



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TÍTULO:

**ESCENARIOS DE SIMULACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA HÍBRIDA  
PARA PROVEER SERVICIOS DE TRIPLE PLAY**

AUTOR:

ROBERT XAVIER GUERRERO TROYA

Previa la obtención del Título

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

M. Sc. Fernando Palacios Meléndez

Guayaquil, Ecuador

2016



**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.  
**Robert Xavier Guerrero Troya** como requerimiento parcial para la  
obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.

TUTOR

---

M. Sc. Fernando Palacios Meléndez

DIRECTOR DE CARRERA

---

M. Sc. Miguel A. Heras Sánchez.

Guayaquil, a los 05 del mes de Marzo del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Robert Xavier Guerrero Troya**

**DECLARÓ QUE:**

El trabajo de titulación “ESCENARIOS DE SIMULACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA HÍBRIDA PARA PROVEER SERVICIOS DE TRIPLE PLAY” 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 nuestra autoría.

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

Guayaquil, a los 05 del mes de Marzo del año 2016

EL AUTOR

---

ROBERT XAVIER GUERRERO TROYA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Robert Xavier Guerrero Troya**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “ESCENARIOS DE SIMULACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA HÍBRIDA PARA PROVEER SERVICIOS DE TRIPLE PLAY”, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 05 del mes de Marzo del año 2016

EL AUTOR

---

ROBERT XAVIER GUERRERO TROYA

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por permitirme pasar buenos y malos momentos en este periodo universitario, y que me queda como experiencia para seguir aplicando en mis funciones laborales y en la misma vida.

A mi madre que tanto tiempo ya deseaba ver terminada mi carrera y nunca perdió la esperanza en llegar a “ese día” como siempre decía.

A mis hijos Ximena y Xavier Guerrero Quiñonez, para que se vean reflejados en este ejemplo y sigan sus estudios contando siempre con la bendición de Dios y de sus padres.

A todos mis profesores por compartir su conocimiento y experiencias para poder ser aplicados en este trabajo

EL AUTOR

ROBERT XAVIER GUERRERO TROYA

## **AGRADECIMIENTO**

Primero quiero agradecer y sobre todas las cosas a Dios, que me ha dado fuerza para llegar a este punto culminante de la carrera que tanto sacrificio me ha costado pero también tan buenos recuerdos guardados en esta etapa de mi vida.

A mis padres Eugenia Troya Muriel y Jorge Guerrero Gómez (+), por darme la vida y especialmente a mi madre por sus consejos para retomar mis estudios y terminar la carrera, con profundo pesar al no poder estar con vida mi padre para también entregarle este título.

A mis hijos Ximena y Xavier Guerrero Quiñonez, que son mi motor para seguir adelante y deseando que sigan siempre copiando los buenos ejemplos, como la culminación de sus estudios,

A mis hermanos, sobrinos y en general a toda mi familia, por aconsejarme que termine la carrera y su ayuda de una u otra manera para ayudarme con esto. A los profesores de la Facultad Técnica para el Desarrollo, especialmente al Ing. Edwin Palacios mi tutor en el trabajo de titulación, por su tiempo y recomendaciones para realizar este trabajo.

**EL AUTOR**

**ROBERT XAVIER GUERRERO TROYA**

## Índice General

Índice de Figuras .....	IX
Índice de Tablas .....	XI
Resumen .....	XII
<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.1. Antecedentes. ....	13
1.2. Justificación del Problema.....	14
1.3. Definición del Problema.....	14
1.4. Objetivos del Problema de Investigación.....	14
1.4.1. Objetivo General.....	14
1.4.2. Objetivos Específicos.....	15
1.5. Hipótesis. ....	15
1.6. Metodología de Investigación.....	15
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE REDES INALÁMBRICAS.....</b>	<b>16</b>
2.1. Introducción a la Banda Ancha Inalámbrica. ....	16
2.2. Arquitectura y servicios de redes WLAN. ....	17
2.3. Control de Acceso al Medio (MAC). ....	24
2.3.1. Espacios de intertrama. ....	26
2.3.2. Detección de portadora virtual y vector de asignación de red. ....	29
2.3.3. Petición de repetición automática y operaciones atómicas. ..	31
2.3.4. Procedimiento de retardo de envío con el DCF.....	36
2.3.5. Estaciones ocultas y expuestas. ....	37
2.3.6. Estructura de tramas. ....	39
2.4. Capa física y adaptación de velocidad. ....	40
2.4.1. Señales físicas.....	40
2.4.2. Transmisión de adaptación de velocidad. ....	42
<b>CAPÍTULO 3: DISEÑO Y SIMULACION DE LA RED INALÁMBRICA HÍBRIDA</b> .....	<b>46</b>

3.1.	Diseño de la Red Inalámbrica Híbrida para prestación de servicios Triple Play. ....	46
3.1.1.	Topología para redes inalámbricas híbridas. ....	47
3.1.2.	Gestión de Calidad de Servicio en los escenarios de simulación de la red inalámbrica híbrida. ....	48
3.1.2.1.	Parámetros de calidad de servicio en el protocolo IP. ....	48
3.1.3.	Configuración de parámetros de APs y WiFi SS. ....	52
3.1.4.	Escenarios de simulación para redes inalámbricas híbridas. ....	54
3.2.	Resultados de los escenarios de simulación de la red inalámbrica híbrida. ....	61
3.2.1.	Resultados de los escenarios de simulación 1, 2, 3 y 4. ....	61
3.2.2.	Resultados de los escenarios de simulación 5 y 6. ....	65
3.3.	Discusión de los resultados obtenidos en los escenarios de simulación de la red inalámbrica híbrida. ....	68
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....		69
4.1.	Conclusiones. ....	69
4.2.	Recomendaciones. ....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....		71



## Índice de Figuras

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Componentes de redes WLANs 802.11. ....	18
Figura 2. 2: Sistema local de distribución multipunto (LMDS). ....	19
Figura 2. 3: Sistema de distribución multipunto multicanal (MMDS). ....	20
Figura 2. 4: Topología point-to-point en redes inalámbricas fijas. ....	22
Figura 2. 5: Relaciones de espaciado de intertramas. ....	27
Figura 2. 6: Modo de transmisión básica IEEE 802.11. ....	31
Figura 2. 7: Diagrama de estados del remitente de la transmisión de paquetes de base para protocolo 802.11 MAC. ....	32
Figura 2. 8: Infraestructura BSS con un AP y dos estaciones móviles. ....	34
Figura 2. 9: Diagramas de tiempo de la comunicación entre AP y estaciones A y B. ....	34
Figura 2. 10: Diagramas de tiempo de transmisiones de tramas exitosas. ....	35
Figura 2. 11: Diagramas de tiempo de retransmisión de tramas debido a fallas de ACK. ....	35
Figura 2. 12: Diagramas de tiempo de retransmisión de tramas debido a erróneas recepción de tramas de datos. ....	36
Figura 2. 13: El mecanismo de retardo de envío de la MAC. ....	37
Figura 2. 14: Protocolo 802.11 de intercambio de unidad atómica. ....	38
Figura 2. 15: Formato genérico de trama IEEE 802.11 MAC. ....	39
Figura 2. 16: Capas física de IEEE 802.11 MAC. ....	40
Figura 2. 17: Trama IEEE 802.11 PHY utilizando espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS). ....	40
Figura 2. 18: Curvas BER empírica VS SNR. ....	43
Figura 2. 19: Rendimiento de simulación VS SNR. ....	44
Figura 2. 19: Esquema de modulación utilizado entre el nodo y el AP. ....	45

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Topología para servicios Triple Play sobre una Red Inalámbrica Híbrida. ....	47
Figura 3. 2: Configuración de atributos de las tecnologías de QoS. ....	49

Figura 3. 3: Configuración de perfiles WFQ de QoS. ....	50
Figura 3. 4: Configuración de las clases de QoS con diferentes aplicaciones. .....	51
Figura 3. 5: Configuración de QoS para nodos fijos y móviles en redes inalámbricas. ....	51
Figura 3. 6: Configuración de parámetros para APs y WLANs.....	52
Figura 3. 7: Configuraciones de atributos para asociar los nodos SSs y BSs. .....	53
Figura 3. 8: Configuraciones de atributos para asociar los nodos SSs y APs. .....	53
Figura 3. 9: Configuración de atributos de la MAC.....	55
Figura 3. 10: Configuración del perfil de OFDMA PHY. ....	56
Figura 3. 11: Configuración de estacione bases. ....	56
Figura 3. 12: Disposición de los dispositivos inalámbricos para los escenarios 1, 2, 3 y 4.....	57
Figura 3. 13: Disposición de los dispositivos inalámbricos para el escenario 5. .....	58
Figura 3. 14: Disposición de los dispositivos inalámbricos para el escenario 6. .....	58
Figura 3. 15: Arquitectura de red inalámbrica híbrida para servicios Triple-Play. .....	60
Figura 3. 16: Paquete de retardo de extremo a extremo para 2, 4, 8 y 12 usuarios.....	61
Figura 3. 17: Variación del retardo de paquetes para 2, 4, 8 y 12 usuarios..	62
Figura 3. 18: Desbordamiento de Búfer para 2, 4, 6 y 8 usuarios. ....	63
Figura 3. 19: Promedio del desbordamiento del tráfico IP.....	64
Figura 3. 20: Rendimiento promedio en una red WLAN.....	64
Figura 3. 21: Tráfico recibido en la red WiMAX.....	66
Figura 3. 22: Tráfico de datos recibido en una WLAN.....	67

## Índice de Tablas

### Capítulo 2

Tabla 2. 1: Servicios de redes IEEE 802.11.....21

Tabla 2. 2: Parámetros del estándar IEEE 802.11b. ....29

### Capítulo 3

Tabla 3. 1: Escenarios de simulación para redes inalámbricas híbridas. ....55

## Resumen

En la actualidad las comunicaciones inalámbricas son el segundo medio de transmisión más utilizado, después de las comunicaciones ópticas. La mayoría de empresas, colegios y universidades, ya sean estas públicas o privadas, utilizan las redes WLAN o redes WiFi. La integración de las redes WiMAX y WiFi dan lugar a las redes inalámbricas híbridas, por lo cual se realizó una investigación descriptiva de esta nueva red, que para nuestro país, no se utiliza. El presente trabajo de titulación consistió en desarrollar un modelo de simulación de una red inalámbrica híbrida a través de seis escenarios para proveer servicios de televisión, video sobre demanda e internet (conocido como Triple Play). El programa que se escogió para modelar la red inalámbrica híbrida es Opnet Modeler, es una herramienta robusta y muy utilizada para simular diferentes sistemas de telecomunicaciones e inclusive aplicando diferentes modulaciones digitales. Los escenarios propuestos para la red inalámbrica híbrida fueron evaluados correctamente en Opnet Modeler

## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **1.1. Antecedentes.**

Las redes inalámbricas híbridas son redes en las que cualquier nodo móvil en una red inalámbrica puede tener conectividad, ya sea directamente o a través de un nodo de acceso (Gateway) a una red de infraestructura. Esta última red puede ser una red IP como Internet, una red inalámbrica de área amplia 3G, o una red inalámbrica de área local 802.11. Por ejemplo, el caso de un nodo móvil en una red de comunicación Ad Hoc con un punto de acceso, es una red de infraestructura inalámbrica 802.11.

Por otro lado, si un nodo móvil se comunica con otra red de tecnología diferente, esto puede ser visto como red inalámbrica híbrida, por ejemplo, el caso de un nodo móvil en una red de comunicación con una red 3G, 3.5G o 4G-LTE. Por otra parte, las redes inalámbricas híbridas pueden integrar tanto la tecnología Intra e Inter y el propio nodo móvil puede soportar tecnologías heterogéneas de conmutación entre ellos, solo bajo demanda.

Para este trabajo de titulación, en realidad, cualquier otra tecnología de red puede ser considerada para proveer servicios de TV, Internet y Voz. En este contexto, han sido desarrollados algunos trabajos de titulación que utilizan otras arquitecturas de red para proveer servicios de Triple Play. Aunque, las empresas que brindan servicios Triple Play son Claro TV y TV Cable a través de redes híbridas de fibra y coaxial (*Hybrid Fiber Coaxial, HFC*).

## **1.2. Justificación del Problema.**

Las empresas privadas que proveen servicios de triple play (TV, telefonía e internet) son Claro TV y TV Cable sobre redes híbridas de fibra y coaxial, mientras que CNT EP brinda servicios Triple Play (TV Satelital, Telefonía fija y móvil) pero utiliza dos medios de transmisión. En los trabajos desarrollados en titulación de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones han modelado una red de servicios Triple Play sobre la plataforma Opnet Modeler. Lo novedoso del presente trabajo de titulación, es utilizar varios escenarios de la red inalámbrica híbrida a través de un modelo de simulación considerando los parámetros de calidad de servicios y de la distancia entre los puntos de acceso al usuario (cliente).

## **1.3. Definición del Problema.**

Las instituciones de educación superior utilizan plataformas de simulación para determinadas asignaturas en la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, por esto, surge la necesidad de realizar modelos de simulación de una red inalámbrica híbrida para proveer servicios de triple play sobre el software Opnet Modeler.

## **1.4. Objetivos del Problema de Investigación.**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Desarrollar escenarios de simulación de una red inalámbrica híbrida para proveer servicios de TV, VoD e Internet a través del software Opnet Modeler.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Fundamentar el estado del arte de las redes de comunicaciones inalámbricas para justificar la operatividad de las redes híbridas.
- Desarrollar el modelado de simulación a través de escenarios de una red inalámbrica híbrida que permita proveer servicios Triple Play sobre la herramienta Opnet Modeler.
- Evaluar los escenarios de simulación de la red inalámbrica híbrida desarrollados en Opnet Modeler.

#### **1.5. Hipótesis.**

El desarrollo de los escenarios de simulación de una red inalámbrica híbrida sobre el software Opnet Modeler permitirá evaluar el rendimiento de algunos parámetros en los servicios de TV, VoD e Internet.

#### **1.6. Metodología de Investigación.**

Para el desarrollo de los escenarios de simulación, se estableció un diseño de investigación, descriptivo y exploratorio. Mediante los fundamentos teóricos, se describieron las redes inalámbricas; y a través de la exploración, se evidenció el uso de las redes inalámbricas híbridas. El enfoque investigativo, es cuantitativo y el método es empírico-analítico.

## **CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE REDES INALÁMBRICAS**

### **2.1. Introducción a la Banda Ancha Inalámbrica.**

En este capítulo se describe la red inalámbrica de área local (WLAN), que dará soporte al aporte del presente trabajo de titulación considerando los estándares IEEE 802.11. IEEE 802.11 es un miembro de la familia IEEE 802, que es una serie de especificaciones para tecnologías LAN. (Véase la siguiente información en línea - <http://standards.ieee.org>).

Mientras que (López Barnés, 2008) sostiene que en Europa, un estándar de LAN equivalente se denomina HIPERLAN y es normalizado por el ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones). Las especificaciones de IEEE 802 se centran en las dos capas más bajas del modelo OSI porque incorporan ambos componentes de la capas de nivel físico y de enlace.

Todas las redes 802 tienen componentes tanto MAC como PHY. La MAC, es un conjunto de reglas para determinar cómo acceder al medio de difusión y enviar datos, pero los detalles de la transmisión y la recepción son dejadas a la PHY. Uno de los objetivos clave de 802.11 ha sido emular 802.3 LAN para redes cableadas.

El estándar IEEE 802.11 fue ratificado por primera vez en 1997. Este soportaba velocidades de transmisión de 1 y 2 Mbps en la banda de 2.4 GHz. Dos tasas altas de transmisión de la PHY fueron ratificados en 1999: 802.11a



que soporta velocidades de transmisión entre 6 y 54 Mbps en la banda de 5 GHz, y 802.11b que soporta velocidades de transmisión entre 5.5 y 11 Mbps en la banda de 2.4 GHz.

## **2.2. Arquitectura y servicios de redes WLAN.**

Hay cuatro componentes principales de la WLAN descritos por IEEE 802.11 (véase la figura 2.1). El estándar se centra en la estación móvil y el punto de acceso (*Access Point, AP*) y define un protocolo de gestión completa entre la estación móvil y el AP. Este protocolo de gestión hace que sea posible que una sola IEEE 802.11 WLAN a formar equipos de diferentes fabricantes.

Los componentes son:

- a) Estaciones (*Stations*): son dispositivos electrónicos (computadoras portátiles y teléfonos smartpone) con interfaces de redes inalámbricas. Por lo general, las estaciones son ordenadores portátiles y de mano que funcionan con baterías, pero también podrían ser las estaciones de trabajo fijos.
- b) Puntos de Acceso (*Access Points, AP*): realizan la función de puente-inalámbrico-a-alámbrico, aunque ellos presentan una serie de otras funciones.
- c) Sistemas de distribución (*Distribution System, DS*): es el mecanismo por el cual los APs intercambian tramas (frames) entre sí y con las redes alámbricas, si los hubiere. El DS no es necesariamente una red, y 802.11 no especifica ninguna tecnología en particular para la DS. En

casi todos los productos comerciales, por cable Ethernet se utiliza como la tecnología de red backbone.

- d) Medio inalámbrico: se utiliza para la transmisión de la señal. Varias capas físicas se definen y la arquitectura permite que múltiples capas físicas puedan ser desarrollados para apoyar a la MAC 802.11.

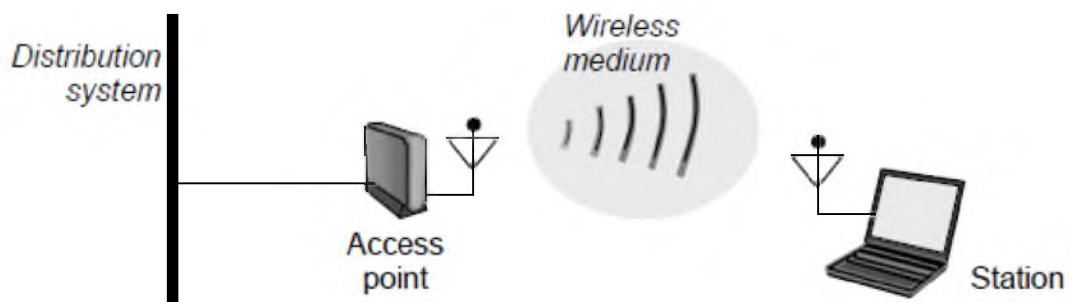


Figura 2. 1: Componentes de redes WLANs 802.11.  
Fuente: (Marsic, 2007) .

El componente básico de una red IEEE 802.11, es el conjunto de servicios básicos (BSS), que es simplemente un conjunto de estaciones que se comunican entre sí. Una BSS generalmente no se refiere a un área en particular, debido a las incertidumbres de la propagación electromagnética.

En la figura 2.2 se muestran dos tipos de BSSs. Cuando todas las estaciones en el BSS son estaciones móviles y no hay conexión a una red cableada, la BSS se denomina BSS independiente (IBSS). El IBSS es toda la red y sólo aquellas estaciones que se comunican entre sí en la IBSS son parte de la LAN. Este tipo de redes se llama redes ad hoc.

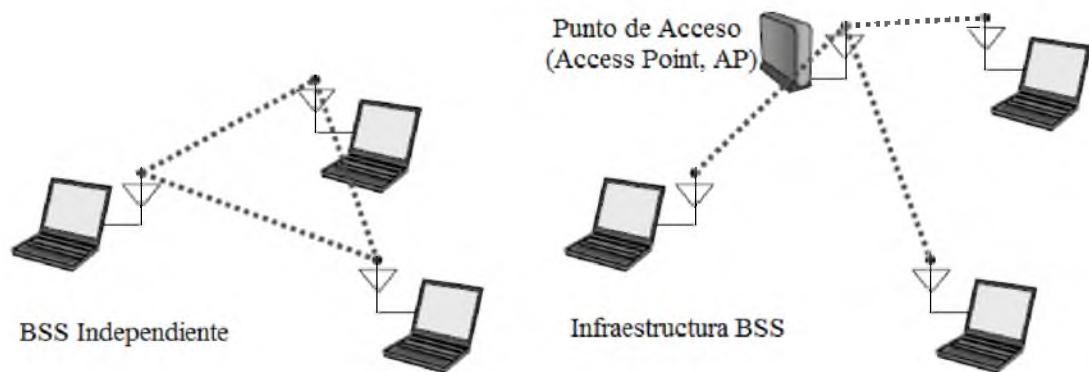


Figura 2. 2: Sistema local de distribución multipunto (LMDS).  
Fuente: (Marsic, 2007) .

Cuando todas las estaciones móviles en las BSSs se comunican con los APs, la BSS se denominan infraestructura BSS (nunca llamada IBSS). Los APs proporcionan tanto la conexión a la LAN cableada, en su caso, y la función del relé local para la BSS. Por lo tanto, si una estación móvil en el BSS debe comunicarse con otra estación móvil, el paquete se envía primero al AP y luego desde el AP a la otra estación móvil. Esto provoca que las comunicaciones consuman mayor capacidad de transmisión, que en el caso en que las comunicaciones son directamente entre el origen y el destino (como ocurre en las IBSSs).

Sin embargo, en muchos casos, los beneficios proporcionados por los APs son mayores que los inconvenientes. Uno de los beneficios proporcionados por los APs, es que estos pueden ayudar a las estaciones móviles en el ahorro de energía de la batería. Las estaciones móviles pueden funcionar a una energía más baja, sólo para llegar al AP. Además, el AP puede atenuar los paquetes para una estación móvil, cuando la estación entra en un modo de ahorro de energía.

Mientras, que el conjunto de servicio extendido (*Extended Service Set, ESS*) amplía el rango de movilidad desde un solo BSS a cualquier rango arbitrario (véase la figura 2.3). Un ESS, es un conjunto de infraestructura BSS, donde la puntos de acceso (AP) se comunican entre sí, que transmiten el tráfico de un BSS a otro y así facilitan la itinerancia de estaciones móviles entre la BSS.

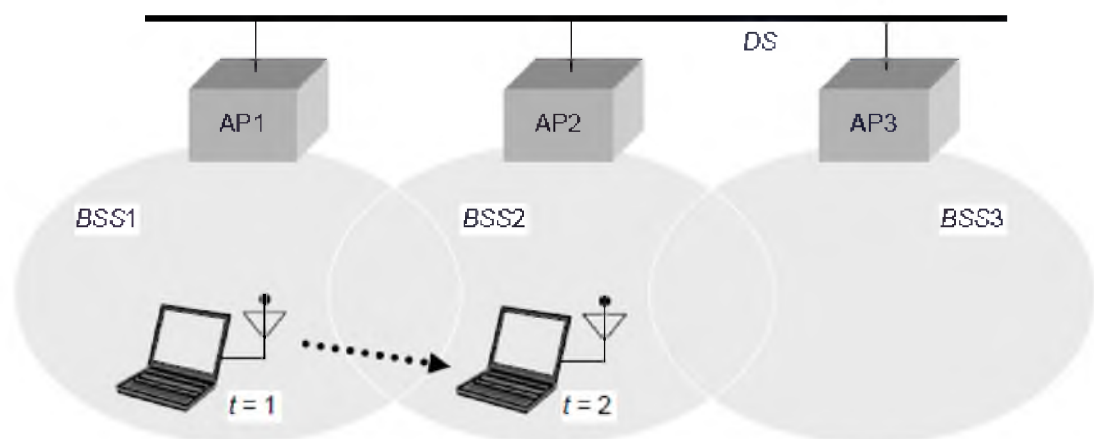


Figura 2. 3: Sistema de distribución multipunto multicanal (MMDS).  
Fuente: (Marsic, 2007) .

Podemos ver en la figura 2.3 que los APs realizan esta comunicación a través de la DS. Las estaciones en un ESS ven al medio inalámbrico como una sola conexión OSI de la capa 2. La ESS es la abstracción de más alto nivel con el apoyo de las redes 802.11. Según (Perkins, 2010) la itinerancia o roaming entre diferentes ESSs no es compatible con IEEE 802.11 y debe ser apoyado por un protocolo de nivel superior, por ejemplo, IP móvil.

En cuanto a los servicios de red, 802.11 fue diseñado intencionalmente para ser sólo otra capa de enlace de los protocolos de capas superiores. Desde la perspectiva del usuario, 802.11 parece idéntica a Ethernet;

administrando redes tienen muchos más parámetros para configurar. Hay nueve servicios definidos por la arquitectura 802.11. Estos servicios se dividen en dos grupos, servicios de estaciones y servicios de distribución.

Tabla 2. 1: Servicios de redes IEEE 802.11.

Servicio	Proveedor	Descripción
Distribución	Distribución	Servicio utilizada por las estaciones de intercambio de tramas MAC cuando la trama debe atravesar la DS para ir de una estación en un BSS a una estación en otro BSS.
Integración	Distribución	Suministra tramas (frames) a una IEEE 802.11 LAN fuera de la red inalámbrica
Asociación	Distribución	Se utiliza para establecer una conexión lógica entre una estación móvil y un punto de acceso. Esta conexión es necesaria para que los DS saber dónde y cómo entregar datos a la estación móvil.
Reasociación	Distribución	Permite una asociación creada para ser transferido de un AP a otro, lo que permite una estación móvil para pasar de un BSS a otro.
Disociación	Distribución	Elimina la estación inalámbrica de la red.
Autenticación	Estación	Establece la identidad antes de establecer la asociación.
Desautenticación	Estación	Se utiliza para cancelar la autenticación, y por extensión, de asociación.
Privacidad	Estación	Proporciona protección contra escuchas.
Prestación MSDU	Estación	Proporciona los datos al destinatario.

Fuente: (Marsic, 2007) .

En la tabla 2.1 se resumen los servicios para estación y distribución. Los servicios de la estación, se aplican en todas las estaciones de 802.11, incluidas las estaciones de los APs. Los servicios de distribución, están dispuestos entre BSSs; estos servicios pueden implementarse en un AP o en otro dispositivo de propósito especial conectado al sistema de distribución.

MSDU significa Unidad de Datos de Servicio de MAC (MAC Service Data Unit, MSDU), que es el bloque de datos transmitido de la capa superior a la capa MAC. Si el MSDU es demasiado grande para ser transmitido en una sola trama MAC, puede ser fragmentado y se transmite en una serie de tramas MAC.

El estándar IEEE 802.11 requiere que cada estación mantenga dos variables que dependen de los servicios de autenticación/desautenticación y servicios de asociación/reasociación/disociación. Las dos variables son el estado de autenticación y estado de asociación, tal como se ilustra en la figura 2.4. Las variables se utilizan en una máquina de estado simple que determina el orden en el que ciertos servicios deben ser invocados y cuando una estación puede comenzar a usar el servicio de entrega de datos.

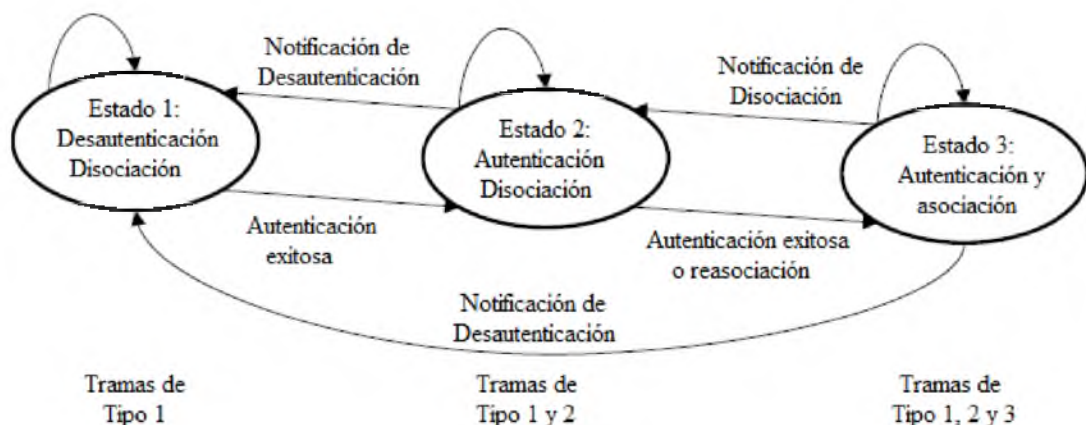


Figura 2. 4: Topología point-to-point en redes inalámbricas fijas.

Fuente: (Marsic, 2007) .

La figura 2.4 también indica los tipos de tramas (frames) que permiten que una estación utilice un estado en particular. La trama de tipo 1, permiten

que la estación encuentren una IEEE 802.11 WLAN, una ESS, y sus puntos de acceso, para completar los protocolos de “Handshake” de tramas requeridas, y para implementar el servicio de autenticación. En el estado 2, los tipos de tramas adicionales permiten una estación en el estado 2 para implementar los servicios de asociación/reasociación/disociación. En el estado 3, todos los tipos de tramas están permitidos y la estación puede utilizar el servicio de entrega de datos.

Cuando una estación quiere acceder a un BSS existente (ya sea después del encendido, el modo de reposo, o simplemente entrar en la zona BSS), la estación necesita para obtener la información de sincronización del AP (o de las otras estaciones en modo ad-hoc). La estación puede obtener esta información por uno de dos medios:

1. **Escaneo pasivo:** en este caso la estación acaba de espera para recibir la trama indicadora desde el AP. La trama indicadora con información de sincronización se envía periódicamente por el AP.
2. **Escaneo activo:** en este caso la estación intenta encontrar un AP mediante la transmisión de Tramas de Petición de Sonda (Probe Request Frames), y a la espera de respuesta de sonda (Probe Response) del AP.

Ambos métodos son válidos y cualquiera de ellos puede ser elegido de acuerdo con el consumo de energía versus compensación de rendimiento. Una vez que la estación ha encontrado un punto de acceso (AP) y decide

unirse a su BSS, pasa por el proceso de autenticación, donde cada lado demuestra el conocimiento de una contraseña dada. Cuando la estación está autenticada, se inicia el proceso de asociación que permite el intercambio de tramas de datos con el AP.

### **2.3. Control de Acceso al Medio (MAC).**

El protocolo básico del control de acceso al medio o MAC del estándar IEEE 802.11 es el acceso múltiple con escucha de portadora con la prevención de colisiones (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA*). En este caso, la decisión de coordinación se distribuye en todas las estaciones. Además de esto, la norma especifica un algoritmo de MAC centralizado, llamada función de coordinación de puntos (*Point Coordination Function, PCF*), que se construye en la parte superior del algoritmo distribuido.

PCF proporciona servicio libre de contención y está destinada principalmente para configuraciones en las que un número de estaciones inalámbricas están interconectados entre sí y con algún tipo de estación base que se conecta a una red troncal cableada. Esto es especialmente útil si algunos de los datos son sensibles al tiempo o de alta prioridad.

#### **a) Función de Coordinación Distribuida (DCF):**

- CSMA / CA utilizado para control de acceso.
- Cuando se detecta una colisión, un temporizador de retardo de envío al azar está configurado.



- Se utilizan acuses de recibo positivos (que será explicado a continuación).

**b) Función de Coordinación del Punto (PCF):**

- Construido en la cima de DCF: la coordinación del punto utiliza DCF para aprovechar el medio.
- Un coordinador del punto determina qué estación actualmente tiene el derecho de transmitir por votación.

Una red inalámbrica puede configurarse para utilizar tanto de DCF y PCF simultáneamente. Por ejemplo, un número de estaciones con tráfico sensible al tiempo son controladas por el coordinador del punto mientras que las estaciones restantes sostienen para el acceso mediante DCF. Cuando el coordinador agarra el medio, se lo mantiene durante una cierta cantidad de tiempo mediante el uso de los espacios inter-tramas más cortos que los utilizados por DCF. Algunos inconvenientes que se presentan en PCF son:

- Introducen una considerable mayor complejidad.
- Tiene que elegir un coordinador para hacer el sondeo (un problema de elección del líder).
- Debe formular el fracaso del coordinador.
- Una estación no puede acceder al medio, a menos que sea sondeado o consultado explícitamente del ámbito del coordinador.
- Todas las estaciones tienen que escuchar el sondeo.
- El número de estaciones en una BSS puede escalar sin ninguna penalización en el rendimiento. Sin embargo, diferentes BSSs

necesitan planificar cuidadosamente para no superponerse incluso cuando la densidad del BSS es muy pequeña. Por lo tanto, se requiere la coordinación entre las funciones de coordinación punto entre pares puntos de acceso.

### **2.3.1. Espacios de intertrama.**

Antes de iniciar la transmisión, una estación debe determinar que el medio aún no está realizando una transmisión. El espacio de intertrama también conocido como IFS (InterFrame Space) resulta ser el intervalo de tiempo entre tramas necesarias para el mecanismo de detección de portadoras para determinar que el medio está inactivo y disponible para la transmisión. La transmisión puede comenzar una vez que haya transcurrido el IFS.

Para ayudar con la interoperabilidad entre diferentes velocidades de datos, el espacio entre tramas es una cantidad fija de tiempo, independiente de la velocidad de bits de la capa física. Hay intervalos básicos determinados por la capa PHY: el espacio de intertramas cortos (Short InterFrame Space, SFIS) y el tiempo de slot (ranura), que es ligeramente más largo que de SIFS. El intervalo de tiempo es igual al parámetro  $\beta$ , de modo que una estación es siempre capaz de determinar si otra estación ha accedido el medio al comienzo del slot anterior. Esto reduce la probabilidad de colisión por la mitad.

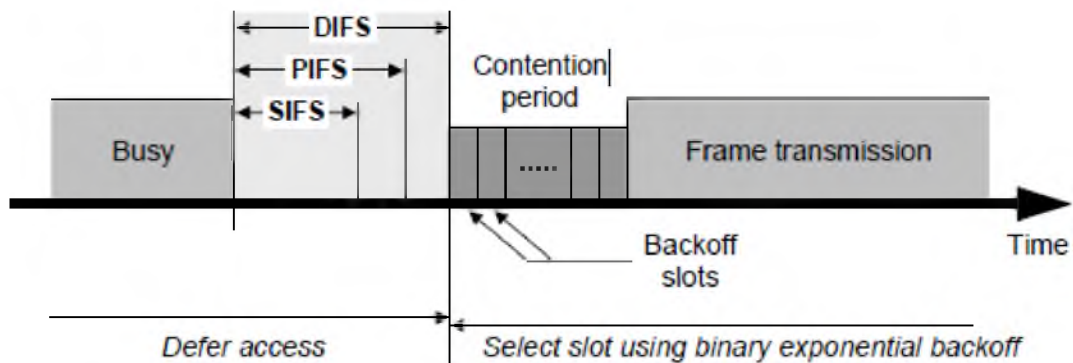


Figura 2. 5: Relaciones de espaciado de intertramas.  
Fuente: Proxim Wireless (2015).

En la figura 2.5 se muestran los diferentes tipos de IFSs utilizados en el estándar 802.11, y estos se describen a continuación:

- a. **SIFS:** el espacio de intertramas cortos son utilizados para transmisiones de más alta prioridad, tales como tramas de control, o para separar las transmisiones que pertenecen a un mismo cuadro de diálogo (por ejemplo: tramas-fragmentos-ACK). Este valor es un valor fijo por la capa PHY y se calcula de tal manera que la estación transmisora será capaz de cambiar de nuevo al modo de recepción y ser capaz de decodificar el paquete entrante. Por ejemplo, para 802.11 FH la capa PHY se establece en  $28 \mu s$ .
- b. **PIFS:** PCF (o prioridad) de espacio intertramas, es utilizado por el PCF durante el funcionamiento libre de contención. El coordinador utiliza PIFS al emitir las encuestas y la estación de sondeo puede transmitir después de que haya transcurrido el SIFS y anticiparse a cualquier tráfico basado en contención. El PIFS es igual a SIFS más un intervalo de tiempo.

- c. **DIFS:** DCF (o distribuido) de espacio intertramas, es el tiempo medio mínimo de inactividad para las tramas asíncronas que compiten por el acceso. Las estaciones pueden tener acceso inmediato al medio si ha sido libre para un período más largo que los DIFS. El DIFS es igual a SIFS más dos intervalos de tiempo.
- d. **EIFS:** espacio de intertramas extendido (no se muestra en la figura 2.5), es mucho más largo que cualquiera de los otros intervalos. Es utilizado por cualquier estación que ha recibido una trama que contiene errores que no se puede comprender. Esta estación no puede detectar la información de duración y establecer su NAV para la detección de portadora virtual. Es decir, que EIFS garantiza que la estación impida colisionar con un futuro paquete perteneciente al cuadro de diálogo actual. En otras palabras, EIFS permite los intercambios permanentes para completar correctamente antes de que la estación se le permita transmitir.

La idea detrás de diferentes EFIs, es crear diferentes niveles de prioridad para diferentes tipos de tráfico. Entonces, el tráfico de alta prioridad no tiene que esperar tanto tiempo después de que el medio se ha convertido en inactivo. Si hay algún tráfico de alta prioridad, se agarra el medio antes de que tramas de menor prioridad tienen la oportunidad de probar.

Los valores de algunos parámetros importantes del estándar 802.11b se muestran en la tabla 2.2. Los valores indicados son de la velocidad de

transmisión del canal 1 Mbps y algunos de ellos son diferentes para otras velocidades de transmisión.

Tabla 2. 2: Parámetros del estándar IEEE 802.11b.

Parámetros	Valores para velocidades de transmisión de 1 Mbps
Intervalo de tiempo	20 $\mu s$
SIFS	10 $\mu s$
DIFS	50 $\mu s$ (DIFS=SIFS + 2 intervalos de tiempo)
EIFS	SIFS+PHY-preámbulo+PHY-cabecera+ACK+DIFS=364 $\mu s$
$CW_{min}$	32
$CW_{max}$	1024
PHY – Preámbulo	144 bits (144 $\mu s$ )
PHY – Cabecera	48 bits (48 $\mu s$ )
Datos de cabecera MAC	28 bytes = 224 bits
ACK	14 bytes + PHY-preámbulo + PHY-cabecera= 304 bits (304 $\mu s$ )
RTS	20 bytes + PHY-preámbulo + PHY-cabecera= 352 bits (352 $\mu s$ )
CTS	14 bytes + PHY-preámbulo + PHY-cabecera= 304 bits (304 $\mu s$ )
MTU	Ajustables hasta 2296 bytes

Fuente: (Marsic, 2007) .

Donde la capa PHY-preámbulo sirve para el receptor para distinguir el silencio a partir de periodos de transmisión y detectar el comienzo de un nuevo paquete. Asimismo, el tamaño de la unidad de transmisión máxima (Maximum Transmission Unit, MTU) especifica el tamaño máximo de un paquete físico creado por un dispositivo de transmisión.

### 2.3.2. Detección de portadora virtual y vector de asignación de red.

La detección de portadora, se utiliza para determinar si el medio está disponible. Además de la detección de portadora física, 802.11 emplea también funciones de detección de portadora virtual. Si bien uno de ellos indica que el medio está ocupado, la estación aplaza la transmisión. Es difícil

y costoso la construcción de hardware para la detección de portadora física para medios basados en RF, porque los transceptores pueden transmitir y recibir simultáneamente sólo si se incorporan costosos dispositivos electrónicos.

Por otra parte, a diferencia del medio de transmisión de telefonía fija, no se aplica la transitividad de conectividad. En las redes de transmisión de telefonía fija, tales como Ethernet, si la estación A puede escuchar la estación B y la estación B puede oír la estación C, entonces la estación A puede escuchar la estación C. Este no es siempre el caso en las redes de difusión inalámbricas, como se explicará más adelante acerca de las estaciones ocultas.

La detección de portadora virtual es proporcionada por el vector de asignación de red (NAV). La mayoría de las tramas 802.11 llevan un campo de duración, que se puede utilizar para reservar el medio por un período de tiempo fijo. Las estaciones establecen el NAV para el tiempo (en microsegundos) durante el cual se espera utilizar el medio, incluyendo cualquier trama necesaria para completar la operación actual.

Otras estaciones que reciben la trama fijan su temporizador NAV, que es un temporizador que indica la cantidad de tiempo que se reservará el medio, y la cuenta atrás desde el NAV a 0. El NAV se mantiene corriente a través de los valores de duración que se transmiten en todas las tramas. Cuando el NAV

es distinto de cero, la función de detección de portadora virtual indica que el medio está ocupado; cuando el NAV llega a 0, la función de detección de portadora virtual indica que el medio está inactivo. Mediante el examen de la NAV, una estación puede evitar transmitir, incluso cuando el medio aparece inactivo de acuerdo con la detección de portadora física.

### 2.3.3. Petición de repetición automática y operaciones atómicas.

La estrategia de retransmisión 802.11 ARQ (petición de repetición automática), es esencialmente la más sencilla: parar y esperar (véase la figura 2.6). Este protocolo no inicia la transmisión del siguiente paquete antes de que se asegure que el paquete actual se recibe correctamente.

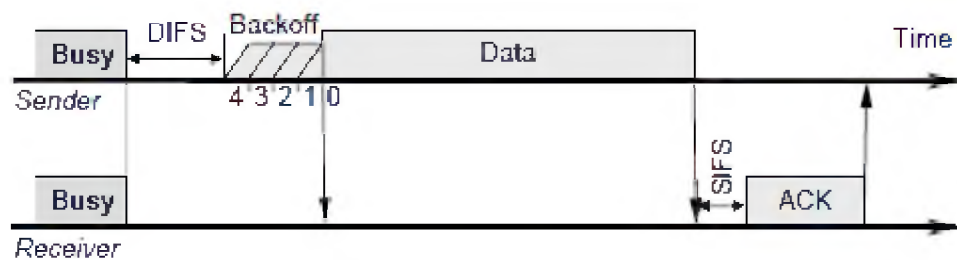


Figura 2. 6: Modo de transmisión básica IEEE 802.11.  
Fuente: (Marsic, 2007) .

Hay que tener en cuenta que incluso las unidades de la transmisión atómica (datos y reconocimiento) están separados por SIFS, que tienen como objetivo facilitar la estación transmisora de un breve descanso por lo que será capaz de volver al modo de recepción y ser capaz de decodificar la entrada (en este caso ACK). El diagrama de estados para una sola transmisión de paquetes se muestra en la figura 2.7.

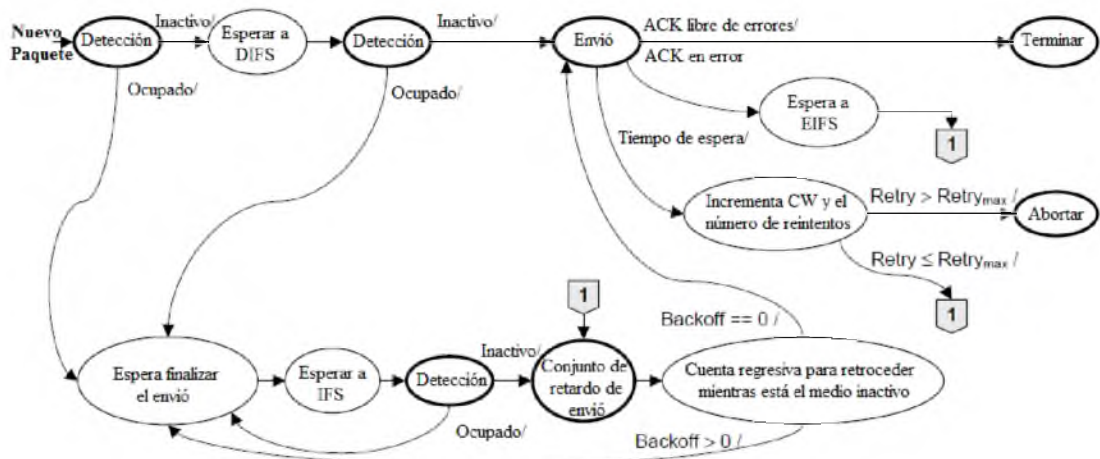


Figura 2. 7: Diagrama de estados del remitente de la transmisión de paquetes de base para protocolo 802.11 MAC.  
Fuente: (Marsic, 2007) .

El enlace inalámbrico es mucho más fiable que un alambrado. El ruido, la interferencia, y otros efectos de propagación dan como resultado la pérdida de un número considerable de tramas. Incluso con los códigos de corrección de errores, una cantidad de tramas MAC no podrá ser recibida exitosamente. Esta situación puede ser tratada por mecanismos de fiabilidad en una capa más alta, tal como TCP.

Sin embargo, los temporizadores utilizados para la retransmisión en las capas superiores (que controlan los caminos que comprenden muchos enlaces) son típicamente del orden de segundos. Por tanto, es más eficiente para tratar los errores en el nivel MAC. Para este propósito, 802.11 incluye un protocolo de intercambio de tramas. Cuando una estación recibe una trama de datos de otra estación devuelve un acuse de recibo o reconocimiento (ACK) de trama a la estación de origen.



Este intercambio es tratado como una unidad atómica, para no ser interrumpido por una transmisión de cualquier otra estación. Si la fuente no recibe un ACK dentro de un corto período de tiempo, ya sea porque su trama de datos fue dañado o porque el ACK de regresar fue dañado, la fuente retransmite la trama.

Las operaciones atómicas comienzan como transmisiones regulares: tienen que esperar a que los DIFS antes de que puedan comenzar. Sin embargo, la segunda y todas las etapas posteriores en una operación atómica deberán efectuarse mediante el SIFS, en lugar de la DIFS. Esto significa que la segunda (y posteriores) parte de una operación atómica se agarra del medio antes de que otro tipo de trama se pueda transmitir. Mediante el uso de SIFS y el NAV, las estaciones pueden aprovechar el medio por el tiempo que sea necesario.

La parada y espera requiere mantener un temporizador: después de que se envió el paquete de datos, el temporizador está configurado para limitar la cantidad de tiempo de espera en caso de que el paquete de datos se pierde a errores o colisión. Si no se recibe una confirmación dentro del tiempo de espera, el emisor vuelve a intentar la transmisión, tal como se muestra en la figura 2.7, pero esta vez con un tamaño de doble ventana de contención, (Contention Window, CW).

Supongamos que tenemos una infraestructura 802.11 BSS con un punto de acceso (Access Point, AP) y dos estaciones móviles, A y B tal como se muestra en la figura 2.8. Consideremos un escenario en el que A tiene un solo paquete para enviar a B y mostrar precisamente el diagrama de tiempo para cada uno de la tres nodos desde el comienzo hasta finalizar la transmisión de paquetes. Para cada estación, seleccionamos un número razonable de intervalos de retroceso (si los hay) la cuenta atrás antes de la estación comienza su transmisión. Todos los nodos están utilizando el modo de transmisión básica y el canal está libre de errores.

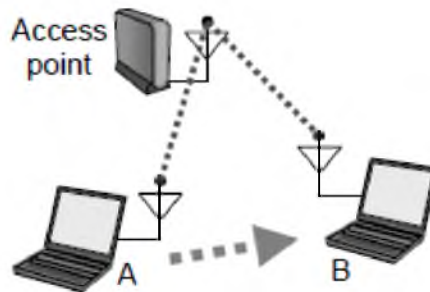


Figura 2. 8: Infraestructura BSS con un AP y dos estaciones móviles.  
Fuente: (Marsic, 2007) .

Dado que este es una infraestructura BSS, donde todas las estaciones deben comunicarse a través de un AP. El diagrama de tiempo se muestra en la figura 2.9.

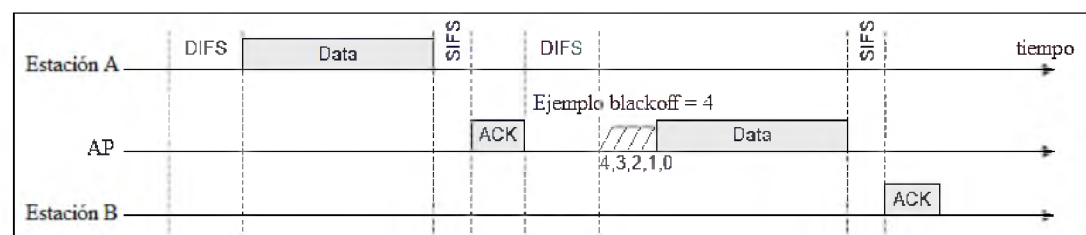


Figura 2. 9: Diagramas de tiempo de la comunicación entre AP y estaciones A y B.  
Fuente: (Marsic, 2007) .

El tiempo de transmisiones de tramas exitosas se muestra en la figura 2.10. Si el canal está inactivo con la llegada de paquetes, la estación transmite inmediatamente, sin retardo de envío. Hay que tener en cuenta que (véase las figuras 2.10, 2.11 y 2.12) un bloque cruzado representa una pérdida o recepción errónea de la trama correspondiente.

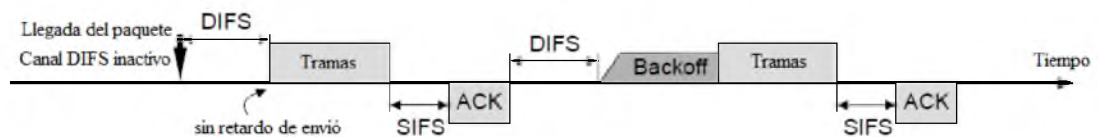


Figura 2. 10: Diagramas de tiempo de transmisiones de tramas exitosas  
Fuente: (Marsic, 2007) .

La figura 2.11 muestra el caso en el que se recibe una trama ACK por error, es decir, recibida con una incorrecta secuencia de verificación de tramas (*Frame Check Sequence, FCS*). El transmisor re-afirma para el medio de retransmisión de la trama después de un intervalo de EIFS. Esto también está indicado en el diagrama de estado mostrado por la figura 2.7.

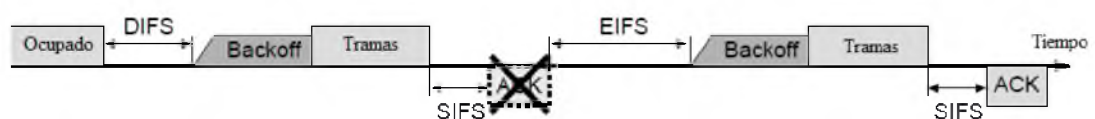


Figura 2. 11: Diagramas de tiempo de retransmisión de tramas debido a fallas de ACK.  
Fuente: (Marsic, 2007) .

Por otro lado, si ninguna trama de ACK se recibe dentro de un intervalo de tiempo de espera, posiblemente debido a una recepción errónea en el receptor de la trama de datos anterior, tal como se muestra en la figura 2.12, el transmisor solicita de nuevo por el medio a retransmitir la trama después de

un tiempo de espera de ACK. (el tiempo de espera ACK es más corto que el intervalo EIFS, de hecho,  $ACK\_timeout = t_{SIFS} + T_{ACK} + t_{slot}$ .)

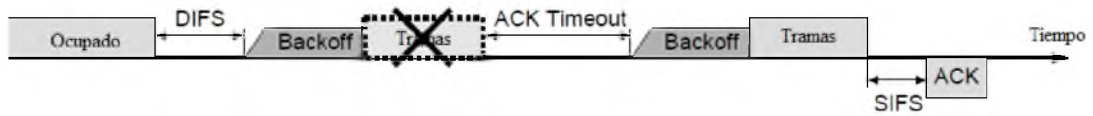


Figura 2. 12: Diagramas de tiempo de retransmisión de tramas debido a erróneas recepción de tramas de datos.

Fuente: (Marsic, 2007) .

### 2.3.4. Procedimiento de retardo de envío con el DCF.

802.11 modifica ligeramente el algoritmo de acceso de aplazamiento CSMA/CA. Cuando el protocolo de capa superior pasa un paquete a la MAC para la transmisión, la estación detecta primero el canal. Si el medio se encuentra en reposo, la primera estación espera para DIFS; si el medio se mantiene inactivo, la estación transmite inmediatamente.

Por el contrario, si el medio en primer momento se encuentra ocupada, el aplazamiento de acceso de estaciones debe incluir el procedimiento de retardo de envío. La primera estación espera que el medio quede inactivo para DIFS (si la última trama se recibe correctamente) o EIFS (si la última trama no se recibe correctamente).

Después, se establece el temporizador de retardo de envío a un número entero aleatorio de ranuras que se extrae de una distribución uniforme en  $[0, CW]$ , donde  $CW$  es el número de ranuras de la ventana de contención o la ventana de retardo de envío.

La figura 2.13 muestra el funcionamiento del mecanismo de retardo de envío de envío. Con múltiples estaciones de contender por canal, una vez que el canal se detecta inactivo durante un DIFS, cada estación con un paquete para transmitir disminuye el tiempo de retardo de envío. La estación cuyo tiempo se agota primero comienza la transmisión y las estaciones restantes congelan su cuenta regresiva y aplazan su transmisión.

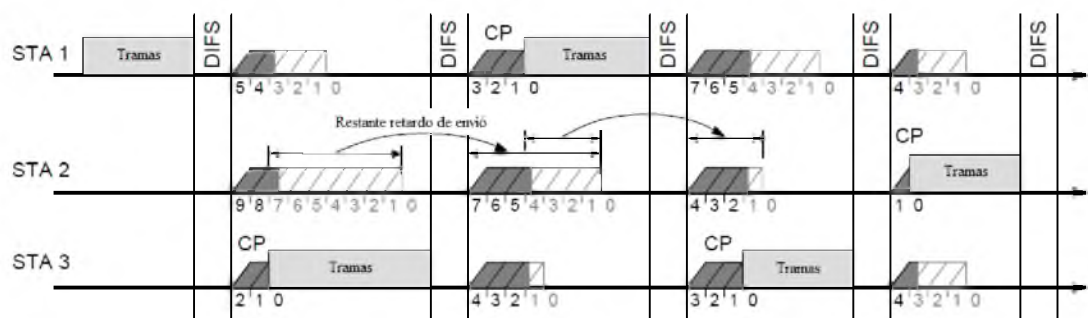


Figura 2. 13: El mecanismo de retardo de envío de la MAC.

Fuente: (Marsic, 2007) .

Una vez que la estación actual finaliza la transmisión, el proceso se repite de nuevo. Las estaciones que se adelantó durante la cuenta regresiva comienzan disminuyendo su madera, a partir donde lo dejaron en lugar de seleccionar un nuevo periodo de cuenta regresiva. De esta forma, las estaciones tienen preferencia sobre leves prioridades en comparación con otros.

### 2.3.5. Estaciones ocultas y expuestas.

El protocolo IEEE 802.11 DCF se basa en el protocolo MACAW para resolver el problema de las estaciones de ocultas y expuestas. Las principales diferencias surgen debido al uso de una parada y espera de ARQ y de la

detección de portadora virtual. Este intercambio RTS/CTS soluciona parcialmente el problema de la estación oculta, pero el problema del nodo expuesto sigue sin abordarse.

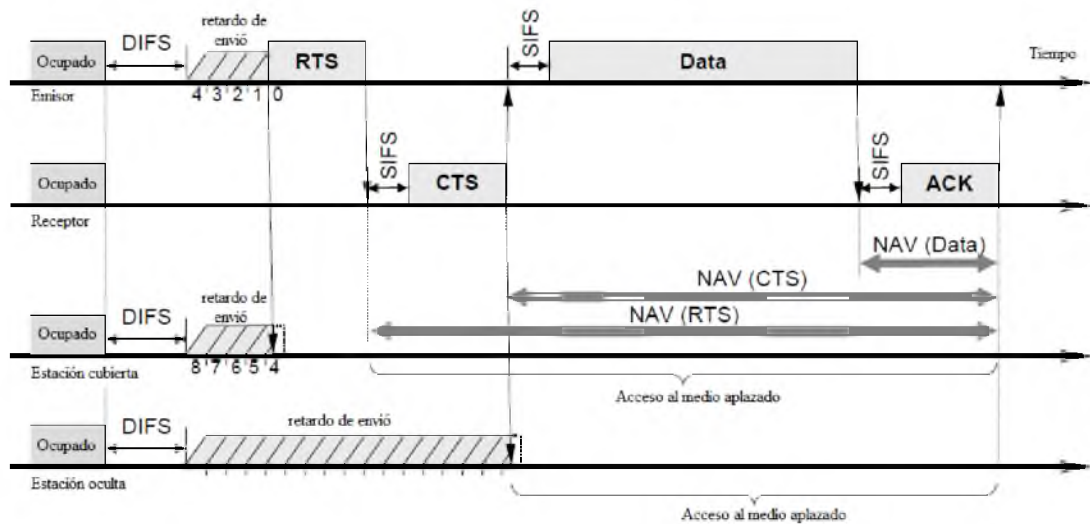


Figura 2. 14: Protocolo 802.11 de intercambio de unidad atómica.

Fuente: (Marsic, 2007) .

El protocolo de enlace de 4 vías del intercambio RTS/CTS/DATA/ACK del protocolo 802.11 DCF (véase la figura 2.14) requiere que los roles de emisión y recepción se intercambien varias veces entre pares de nodos de comunicación, para que los vecinos de estos dos nodos deban permanecer en silencio durante todo el intercambio.

Esto se logra mediante la invocación del mecanismo de detección de portadora virtual de 802.11, es decir, haciendo que los nodos vecinos fijen sus valores del vector de asignación de red (NAV) a partir del campo de duración especificada en los paquetes RTS o CTS. Mediante el uso de NAV, las estaciones aseguran que las operaciones atómicas no se interrumpan. La

duración del tiempo de NAV se realiza en la cabecera de tramas sobre las tramas RTS, CTS, DATA y ACK.

### 2.3.6. Estructura de tramas.

La figura 2.15 muestra el formato de trama 802.11, este formato general se utiliza para todas las tramas de datos y de control, pero no todos los campos se utilizan en todo tipo de tramas. Esta parte no está al alcance del presente trabajo de titulación sobre todos los tipos de tramas 802.11. Puede haber hasta cuatro campos de dirección en una trama de 802.11.

Cuando los cuatro campos están presentes, los tipos de direcciones incluyen origen, destino, estación transmisora y la estación receptora. Uno de los campos también podría ser el identificador BSS, que se utiliza en la solicitud de sondeo y tramas de respuesta, que se utiliza cuando las estaciones móviles escanean un área para redes 802.11 existentes.

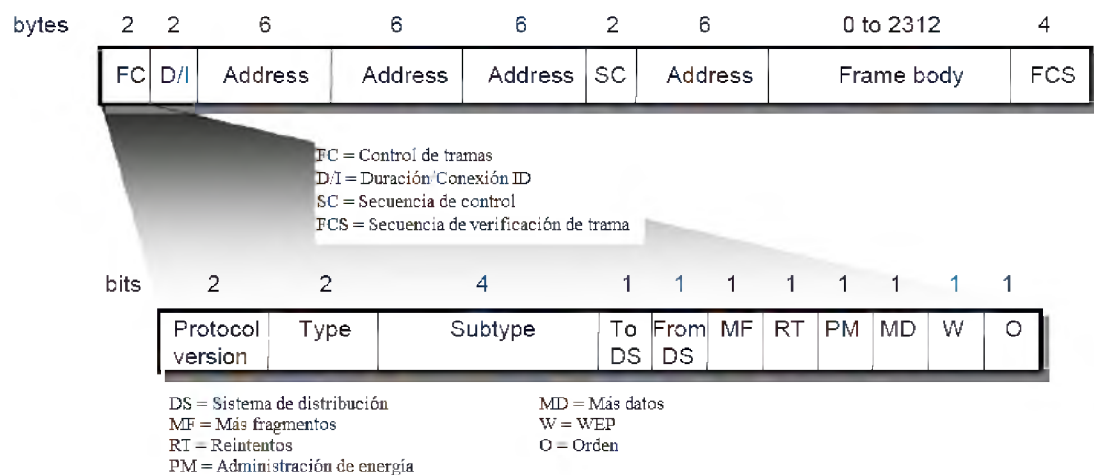


Figura 2. 15: Formato genérico de trama IEEE 802.11 MAC.

Fuente: (Marsic, 2007) .

## 2.4. Capa física y adaptación de velocidad.

Hay varios tipos de capas físicas de IEEE 802.11 que se muestran en la figura 2.16.

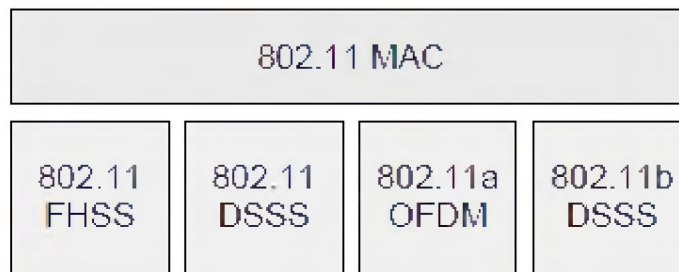


Figura 2. 16: Capas física de IEEE 802.11 MAC.  
Fuente: (Marsic, 2007) .

### 2.4.1. Señales físicas.

Para (Law & D'Ambrosia, 2016), la capa física inalámbrica se divide en dos partes, que son: el Protocolo de Convergencia de Capa Física (*Physical Layer Convergence Procedure, PLCP*) y la subcapa Dependiente del Medio Físico (*Physical Medium Dependent, PMD*).

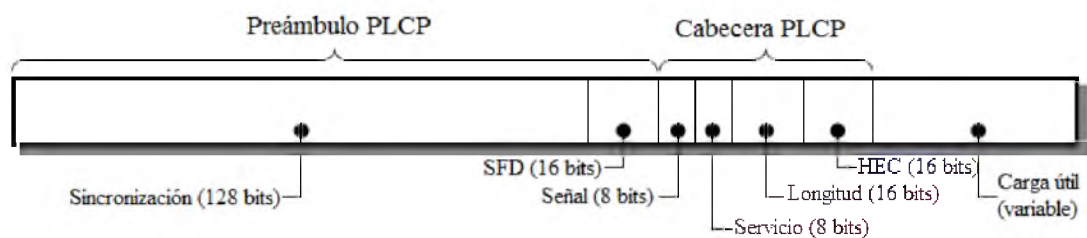


Figura 2. 17: Trama IEEE 802.11 PHY utilizando espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS).  
Fuente: (Marsic, 2007) .

Según (Mendoza A., 2016) PMD se encarga de la codificación inalámbrica, mientras que PLCP presenta una interfaz común para los conductores de alto nivel escriban y proporcionen detección de la portadora y de evaluación de canal libre (*Clear Channel Assessment, CCA*), que es la



señal de que la capa MAC necesita para que pueda determinar si el medio está actualmente en uso, tal como se muestra en la figura 2.17.

PLCP consiste en un preámbulo de 144 bits que utilizan la sincronización para determinar la ganancia de radio y establecer la evaluación de canal libre. El preámbulo comprende de 128 bits de sincronización (1 bits codificado), seguido de un campo de 16 bits que consiste en el siguiente patrón 1111001110100000. Esta secuencia se utiliza para marcar el inicio de cada trama y se llama inicio delimitador de trama (*Start Frame Delimiter, SFD*).

Los siguientes 48 bits se conocen colectivamente como la cabecera PLCP. La cabecera contiene cuatro campos de: señal, servicios, longitud y verificación de error de cabecera (*Header Error Check, HEC*). El campo de señalización indica cuán rápido la carga útil se transmite (1, 2, 5.5 o 11 Mbps). El campo de servicio está reservado para uso futuro. El campo de longitud indica la longitud de la carga útil siguiente, y las HEC es un CRC de 16 bits de la cabecera de 48 bits.

PLCP siempre se transmite a 1 Mbps. Por lo tanto, 24 bytes de cada paquete se envían a 1 Mbps. PLCP presenta 24 bytes de sobrecarga en cada paquete inalámbrico Ethernet, sin siquiera haber empezado a hablar acerca de dónde va el paquete. Ethernet introduce sólo 8 bytes de datos. Debido a que la carga útil de la cabecera de 192 bits se transmite a 1 Mbps, 802.11b es a lo mejor sólo el 85% de eficiencia en la capa física.

### **2.4.2. Transmisión de adaptación de velocidad.**

Debe quedar claro que las condiciones del canal inalámbrico son variables en el tiempo y se reciben relaciones de señal/ruido cambia de forma dinámica. Radios de múltiples velocidades, son capaces de transmitir a varias velocidades, utilizando diferentes esquemas de modulación. Las capas físicas (PHY) IEEE 802.11 son compatibles con múltiples tasas de transmisión. La radio inalámbrica genera una onda portadora de 2.4 GHz (2.4 a 2.483 GHz) y modula esa onda utilizando una variedad de técnicas.

IEEE 802.11 PHY elige automáticamente el esquema de modulación como una función de las condiciones del canal. Diferentes esquemas de modulación proporcionan un equilibrio entre el rendimiento y el alcance de cobertura. Para la transmisión de 1 Mbps, se utiliza BPSK (un cambio de fase para cada bit). Para llevar a cabo transmisiones de 2 Mbps, se utiliza QPSK.

Recordar que QPSK codifica 2 bits de información en el mismo espacio que BPSK codifica 1 bit. La contrapartida es que se debe aumentar la potencia o disminuir la gama para mantener la calidad de la señal. Debido a que la FCC regula la potencia de salida de las radios portátiles a 1 watt PIRE (Potencia Isótropa Radiada Equivalente), el rango es el único factor restante que puede cambiar. Por lo tanto, en los dispositivos 802.11, como se aleja de la radio, la radio se adapta y utiliza una menor complejidad (y más lento) de mecanismo de codificación para enviar datos.

La tasa de capa PHY a utilizarse para transmisión de tramas particulares, está determinado únicamente por la estación transmisora. La velocidad de transmisión debe ser elegida de una manera adaptativa, ya que la condición de canal inalámbrico varía con el tiempo debido a factores tales como la movilidad de la estación, la interferencia variable en el tiempo, y errores dependientes de localización.

Por ejemplo, los rangos típicos de IEEE 802.11b son:

- Entre 30 y 50 m a 11 Mbps
- Entre 40 y 60 m en 5.5 Mbps
- Entre 80 y 120 m a 2 Mbps

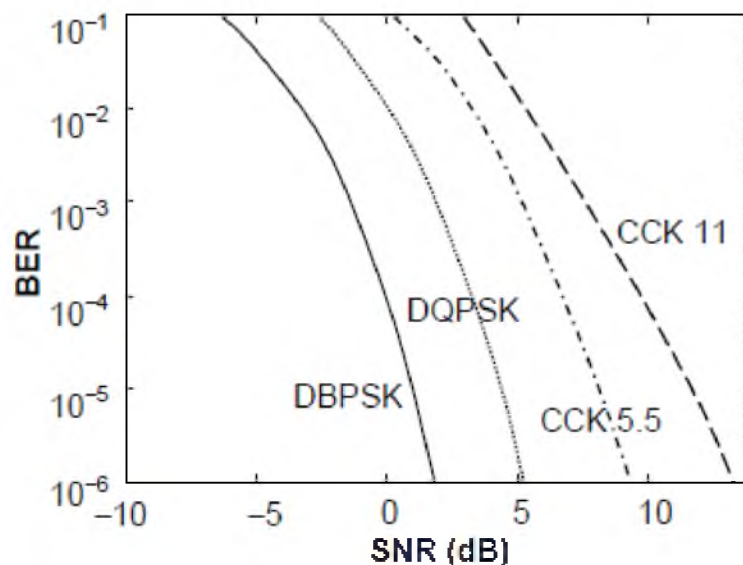


Figura 2. 18: Curvas BER empírica VS SNR.  
Fuente: (Marsic, 2007) .

La figura 2.18 muestra la tasa de error de bit (BER) en comparación con las curvas SNR proporcionadas por el fabricante Intersil para los modos de

capa PHY IEEE 802.11b. La SNR, se mide en la antena del receptor, antes de la decodificación de la señal de propagación.

En el trabajo de (Marsic, 2007) obtiene simulaciones de rendimiento como una función de la SNR, para cada modo de capa PHY (véase en la figura 2.19). Uno puede imaginar que este rendimiento ideal puede conseguirse sólo si la SNR en el receptor es conocida por transmisión STA de antemano.

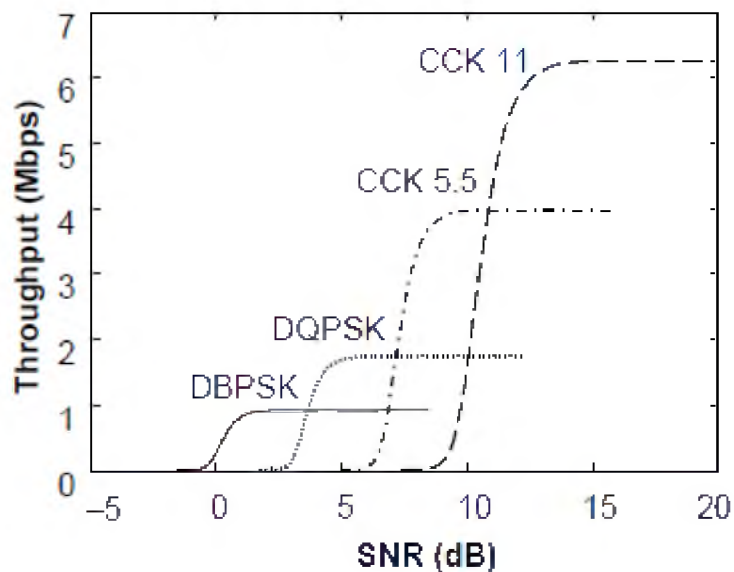


Figura 2. 19: Rendimiento de simulación VS SNR.  
Fuente: (Marsic, 2007) .

La figura 2.20 muestra la capacidad disponible de enlace que puede variar en función de la distancia del usuario al punto de acceso. De hecho, la variación en la capacidad del enlace nominal es probable que sea aún mayor para versiones 802.11a (6 Mbps a 54 Mbps-) y 802.11g (> 11 Mbps) del estándar Wi-Fi.

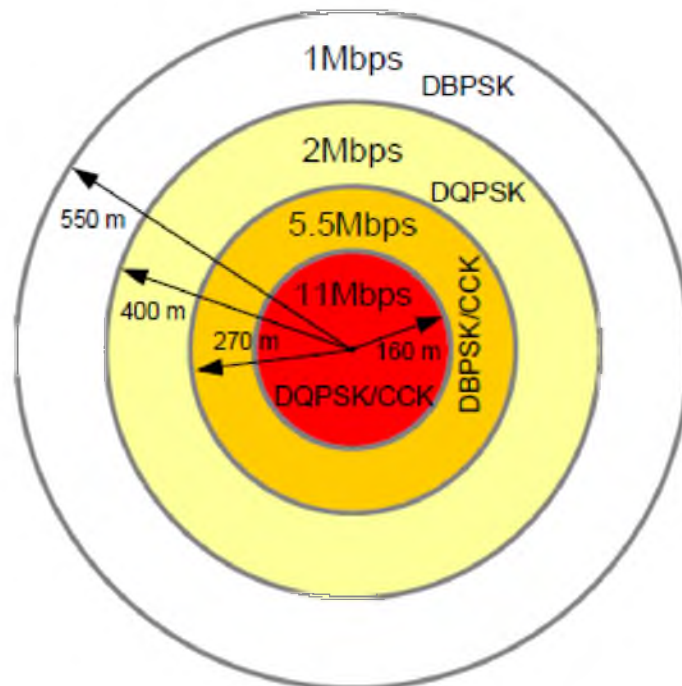


Figura 2. 20: Esquema de modulación utilizado entre el nodo y el AP.  
 Fuente: (Marsic, 2007) .

## **CAPÍTULO 3: DISEÑO Y SIMULACION DE LA RED INALÁMBRICA HÍBRIDA**

### **3.1. Diseño de la Red Inalámbrica Híbrida para prestación de servicios Triple Play.**

El presente diseño fue basado de acuerdo a los trabajos de titulación desarrollados por los Señores Alexy Pincay y Jean Delgado en los semestres B-2014 y A-2015 respectivamente. El trabajo realizado por (Pincay Chevez, 2014) consistía en simular la tecnología ADSL para proveer servicio de 3Play, mientras que el trabajo de (Delgado Rodriguez, 2015) propuso la simulación de una red WiMAX para proveer el servicio triple play.

Consecuentemente, en este capítulo se desarrolla el aporte del trabajo de titulación que es de realizar el diseño y simulación de una red inalámbrica híbrida para seguir transmitiendo tres servicios (Internet, Voz sobre IP “VoIP” y Video sobre Demanda “VoD”) denominado “Triple Play”. El diseño de la red inalámbrica híbrida permitirá evaluar el rendimiento de la mencionada red, utilizando determinados escenarios de simulación que permitan proveer del servicio Triple Play.

En esta simulación WiMax extiende los beneficios de las redes WiFi para ofrecer servicios Triple Play de última generación. WiFi y WiMax ambos son estándares inalámbricos IEEE abiertos y construidos desde cero para aplicaciones y servicios basados en el protocolo de Internet (IP). Desde el

modelo de simulación, la combinación de estos dos estándares de red troncal WiMAX y WLAN, permiten prestar servicios *Hotspot* o Punto de Acceso (*Access Point, AP*) para ofrecer un servicio más completo de banda ancha de alta velocidad al suscriptor.

### 3.1.1. Topología para redes inalámbricas híbridas.

La topología de la red inalámbrica híbrida propuesta en el presenta trabajo de titulación tiene la arquitectura que se muestra en la figura 3.1 que se denomina subred “WiMax\_WiFi”. Esta subred tiene una estación base (*Base Station, BS*) de WiMax conectada al router de CO en la subred de agregación a través de un enlace de 45 Mbps DS3 WAN y WiMax\_wlan\_router (AP) que se utiliza para conectar entre la estación de WiFi del abonado en la oficina y sus nodos de servicio BS.

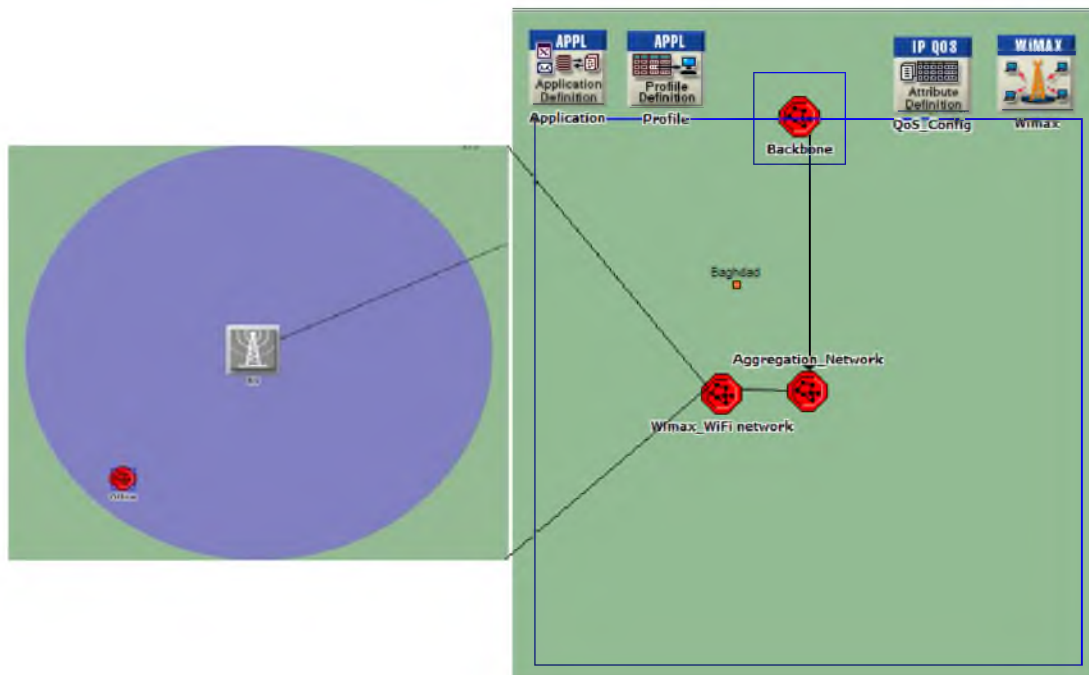


Figura 3. 1: Topología para servicios Triple Play sobre una Red Inalámbrica Híbrida. Elaborado por: Autor.

### **3.1.2. Gestión de Calidad de Servicio en los escenarios de simulación de la red inalámbrica híbrida.**

Las aplicaciones del servicio Triple Play en redes funcionales Wi-Fi requieren calidad de servicio (QoS). La QoS permite a los puntos de acceso Wi-Fi priorizar el tráfico y optimizar la trayectoria en recursos compartidos de la red repartidos entre diferentes aplicaciones. Sin QoS, todas las aplicaciones que se ejecutan en diferentes dispositivos tienen igualdad de oportunidades para transmitir tramas de datos.

En esta sección del trabajo de titulación, se explica la arquitectura “IP DiffServ” y se configura para cada escenario que se utilizará para medir la QoS en la interconexión de las redes de acceso inalámbricas heterogéneas (WiMax con WiFi). Las clases de QoS basado en el concepto DiffServ proporcionan mapeo de QoS eficiente, que son susceptibles de ser utilizados en el futuro todas las redes de transporte de paquetes basados en IP.

#### **3.1.2.1. Parámetros de calidad de servicio en el protocolo IP.**

La configuración de atributos de la QoS son definidas y atribuidas a las siguientes tecnologías: CAR, FIFO, WFQ, CQ y PQ tal como se muestra en la figura 3.2. Cada tecnología contiene un cuadro, de modo que cada fila representa una sola cola. Cada cola tiene un número de parámetros, por ejemplo, el tamaño de la cola, el esquema de clasificación, parámetros RED, etc ...



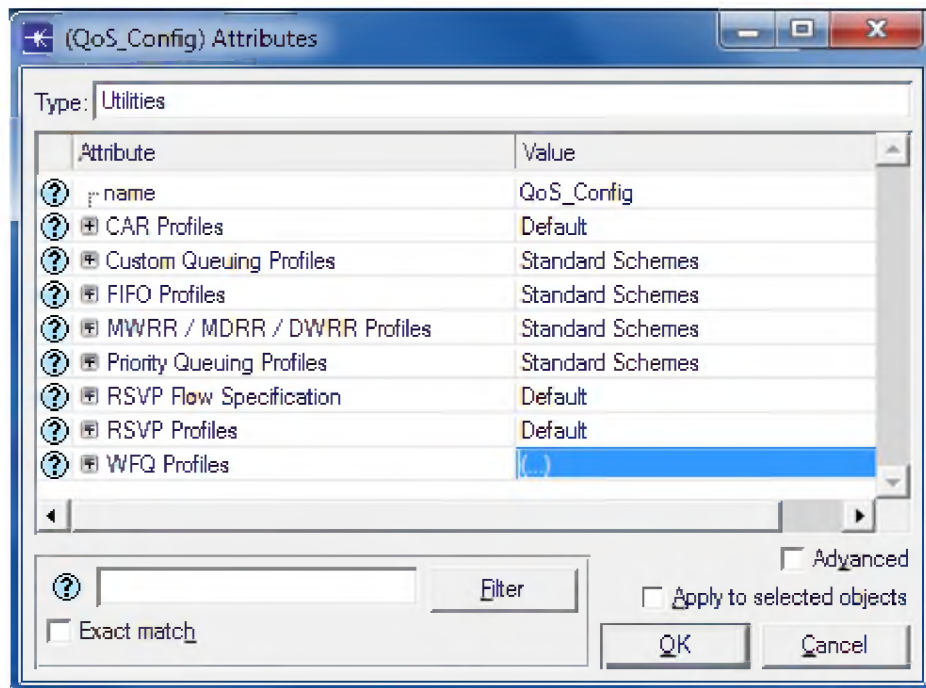


Figura 3. 2: Configuración de atributos de las tecnologías de QoS.  
Elaborado por: Autor.

Por lo tanto, en este trabajo de titulación la QoS se ajusta con el campo del encabezado IP para el punto de código de servicios diferenciados (*Differentiated Service Code Point, DSCP*) con la clase de tráfico apropiado y las prioridades de cola se fijan con un peso para los siguientes perfiles: colas equitativas ponderadas (*Weighted Fair Queuing, WFQ*) y colas de bajas latencias (*Low Latency Queuing, LLQ*).

La figura 3.5 muestra el ancho de banda adecuado que se asigna de forma permanente al servicio de voz (Cola 5, está configurado para ser un LLQ). Con el fin de garantizar los flujos de tráfico de Internet que nunca deben ser excluidos del uso de ancho de banda, el tráfico de mejor esfuerzo (*Best Effort, BE*) sirve sin ningún tipo de garantía (Cola 1, está configurado para ser una cola predeterminada).

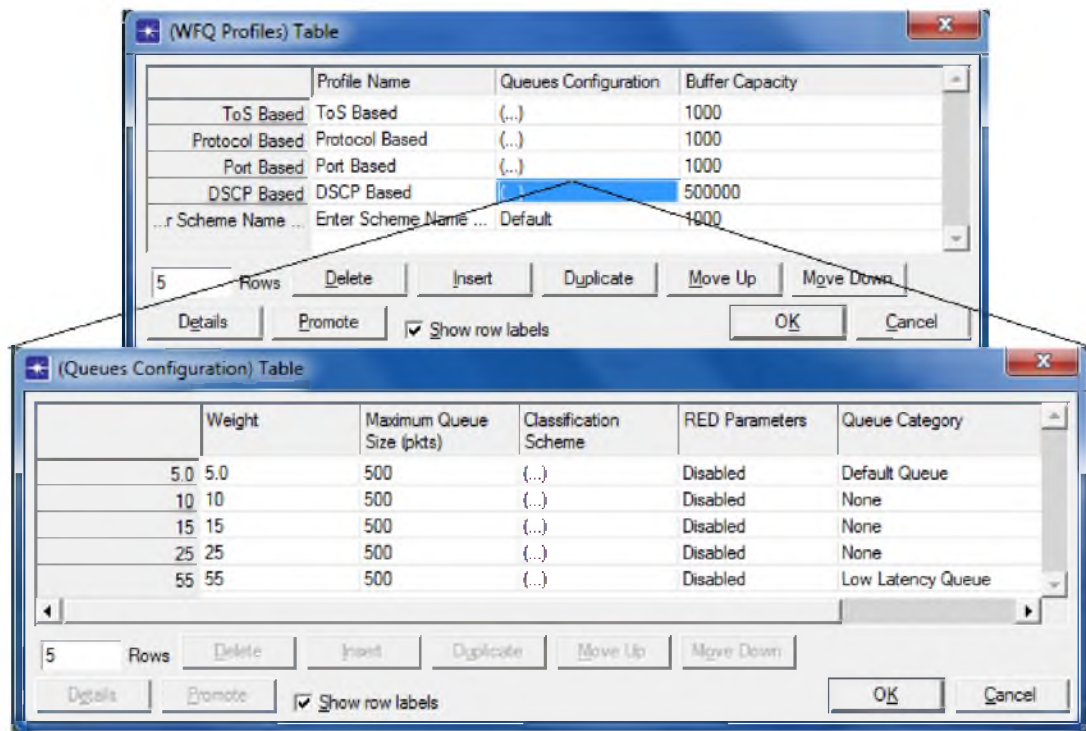


Figura 3. 3: Configuración de perfiles WFQ de QoS.  
Elaborado por: Autor.

La infraestructura de red consiste en: redes de proveedores de servicios, de Core y de acceso. En consecuencia, el mecanismo "IP DiffServ" necesita ser implementado en cada nodo de la red y la aplicación. Esto se discute en los siguientes subtemas:

**a. Clases de configuración de QoS con diferentes aplicaciones.**

Hay un gran número de aplicaciones que necesitan un nivel de aseguramiento de la red. Sin embargo, es difícil definir un nivel específico para cada uno. Por esa razón, la mayoría de categorías llamadas "clases de QoS" clasifican a las aplicaciones, dando mayor prioridad a los paquetes de voz y vídeo de retardo crítico con respecto a otros paquetes de datos, tales como mensajes de correo electrónico, páginas web, etc. En la figura 3.4 se muestra los atributos de DSCP con cada una de sus prioridades.

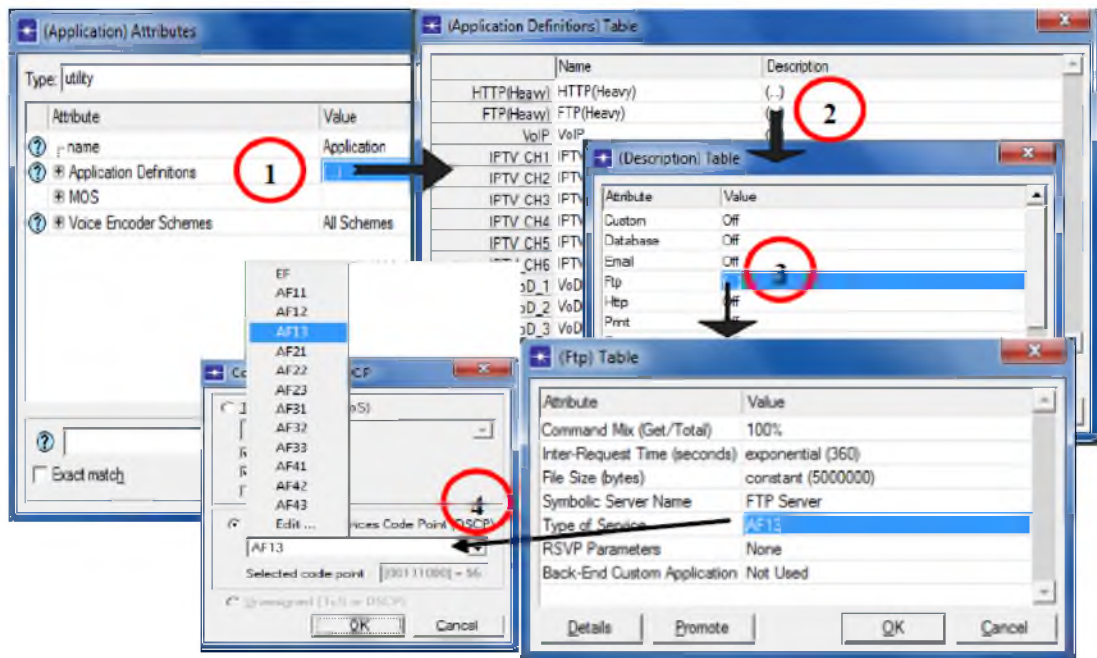


Figura 3. 4: Configuración de las clases de QoS con diferentes aplicaciones.  
Elaborado por: Autor.

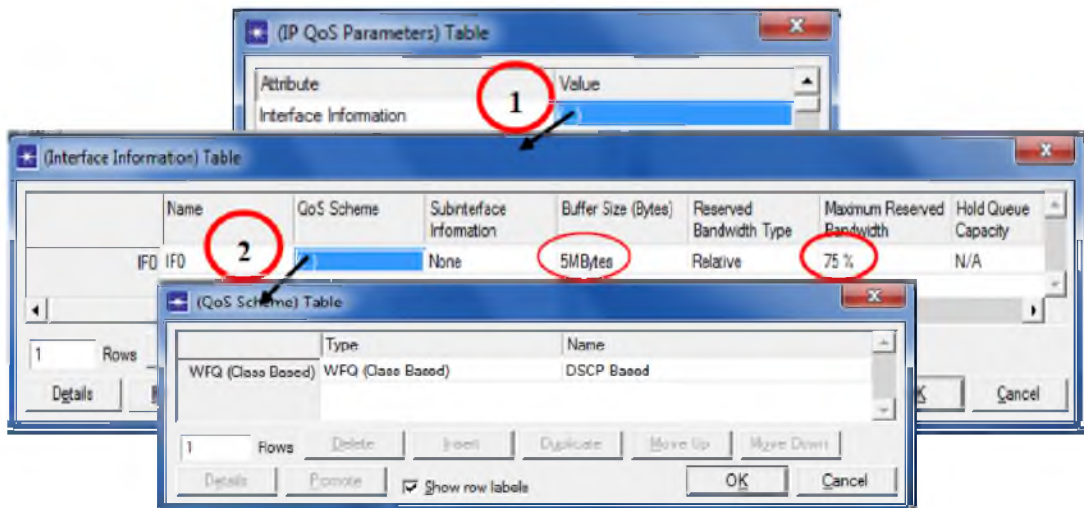


Figura 3. 5: Configuración de QoS para nodos fijos y móviles en redes inalámbricas.  
Elaborado por: Autor.

### b. Configuración de QoS para nodos fijos y móviles.

Los parámetros específicos de QoS están disponibles en función de cada interfaz en cada nodo enrutador o estación de trabajo. El sub-atributo denominado **“Interface Information”** en el atributo **“IP Parameters QoS”** se

utiliza para especificar esta información como: esquema de QoS, tamaño del búfer, máximo ancho de banda reservado, etc., tal como se muestra en la figura 3.5.

### 3.1.3. Configuración de parámetros de APs y WiFi SS.

El estándar IEEE 802.11g se utiliza para el escenario de simulación de una red inalámbrica híbrida. Incluso a través de algunas de los parámetros relacionados de WiFi SS y WiMax\_wlan\_router (AP) se cambian entre los diferentes escenarios; muchos de ellos permanecen sin cambios. Todos los parámetros comunes a todos los escenarios se muestran en la Figura 3.6.

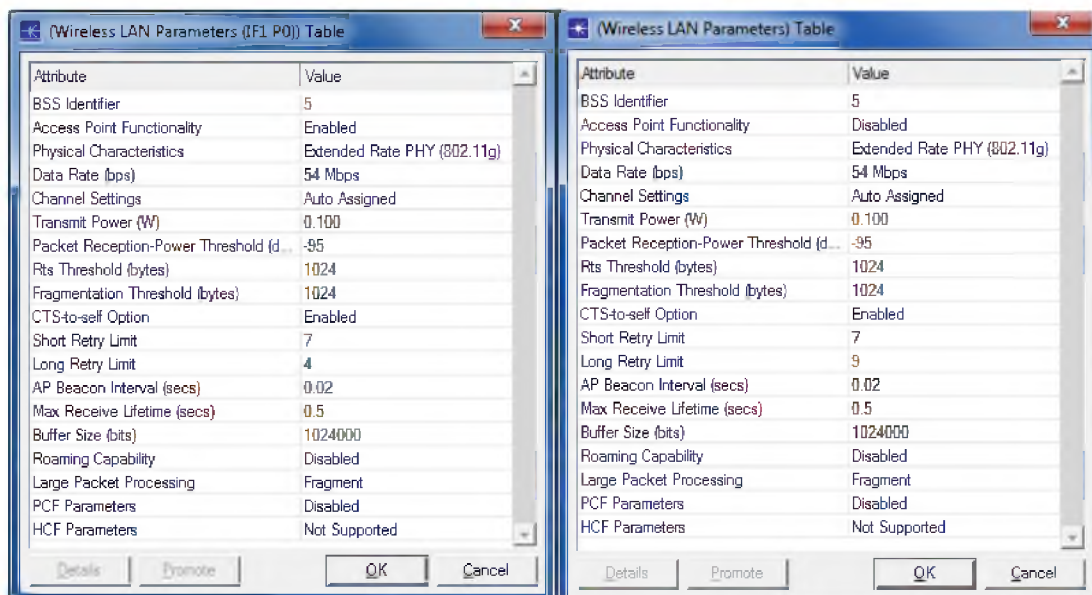


Figura 3. 6: Configuración de parámetros para APs y WLANs.

Elaborado por: Autor.

Con la finalidad de asociar los nodos WiMax\_wlan\_router (AP) y WiMax BS, una dirección de WiMax MAC debe asignarse manualmente al nodo estación base (*Base Station, BS*) bajo parámetros WiMax y luego especificar



la dirección MAC de la BS en el nodo enrutador de la estación de abonado (*Subscriber Station, SS*) bajo parámetros WiMax y SS (véase la figura 3.7).

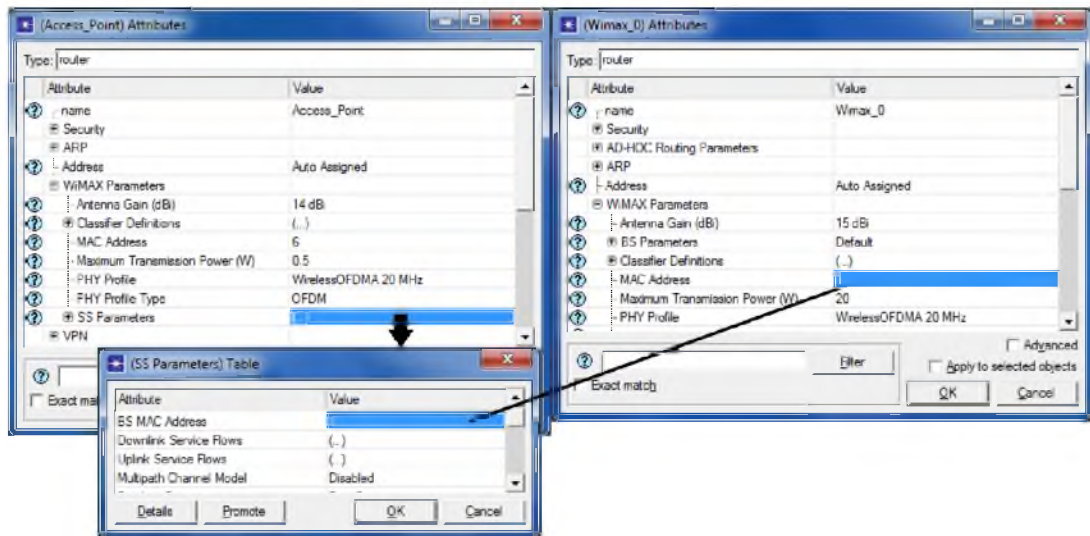


Figura 3. 7: Configuraciones de atributos para asociar los nodos SSs y BSs.  
Elaborado por: Autor.

Los nodos WLAN requieren una configuración manual de los valores de ID del SRS en todos los puntos de acceso WLAN y su correspondiente los mismos valores a los clientes WLAN (véase la figura 3.8).

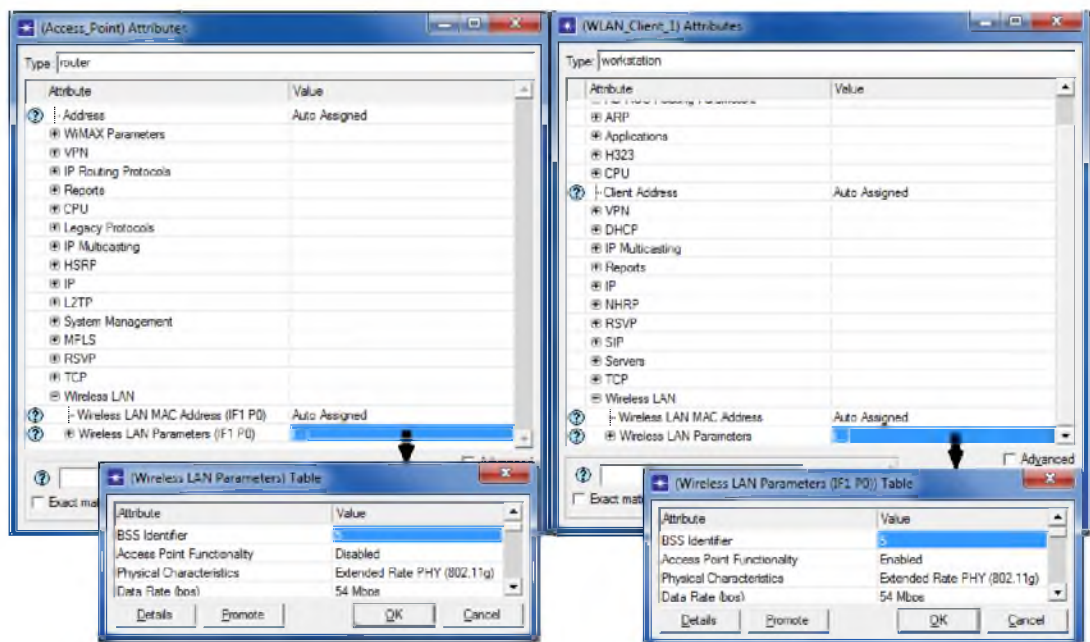


Figura 3. 8: Configuraciones de atributos para asociar los nodos SSs y APs.  
Elaborado por: Autor.

#### **3.1.4. Escenarios de simulación para redes inalámbricas híbridas.**

Los siguientes escenarios para la simulación de la red inalámbrica híbrida se muestra en la tabla 3.1 y que se explicarán durante el transcurso del trabajo de titulación para brindar el modelo eficaz de Triple Play en una red inalámbrica híbrida. Los valores de los parámetros y tipos de aplicaciones configuradas que se presentan en la sección 3.1.2.1 se utilizan para mostrar el rendimiento de tener 2 a 12 usuarios WiFi que se conectan a un solo punto de acceso (AP) y para realizar pruebas móviles de WiFi y WiMax con distancias máximas.

Hay dos tipos de datos estadísticos, a saber, el parámetro estadístico mundial y datos estadísticos del nodo final. Estos estadísticos serán recogidos de los resultados obtenidos en los escenarios de simulación y se muestran en la sección 3.2. Los principales ajustes y parámetros de estos escenarios son:

1. Tiempo de simulación: se establece en 500 segundos.
2. Modo de eficiencia: Capa física y Movilidad y alcance (dependiente de escenarios).
3. Ancho de banda: se establece en 20 MHz.
4. Frecuencia Base: se establece en 3.5GHz.
5. Definición clase de servicio MAC: en la figura 3.9 se muestra la configuración de la MAC.

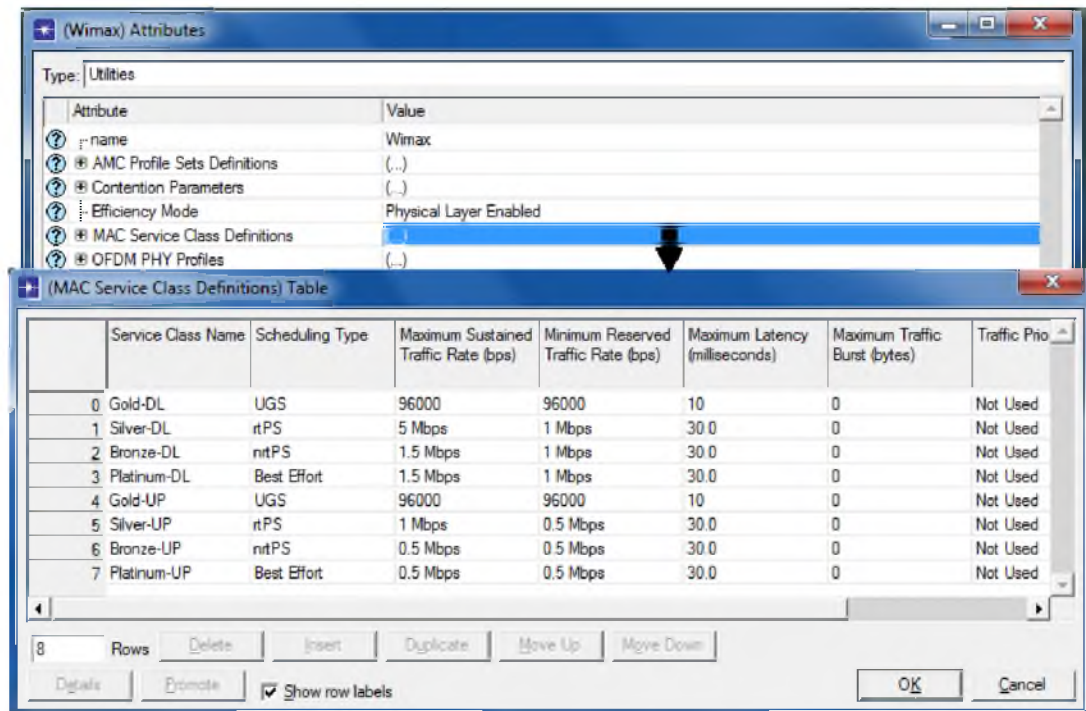


Figura 3. 9: Configuración de atributos de la MAC.

Elaborado por: Autor

6. Perfiles OFDMA PHY: en la figura 3.10 se muestra la configuración de OFDMA PHY.
7. Configuración de estación base (BS): en la figura 3.11 se muestra la configuración de la BS.
8. Configuración de puntos de acceso (APs) y estaciones de abonado (SSs): en la figura 3.10 se muestra la configuración de.

Tabla 3. 1: Escenarios de simulación para redes inalámbricas híbridas.

#	Scenario Name	Saved	Results	Sim Duration	Time Units
1	WiFi with 2 users	saved	out of date	500	second(s)
2	WiFi with 4 users	saved	out of date	500	second(s)
3	WiFi with 8 users	saved	out of date	500	second(s)
4	WiFi with 12 users	saved	out of date	500	second(s)
5	Maximum Rang of Mobile Wifi Free Space path loss	saved	up to date	10	minute(s)
6	Maximum Rang of Mobile Wifi Pedestrian path loss	saved	up to date	10	minute(s)

Elaborado por: Autor.

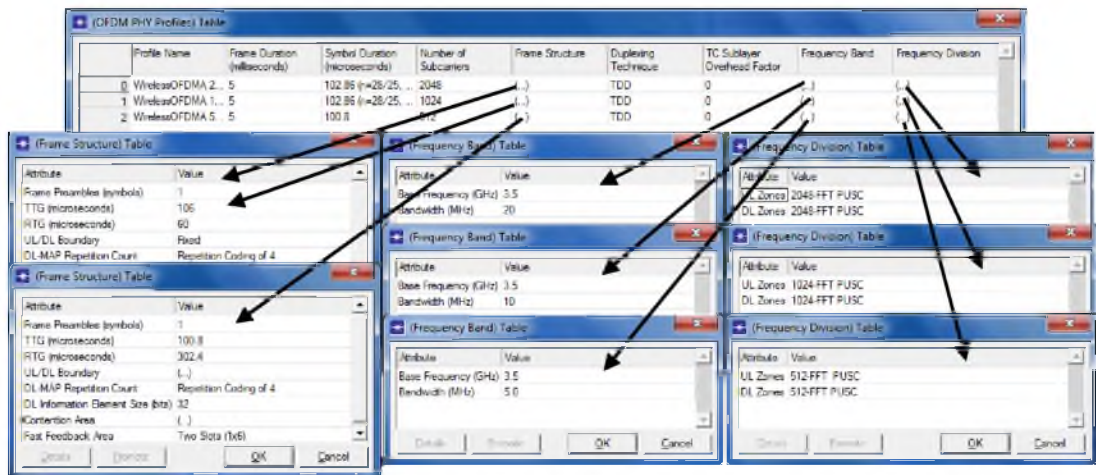


Figura 3. 10: Configuración del perfil de OFDMA PHY.  
Elaborado por: Autor

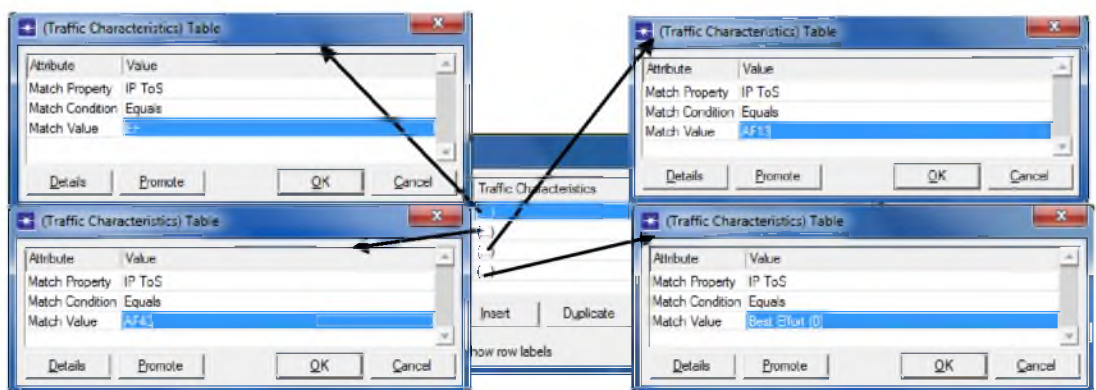


Figura 3. 11: Configuración de estaciones base.  
Elaborado por: Autor

Para los escenarios 1, 2, 3 y 4: se estudia el vínculo de la red WiFi. Es decir, dentro de la misma oficina, el número de usuarios de WiFi se incrementa de 2 a 4, de 4 a 8 y luego a 12 usuarios respectivamente. Las distancias de los nodos de los usuarios de WiFi se mantienen a 50 m del punto de acceso (AP). La atenuación de propagación llamada "Pathloss" se elige para "espacio libre" en todos estos escenarios. Debemos considerar las siguientes configuraciones de los escenarios en mención: el retardo o delay, rendimiento, retardo de variación y de paquetes de datos caídos. La figura 3.12 muestra la disposición de los objetos en estos escenarios.



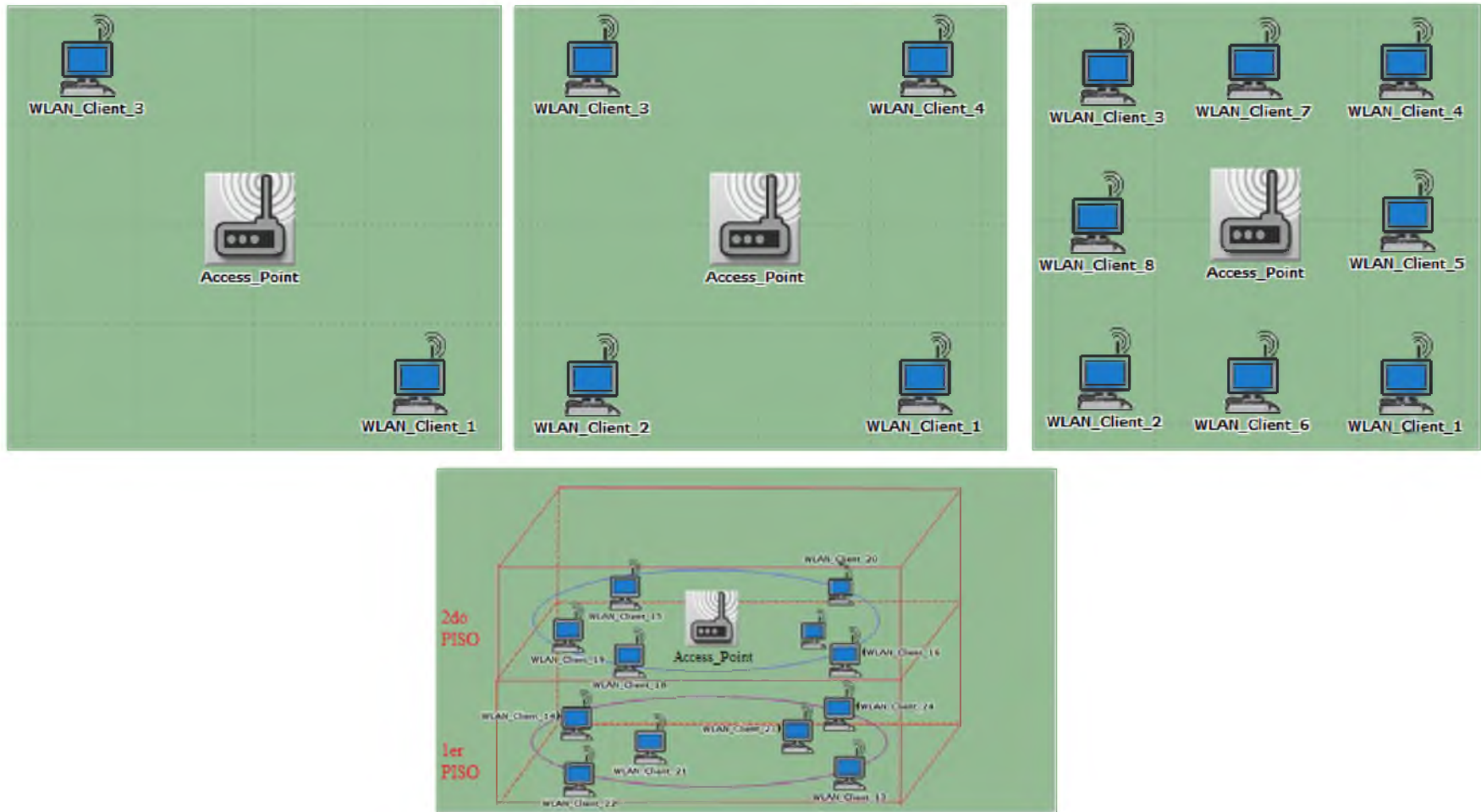


Figura 3. 12: Disposición de los dispositivos inalámbricos para los escenarios 1, 2, 3 y 4.  
Elaborado por: Autor

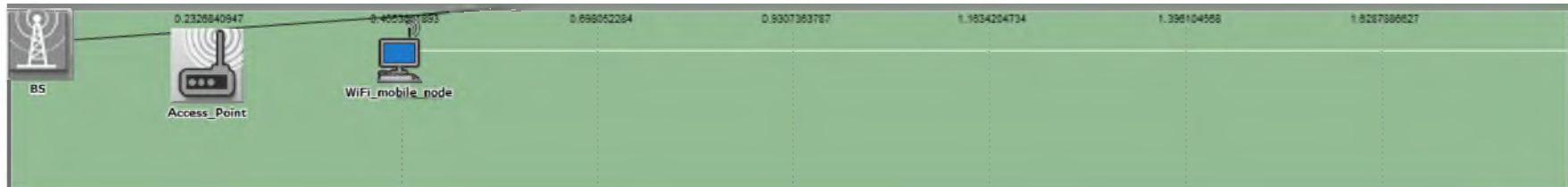


Figura 3. 13: Disposición de los dispositivos inalámbricos para el escenario 5.  
Elaborado por: Autor

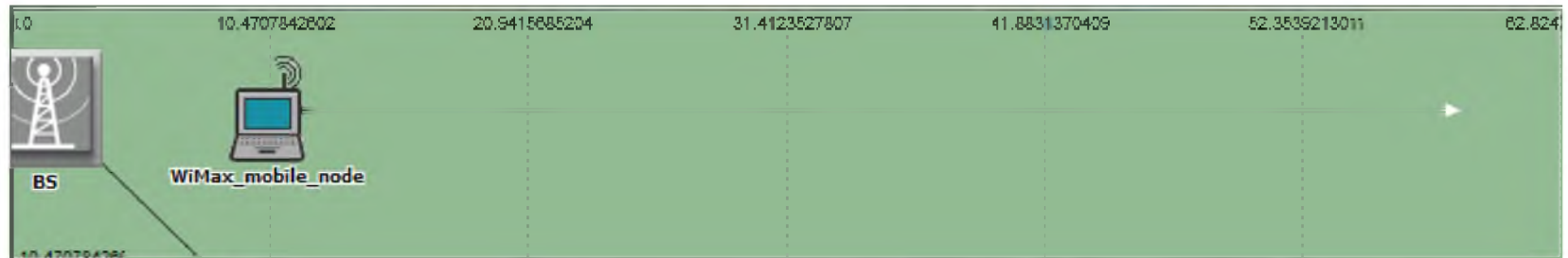


Figura 3. 14: Disposición de los dispositivos inalámbricos para el escenario 6.  
Elaborado por: Autor

Para los escenarios 5 y 6: Las figuras 3.13 y 3.14 muestran la disposición de los dispositivos en estos escenarios y el camino de la estación de trabajo en movimiento. El alcance máximo de los enlaces WiFi se determinan moviendo el nodo móvil WiFi de distancia del punto de acceso con 200 m y 10 Km/h mediante la definición de una trayectoria. La gama máxima del enlace WiMax también se determina moviendo el nodo móvil WiMax lejos de la estación base (BS) a 10 km y velocidad de 10Km/h para encontrar el punto de que los datos no están siendo recibidos en el nodo de estación móvil (*Mobile Station, MS*). Se escoge nuevamente el Pathloss para "espacio libre" en ambos escenarios.

En resumen, un panorama de los escenarios de simulación de la red inalámbrica híbrida cuya configuración en los servicios Triple Play integran la red WiMax y WiFi tal como se ilustra en la figura 3.15. Los componentes de la red inalámbrica híbrida descrita en la subsección anterior se ilustran brevemente en la figura 3.15. Un escenario integrado que comprende puntos de acceso WLAN y el backbone WiMax es desarrollado. Un tipo especial de nodo llamado "**SS\_WiMAX\_WLAN\_AP**" tiene doble pila (*Dual Stack, DS*) y actúa tanto como AP WLAN y SS WiMax están bajo la cobertura de la estación base. Este nodo al mismo tiempo se comporta tanto como la estación de abonado de la red y el punto de acceso del punto caliente inalámbrico WiMax y actúa como un puente.

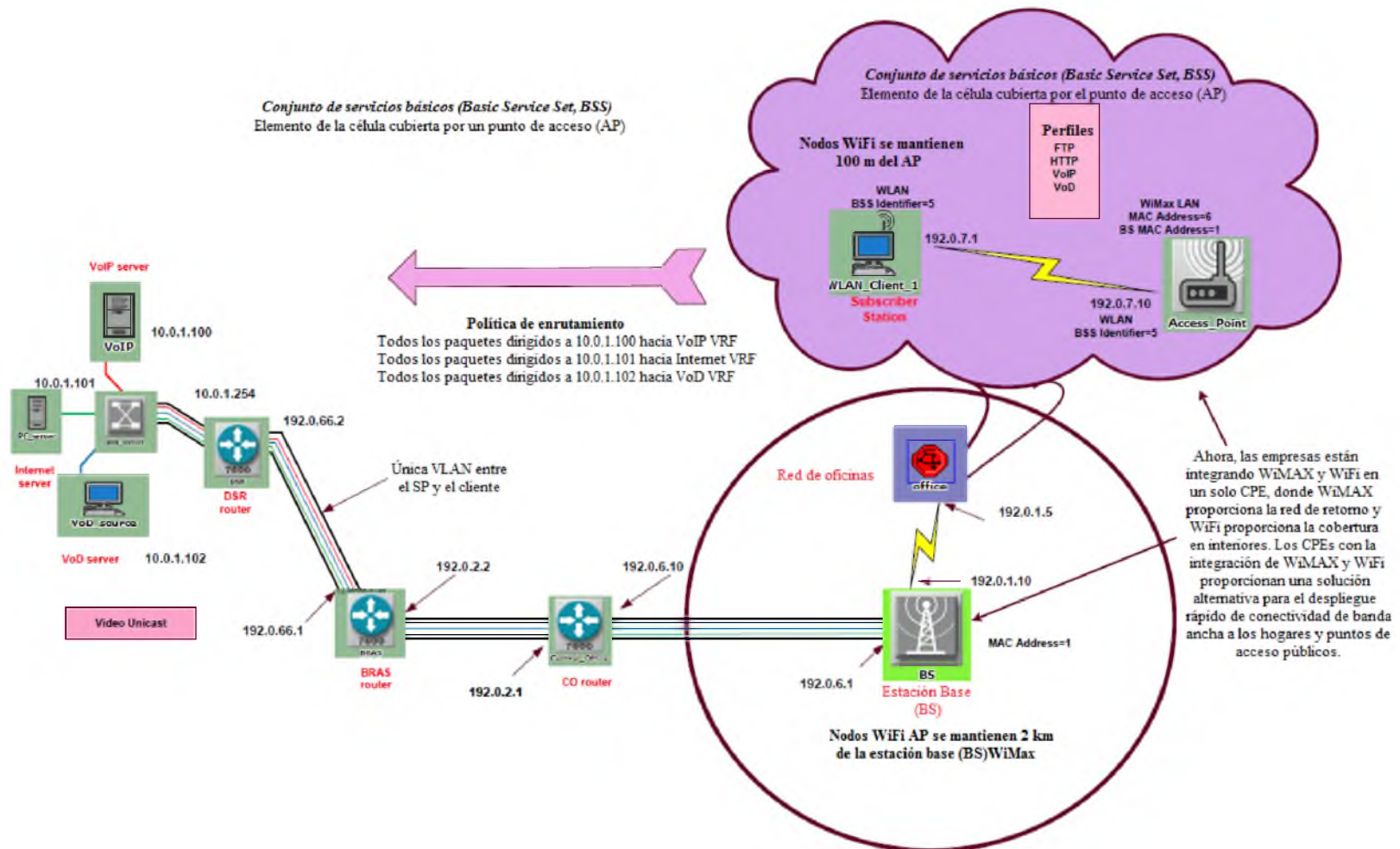


Figura 3. 15: Arquitectura de red inalámbrica híbrida para servicios Triple-Play.

Elaborado por: Autor

### 3.2. Resultados de los escenarios de simulación de la red inalámbrica híbrida.

El proceso de simulación se divide en 6 escenarios (véase la tabla 3.1), los resultados obtenidos para cada escenario se explican a continuación:

#### 3.2.1. Resultados de los escenarios de simulación 1, 2, 3 y 4.

En estos escenarios, se estudia la tecnología WiFi con servicios Triple Play. Las mismas distancias para los nodos WiFi SS del AP es de 50 m. Dentro de una misma oficina, el número de usuarios de WiFi se incrementa de 2 a 4, 8, y 12. Los resultados (estadísticas globales) de los escenarios son recogidos y agrupados junto con un número distinto de nodos WiFi SS.

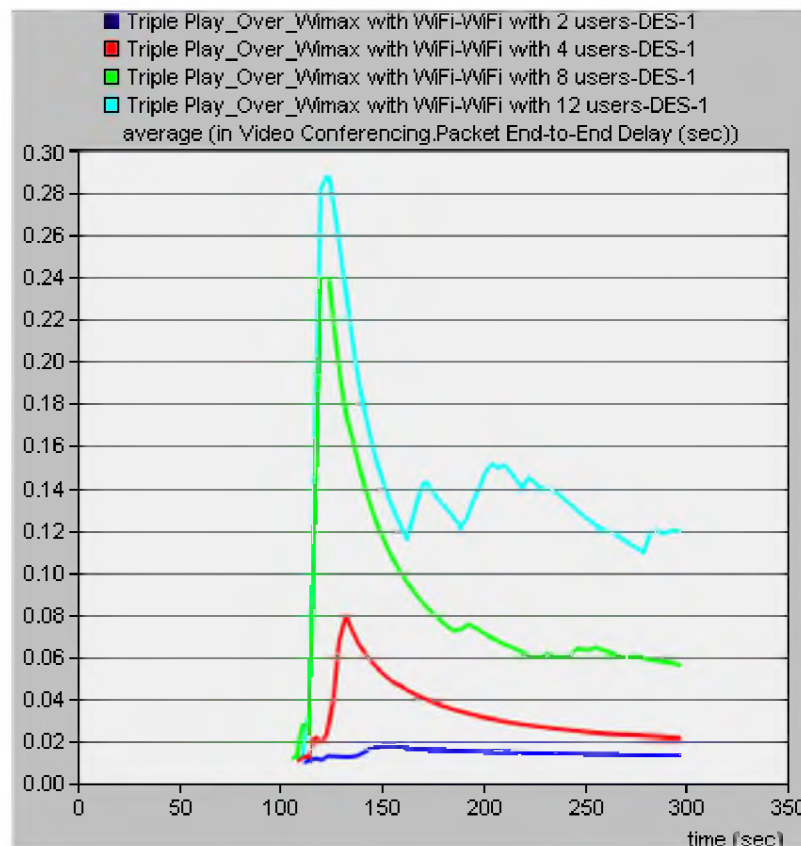


Figura 3. 16: Paquete de retardo de extremo a extremo para 2, 4, 8 y 12 usuarios.

Elaborado por: Autor

El paquete de retardo de extremo a extremo y la demora de variación (Jitter) son los primeros indicadores del rendimiento que se utilizan para cuantificar los servicios de video contenidos en la transmisión a través de la red local inalámbrica (WLAN) para un número diferente de nodos WiFi SS tal como se muestran en las figuras 3.16 y 3.17.

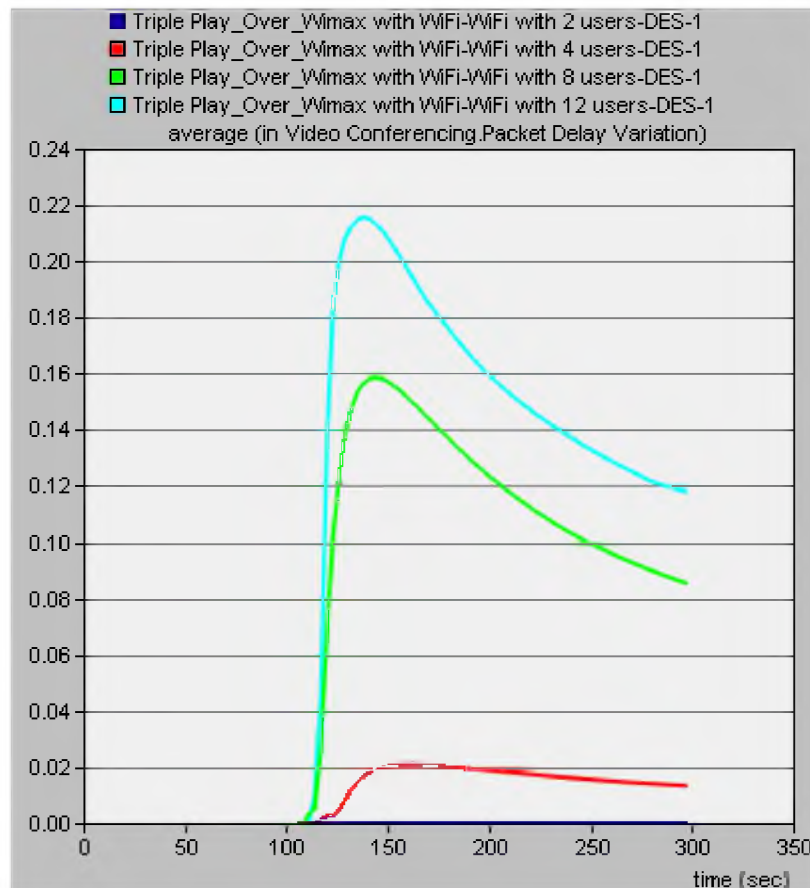


Figura 3. 17: Variación del retardo de paquetes para 2, 4, 8 y 12 usuarios.  
Elaborado por: Autor

Las estadísticas globales de los datos de WLAN cayeron (porcentaje de desbordamiento de Buffer) en “bps” y el tráfico IP disminuyó, estas son las mediciones de rendimiento que se utilizan para cuantificar los servicios Triple Play a través de WiFi con un mayor número de usuarios tal como se muestran en las figuras 3.18 y 3.19.

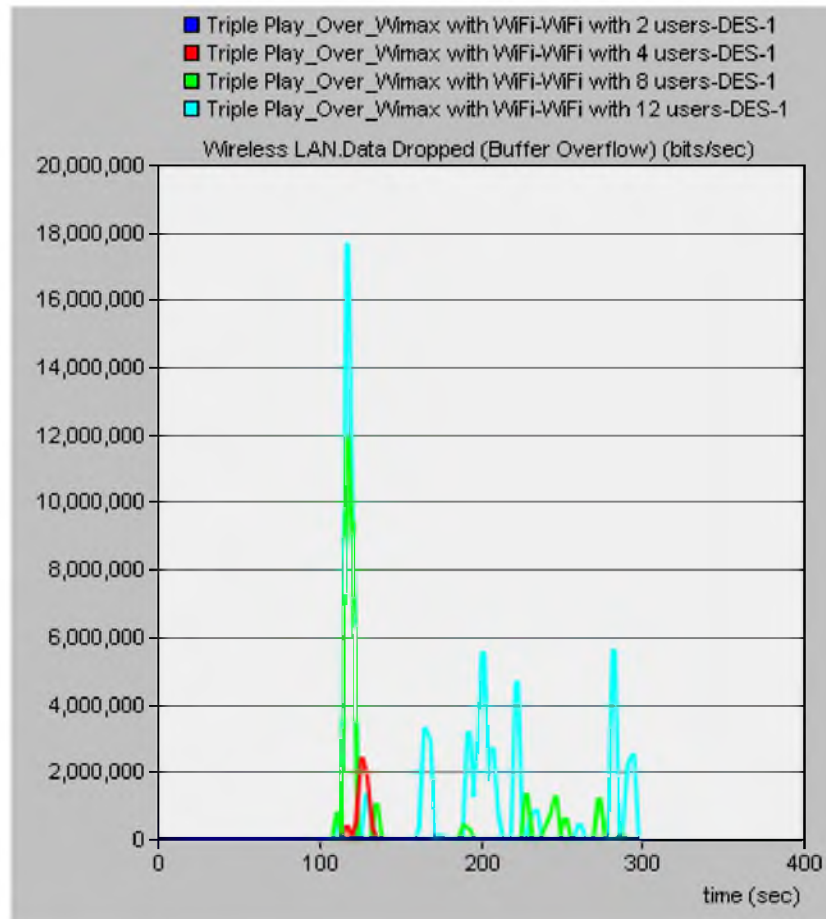


Figura 3. 18: Desbordamiento de Búfer para 2, 4, 6 y 8 usuarios.  
Elaborado por: Autor

El rendimiento es el indicador final utilizado en la cuantificación del rendimiento del sistema Triple Play a través de WiFi tal como se muestra en la figura 3.20. El rendimiento se define como la carga de tráfico en bps (bit/s).

En estos cuatro escenarios, el rendimiento representa la cantidad de voz, vídeo, tráfico HTTP y FTP recibidos en bits por segundo (bps) en promedio para cada conexión a la red inalámbrica híbrida.



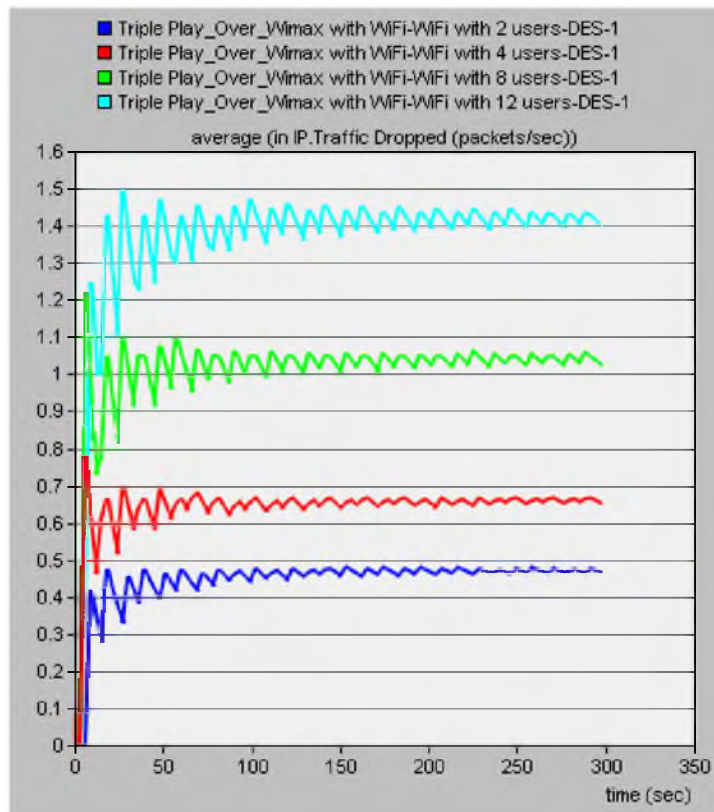


Figura 3. 19: Promedio del desbordamiento del tráfico IP.  
Elaborado por: Autor

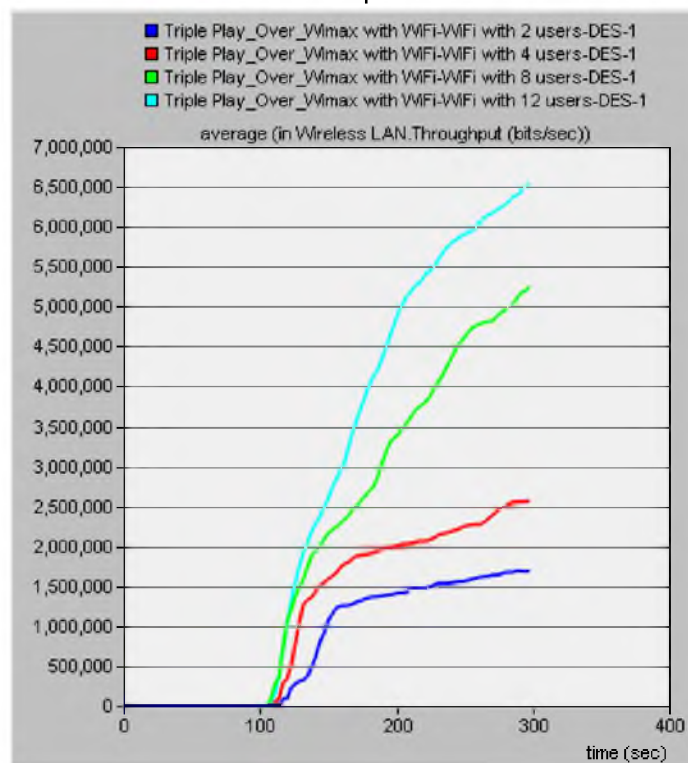


Figura 3. 20: Rendimiento promedio en una red WLAN.  
Elaborado por: Autor



### **3.2.2. Resultados de los escenarios de simulación 5 y 6.**

En estos escenarios, se estudian las distancias máximas tanto para WiFi y el nodo móvil de WiMax. El alcance máximo del enlace WiMax se determina moviendo el nodo móvil de WiMax lejos de la estación base (BS) mediante la definición de una trayectoria. El alcance máximo del enlace WiFi también se determina moviendo el nodo móvil de WiFi lejos del punto de acceso (AP) mediante la definición de una trayectoria. Estos resultados se muestran en las figuras 3.21 y 3.22.

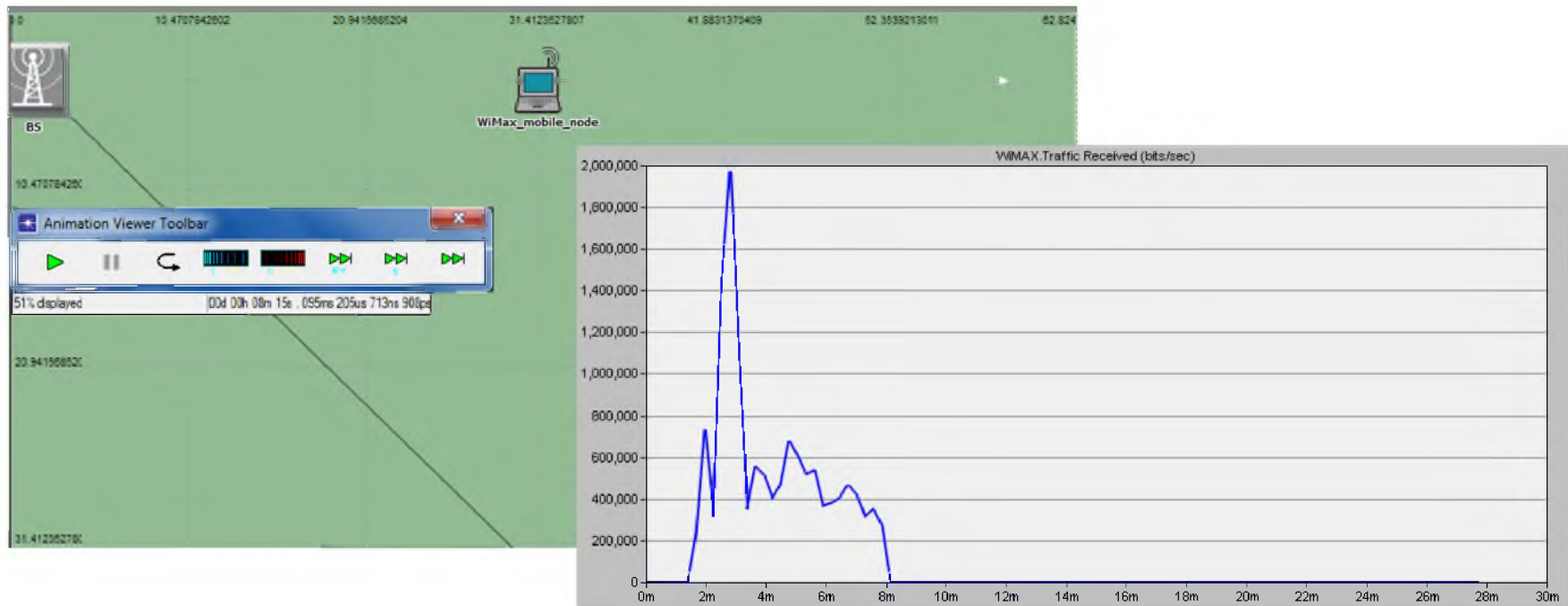


Figura 3. 21: Tráfico recibido en la red WiMAX.

Elaborado por: Autor

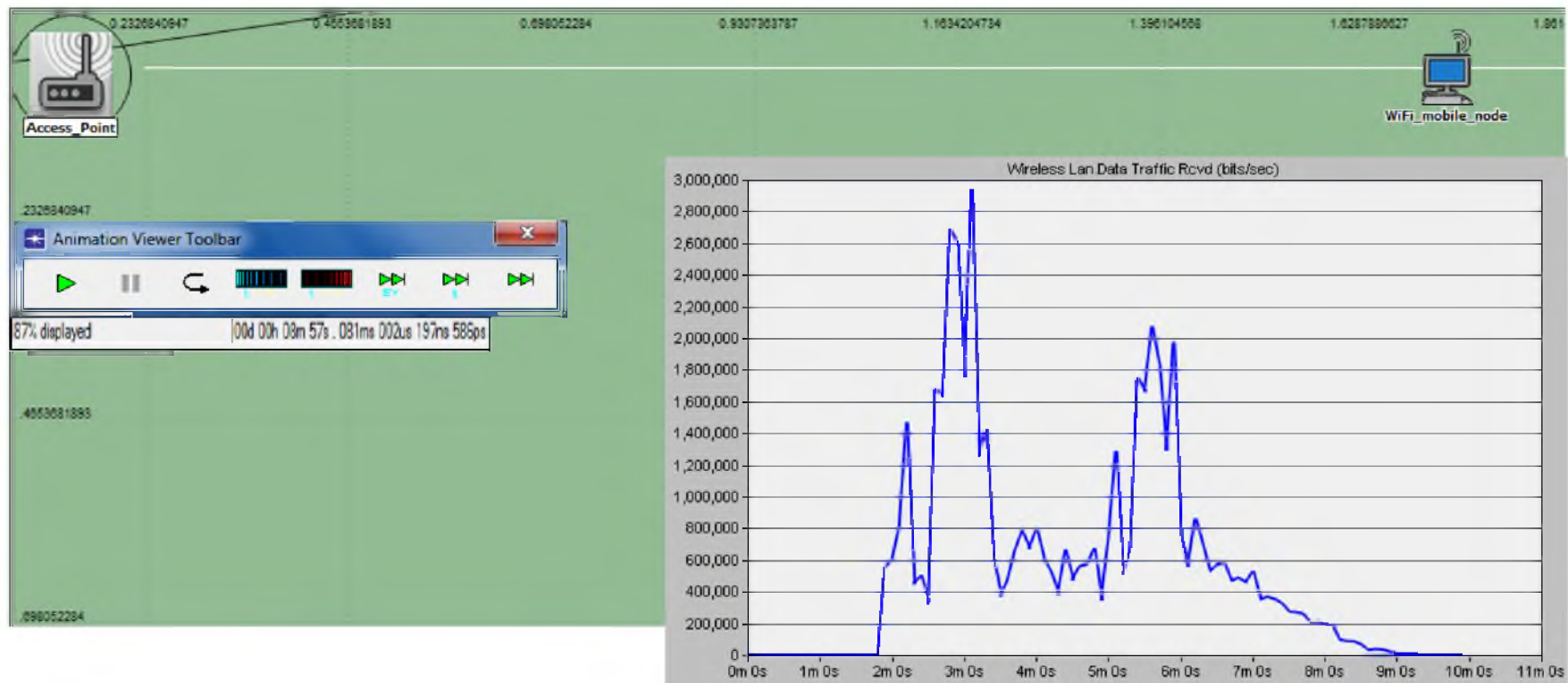


Figura 3. 22: Tráfico de datos recibido en una WLAN.  
Elaborado por: Autor

### **3.3. Discusión de los resultados obtenidos en los escenarios de simulación de la red inalámbrica híbrida.**

Lo que se comprende a partir de los resultados obtenidos en la sección 3.2.1 y 3.2.2 es que:

- Incrementando el número de usuarios que acceden al mismo AP, también aumenta el retardo de extremo a extremo y la variación del retardo de paquetes para el servicio de video.
- El tamaño del buffer del router de la red local inalámbrica (AP) es de 1024000 bits (véase la configuración de la sección 3.1.3). Como el número de usuarios aumenta, la cantidad bits recibidos en el router WLAN también aumenta, y el buffer rápidamente se desborda rápidamente lo que también conduce al aumento en los datos caídos. Adicionalmente, la disminución o caída promedio del tráfico IP y el rendimiento aumentará aproximadamente en el mismo orden que el número de usuarios aumenta.
- Uno de los factores que afectan a la red inalámbrica híbrida es la distancia. Los resultados muestran que los enlaces WiMax superan considerablemente los enlaces WiFi. El rango de WiMax es aproximadamente 16 veces más que el enlace WiFi. El rango de WiFi es de 1.3 km y el rango WiMax es 31.4 km. Estos escenarios están configuradas con una situación ideal, sin tener ninguna pérdida de propagación.

## **CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **4.1. Conclusiones.**

- En el estado del arte de las redes inalámbricas se caracterizaron las arquitecturas y conceptos fundamentales, la misma permitió conocer los elementos necesarios para proponer el modelo de simulación de la red inalámbrica híbrida, combinando WLAN, WiMAX y otros dispositivos inalámbricos.
- Aunque existen otras plataformas de simulación para sistemas de telecomunicaciones, se consideró al software Opnet Modeler como el más apropiado por su robustez y por disponer de librerías de todos los sistemas de telecomunicaciones.
- Los escenarios de simulación de la red inalámbrica híbrida han sido desarrollados y evaluados en la plataforma Opnet Modeler para observar el comportamiento o funcionalidad de la red propuesta.

### **4.2. Recomendaciones.**

- Revisar otras plataformas de simulación que permitan el desarrollo de modelos de simulación de los diferentes sistemas de telecomunicaciones que son empleados a nivel mundial, tales como las redes LAN, MAN, WAN, WLAN, WiMAX, PON, GPON, entre otras, así como diversas modulaciones y topologías .

- Proponer trabajos de titulación y de investigación básica para que los estudiantes de X Ciclo de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones realicen modelos de simulación de sistemas de telecomunicaciones a través del software Opnet Modeler.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andújar M., V. (2010). *Entorno de simulación en la banda ISM para test de algoritmos de detección espectral*. Madrid: Repositorio de Universidad Carlos III de Madrid.
- Chang, R., Chen, W., & Wen, Y. (2003). Hybrid Wireless Network Protocols. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1099-1109.
- Delgado Rodriguez, J. (2015). *Simulación y Evaluación del servicio triple play mediante la tecnología WiMAX*. Guayaquil: Repositorio Digital de la UCSG.
- Jakymec, J., & Bracho, D. (2009). Rendimiento de la Transmisión de Video en Redes Híbridas usando el Protocolo IPv6. *Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, 98-112.
- Law, D., & D'Ambrosia, J. (2016, Enero 01). *IEEE P802.3az Energy Efficient Ethernet Task Force*. Retrieved from IEEE P802.3ba: Architecture Overview: IEEE P802.3az Energy Efficient Ethernet Task Force
- Loo, J., Mauri, J., & Ortíz, J. (2011). *Mobile Ad Hoc Networks: Current Status and Future Trends*. CRC Press.

- López Barnés, R. (2008). *Red Basada en Acceso Inalámbrico (WiFi & WiMAX)*. Madrid: Repositorio Digital de la Universidad Autónoma de Madrid.
- Marsic, I. (2007). *Wireless Network: Local and Ad Hoc Networks*. New Jersey: Rutgers University.
- Mendoza A., N. (2016, Enero 02). *PBWORKS*. Retrieved from Redes de Alta Velocidad:  
<http://posgrado.pbworks.com/w/file/27861299/Redes%20de%20alta%20Veclocidad.pdf>
- Perkins, C. (2010). *Ad Hoc Networking*. Michigan: Addison-Wesley Professional.
- Pincay Chevez, A. (2014). *Simulación y Evaluación de escenarios del servicio 3Play mediante la tecnología ADSL*. Guayaquil: Repositorio Digital de la UCSG.
- Ponte G., F. (2000). *Arquitectura para Redes Inalámbricas Ad Hoc Híbridas*. Valencia: RiuNet Repositorio UPV.
- Zhang, G., Xu, Y., Wang, X., & Guizani, M. (2010). Capacity of Hybrid Wireless Networks with Directional Antenna and Delay Constraint. *IEEE Transactions on Communications*, 2097-2106.



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ROBERT XAVIER GUERRERO TROYA** con C.C: # **0916029796** autor del trabajo de titulación: **ESCENARIOS DE SIMULACIÓN DE UNA RED INALÁMBRICA HÍBRIDA PARA PROVEER SERVICIOS DE TRIPLE PLAY** 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, 14 de marzo de 2016

f. \_\_\_\_\_  
Nombre: ROBERT XAVIER GUERRERO TROYA.  
C.C: 0916029796



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

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

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Escenarios de simulación de una red inalámbrica híbrida para proveer servicios de triple play		
<b>AUTOR(ES)</b> (apellidos/nombres):	Robert Xavier Guerrero Troya		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b> (apellidos/nombres):	M. Sc. Edwin Fernando 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>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	14 de marzo de 2016	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	72
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Sistemas de Comunicaciones, Comunicaciones Inalámbricas		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Redes inalámbricas, WLAN, WiMAX, 3G		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>En la actualidad las comunicaciones inalámbricas son el segundo medio de transmisión más utilizado, después de las comunicaciones ópticas. La mayoría de empresas, colegios y universidades, ya sean estas públicas o privadas, utilizan las redes WLAN o redes WiFi. La integración de las redes WiMAX y WiFi dan lugar a las redes inalámbricas híbridas, por lo cual se realizó una investigación descriptiva de esta nueva red, que para nuestro país, no se utiliza. El presente trabajo de titulación consistió en desarrollar un modelo de simulación de una red inalámbrica híbrida a través de seis escenarios para proveer servicios de televisión, video sobre demanda e internet (conocido como Triple Play). El programa que se escogió para modelar la red inalámbrica híbrida es Opnet Modeler, es una herramienta robusta y muy utilizada para simular diferentes sistemas de telecomunicaciones e inclusive aplicando diferentes modulaciones digitales. Los escenarios propuestos para la red inalámbrica híbrida fueron evaluados correctamente en Opnet Modeler.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0994500802	<b>E-mail:</b> rxguerre@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> 0968366762		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>		

#### SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	