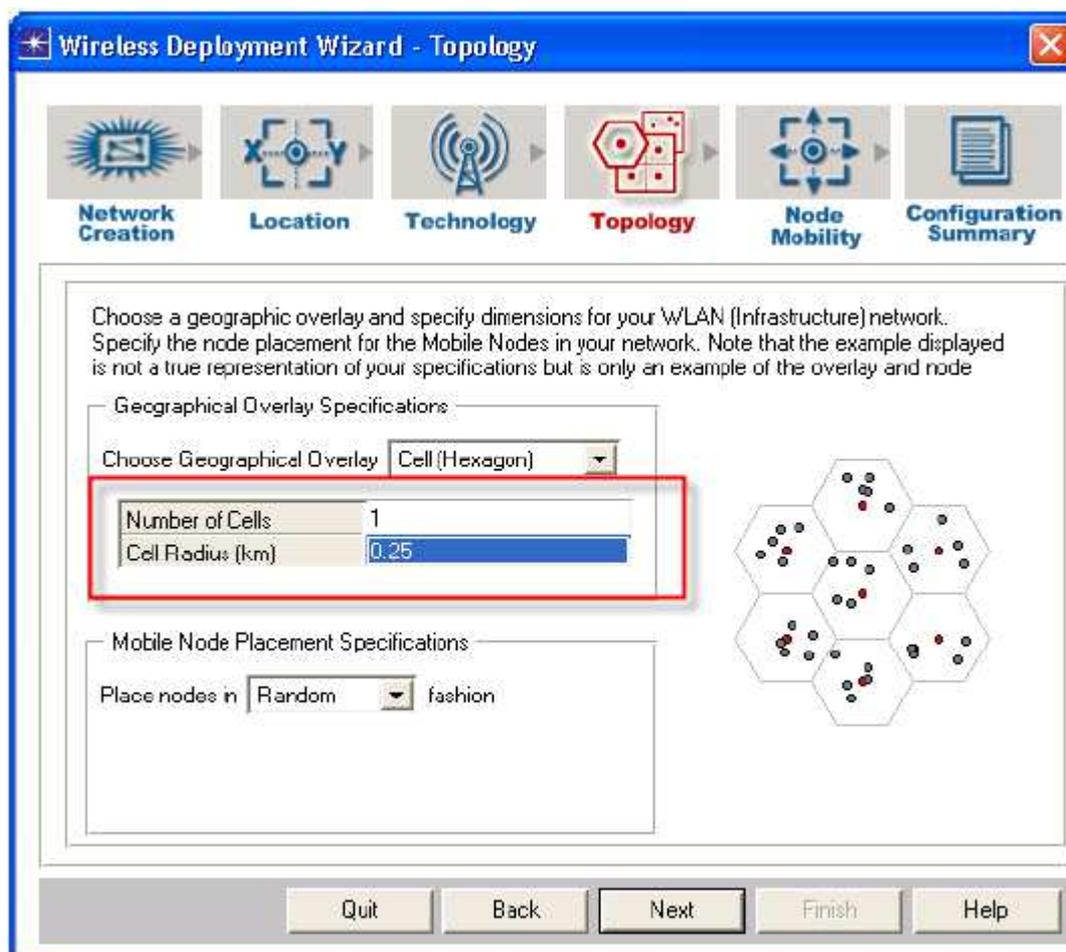


Figura 3. 5: Fase para especificar la topología de la red.
Elaborado por: El Autor.

Después en la figura 3.6 proporcionamos las especificaciones del nodo como parte de la etapa de topología, donde elegiremos un modelo de nodo en particular para los puntos de acceso y los nodos móviles. A los efectos de nuestro modelo, dejaremos el nodo "Mobile Node" al valor predeterminado. Seleccionamos el modelo de nodo **wlan_eth_bridge_adv** para el punto de acceso. Adicionalmente, elegimos el número de los nodos móviles por célula a 8. El asistente inalámbrico ofrece la posibilidad de conectar los puntos de acceso que utilicen una red troncal. Para este escenario no requiere esta funcionalidad, por lo tanto, desmarcamos la conexión de los puntos de acceso (a través de interfaces seriales).

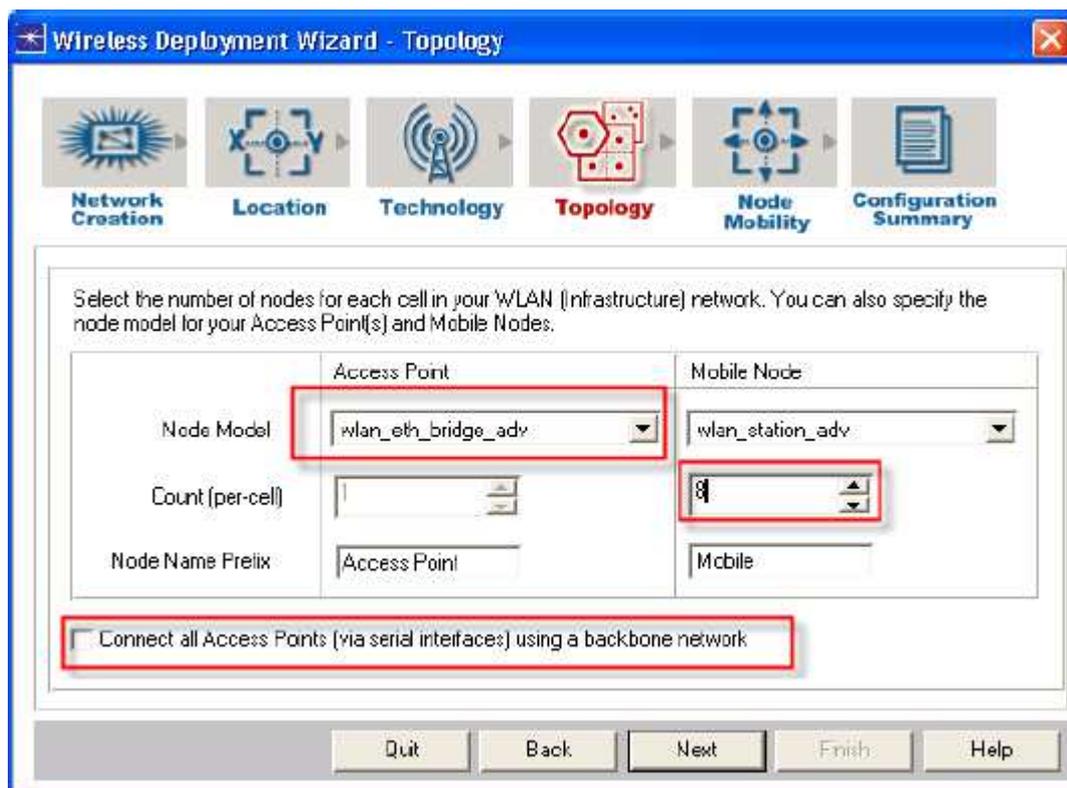


Figura 3. 6: Especificación de APs y nodos móviles en la topología de la red.
Elaborado por: El Autor.

La figura 3.7 muestra la etapa **Node Mobility** que permite la especificación de la movilidad del nodo.

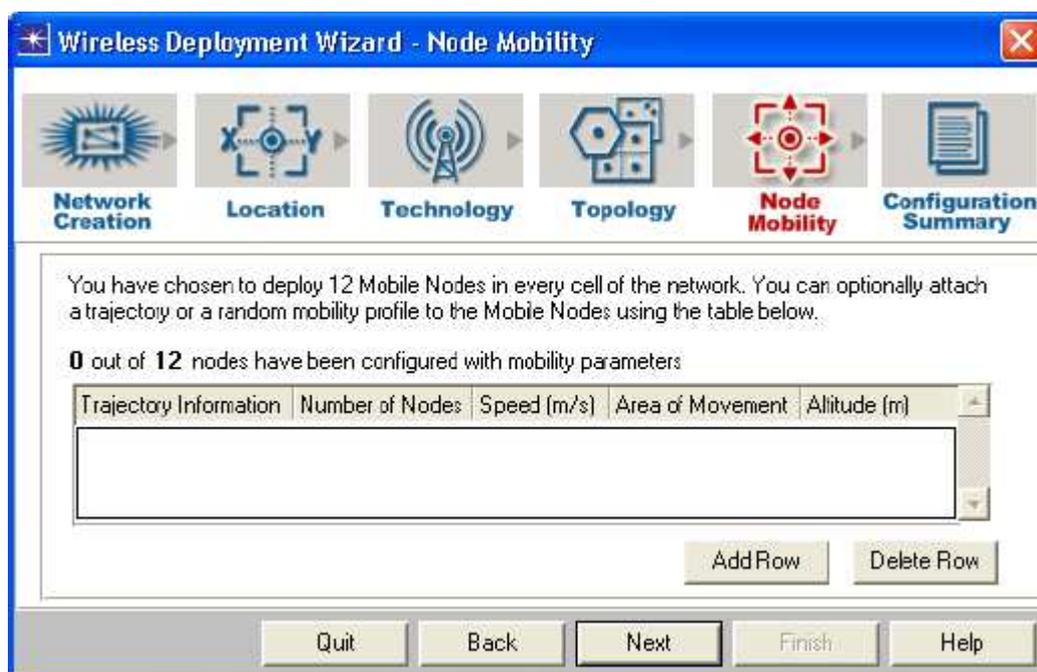


Figura 3. 7: Fase para especificar la movilidad del nodo de la red.
Elaborado por: El Autor.

Finalmente, la figura 3.8 muestra la etapa del resumen de configuración de la implementación de red inalámbrica.

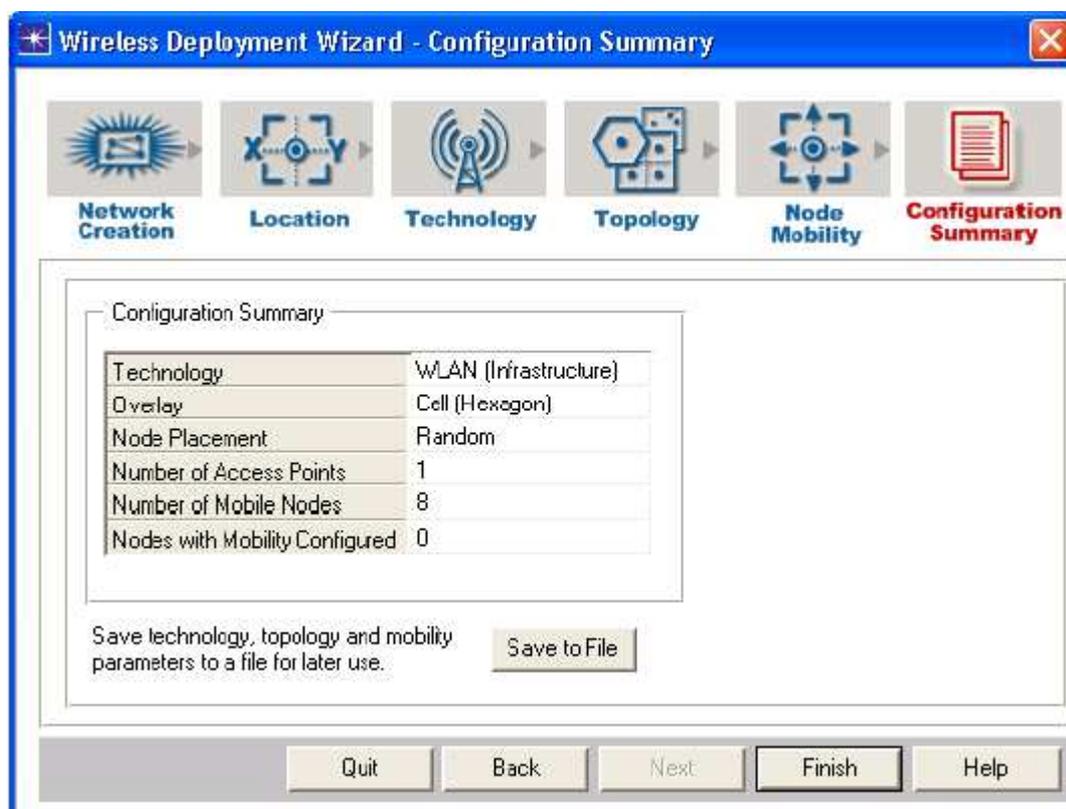


Figura 3. 8: Fase del resumen de configuración de red WLAN.
Elaborado por: El Autor.

Posterior a esta configuración, se diseñará la infraestructura de la red WLAN con 1 célula hexagonal y las estaciones WLAN se colocan de una manera aleatoria y el punto de acceso está en el centro de la célula, tal como se muestra en la figura 3.9. Es decir, que el asistente de red WLAN ha configurado automáticamente ciertos atributos del punto de acceso y nodos móviles. Por ejemplo, damos clic en **Access Point_1** para editar atributos y de manera similar para cualquier estación móvil entre **Mobile_1_1** a **Mobile 1_8** (es decir, por ejemplo **Mobile_1_3**) y coloque los dos atributos según lo que muestra la figura 3.10.

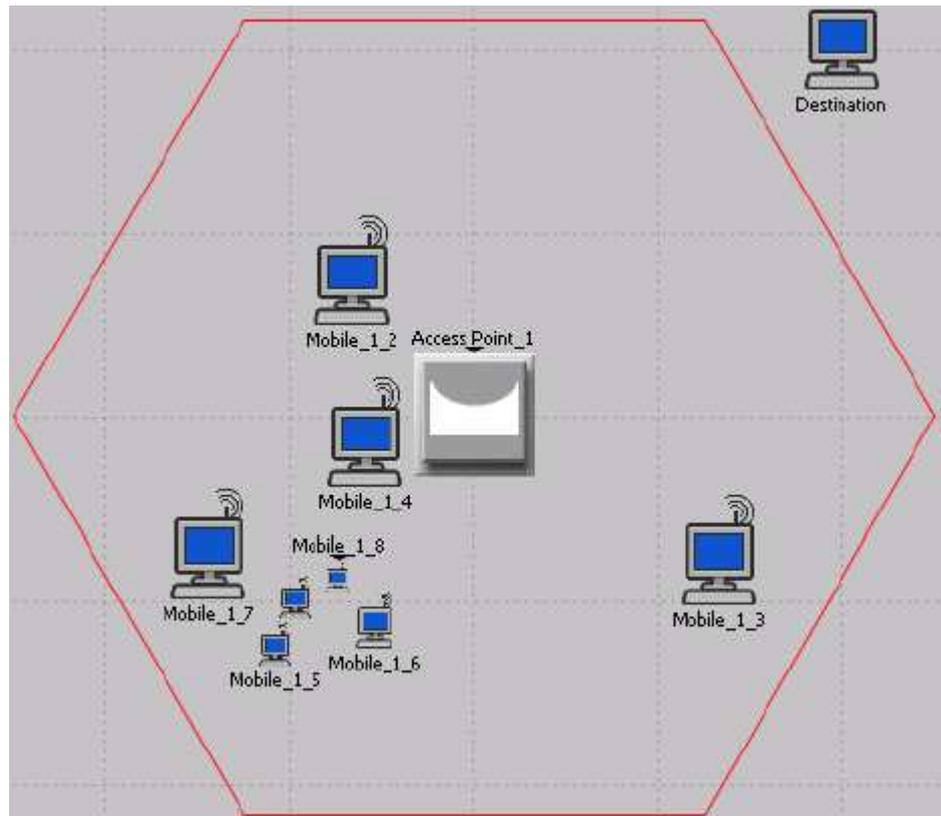


Figura 3. 9: Simulación del primer escenario para la red WLAN.
Elaborado por: El Autor.

(Access Point_1) Attributes

Type: bridge

Attribute	Value
Wireless LAN Parameters	[...]
BSS Identifier	0
Access Point Functionality	Enabled
Physical Characteristics	HT PHY 2.4GHz (802.11n)
Data Rate (bps)	26 Mbps (base) / 240 Mbps (max)
Channel Settings	Auto Assigned
Transmit Power (W)	0.0016

(Mobile_1_3) Attributes

Type: station

Attribute	Value
Wireless LAN	
Wireless LAN MAC Address	Auto Assigned
Wireless LAN Parameters	[...]
BSS Identifier	0
Access Point Functionality	Disabled
Physical Characteristics	HT PHY 2.4GHz (802.11n)
Data Rate (bps)	26 Mbps (base) / 240 Mbps (max)
Channel Settings	Auto Assigned
Transmit Power (W)	0.0016

Figura 3. 10: Configuración de atributos para APs y nodos de la red WLAN.
Elaborado por: El Autor.

Configuración de los parámetros de alto rendimiento

(Configuración de 802.11n):

La velocidad de datos física real utilizada para transmisiones de tramas de datos de la estación (STA) mediante la capa física 802.11n dependerá de las configuraciones de **Wireless LAN/Wireless LAN Parameters/High Throughput Parameters**. Se requiere establecer en número de secuencias espaciales a 2, es decir, que la configuración espacial mayor que 1 supone una mayor velocidad de datos.

Una vez que se escogió el número de secuencias, podemos ver en la figura 3.11 que los atributos **<<Guard Interval>>** y **<<Greenfield Operation>>** automáticamente se establecen en 400ns y habilitado (enable). Las dos configuraciones anteriores ajustan la velocidad real de datos física en 57.8 Mbps de acuerdo a lo establecido por el estándar IEEE 802.11n-2009.

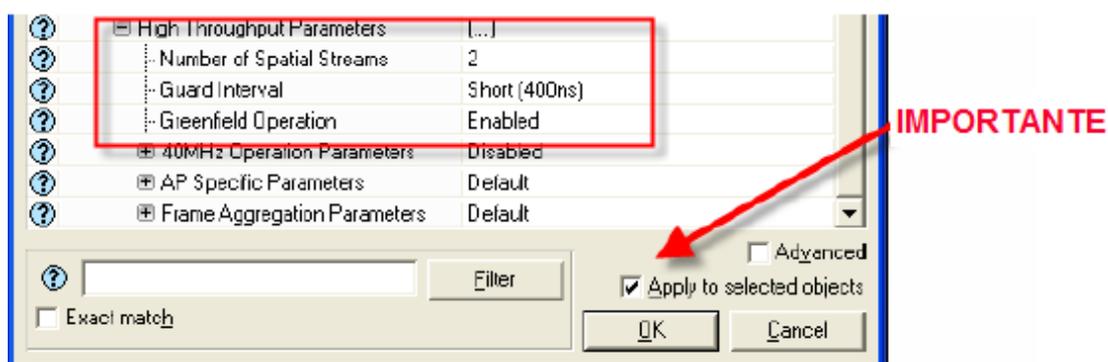


Figura 3. 11: Configuración de parámetros de alto rendimiento.
Elaborado por: El Autor.

Con la habilitación de funcionamiento Greenfield, los nodos inalámbricos podrán utilizar una cabecera de la capa física más corta del formato HT, lo que aumentará el rendimiento de la red WLAN.

Ahora, configuramos los parámetros de alto rendimiento para **Access_Point_1** de forma similar a la anterior configuración. Posteriormente, conectaremos **Access_Point_1** al equipo de destino mediante un enlace 1000Base X (canal de fibra óptica) tal como se muestra en la figura 3.12.

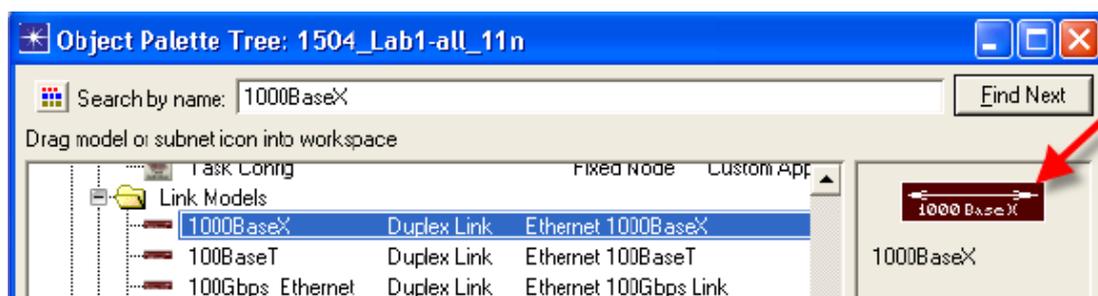


Figura 3. 12: Configuración del enlace 1000Base X.
Elaborado por: El Autor.

En la figura 3.13 se muestra el vínculo entre **Access_Point_1** y **Destination**.

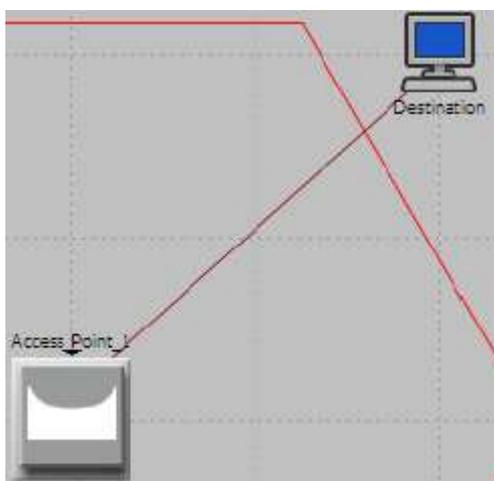


Figura 3. 13: Vínculo para enlace 1000Base X.
Elaborado por: El Autor.

Configuración del tráfico de red WLAN

Todos los nodos de la estación (desde **Mobile_1_1** a **Mobile_1_8**) deben enviar tráfico al equipo destino (**Destination**). Con el fin de dirigir el tráfico hacia el equipo destino, se debe configurar la dirección de destino en

los nodos de generación de tráfico a la dirección MAC de destino (véase la figura 3.14) como 1.

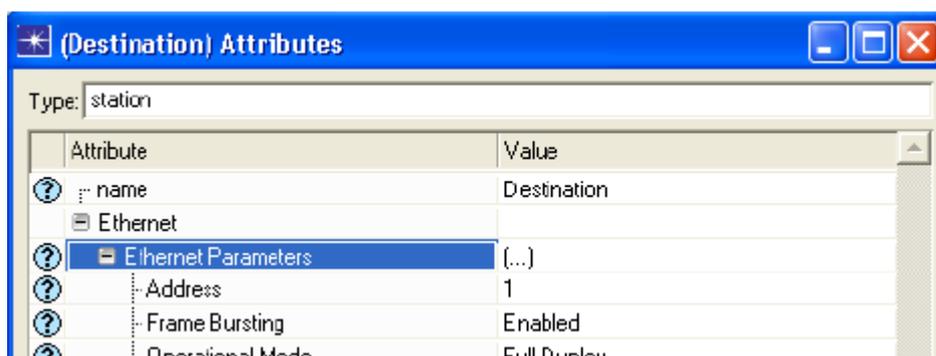


Figura 3. 14: Configuración de atributos para equipo de destino.
Elaborado por: El Autor.

Después se configuran los atributos de generación de tráfico en cada uno de los nodos utilizando el editor de atributos de generación de tráfico, tal como se muestra en la figura 3.15. Vemos que la dirección de destino es 1 y que el tráfico de servicio es *Interactive Voice* (6).

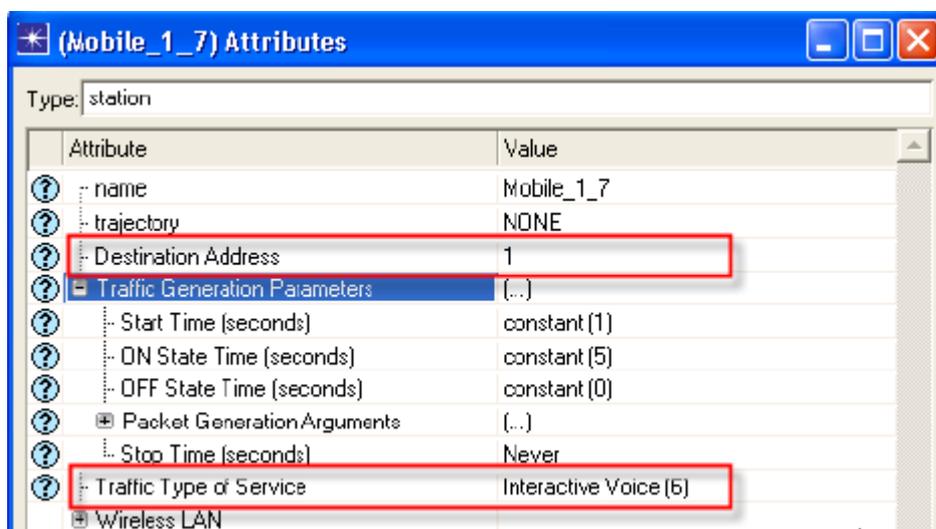


Figura 3. 15: Configuración de atributos para nodos móviles.
Elaborado por: El Autor.

La figura 3.16 muestra los valores de los parámetros de generación de tráfico previamente establecidos.

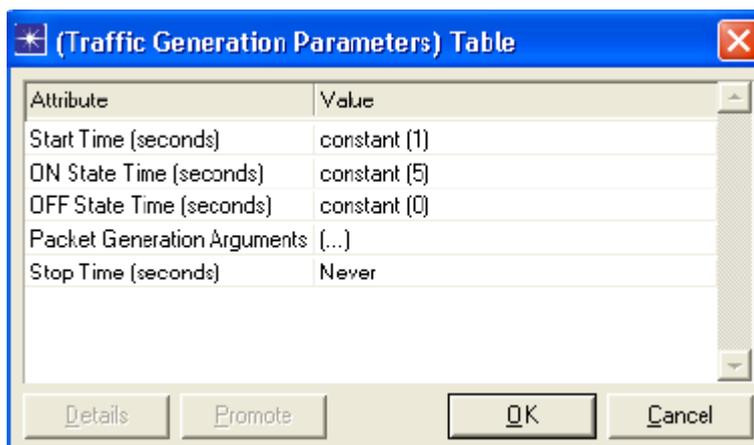


Figura 3. 16: Parámetros de generación de tráfico.
Elaborado por: El Autor.

El generador de tráfico es básicamente un generador de tráfico ON/OFF. El momento en que el nodo se iniciará el envío de tráfico <<**Start Time**>> se ha fijado en 1 segundo. Mientras que <<**ON State Time**>> está configurado para 5 segundos y <<**OFF State Time**>> se establece en 0 segundos.

De la figura 3.15 damos clic en <<**Packet Generation Arguments**>> y se abre la ventana de argumentos de la generación de paquetes (véase la 3.17). Ajustamos <<**Interarrival Time**>> durante el estado ON, se establece en exponencial con media de 0,0005 y tamaño del paquete en 500 bytes. Hay que tener en cuenta que la carga total que se espera en la red WLAN se calcula de la siguiente manera:

$C_{Total} = ((\text{Media ON Time}) / (\text{Media ON Time} + \text{Media OFF Time})) * (\text{tamaño de paquetes en bits}) * (\text{número de nodos de generación de tráfico}) / (\text{Media del tiempo Interarrival})$

$$C_{Total} = \left(\frac{5}{5}\right) * (500 * 8) * \left(\frac{8}{0.0005}\right) = 64 \text{ Mbps}$$

La carga está configurado de tal manera que las colas de la red WLAN nunca pasen vacíos. Todas las configuraciones realizadas deben estar establecidas en el resto de los nodos de la red WLAN.

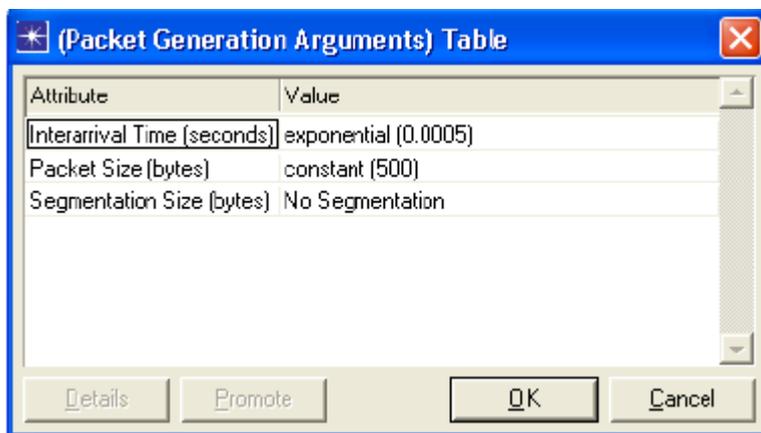


Figura 3. 17: Argumentos de la generación de paquetes.
Elaborado por: El Autor.

3.2. Resultados del escenario 1.

Antes de mostrar los resultados que se obtendrán después de ejecutar <<Run>>, debemos primero configurar la selección de datos estadísticos. Individuales, tal como se muestra en la figura 3.18.

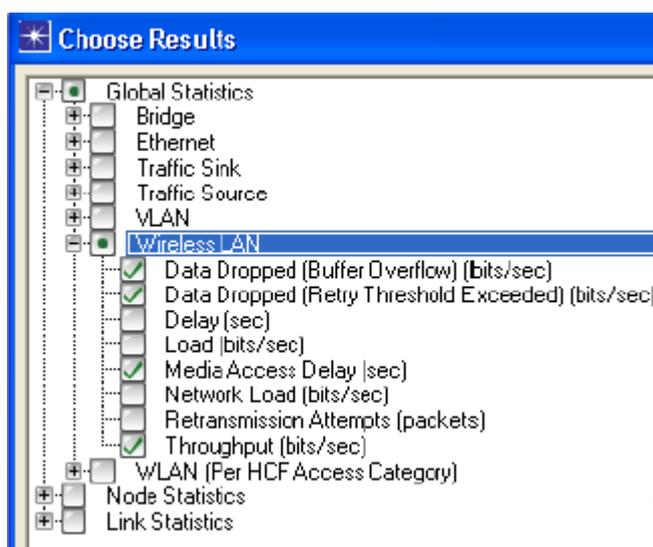


Figura 3. 18: Selección de los resultados para redes WLAN.
Elaborado por: El Autor.

Finalmente, se procederá a la simulación del primer escenario, de la siguiente manera.

1. Haga clic en botón **Configure/Run Discrete Event Simulation (DES)**
2. Verifique que la duración de la simulación se establezca en 30 segundos y luego haga clic en el botón **Run**.

Para ver los Resultados obtenidos durante la simulación, damos clic al icono mostrado en la figura 3.19.

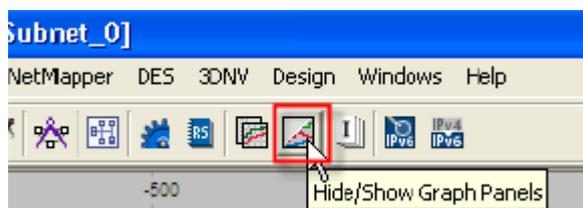


Figura 3. 19: Selección gráfica de los resultados para el primer escenario.
Elaborado por: El Autor.

El gráfico mostrado por la figura 3.20 compara el rendimiento de la red WLAN alcanzado entre todos los nodos de 802.11n y los nodos de 802.11g. Mientras que la gráfica de la derecha compara el tiempo de retardo de acceso al medio.



Figura 3. 20: Comparativas del rendimiento y tiempo de retardo en nodos 802.11n y 802.11g.

Elaborado por: El Autor.

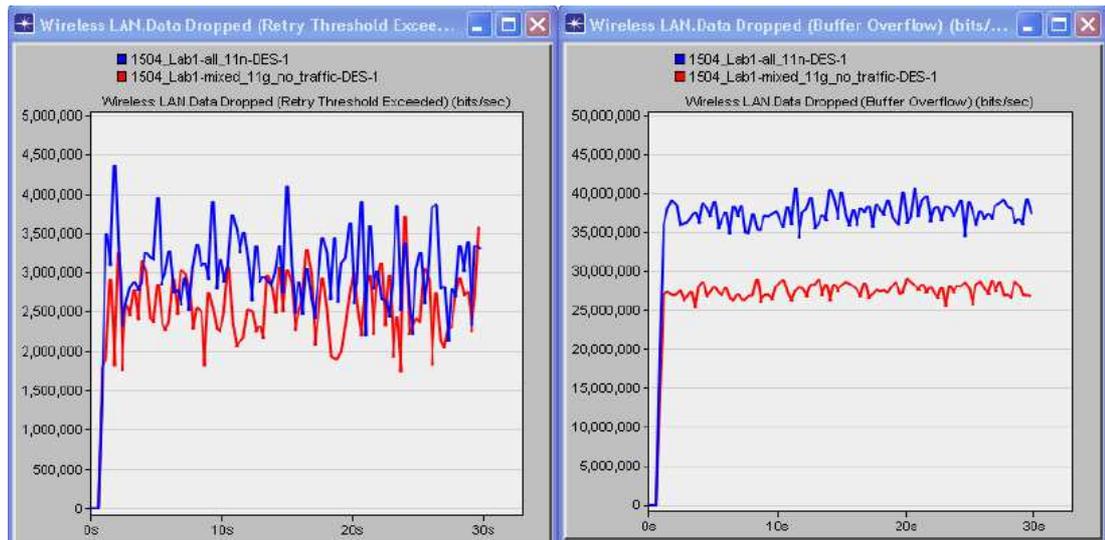


Figura 3. 21: Comparativas de los datos caídos en nodos 802.11n y 802.11g.
Elaborado por: El Autor.

Analizando las gráficas, podemos ver que no existe degradación del rendimiento en presencia de 802.11g. Es decir, que en la figura 3.21 podemos ver que es casi la misma pérdida de paquetes, esto se debió a las configuraciones del escenario. Con ocho nodos y búferes no vacíos, las transmisiones WLAN experimentan un gran número de colisiones. Sin embargo en este escenario, los paquetes de capas superiores son enviados a una velocidad mucho más rápida.

3.3. Escenario 2: Mejoras del rendimiento de QoS en la capa WLAN.

Vamos a suponer que el administrador de redes realizará el dimensionamiento de la red WLAN para apoyar a los usuarios de voz. Actualmente, la red WLAN es una red 802.11n y las aplicaciones más utilizadas serían HTTP y correo electrónico. Para lo cual debemos analizar la viabilidad de utilizar la red actual como apoyo a los usuarios de voz. Si la red no funciona adecuadamente, se deberá planificar características de QoS en la red para dar prioridad a los usuarios de voz.

En la figura 3.22 se muestra el diseño del segundo escenario para mejorar el rendimiento de QoS en la capa WLAN. Hay un total de 8 estaciones de trabajo con aplicaciones de voz como fuente de datos de voz y 5 estaciones de trabajo configuradas como destinos de voz, excepto <<voice_src3_dest>> que se configura tanto como fuente y destino de voz.

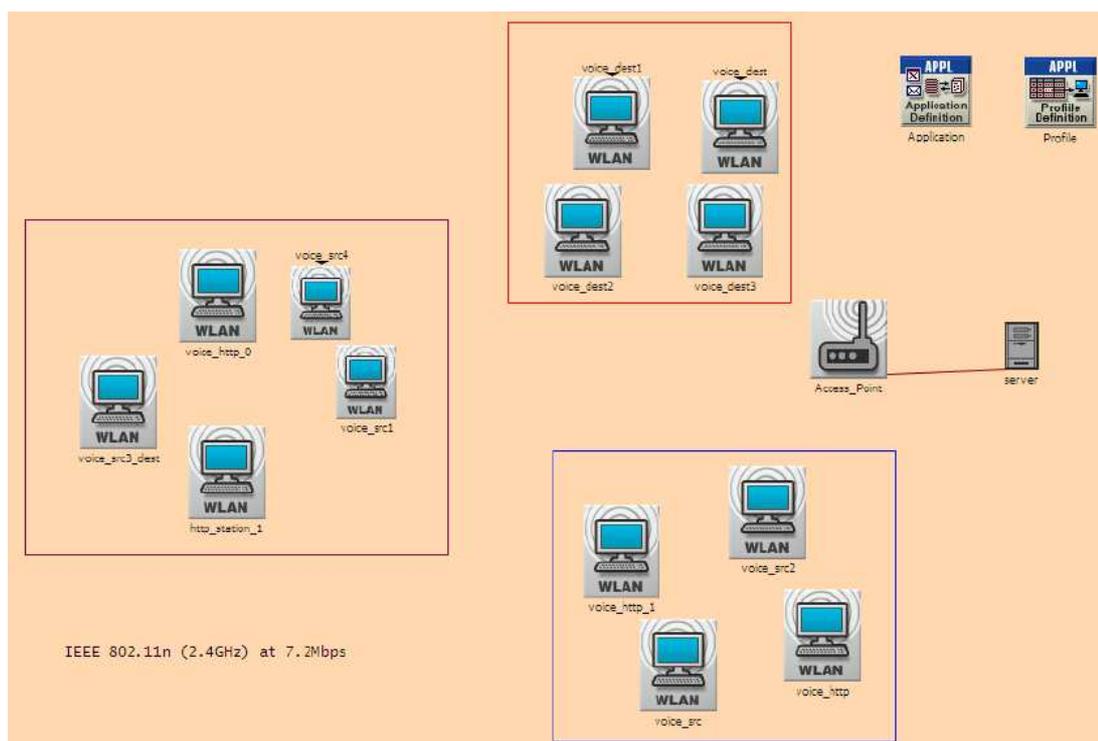


Figura 3. 22: Simulación del segundo escenario de QoS en una red WLAN.
Elaborado por: El Autor.

Todos los nodos de origen y de destino de voz pertenecer a la misma BSS y por lo tanto todo el tráfico de voz tiene que fluir a través del AP. La aplicación de voz está configurada para generar el estándar G.711, es decir, codificación del tráfico de voz a 64 kbps. Hay 4 estaciones de trabajo con aplicación de navegación web HTTP (las estaciones cuyos nombres comienzan con el prefijo <<voice_http>> ejecutan aplicaciones de voz y de navegación HTTP). Los usuarios HTTP se conectan al nodo servidor a través del AP.

Todos los nodos se configuran para 2.4GHz (802.11n) con velocidades de datos entre 6.5 Mbps (mínimo) y 60 Mbps (máximo)". Pero para nuestro escenario por default la velocidad de datos física es 7.2 Mbps. La figura 3.23 muestra la configuración de los parámetros de WLAN o parámetros de función de coordinación híbrida (*Hybrid Coordination Function, HCF*), en la cual se establece **default** en todos los nodos de estación de trabajo de WLAN.

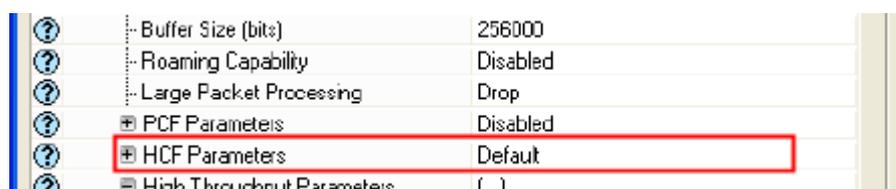


Figura 3. 23: Parámetros de HCF en cada nodo de WLAN.

Elaborado por: El Autor.

En forma similar a los nodos de la estación, la figura 3.24 muestra los parámetros del punto de acceso (AP) que se establece en **default (QAP)**.



Figura 3. 24: Parámetros de HFC en el punto de acceso.

Elaborado por: El Autor.

Todos los nodos en la red WLAN tienen capacidad de 802.11e, tales que contendrán el medio de acuerdo a las reglas del acceso mejorado al canal de forma distribuida (*Enhanced Distributed Channel Access, EDCA*), y los valores de los parámetros EDCA son establecidos por el estándar 802.11e (valores recomendados). De acuerdo con la priorización de QoS en la capa de la red WLAN, la voz y el tráfico HTTP se correlacionarán (mapeados) a la red WLAN de voz y el acceso a la categoría **<<Best Effort>>**, respectivamente.

La figura 3.25 muestra la configuración de aplicación Http cuyo tipo de servicio es "0".

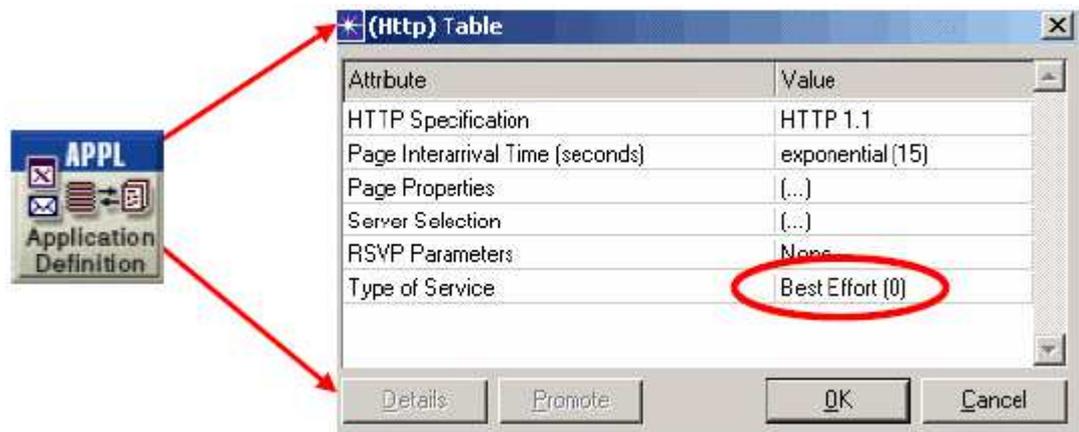


Figura 3. 25: Diagrama de bloques del modulador IQ.
Elaborado por: El Autor.

La tabla 3.1 extraída del estándar IEEE 802.11e muestra la asignación de valores de prioridad de usuario (Tipo de Servicio) a las categorías de acceso (*Access Category, AC*).

Tabla 3. 1: Tabla de mapeo del estándar IEEE 802.11e.

Priority	UP (Same as 802.1D user priority)	802.1D designation	AC	Designation (informative)
Lowest ↓ Highest	1	BK	AC_BK	Background
	2	—	AC_BK	Background
	0	BE	AC_BE	Best Effort
	3	EE	AC_BE	Best Effort
	4	CL	AC_VI	Video
	5	VI	AC_VI	Video
	6	VO	AC_VO	Voice
	7	NC	AC_VO	Voice

Fuente: IEEE 802.11e.

Del mismo modo la figura 3.26 muestra la aplicación de voz configurada para utilizar el tipo de servicio "6", que se asigna a la voz de AC como se observó en la tabla 3.1.

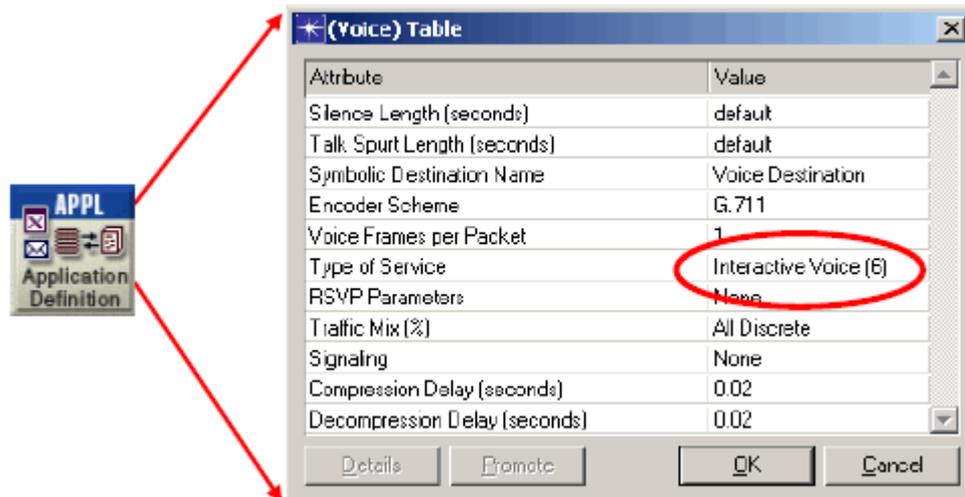


Figura 3. 26: Diagrama de bloques del modulador IQ.
Elaborado por: El Autor.

3.4. Resultados del escenario 2.

Configuramos el tiempo de simulación en 120 s y ejecutamos la simulación. Después de finalizar la simulación damos clic al ícono <<Hide/Show Graph Panels>> y seleccionamos <<DES/Panel Operations/Panel Templates/Load with Latest Results>>.

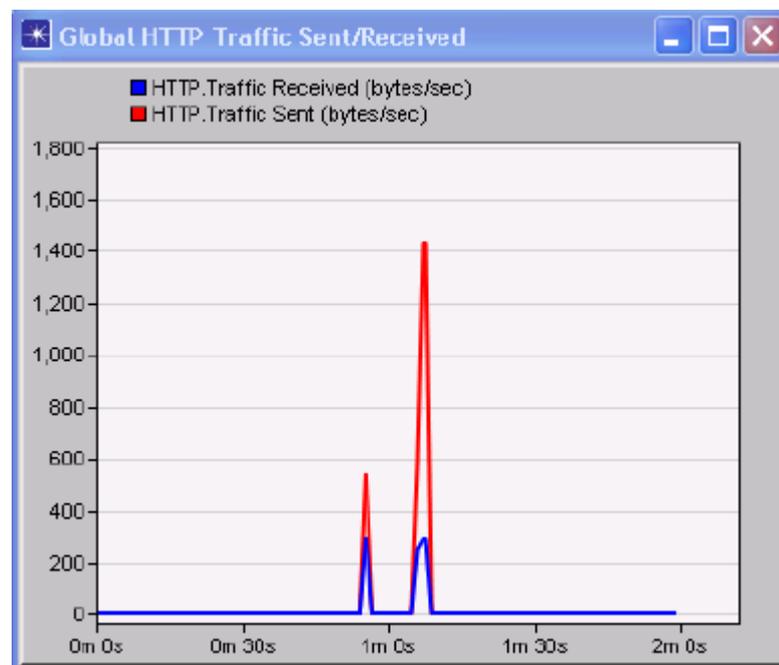


Figura 3. 27: Tráfico de Http enviado y recibido.
Elaborado por: El Autor.

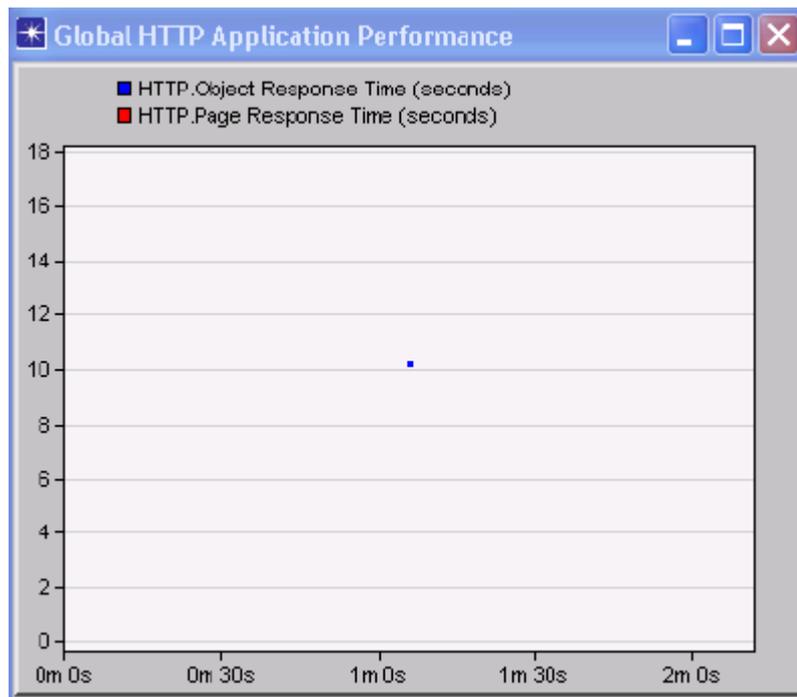


Figura 3. 28: Rendimiento de las aplicaciones Http.
Elaborado por: El Autor.

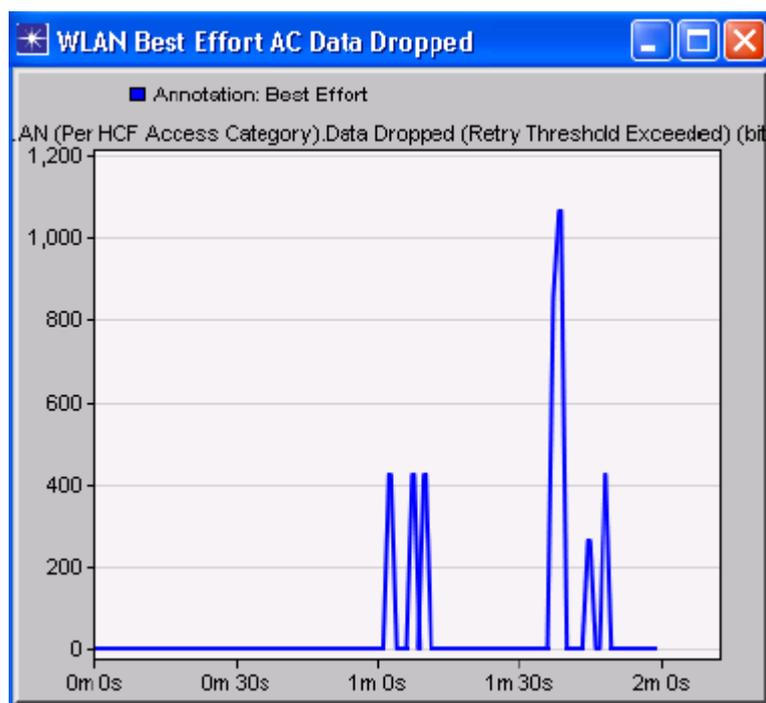


Figura 3. 29: Datos perdidos para WLAN Best Effort.
Elaborado por: El Autor.

El rendimiento de aplicación HTTP es pobre. Sólo una página se descarga antes de los 60 segundos y sin información de objetos o la página

se descarga después de 60 segundos, debido al aumento de tráfico de voz en la red.

En la figura 3.30 se muestra el tráfico de voz (enviado y recibido), la media del retardo de voz extremo a extremo, la media de la variación del retardo de paquetes de voz, rendimiento WLAN, datos perdidos en WLAN (desbordamiento y retransmisiones), respectivamente.

Los datos perdidos (abandonados) se deben al desbordamiento de búfer que es bastante bajo. Una cantidad considerable de datos cae debido a un exceso de retransmisiones que indican condiciones difíciles de contención y posiblemente ventana de contención "demasiado pequeña" utilizada por las estaciones contendientes.

En conclusión, con los parámetros por defecto de 802.11e se observa que la aplicación de voz tiene un mejor rendimiento que HTTP, pero todavía tiene algunas pérdidas y retrasos más largos, mientras que la aplicación secundaria, HTTP, todavía no está en red. Un alto número de retransmisiones de la capa WLAN implica el principal cuello de botella en la capa-2, que debe ser abordado para seguir mejorando.

El administrador de la red debe decidir que el uso de QoS sería beneficioso y tiene potencial para hacer frente a los requisitos, aunque se tendría que afinar los parámetros para satisfacer las limitaciones de rendimiento antes de la implementación.

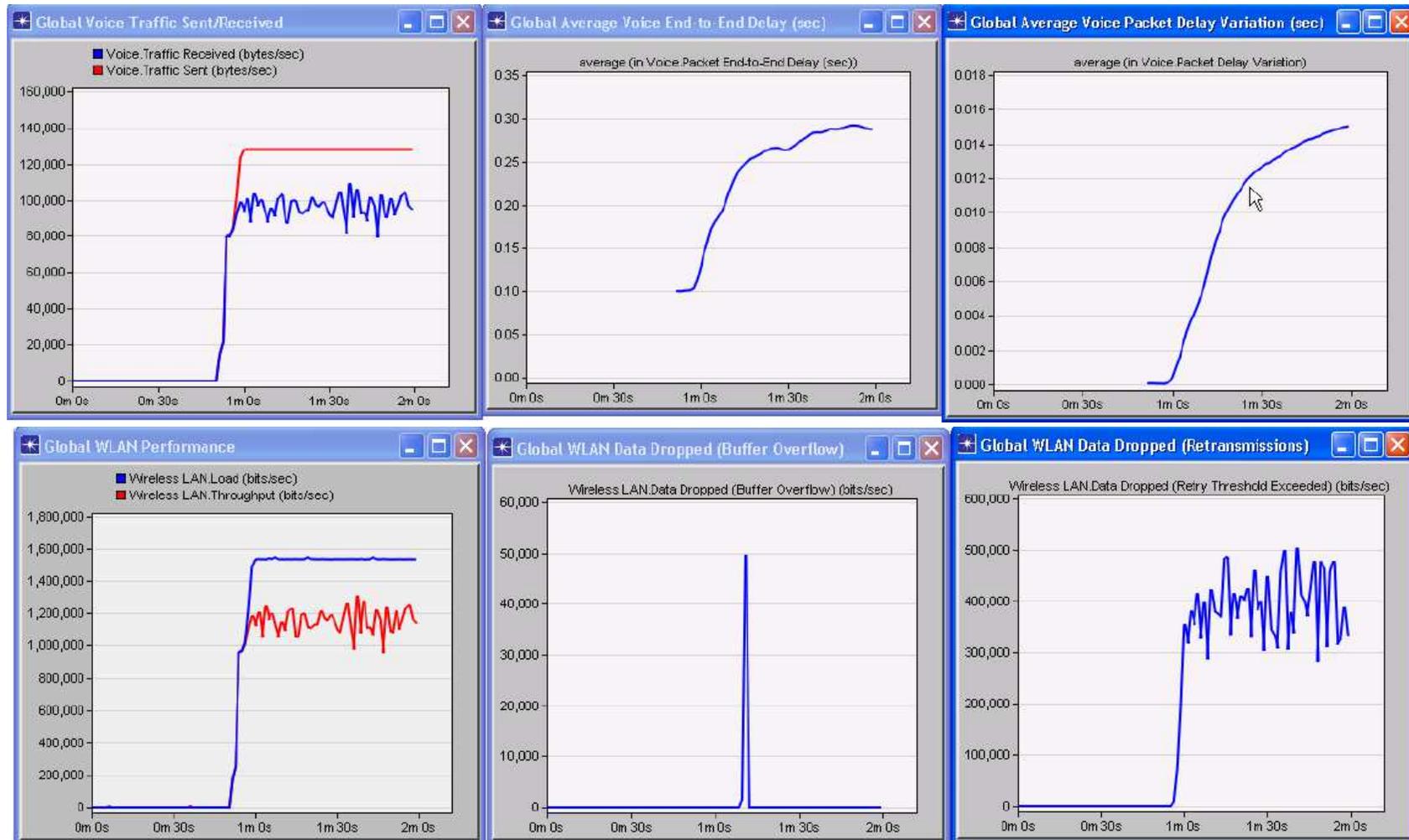


Figura 3. 30: Diferentes gráficas del resultado obtenido en el segundo escenario.

Elaborado por: El Autor.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

- La fundamentación teórica de las redes inalámbricas (WLAN) nos permitió abordar con temas que a veces no son tratados a profundidad en las aulas de clases, lo que se aprendió en forma simultánea es el proceso investigativo.
- El programa de simulación de redes de telecomunicaciones más robusto en la actualidad es OPNET. Es utilizada en varios trabajos de fin de carrera en Europa y a la vez existen artículos publicados en revistas donde emplean OPNET como herramienta de simulación. OPNET Modeler fue de gran ayuda para cumplir con los objetivos del trabajo de titulación.
- Las estaciones (STAs) heredadas del BSS serán perjudiciales para el rendimiento de la red, pero al momento de evaluar los escenarios vemos que realmente mejora el rendimiento de 802.11n cuando la protección en CTS automático está activado.
- Las simulaciones de redes WLAN utilizando OPNET Modeler revelan este tipo de situaciones interesantes y ayudan a la planificación de una red mejorada.

4.2. Recomendaciones.

- Sería conveniente el uso de la plataforma de simulación OPNET de parte de los docentes y estudiantes, para así generar nuevos trabajos de titulación, proyectos de investigación para publicar en revistas locales e internacionales.

- La Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo debe adquirir la licencia profesional, ya que viene con toda su librería actualizada y que los docentes sean capacitados en el uso de esta valiosa herramientas para la formación de Ingenieros en Telecomunicaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbancho, J., Benjumea, J., Rivera, O., Romero, M., Roper, J., Sánchez, G., & Sivianes, F. (2012). *Redes Locales*. Ediciones Paraninfo, S. A. Madrid, España.

Bianchi, G. (2000). *Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function*. IEEE Journal of Selected Areas in Telecommunications, Wireless. Volume 18, páginas 535-547.

Forouzan, B. A. (2007). *Comunicaciones de Datos y Redes de Computadores*. 4ta Edición. McGraw-Hill, México.

Gil, P., Pomares, J., & Candelas, F. (2010). *Redes y Transmisión de Datos*. Publicaciones Universidad de Alicante, España.

Hussein, A., Nihad, A., Hamad, M. (2013). *Performance Evaluation of IEEE 802.11g WLANs using OPNET Modeler*. American Journal of Engineering Research. Volume 2 Issue 12.

Kaur, A., Vijay, S., & Gupta, S. (2010). *Performance Analysis and Enhancement of IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks*. International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology, Volume 3 Issue 6.

Kumar, S., & Singh, N. (2011). *Performance Analysis and Modelling Wireless Local Area Network Metrics*. International Journal of P2P Network Trends and Technology. Volume 1 Issue 2.

Navarro O., J. (2010). *Mecanismos de mejora de calidad de experiencia sobre redes 802.11*. Tesis Doctoral del Departamento de la Universidad de Granada.

Olmedo, M. B. (2012). *Cómo influye el celular en la sociedad*. Publicación recuperada el 14 de Noviembre 2014. Disponible en línea: http://belenolmedo99.blogspot.com/2012/08/como-influye-el-celular-en-la-sociedad_26.html

Olvera O., E. R. (2012). *Análisis de mecanismos de calidad de servicio para aplicaciones multimedia en IEEE 802.11e*. Tesis de Grado de Maestro en Ciencias y Tecnologías de la Información de la Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Pozo Y., N. A. (2009). *Estudio y Diseño de una Red LAN Inalámbrica con calidad de servicio, para voz y datos en el Colegio de Ingenieros Geólogos, Minas y Petróleos (CIGMYP) empleando los estándares IEEE 802.11g, IEEE 802.11e*. Proyecto de Grado de Ingeniero en Electrónica y Redes de Información de la Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Rodríguez S., J. A. (2009). *Gestión de recursos para servicios de tiempo real sobre redes WLAN*. Proyecto de Fin de Carrera de Estudios de Ingeniería en Telecomunicación de la Universidad de Granada, España.

Sharma, R. (2010). *Simulator to Analyze QoS for IEEE 802.11b/a/g standards*. International Journal of Computer Science and Technology. Volumen 1 Issue 2.

Vohra, R., Singh, R., & Singh, G. (2012). *OPNET based Wireless LAN Performance Improvisation*. International Journal of Computer Applications. Volume 48-1. Disponible en línea:
<http://research.ijcaonline.org/volume48/number1/pxc3879912.pdf>

Voinea, J. G. (2011). *Redes de Comunicaciones: Administración y gestión*. Editorial Lulu.com. Almería, España.