



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

TEMA:

**Análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN sobre
plataforma Opnet Modeler**

AUTOR:

Endara Estrella, Carlos Andrés

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

REVISOR:

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, Ecuador

20 de Septiembre del 2021



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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Endara Estrella, Carlos Andrés** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR



M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

DIRECTOR DE CARRERA



M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2021



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Endara Estrella, Carlos Andrés**

DECLARÓ QUE:

El componente práctico del examen complejo, Análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN sobre plataforma Opnet Modeler, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

ENDARA ESTRELLA, CARLOS ANDRÉS



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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Endara Estrella, Carlos Andrés**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN sobre plataforma Opnet Modeler** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

ENDARA ESTRELLA, CARLOS ANDRÉS

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento [Endara ECA-2021.docx](#) (D110575121)

Presentado 2021-07-18 22:32 (-05:00)

Presentado por fernandopm23@hotmail.com

Recibido edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje Revisión Examen Complexivo CARLOS ENDARA [Mostrar el mensaje completo](#)
1% de estas 16 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	http://201.159.223.180/bitstream/3317/10531/1/T-UCS
	Cabezas_Gloria_Final_1.docx
	http://201.159.223.180/bitstream/3317/13362/1/T-UCS
	TESIS KEVIN CHOEZ 25-08-17.docx
	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8589/1
	Tesis-PUCE-David.docx

1 Advertencias. Reiniciar Exportar Comp

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

TEMA:

Análisis

de rendimiento de redes WLAN y WSN sobre plataforma Opnet Modeler

AUTOR: Endara Estrella, Carlos Andrés

Componente práctico del examen complejo

previo

a la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REVISOR: M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús



DEDICATORIA

Dedico este trabajo investigativo a mi querida madre Alexandra Endara, quien siempre ha confiado en mí y ha velado por mi bienestar en todo momento, por empujarme a perseguir mis sueños y seguir adelante, ya que con su ejemplo y motivación llena mi corazón con inspiración y alegría; gracias a todos los esfuerzos que has tomado madre mía para que yo me pueda formar como un profesional de bien para el beneficio y progreso del pueblo ecuatoriano.

EL AUTOR

ENDARA ESTRELLA, CARLOS ANDRÉS

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida de amor; y a mi querida madre Alexandra Endara por estar siempre presente; por ser una madre perseverante, fuerte, por haberme criado en los buenos valores y haberme enseñado a ser un correcto y buen ser humano. Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que conforman la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar la carrera de Ingeniería en telecomunicaciones.

De igual manera mis agradecimientos a mi Tía Lorena Endara, que al igual que mi madre, siempre ha estado a mi lado y me ha empujado a perseguir mis sueños y cumplir mis metas en nombre de la fe, lo justo y Dios.

Así mismo agradezco a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional; gracias cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad. Finalmente quiero expresar mi mas grande y sincero agradecimiento al Ing. Edwin Fernando Palacios, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

EL AUTOR

ENDARA ESTRELLA, CARLOS ANDRÉS



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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS
DECANO

f. 

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DEL ÁREA

f. 

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas.....	XII
Resumen	XIII
Capítulo 1: Descripción General	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.	2
1.3. Definición del problema.	2
1.4. Objetivos del Problema de Investigación.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos.	3
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos	4
2.1. Sistemas de comunicaciones inalámbricos.....	4
2.2. Limitación de los sistemas de comunicación inalámbricos.....	6
2.3. Desvanecimiento en las comunicaciones inalámbricas.....	7
2.3.1. Desvanecimiento multitrayecto.....	8
2.4. Ventajas y desventajas de las WLAN.....	9
2.5. Estándar IEEE 802.11	10
2.6. Estándar IEEE 802.15.4	12
2.7. Fundamentos de las redes de sensores	14
Capítulo 3: Diseño, Implementación y Análisis de Resultados	16
3.1. Descripción general del componente práctico.....	16
3.2. Definiciones y terminologías principales.....	17
3.2.1. Coexistencia de estándares.	17
3.2.2. Coexistencia en el rendimiento de sistemas de comunicaciones.....	18

3.2.3. Coexistencia en la capacidad de sistemas de comunicaciones.....	18
3.2.4. Coexistencia en el área de cobertura.....	18
3.3. Modelado de coexistencia entre las comunicaciones inalámbricas de área local (WSN) y de sensores (WSN).....	19
3.4. Aspecto de potencia.....	20
3.5. Análisis de rendimiento de redes 802.15.4.....	23
3.5.1. Simulación de la red WLAN y WSN.....	24
CONCLUSIONES	30
RECOMENDACIONES.....	31
Bibliografía.....	32

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Diagrama funcional de coexistencia en redes inalámbricas.	4
Figura 2. 2: Desvanecimiento en transmisión inalámbrica con línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS).....	7
Figura 2. 3: Ejemplo de desvanecimiento multitrayecto.....	9
Figura 2. 4: Arquitectura del protocolo 802.11.	11
Figura 2. 5: Canales de frecuencias de la banda ISM.	11
Figura 2. 6: Arquitectura del protocolo 802.15.4.	13
Figura 2. 7: Topologías en red de sensores (a) estrella, (b) enmallada y (c) árbol.....	14

Capítulo 3

Figura 3. 1: Canales de frecuencia compartida entre WLAN y WSN.	16
Figura 3. 2: Métodos de distribución en la compartición del espectro de frecuencias en comunicaciones inalámbricas.....	18
Figura 3. 3: Regiones o áreas de cobertura en la coexistencia de WLAN y WSN.	21
Figura 3. 4: Densidad espectral de potencia para el estándar IEEE 802.11.23	
Figura 3. 5: Niveles jerárquicos del programa Opnet Modeler.....	25
Figura 3. 6: Escenario de simulación de redes WLAN y WSN.....	26
Figura 3. 7: Rendimiento de los nodos WSN priori y a posteriori de que suceda interferencia WLAN para escenario 1.	27
Figura 3. 8: Rendimiento de los nodos WSN priori y a posteriori de que suceda interferencia WLAN para escenario 2.	28

Índice de Tablas

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación de la red WLAN y WSN.	20
Tabla 3. 2: Coexistencia en la cobertura de redes WLAN.	22

Resumen

En el presente documento se presenta el componente práctico para el examen complejo denominado “Análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN usando plataforma Opnet Modeler” el mismo que fue implementado mediante una emulación en el entorno de simulación Opnet Modeler, un escenario en el cual tanto las redes de sensores inalámbricos y las redes de área local inalámbricas coexistan entre sí para así determinar las ventajas y desventajas de cada una, así como también su performance e implementación en redes LAN y también redes WAN. Se hace un análisis a fondo del escenario tomando en cuenta el entorno teórico, repasando cada punto, normas y tecnología a emplearse para de esta manera dar un mejor rendimiento a cada tipo de red inalámbrica y considerar en que escenario es apropiada su implementación. Se analiza cada tecnología con sus ventajas, desventajas e implementación individualmente, y finalmente se analizan los datos obtenidos mediante la simulación en la plataforma Opnet Modeler.

Palabras claves: Redes, Alámbricas, Inalámbricas, Rendimiento, Sensores, WLAN

Capítulo 1: Descripción General

1.1. Introducción.

El campo de la comunicación inalámbrica se ha desarrollado muy rápidamente en todas las dimensiones durante la última década con una cantidad de suscriptores, tecnologías globales mejoradas y estándares inalámbricos. La demanda de nuevas tecnologías, mejor calidad, servicios de bajo costo, así como transmisiones de mayor velocidad de datos, son las principales motivaciones detrás de la evolución de las comunicaciones inalámbricas.

1.2. Antecedentes.

Análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN usando plataforma Opnet Modeler

1.3. Definición del problema.

Los estándares IEEE 802.11b e IEEE 802.11g (redes inalámbricas de área local, WLAN) son probablemente los sistemas inalámbricos más implementados. Como tecnología de bajo consumo y bajo costo, el estándar IEEE 802.15.4 está estableciendo su lugar en el mercado como un habilitador para las redes de sensores inalámbricos (WSN) emergentes. Debido a que admiten aplicaciones complementarias, a menudo se colocan entre sí. Al igual que WLAN ya explicado, las WSN también utilizan la banda de frecuencia de 2.4 GHz. Por tal motivo, surge la necesidad de realizar el análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN usando el simulador de redes Opnet Modeler.

1.4. Objetivos del Problema de Investigación.

1.3.1. Objetivo General.

Realizar el análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN usando plataforma Opnet Modeler.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Describir los fundamentos teóricos del sistema de las redes WLAN, WSN y la plataforma Opnet Modeler.
- Diseñar los distintos escenarios de simulación de Análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN
- Evaluar comparativamente los escenarios de simulación de redes WLAN sobre WSN y viceversa.

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos

2.1. Sistemas de comunicaciones inalámbricos.

La figura 3.1 muestra un sistema coexistente de WLAN y WSN propuesto por Zahurul et al., (2016). Se puede observar diferentes dispositivos que se utilizan en redes Wi-Fi enmalladas y WSN.

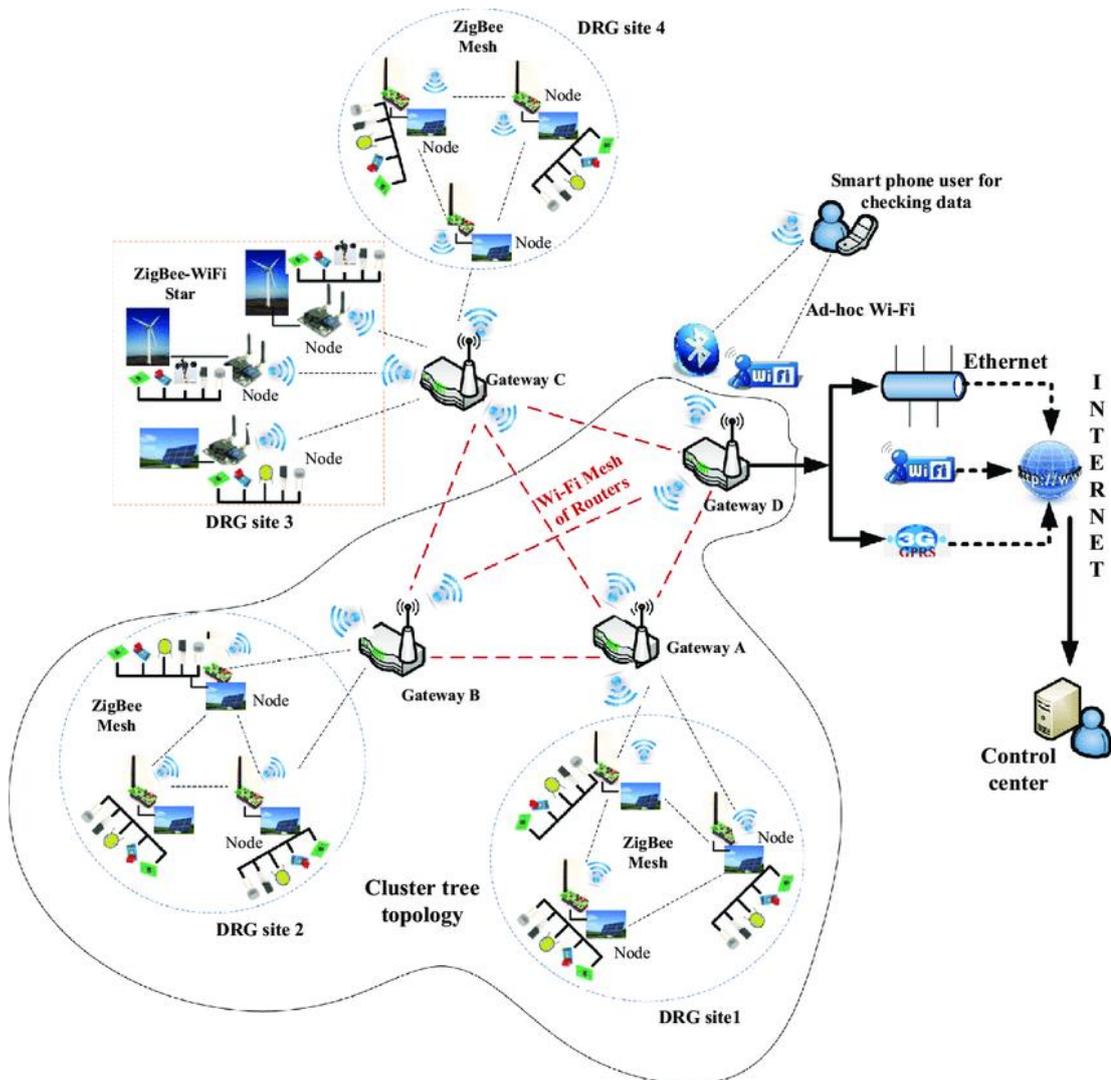


Figura 2. 1: Diagrama funcional de coexistencia en redes inalámbricas.
Fuente: (Zahurul et al., 2016)

Los sistemas de comunicaciones inalámbricas de mayor demanda en la actualidad son las redes inalámbricas de área local (WLAN) según estándar IEEE 802.11 y redes inalámbricas de sensores (WSN) de acuerdo con el estándar 802.15.4. WLAN/Wi-Fi (IEEE 802.11) es compatible con la tecnología de comunicación punto a punto y punto a multipunto de alta velocidad. También proporciona robustez; por tanto, varios usuarios pueden

compartir la misma banda de frecuencias. ZigBee es compatible con IEEE802.15.4 y tiene dos categorías: XBee y XBee-Pro. XBee-Pro es superior a XBee-, ya que admite algunas funciones adicionales, como la autorreparación, la capacidad de equilibrio en todos los nodos, un protocolo de vector de enrutamiento ad hoc mejorado, la garantía de entrega de paquetes mediante acuse de recibo y la gestión de baja energía mediante la implementación de cinco modos de reposo diferentes.

Por ejemplo, los sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO) desempeñan un papel clave en los sistemas de comunicación inalámbrica, debido a su mejora prometedora en términos de relación señal/ruido (SNR) y tasa de error de bits (BER). La combinación de sistemas MIMO con espectro ensanchado en la técnica de acceso múltiple mejora el rendimiento del sistema de comunicación inalámbrica.

La comunicación inalámbrica a través de un canal inalámbrico tiene tres distinciones fundamentales de la comunicación por cable. Primero está el desvanecimiento a gran y pequeña escala, segundo es la interferencia entre los transmisores y los pares de receptores (esta es parte del estudio del presente componente práctico) y tercero es la movilidad del usuario en el sistema de comunicación inalámbrica. La aparición de desvanecimiento, interferencia y movilidad dificulta el diseño de un sistema de comunicación inalámbrica.

Un problema importante en las comunicaciones inalámbricas que prohíbe la transmisión de datos a alta velocidad es el efecto del desvanecimiento por trayectos múltiples. El desvanecimiento es causado por interferencia constructiva o destructiva producida cuando diferentes versiones de la señal transmitida llegan al receptor a través de diferentes trayectos con diferentes retardos, atenuaciones y fases. El desvanecimiento selectivo de frecuencia es un tipo de canal en el que se crea la interferencia entre símbolos (ISI) debido a la dispersión temporal de los símbolos transmitidos dentro del canal.

La interferencia entre símbolos causa una degradación significativa del rendimiento y, por esta razón, para lograr altas velocidades de datos, se deben utilizar tecnologías que funcionen bien en canales con desvanecimiento. La combinación de diversidad es un método muy eficaz para superar el problema del entorno de desvanecimiento inalámbrico profundo (WDFE) en el que las señales recibidas en cada antena se combinan para mejorar el rendimiento del sistema.

2.2. Limitación de los sistemas de comunicación inalámbricos.

La generación de sistemas inalámbricos debe contar con servicios de datos de alta tasa de bits en comparación con sistemas inalámbricos actuales. Además, el sistema debe ser confiable en diferentes tipos de WDFE. Cuando se transmite la señal, las distintas copias de esta sufren diferentes atenuaciones, distorsiones, retrasos y desplazamientos de fase, y el canal de comunicación inalámbrico sufre muchas deficiencias, como:

1. El ruido térmico suele modelarse como ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN),
2. La pérdida de potencia en el trayecto a medida que la señal de radio se propaga,
3. La sombra debida a la presencia de obstáculos fijos en el trayecto radioeléctrico, y
4. El desvanecimiento que combina el efecto de múltiples trayectorias de propagación.

El principal problema de los sistemas de comunicación inalámbricos es que sufren graves degradaciones debido al desvanecimiento en un entorno inalámbrico. Dado que el canal es una entidad de comportamiento aleatorio, cambiará la señal transmitida de forma aleatoria y si no detecta y demodula la señal de forma coherente, la reconstrucción es imposible. El desvanecimiento debido a varios factores como la velocidad del transmisor, la velocidad del receptor, la velocidad de los objetos circundantes y los parámetros del canal, como el retardo y la dispersión Doppler, hace que aumente la BER. Este aumento de la BER generalmente significa que la señal transmitida se corrompe en los sistemas de comunicación inalámbricos.

2.3. Desvanecimiento en las comunicaciones inalámbricas.

Las ondas de radio se propagan desde una antena transmisora y viajan por el espacio libre sufriendo absorción, reflexión, refracción, difracción y dispersión. Se ven muy afectadas por el suelo, los edificios, los árboles y otros objetos presentes en su trayectoria. Todo ello es responsable de las características de la señal recibida. Los dos factores principales que afectan a la comunicación fiable de un mensaje a través del canal son el ruido y el desvanecimiento.

El ruido en el sistema de comunicación se suele modelar como AWGN, porque es conveniente tratar el ruido aditivo que es de naturaleza multiplicativa. El canal AWGN es un ruido que afecta a la señal transmitida cuando pasa por el canal. Contiene un espectro de frecuencias continuo y uniforme en una banda de frecuencias determinada.

El desvanecimiento se utiliza para describir las rápidas fluctuaciones de las amplitudes, las fases o los retrasos multitrayectoria de una señal de radio en un corto periodo de tiempo o distancia de viaje. El desvanecimiento se debe a la interferencia entre dos o más versiones de la señal transmitida que llegan al receptor en momentos ligeramente diferentes. Este tipo de desvanecimiento se conoce como desvanecimiento por trayectos múltiples. En la figura 2.2 se muestra el tipo de desvanecimiento multitrayecto.

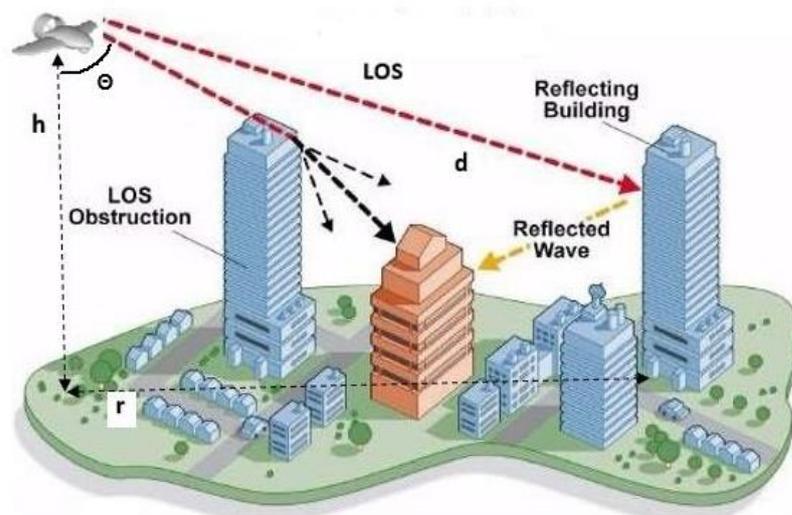


Figura 2. 2: Desvanecimiento en transmisión inalámbrica con línea de vista (LOS) y sin línea de vista (NLOS).

Fuente: (Sharma et al., 2018)

En las zonas urbanas, el desvanecimiento se debe a que la altura de las antenas móviles está muy por debajo de la altura de las estructuras circundantes, por lo que no existe una única trayectoria de línea de visión (LOS) hacia la estación base. Incluso cuando existe la línea de visión, se producen múltiples trayectorias debido a las reflexiones del suelo y de las estructuras circundantes. Las ondas de radio entrantes llegan desde distintas direcciones con diferentes retrasos de propagación.

La señal recibida por el móvil en cualquier punto del espacio puede estar formada por un gran número de ondas planas con amplitudes y fases distribuidas aleatoriamente. Incluso cuando un receptor móvil está inmóvil, la señal puede desvanecerse debido al movimiento de los objetos circundantes en el canal de radio. En condiciones de propagación sin línea de visión (NLOS), las señales llegan al receptor a través de diferentes caminos, ya que se reflejan, difractan y dispersan en los obstáculos entre el transmisor y el receptor. Las señales que llegan tendrán diferentes características de retardo, amplitud y fase. Cuando las señales que llegan se combinan fuera de fase en el receptor, el resultado es una señal de baja calidad que puede anular todas las comunicaciones.

2.3.1. Desvanecimiento multitrayecto.

El desvanecimiento por trayectos múltiples es un fenómeno común en la transmisión de señales inalámbricas. Cuando una señal se transmite por un canal de radio, está sujeta a reflexión, difracción, dispersión y sombra. Especialmente en las zonas urbanas y suburbanas, donde se utilizan más a menudo los teléfonos móviles, el entorno de comunicación cambia rápidamente y, por tanto, introduce más complejidades e incertidumbres en la respuesta del canal.

El desvanecimiento multitrayecto provoca la dispersión de las señales en los dominios temporal, frecuencial y espacial. Si las señales están en fase, aumentarán la intensidad de la señal resultante. En caso contrario, la señal resultante se debilita debido al desfase. Este fenómeno se denomina desvanecimiento del canal. En general, existen dos criterios para medir el

desvanecimiento del canal, que son la dispersión Doppler y la dispersión del retardo. Este fenómeno se denomina desvanecimiento multitrayectoria y se muestra en la figura 2.3.

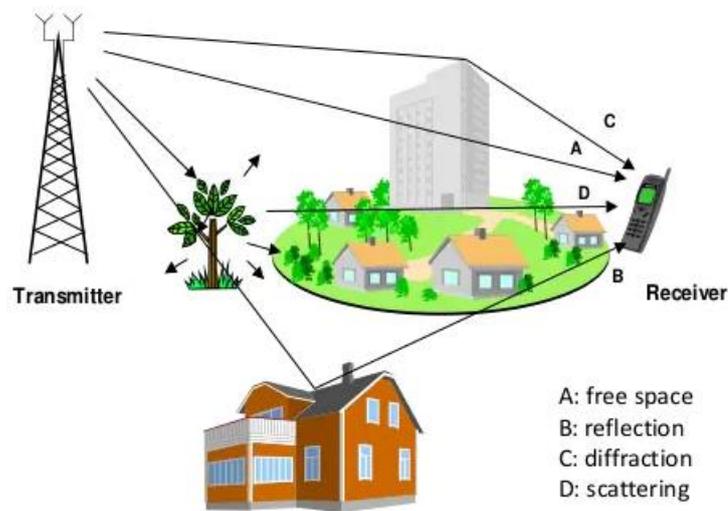


Figura 2. 3: Ejemplo de desvanecimiento multitrayecto.
Fuente: (Abdul-Sade, 2017)

2.4. Ventajas y desventajas de las WLAN

Las principales ventajas de las WLAN son la movilidad y el ahorro de costes. La movilidad permite a los usuarios moverse libremente tanto dentro de un edificio como fuera de él sin dejar de estar conectados a la red. Esto también es atractivo para las aplicaciones comerciales. Los datos sobre los productos de un almacén pueden enviarse de forma inalámbrica directamente al ordenador central.

En las obras de construcción, la WLAN puede servir para crear redes muy eficaces o, en muchos casos, hacer posible la creación de la red en primer lugar. El ahorro de costes se debe a que no hay costes adicionales por el cableado y la planificación de la instalación. y la planificación de la instalación, lo que ahorra tiempo de trabajo.

Las WLAN funcionan en bandas de frecuencia sin licencia con ondas de radio e infrarrojas. La banda ISM (Industrial, Científica y Médica) de 2.4 GHz es la más utilizada. La comunicación por ondas de radio ofrece la ventaja de que la conexión funciona sin línea de vista (Line of Sight, LOS) de los interlocutores de la comunicación. Por otro lado, plantea un problema de

seguridad, ya que las ondas de radio atraviesan paredes y barreras. La mayoría de los dispositivos WLAN son capaces de transmitir datos hasta 300 m en terreno abierto. WLAN permite una rápida instalación de la red. Tareas como la creación y la disolución de grupos de trabajo se realizan muy fácilmente.

En muchas situaciones ocurre que la instalación de los cables es muy compleja o incluso imposible. Los edificios históricos no suelen estar adornados con cables. Una red al aire libre, por ejemplo, en parques o estadios, es casi imposible de diseñar con cables. En el caso de las instalaciones de red en una zona de catástrofe, se puede hacer un uso eficaz de las WLAN para realizar labores de coordinación y ayuda. Y, por último, se tiene ejemplos en los que una red cableada estaría fuera de lugar. En el caso de edificios enfrentados en una calle, donde el cableado subterráneo es imposible, los puentes WLAN son soluciones óptimas para una conexión física.

Un teléfono móvil con capacidad WLAN e IP ahorra mucho dinero a los usuarios y, al mismo tiempo, ofrece la posibilidad de alcanzar velocidades de datos relativamente altas. Otro aspecto negativo de las WLAN es el retraso de la señal durante la transmisión de datos entre dos ordenadores con una conexión Ethernet directa, un simple ping tiene un tiempo de tránsito de aproximadamente 1 ms con una conexión inalámbrica de 3 ms.

2.5. Estándar IEEE 802.11

Tras siete años de trabajo, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) adoptó en 1997 una norma internacional para las WLAN, la IEEE 802.11. En 1999 se añadió una versión revisada denominada 802.11b, que permite una velocidad de transmisión de hasta 11 Mbps. En la figura 2.4, el estándar 802.11 se ocupa de las dos capas inferiores del modelo ISO/OSI que son las capas MAC y física.

El estándar 802.11 utiliza la banda ISM de 2.4 GHz para la transmisión. Las frecuencias ISM (véase la figura 2.5) se definen de forma similar en todo

el mundo y se utilizan para fines no comerciales. servicios de radio que el usuario no tiene que registrar. Al mismo tiempo, sin embargo, los dispositivos, que utilizan la banda ISM deben cumplir ciertos requisitos. En Europa, deben En Europa, por ejemplo, deben cumplir con una potencia máxima de transmisión de 100mW en los 2,4GHz.

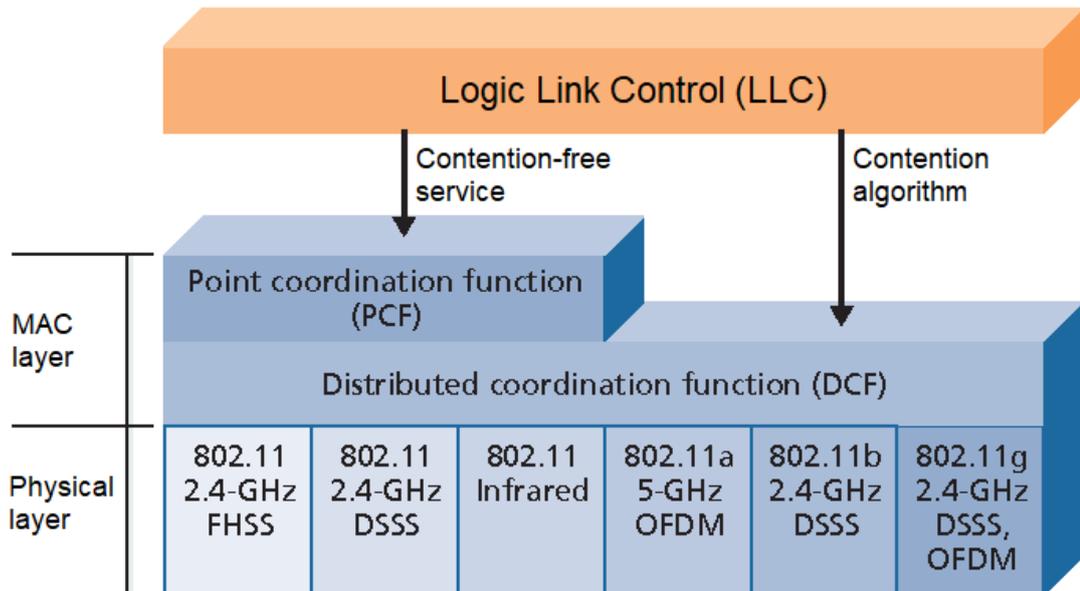


Figura 2. 4: Arquitectura del protocolo 802.11.
Fuente: (Stallings, 2004)

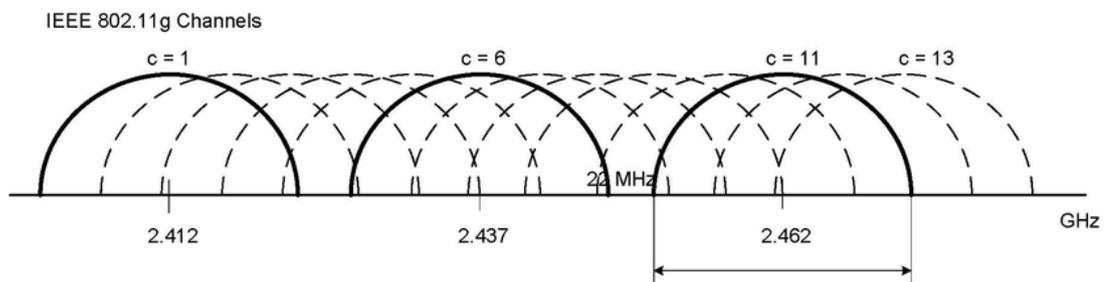


Figura 2. 5: Canales de frecuencias de la banda ISM.
Fuente: (Hayajneh et al., 2014)

La primera norma, 802.11, especificada por IEEE en 1997, preveía una velocidad de transmisión de datos de hasta 2 Mbps, que debía funcionar en la banda de 2.4 GHz; 2 años después, la norma fue revisada. Con la ampliación de 802.11a se alcanzaron velocidades de datos de hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz. Con 802.11b, se hicieron posibles velocidades de datos de hasta 11 Mbps (brutos) en la banda de 2.4 GHz. En la segunda mitad de 2002, el estándar IEEE 802.11g con una velocidad máxima de datos de 54

Mbps en la misma banda ISM de 2.4 GHz llegó como una extensión del popular 802.11b.

La división en las capas de control de enlaces lógicos (Logical Link Control, LLC), control de acceso al medio (Media Access Control, MAC) y la capa de transmisión de bits conocida de otros estándares IEEE 802 se adoptó en el estándar 802.11. En la capa física, se conocen dos métodos de transmisión de datos por radio y uno por infrarrojos.

Los métodos de transmisión de datos por radio se denominan, espectro ensanchado de saltos de frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) y espectro ensanchado de secuencia directa (Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) en función de sus métodos de propagación. La banda de 2.4 GHz contiene 13 canales, cada uno de ellos con una separación de 5 MHz, que utilizan la técnica DSSS. Cada canal tiene un ancho de banda de 22 MHz. Si se van a utilizar dos canales al mismo tiempo, hay que dejar al menos cinco canales libres entre ellos, porque de lo contrario habrá solapamientos entre los canales.

2.6. Estándar IEEE 802.15.4

Este estándar IEEE también se denomina muy a menudo ZigBee, ya que se basa en el estándar 802.15.4. El propio ZigBee surgió de la idea de desarrollar un protocolo independiente del fabricante. La organización asociada, la ZigBee Alliance, ya cuenta con más de más de 200 empresas. Sin embargo, 802.15.4 no se puede utilizar sólo para Zigbee, porque esta norma se especifica hasta la capa MAC. Basándose en esto, muchos protocolos pueden ser se pueden desarrollar protocolos. La figura 2.6 muestra la estructura de capas. En la siguiente algunos datos clave sobre el estándar 802.15.4.

802.15.4 utiliza varias bandas de frecuencia. Puede utilizar la gama de 800 MHz (Europa), la gama de 900 MHz (EE.UU.), y también la banda de 2.4 GHz como Bluetooth y WLAN. Esto significa que las colisiones con estas tecnologías de radio son posibles. La velocidad de transmisión es de 250

kbps. Como ocurre con otros estándares de la familia, las aplicaciones propietarias pueden basarse directamente en el nivel MAC y desarrollar sus propios protocolos de comunicación. Por tanto, los algoritmos de enrutamiento deben implementarse en la propia capa superior. Esto significa que la topología de la red no es fija y que es posible crear redes totalmente malladas.

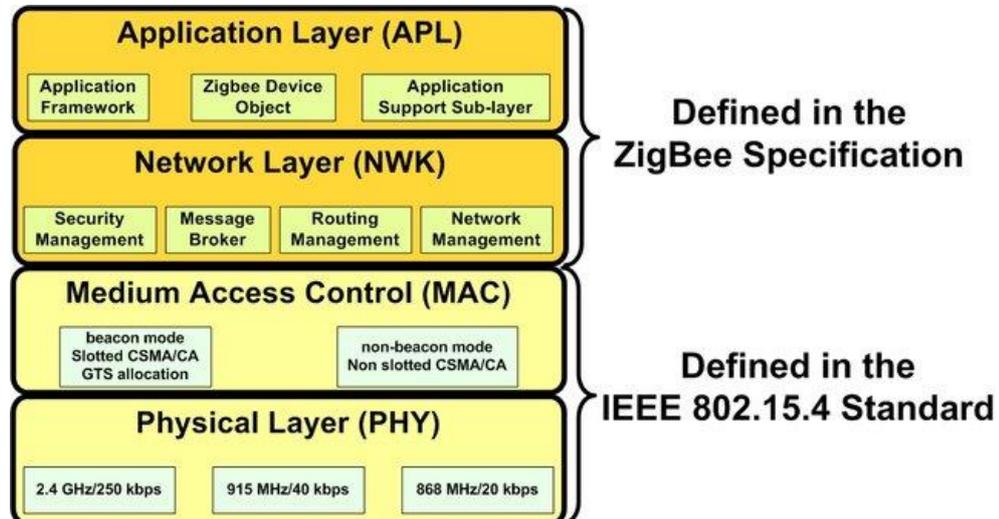


Figura 2. 6: Arquitectura del protocolo 802.15.4.

Fuente: (Koubaa et al., 2021)

Hay dos tipos de participantes en la red en el estándar 802.15.4: (a) dispositivo de función reducida (Reduced Function Device, RFD), es un equipo con menos funciones, ya que es más fácil de desarrollar, y (b) dispositivo de función total (Full Function Device, FFD), es un equipo con todas las funciones y también puede ser utilizado como un enrutador (router), lo que un RFD no es capaz de hacer esto. Esta clasificación permite a un RFD reducir el coste de un dispositivo, ya que requiere menos recursos de sistema y hardware.

Normalmente, un FFD se conecta a una fuente de energía externa según la normativa, mientras que un RFD utiliza sus propias reservas de energía. Para conservar las reservas de energía, esta norma está especialmente diseñada para un bajo consumo energético. Para una mayor solidez durante la transmisión, se utiliza la técnica de acceso múltiple con detección de portadora y evitación de colisiones (CSMA/CA). Aquí se comprueba primero la interfaz de radio para ver si hay transmisiones en curso antes de enviar los datos pendientes.

Zigbee puede utilizarse ya para muchas aplicaciones. Hay un dispositivo especial de la clase FFD, el coordinador. Suele tener una interfaz con otras redes y se conggestionan permanentemente como coordinador. Gestiona la red, proporciona información y se encarga de su puesta en marcha. En caso de error, debe seleccionarse un segundo dispositivo como coordinador, ya que, de lo contrario, no se podrá seguir gestionando la red de radiocomunicación o no se podrá configurar la red. Los denominados routers (FFD) sirven como compañeros de comunicación para los RFD y, opcionalmente, envían datos a través de otros routers al coordinador. al coordinador.

2.7. Fundamentos de las redes de sensores

Esta sección pretende ofrecer una visión más profunda del campo. Describe los términos básicos y problemas que hay que superar en las redes de sensores. La red se compone de las unidades de radio y de una o varias estaciones base conectadas físicamente entre sí. La estructura de las conexiones se llama topología. Esta topología presenta varias ventajas e inconvenientes. Sin embargo, no se tratan aquí todas las topologías, sino sólo las relevantes para las redes de sensores. La figura 2.3 muestra un breve resumen de las topologías utilizadas.

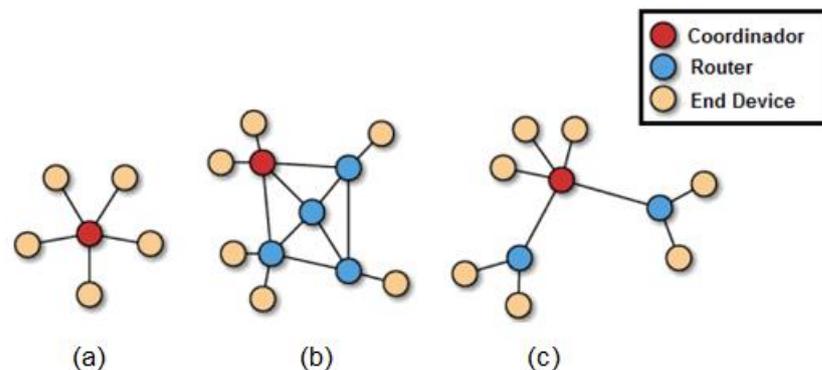


Figura 2. 7: Topologías en red de sensores (a) estrella, (b) enmallada y (c) árbol.

Fuente: (Pérez et al., 2014; Vera R. et al., 2015)

La topología en estrella (véase figura 2.7a) es una conexión sencilla entre las unidades, ya que es fácil de implementar y los errores son rápidamente detectables. Sin embargo, la conexión directa es una desventaja; no hay más caminos hacia una unidad de radio. Con la topología peer-to-peer o también llamada red mallada (véase la figura 2.7b), pueden existir varios

caminos entre los participantes. Debido a los numerosos puntos de conexión, las rutas también pueden fallar sin que una unidad de radio sea inalcanzable. La organización de la transmisión de datos es más compleja que, por ejemplo, la topología en estrella. Como hay varios caminos hacia un destino, hay que utilizar un algoritmo de enrutamiento.

Ya existe un cierto orden en la topología del árbol y sólo hay un camino desde un nodo del árbol hasta la raíz. No es necesario un algoritmo especial para ello. El fallo de un nodo del árbol no afecta a los demás dispositivos. Si el fallo se produce en el centro de la estructura del árbol, los nodos situados por debajo del nodo que ha fallado ya no pueden no puede enviar más datos a la raíz.

Capítulo3: Diseño, Implementación y Análisis de Resultados

El presente capítulo se presenta el diseño, implementación de la simulación de redes WLAN y WSN para evaluar el rendimiento de ambas utilizando la plataforma Opnet Modeler.

3.1. Descripción general del componente práctico.

El propósito principal de este trabajo es lograr una comprensión clara del problema de la coexistencia entre las redes de sensores inalámbricos (WSN) mediante el estándar IEEE 802.15.4 / ZigBee y otros sistemas que comparten la misma banda de frecuencias de radio industriales, científicas y médicas (ISM) de 2.4 GHz sin licencia, y luego proponer métodos rentables para mejorar la capacidad de coexistencia de las WSNs ya especificada.

Entre los diversos sistemas que comparten la banda de frecuencia ISM de 2.4 GHz con las WSN, se encuentra las redes inalámbricas de área local (WLAN) cuyo estándar es IEEE 802.11b/g y que son las más implementadas. La figura 3.1 muestra la compartición de canales en la banda de frecuencia ISM. Se observa, que no hay un solo canal IEEE 802.15.4 (WSN) que esté garantizado que no esté cubierto por canales IEEE 802.11b/g (WLAN) si no se coordinan correctamente como en realidad.

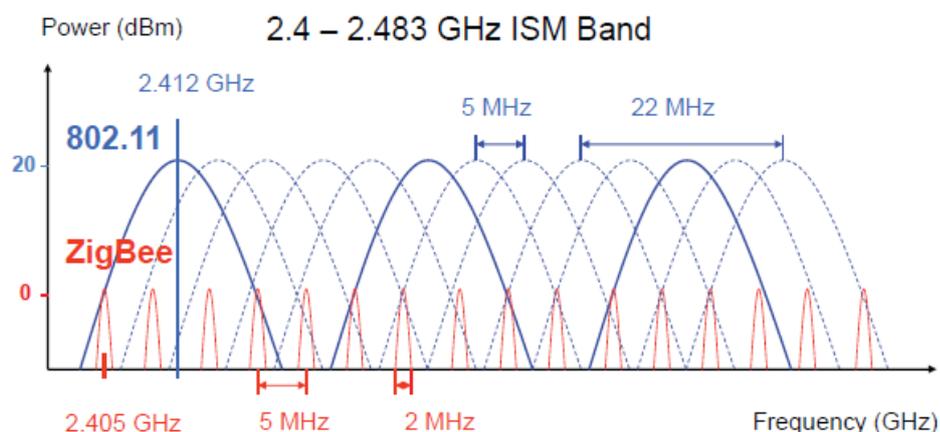


Figura 3. 1: Canales de frecuencia compartida entre WLAN y WSN.

Elaborado por: Autor.

Además, la figura 3.1 también ilustra que las potencias de transmisión de IEEE 802.11b/g e IEEE 802.15.4 son significativamente diferentes. De

hecho, la potencia de transmisión para IEEE 802.15.4 suele ser tan baja como 1 mW, mientras que la de IEEE 802.11b/g suele ser de 100 mW. Como comparten la misma banda de frecuencia y a menudo se colocan entre sí.

Por lo tanto, este trabajo de examen complejo se centra en la cuestión de la coexistencia entre las WSN y WLAN utilizando la plataforma de simulación Opnet Modeler y finalmente se presenta el análisis de rendimiento de los resultados obtenidos. El modelado de simulación en Opnet Modeler propuesto pretende exponer la interacción entre estos dos sistemas inalámbricos (WSN – ZigBee y WLAN) y, por tanto, explicar su interesante comportamiento de coexistencia.

3.2. Definiciones y terminologías principales.

En esta sección, se definen los conceptos y la terminología que se utiliza en el resto del componente práctico del examen complejo.

3.2.1. Coexistencia de estándares.

En el estándar IEEE 802.15.2 se define la coexistencia como: "La capacidad de un sistema para realizar una tarea en un entorno compartido determinado donde otros sistemas tienen la capacidad de realizar sus tareas y pueden o no utilizar el mismo conjunto de reglas". En el presente trabajo, sin embargo, se considera principalmente la coexistencia entre sistemas que utilizan diferentes conjuntos de reglas.

Esto se debe a que, por un lado, como se indica en la Sección 3.1, este componente práctico se centra en la coexistencia entre las WSNs y otros sistemas (por ejemplo, WLAN) que comparten la misma banda de frecuencia ISM de 2.4 GHz sin licencia, es decir, compartición de espectro entre sistemas (véase la figura 3.2), y por otro lado, la coexistencia entre sistemas basados en un mismo conjunto de reglas generalmente se ha tenido en cuenta, por ejemplo, el algoritmo de evitación de colisiones del estándar IEEE 802.11. La figura 3.2 muestra los métodos de distribución de compartición de espectro de frecuencias.

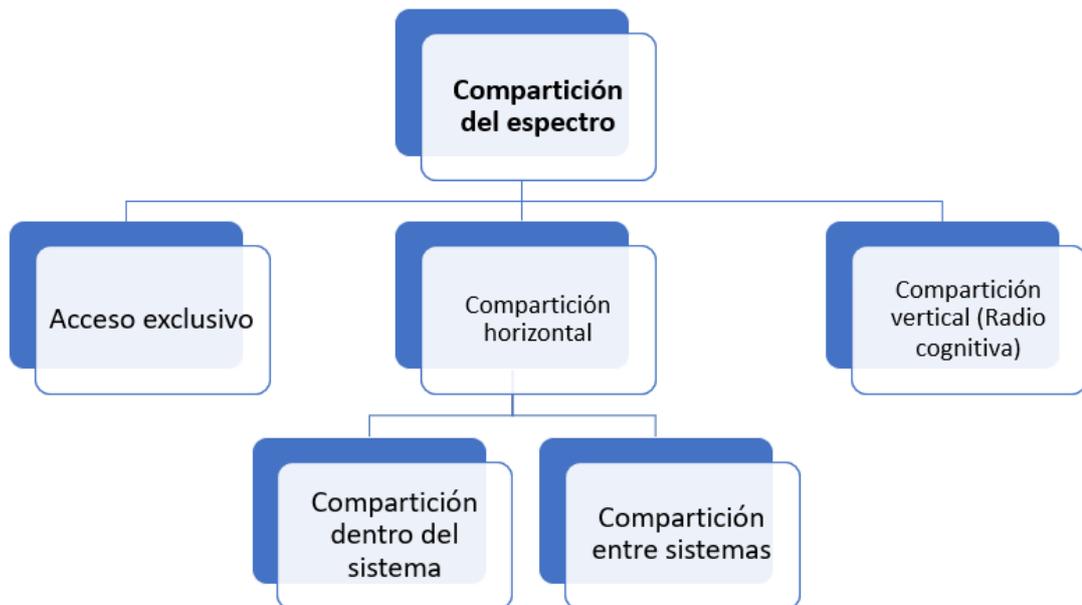


Figura 3. 2: Métodos de distribución en la compartición del espectro de frecuencias en comunicaciones inalámbricas.
Elaborado por: Autor. (Han et al., 2016)

3.2.2. Coexistencia en el rendimiento de sistemas de comunicaciones.

El rendimiento de un sistema de comunicación en términos de rendimiento, tasa de pérdida de paquetes, retardo de transmisión, etc., en presencia de interferencias causadas por otros sistemas que comparten la misma banda de frecuencia.

3.2.3. Coexistencia en la capacidad de sistemas de comunicaciones.

La capacidad de un sistema para realizar una tarea en presencia de interferencia causada por otros sistemas que comparten la misma banda de frecuencia.

3.2.4. Coexistencia en el área de cobertura.

Un área donde un sistema que coexiste con otros sistemas que comparten la misma banda de frecuencia exhibe un estado de coexistencia característico. El sistema de comunicación inalámbrico puede estar en uno de tres estados de coexistencia, es decir, el sistema y los otros sistemas tienen una influencia mutua, una influencia unidireccional o ninguna influencia entre ellos.

3.3. Modelado de coexistencia entre las comunicaciones inalámbricas de área local (WSN) y de sensores (WSN).

En la sección 1.2 (Antecedentes) se mencionaron de la existencia de diferentes estudios investigativos sobre la coexistencia de las WLAN (estándares IEEE 802.11b/g) y las WSN (estándar IEEE 802.15.4), pero los resultados obtenidos resultan un poco contradictorios. Para obtener una comprensión clara, se necesita desarrollar un modelo que, al simplificar razonablemente la compleja realidad y exponer los aspectos esenciales, pueda brindar a las personas información sobre el comportamiento de coexistencia de las redes inalámbricas ya mencionadas. No solo se puede usar el modelo para comprender la interacción entre una WLAN y una WSN cuando coexisten, sino también para predecir su rendimiento de coexistencia, lo que puede ayudar a las personas a configurar una WLAN y una WSN con menos interferencia mutua.

El modelo de coexistencia se explica en dos pasos. En primer lugar, debido a la muy baja potencia de transmisión, los dispositivos de la tecnología WSN – ZigBee son más vulnerables a la interferencia generada por los dispositivos en la tecnología WLAN que tienen una potencia mucho mayor. Por lo tanto, se va a enfocar en la interferencia que los dispositivos WLAN traen a los dispositivos WSN – ZigBee cuando coexisten.

En segundo lugar, se asume que la interferencia de WLAN siempre está saturada, lo que significa que siempre hay un paquete en WLAN disponible para la transmisión. Esto corresponde al peor escenario de interferencia, que en realidad ocurriría, por ejemplo, cuando la gente observa videos a través de dispositivos que operan con el estándar IEEE 802.11b/g. Esto se está volviendo cada vez más frecuente a medida que las aplicaciones de video en línea como YouTube y los dispositivos electrónicos inteligentes compatibles con el estándar IEEE 802.11b/g, tales como los iPhones, son cada vez más populares.

Además, este supuesto facilita el presente análisis y por tanto se centra en los aspectos más críticos del tema de la coexistencia. Para investigar el

peor de los casos, también se asume que sus bandas de frecuencias operativas se superponen entre sí en la mayor medida posible, es decir, solo hay 2 MHz de desviación entre la frecuencia central del estándar IEEE 802.15.4 y la del estándar IEEE 802.11b/g tal como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1: Parámetros de simulación de la red WLAN y WSN.

	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g
Potencia de Tx	0 dBm	20 dBm	20 dBm
Sensibilidad del Rx	-85 dBm	-76 dBm	-82 dBm
Umbral CCA	-85 dBm	-84 dBm	-84 dBm
Ancho de banda	2 MHz	22 MHz	22 MHz
Tiempo entre llegada	640 μ s	744 μ s	1365 μ s
Tasa de Tx	250 kbps	11 Mbps	6 Mbps
Tamaño carga útil	1 byte	1024 bytes	1024 bytes
Unidad Backoff T_{bs}	320 μ s	20 μ s	9 μ s
CW_{min}	7	31	15
Frecuencia central	2410 MHz	2412 MHz	2412 MHz

Elaborado por: Autor.

3.4. Aspecto de potencia.

En la tabla 3.1 se muestran las potencias de transmisión para los nodos WLAN (estándares IEEE 802.11b/g) y WSN (estándar IEEE 802.15.4) son típicamente 100 mW y 1 mW, respectivamente, mientras que los umbrales de evaluación de canal libre (CCA) de WLAN y WSN son típicamente -84 dBm y -85 dBm, respectivamente. Dado que las antenas omnidireccionales son las más utilizadas por los nodos WLAN y los nodos WSN en la práctica, solo se considera las antenas omnidireccionales en este trabajo. Por lo tanto, dados tales umbrales de CCA comparables, las diferencias significativas en la potencia de transmisión pueden resultar en las siguientes tres regiones distintas, R1, R2 y R3 (véase la figura 3.3).

A continuación, se describen las áreas (regiones) de cobertura para la coexistencia entre WLAN y WSN:

R1: una región en la que los nodos WSN y los nodos WLAN pueden detectarse entre sí. Esto sucede cuando los nodos WSN y WLAN están cerca uno del otro.

R2: una región en la que los nodos WSN pueden detectar nodos WLAN, pero no al revés. Esto se debe a que los nodos WLAN tienen mucha más potencia que los nodos WSN.

R3: una región en la que ninguno puede sentir al otro, pero los nodos WSN aún pueden sufrir interferencias de los nodos WLAN. Esto sucede especialmente cuando los enlaces entre los nodos WSN son muy débiles.

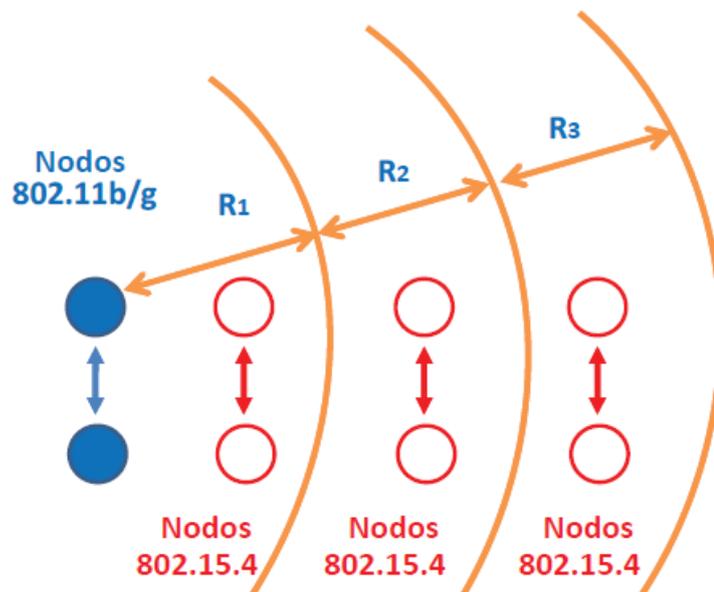


Figura 3. 3: Regiones o áreas de cobertura en la coexistencia de WLAN y WSN.
Elaborado por: Autor.

De la figura 3.3 se define gráficamente las áreas como regiones de coexistencia. Dado que se consideran antenas omnidireccionales, R1, R2 y R3 son un área de una circunferencia. Hay que tener en cuenta que, para ahorrar espacio, se muestra solo una sección de estas regiones (ver figura 3.3). En el caso de antenas no omnidireccionales, las formas de las tres regiones cambiarán o incluso estas regiones pueden no existir.

Para cuantificar estas regiones, se procede a utilizar el modelo de propagación de pérdida de trayectoria. La pérdida de trayectoria sigue la propagación en el espacio libre hasta 8 m y luego se atenúa más rápidamente con un coeficiente de 3.3, que se ajusta a 4 en este componente práctico para

corresponder a la distancia de transmisión confiable en interiores de 32 m de los nodos WSN. La pérdida de trayectoria se expresa como:

$$PL(d) = \begin{cases} 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) & \text{si } d \leq d_0 \\ 20 \log_{10}\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) + 40 \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) & \text{si } d > d_0 \end{cases}$$

Donde d es la distancia entre un transmisor y un receptor, y d_0 , es decir, 8 m (longitud de línea de vista, LOS); $\lambda = c/f_c$, donde c es la velocidad de la luz y f_c es la frecuencia de portadora. Tomando las sensibilidades del receptor (ver tabla 3.1), como las potencias recibidas, y tomando la SIR de 6 dB en los receptores, se obtienen los radios de cobertura R_1 , R_2 y R_3 tal como se muestra en la tabla 3.2. Hay que tener en cuenta que, por simplicidad, al calcular el radio de R_3 no fue considerado el ruido ambiental.

Tabla 3. 2: Coexistencia en la cobertura de redes WLAN.

Cobertura	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g
R_1 (m)	22	32
R_2 (m)	67	67
R_3 (m)	95	95

Elaborado por: Autor.

Sin embargo, no se puede ignorar en caso de una señal útil muy débil. Además, aunque la potencia de transmisión de un nodo WLAN se distribuye en la banda de frecuencia de 22 MHz, solo una parte de la potencia de transmisión total de IEEE 802.11b/g puede caer en la banda de 2 MHz de un nodo WSN (IEEE 802.15.4).

Por conveniencia, en el cálculo, simplemente se toma 2/22 de la potencia de transmisión total de IEEE 802.11b/g como la potencia que podría recibir un nodo IEEE 802.15.4. De hecho, como se muestra en la figura 3.4, la densidad espectral de potencia de IEEE 802.11b no se distribuye uniformemente en la banda de 22 MHz. Es decir, que existe mayor potencia distribuida alrededor de la frecuencia de portadora (f_c). Por lo tanto, como la diferencia entre la f_c

de los nodos WLAN y WSN es pequeña, entonces los nodos WSN – ZigBee reciben mayor potencia de los nodos WLAN, lo que da como resultado un radio mayor de R_2 . Por lo contrario, una mayor frecuencia de ajuste conducirá a que disminuya energía en la banda de los nodos WSN y, por lo tanto, a un radio más pequeño de R_2 .

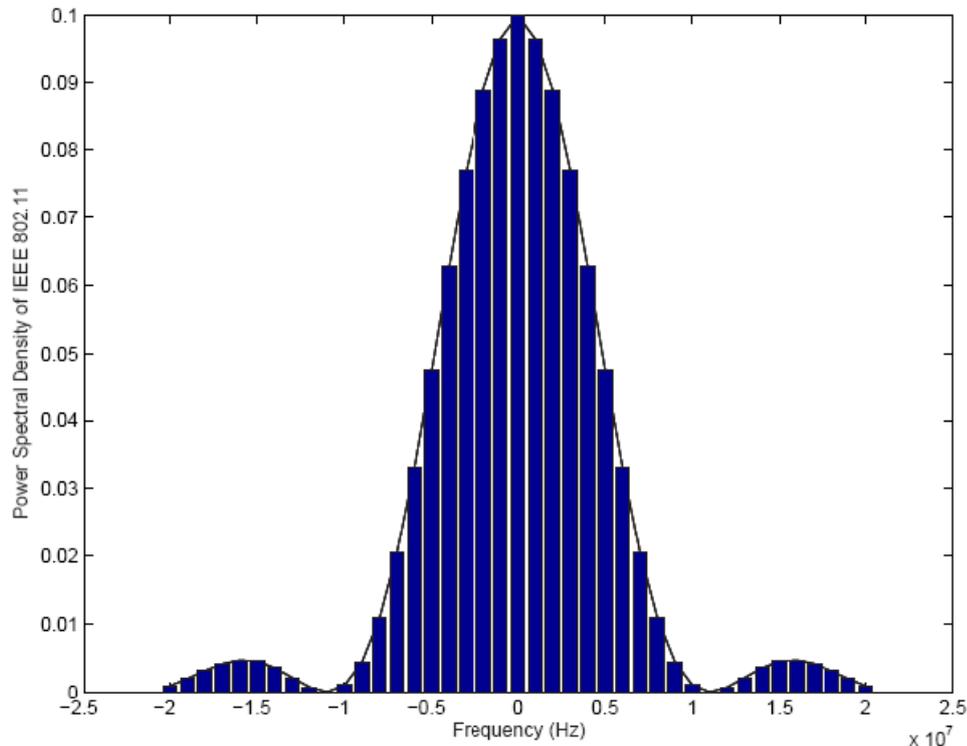


Figura 3. 4: Densidad espectral de potencia para el estándar IEEE 802.11.
Elaborado por: Autor.

3.5. Análisis de rendimiento de redes 802.15.4.

En esta sección, se analiza el rendimiento de coexistencia de la tecnología WSN – ZigBee (IEEE 802.15.4) en términos de rendimiento en el área R_1 . Para facilitar el análisis, se asume que solo hay un par de nodos WSN y un par de nodos WLAN (IEEE 802.11b/g). Se discutirá este supuesto al final de esta sección. Además, en cada par, un nodo es un transmisor (Tx) y el otro es un receptor (Rx). Además, se asume que las condiciones del canal físico son ideales, es decir, no ocurriría ningún error de transmisión si no hay interferencia.

Por lo tanto, el transmisor en WLAN siempre recibe un acuse de recibido (ACK) después de transmitir paquetes de datos, lo que hace que su ventana

de contención mantenga el valor inicial, es decir, CWmin. De acuerdo con la simulación propuesta, WSN – ZigBee tiene poco impacto en el rendimiento de WLAN, lo que justifica nuestra suposición de que el tráfico WLAN no se ve afectado por el tráfico de WSN. Finalmente, se asume que tanto el tráfico WLAN como el tráfico WSN están en el modo de saturación, lo que implica que siempre hay al menos un paquete en espera de transmisión en los transmisores.

3.5.1. Simulación de la red WLAN y WSN.

Los valores de los parámetros relevantes en la simulación propuesta en Opnet Modeler se enumeraron en la tabla 3.1. Hay que tener en cuenta que el ancho de banda de WLAN es 22 MHz, que resulta ser mucho mayor que el de WSN, es decir, 2 MHz. Por lo tanto, la señal de interferencia de redes WLAN será modelada como el canal de ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN) de banda limitada a señales de WSN. Dado que el ancho de banda de WLAN es 11 veces mayor que el de WSN, la potencia de interferencia (P_I) dentro de banda de WLAN y WSN se calcula generalmente como:

$$P_I = \frac{P_r}{11}$$

donde P_r es la potencia recibida. Sin embargo, la densidad espectral de potencia de WLAN no se distribuye uniformemente en la banda de 22 MHz. La figura 3.4 muestra la densidad espectral de potencia para el estándar IEEE 802.11. En las simulaciones propuestas, para mostrar el peor caso de compartir espectro, se emplean los canales para WLAN y WSN en la banda ISM de 2.4 GHz de tal manera que las frecuencias de portadora (f_c) de los canales están más cerca entre sí.

Por lo tanto, se utilizan las frecuencias de 2412 MHz y 2410 MHz para WLAN y WSN respectivamente (véase la figura 3.1). Cuanto más se acercan sus frecuencias centrales; la interferencia de WLAN a WSN es más fuerte, esto sucede porque se distribuye más energía alrededor de la frecuencia central tal como se observa en la figura 3.4.

Para modelar la red WLAN y WSN se utilizará el programa Opanet Modeler. Este programa utiliza una estructura jerárquica de tres niveles (véase la figura 3.5) para organizar todos los componentes en tres dominios, que son modelos de red, nodo y proceso.

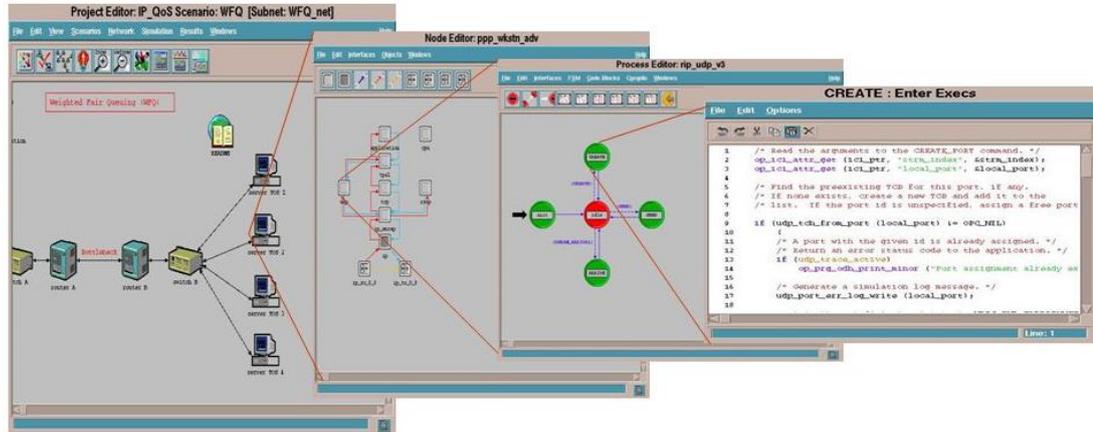


Figura 3. 5: Niveles jerárquicos del programa Opanet Modeler.
Fuente: (Alturki, 2021).

Un modelo de red es una descripción de alto nivel de los objetos contenidos en el sistema. En otras palabras, se encarga de especificar los objetos del sistema, así como sus ubicaciones físicas, interconexiones y configuraciones. Mientras que un modelo de nodo especifica la estructura interna de un nodo de red. Es decir, que los nodos típicos incluyen estaciones de trabajo, conmutadores de paquetes, terminales de satélite y sensores remotos. Finalmente, un modelo de proceso se utiliza para especificar el comportamiento de un procesador y módulos de cola, que existe en un dominio de nodo.

Opanet Modeler tiene una propia metodología de diseño para la simulación. Generalmente, suele ser de abajo hacia arriba, ya que el usuario primero crea modelos de proceso, luego construye modelos de nodos que incorporan los procesos y finalmente construye modelos de red que se completan con los modelos de nodos. Este programa también proporciona herramientas de programación para que los usuarios definan cualquier tipo de formato de paquete que quieran usar en sus propios protocolos. Como tal, el programa de simulación Opanet Modeler permite a los usuarios diseñar y estudiar redes de comunicación, dispositivos, protocolos y aplicaciones.

En la tabla 3.2 se observan los valores de los parámetros de cobertura para R1 (área circular), cuyo radio es menor de 22 m y 32 m para IEEE 802.11b y IEEE 802.11g, respectivamente. Por lo tanto, la figura 3.6 muestra el diseño del modelado de redes WLAN y WSN. Se establece la distancia entre dos nodos IEEE 802.11 (WLAN_0 y WLAN_1) y la de los nodos IEEE 802.15.4 (PAN_COOR y End_device) como 2 m y 5 m, para asegurar que ambos puedan detectar entre sí, es decir, en el área de cobertura R1.

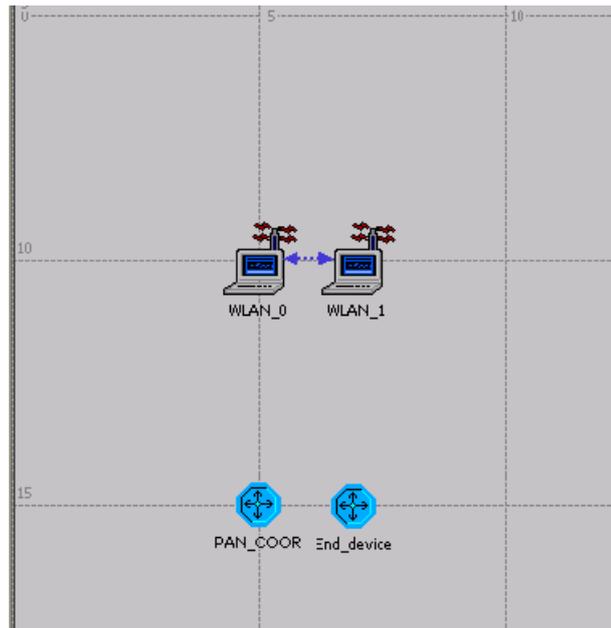


Figura 3. 6: Escenario de simulación de redes WLAN y WSN.
Elaborado por: Autor.

Para la simulación se utiliza un tráfico de paquetes saturado mediante el protocolo de datagramas de usuario (UDP) y su valor se configura en 532 pps (paquetes por segundo) a una velocidad de 11 Mbps. Es decir que se transmite entre WLAN_0 y WLAN_1. Para el caso del nodo coordinador (PAN_COOR), este transmite paquetes de datos, mientras que el nodo de destino (End_device) envía solamente un acuse de recibido (ACK).

La figura 3.7 muestra que cuando ocurre la interferencia WLAN (802.11b), el rendimiento del nodo WSN – ZigBee (IEEE 802.15.4) pasa de 18 kbps en promedio a 1 kbps en promedio, es decir, solo queda un rendimiento del 5,56%. Este resultado coincide con el resultado analítico, es decir, 5,75%, y, por lo tanto, verifica nuestro análisis. De los resultados obtenidos en la simulación, se concluye que incluso en el peor de los casos

en el área de cobertura R1, el rendimiento de WSN, aunque disminuye significativamente, nunca llega a cero. Esto se debe a que en R1, los nodos WLAN (IEEE 802.11b/g) pueden detectar el tráfico de WSN y, por lo tanto, pueden pausar, lo que permite que pase una pequeña parte del tráfico WSN.

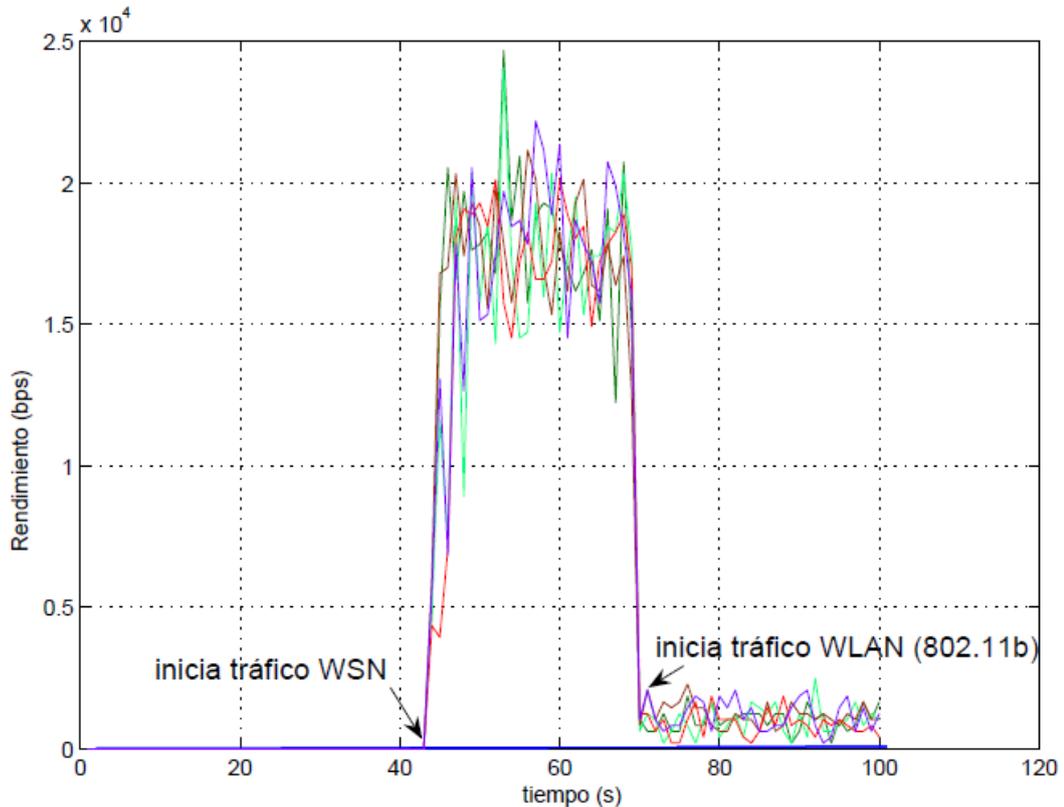


Figura 3. 7: Rendimiento de los nodos WSN priori y a posteriori de que suceda interferencia WLAN para escenario 1.

Elaborado por: Autor.

Aunque el rango de detección para WLAN (IEEE 802.11b) es 22 m, en el escenario de simulación 2 se establece la distancia entre dos nodos WLAN en 2 m y la de los nodos WSN en 15 m. Esto sirve para mostrar un caso en el que la condición de energía no se satisface. La distancia entre los nodos WLAN y nodos WSN es de 30 m, que sería 8 m más lejos del rango de detección de los nodos WLAN.

La figura 3.8 muestra que el rendimiento de WSN desciende a cero a medida que se produce la interferencia de WLAN, lo que verifica que la coexistencia es imposible si la condición de potencia no se satisface en el área de cobertura R2.

Los resultados dados en esta sección muestran que la interferencia WLAN (IEEE 802.11b/g) puede afectar considerablemente el desempeño de WSN. Por lo tanto, se logró demostrar que los dispositivos ZigBee no continúan comunicándose de manera efectiva.

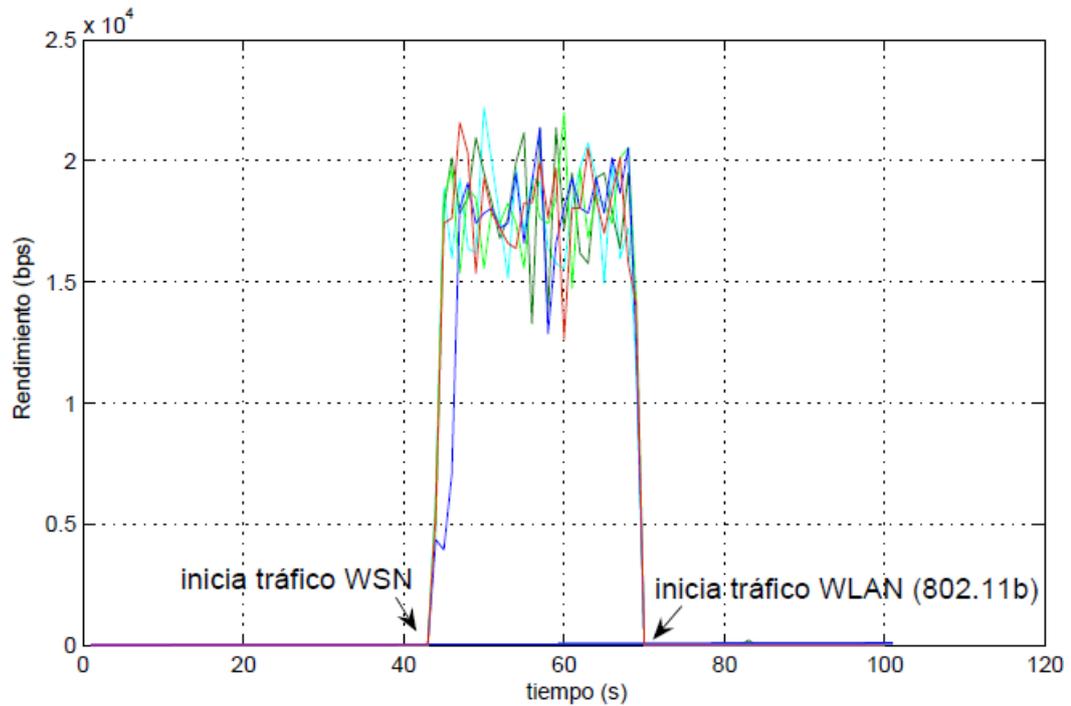


Figura 3. 8: Rendimiento de los nodos WSN priori y a posteriori de que suceda interferencia WLAN para escenario 2.

Elaborado por: Autor.

Se propuso un modelo de coexistencia de nodos WSN y WLAN basado en dos aspectos, es decir, potencia y tiempo. Debido a la diferencia significativa en las potencias de transmisión de ambas tecnologías (WLAN y WSN), los rangos de detección de ellos son bastante asimétricos. Como resultado, se pueden identificar tres regiones de coexistencia distintas. En cada una de estas regiones de coexistencia, los nodos WLAN y WSN exhiben una interacción diferente y, por lo tanto, un rendimiento de coexistencia diferente, que puede no ser el mismo que se esperaba. Por ejemplo, instintivamente, se puede sentir que cuanto más se acerque un nodo WSN a un interferente WLAN, peor sería el rendimiento del nodo WSN.

El modelo de coexistencia, sin embargo, revela que esta percepción no es cierta. De hecho, como el nodo WSN y la interferencia WLAN se acercan

tanto que están en la región de coexistencia R1, donde pueden detectarse entre sí, el rendimiento de coexistencia del nodo WSN no es necesariamente lo peor. En cambio, en la región de coexistencia R2, donde la interferencia WLAN no puede detectar la WSN y, por lo tanto, no respeta la transmisión, el rendimiento de coexistencia del nodo WSN podría ser incluso peor que en R1.

CONCLUSIONES

- En el capítulo 2 se han tratado los fundamentos de la tecnología WLAN según la norma IEEE 802.11 definiendo los requisitos técnicos del punto de acceso.
- Al desarrollar el modelo de coexistencia, se hicieron varios supuestos. Esos supuestos simplificaron la compleja realidad de modo que se pudo desarrollar un modelo analítico, que refleja solo los aspectos más esenciales de la convivencia. Mientras tanto, esas suposiciones deben haber tenido algunos efectos en nuestro trabajo. Por tanto, los efectos son dignos de un debate más a fondo.

RECOMENDACIONES.

Se recomiendan las siguientes propuestas a futuro para desarrollar temas de titulación o del componente práctico del examen complejo:

- Evaluar el rendimiento del sistema WSN y WLAN sobre MatLab/Simulink utilizando canales AWGN.

- Utilizar el Sistema Opnet Modeler como material didáctico para las clases en los laboratorios de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo.

Bibliografía

- Abdul-Sade, A. F. (2017). *Comparative study of different algorithms for channel identification* [Thesis].
- Alturki, A. (2021). *Introduction of Simulation & OPNET*. Studylib.Net. <https://studylib.net/doc/5415431/introduction-of-simulation-and-opnet>
- Han, Y., Ekici, E., Kremo, H., & Altintas, O. (2016). Spectrum sharing methods for the coexistence of multiple RF systems: A survey. *Ad Hoc Networks*, 53, 53–78. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2016.09.009>
- Hayajneh, T., Almashaqbeh, G., Ullah, S., & Vasilakos, A. V. (2014). A survey of wireless technologies coexistence in WBAN: Analysis and open research issues. *Wireless Networks*, 20(8), 2165–2199. <https://doi.org/10.1007/s11276-014-0736-8>
- Koubaa, A., Alves, M., & Tovar, E. (2021). *IEEE 802.15.4: A Federating Communication Protocol for Time-Sensitive Wireless Sensor Networks*.
- Pérez, J., Urdaneta, E., & Custodio, Á. (2014). Metodología para el diseño de una red de sensores inalámbricos. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 18(70), 12–22.
- Sharma, N., Magarini, M., Dossi, L., Reggiani, L., & Nebuloni, R. (2018). A study of channel model parameters for aerial base stations at 2.4 GHz in different environments. *2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CCNC.2018.8319165>
- Stallings, W. (2004). IEEE 802.11: Wireless LANs from a to n. *IT Professional*, 6(5), 32–37. <https://doi.org/10.1109/MITP.2004.62>
- Vera R., C. A., Barbosa J., J. E., & Pabón G., D. C. (2015). Parámetros de configuración en módulos XBEE-PRO® S2B ZB para medición de variables ambientales. *Revista Tecnura*, 19(45), 141–157.

Zahurul, S., Mariun, N., Grozescu, I. V., Tsuyoshi, H., Mitani, Y., Othman, M. L., Hizam, H., & Abidin, I. Z. (2016). Future strategic plan analysis for integrating distributed renewable generation to smart grid through wireless sensor network: Malaysia prospect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 978–992. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.020>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Endara Estrella, Carlos Andrés** con C.C: # 092257375-3 autor del Trabajo de Titulación: **Análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN sobre plataforma Opnet Modeler** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 20 de septiembre del 2021

f. _____

Nombre: Endara Estrella, Carlos Andrés

C.C: 092257375-3

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN sobre plataforma Opnet Modeler	
AUTOR(ES)	Endara Estrella, Carlos Andrés	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo	
PROGRAMA:	Ingeniería en Telecomunicaciones	
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de septiembre del 2021	No. DE PÁGINAS: 45
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de comunicaciones, Comunicaciones inalámbricas	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Redes, Alámbricas, Inalámbricas, Rendimiento, Sensores, WLAN	
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):		
<p>En el presente documento se presenta el componente practico para el examen complejo denominado “Análisis de rendimiento de redes WLAN y WSN usando plataforma Opnet Modeler” el mismo que fue implementado mediante una emulación en el entorno de simulación Opnet Modeler, un escenario en el cual tanto las redes de sensores inalámbricos y las redes de área local inalámbricas coexistan entre si para así determinar las ventajas y desventajas de cada una, así como también su performance e implementación en redes LAN y también redes WAN. Se hace un análisis a fondo del escenario tomando en cuenta el entorno teórico, repasando cada punto, normas y tecnología a emplearse para de esta manera dar un mejor rendimiento a cada tipo de red inalámbrica y considerar en que escenario es apropiada su implementación. Se analiza cada tecnología con sus ventajas, desventajas e implementación individualmente, y finalmente se analizan los datos obtenidos mediante la simulación en la plataforma Opnet Modeler.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-39039356	E-mail: carlosendara_1636@hotmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando	
	Teléfono: +593-9-67608298	
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		