



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Evaluación comparativa de los protocolos de enrutamiento AODV y
DSR mediante escenarios de simulación en una WSN**

AUTOR:

Borja Suco, Jorge Eduardo

Componente práctico del examen complejo previo a la obtención del
Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

8 de diciembre del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Borja Suco, Jorge Eduardo** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, a los 8 días del mes de diciembre del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Borja Suco, Jorge Eduardo**

DECLARÓ QUE:

El Componente práctico del examen complejo “**Evaluación comparativa de los protocolos de enrutamiento AODV y DSR mediante escenarios de simulación en una WSN**”, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Componente práctico del examen complejo del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 8 días del mes de diciembre del año 2020

EL AUTOR

Borja Suco, Jorge Eduardo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Borja Suco, Jorge Eduardo**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Componente práctico del examen complejo de Maestría titulada: **“Evaluación comparativa de los protocolos de enrutamiento AODV y DSR mediante escenarios de simulación en una WSN”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 8 días del mes de diciembre del año 2020

EL AUTOR

Borja Suco, Jorge Eduardo

REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, the document details are displayed:

- Documento:** [Jorge_Borja.docx](#) (D85762508)
- Presentado:** 2020-11-18 00:10 (-05:00)
- Presentado por:** fernandopm23@hotmail.com
- Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** Revisión TT JORGE BORJA SUCO [Mostrar el mensaje completo](#)

The message content states: "1% de estas 22 páginas, se componen de texto presente en 4 fuentes."

On the right, the "Lista de fuentes" (List of sources) is shown for user "Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)".

+	Categoría	Enlace/nombre de archivo	▣
+	>	https://docplayer.es/82280358-Universidad...	<input type="checkbox"/>
+		https://docplayer.es/78785703-Universidad...	<input type="checkbox"/>
+		TT Cindy Sisalema.docx	<input type="checkbox"/>
+		https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016...	<input type="checkbox"/>
+		https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/2...	<input checked="" type="checkbox"/>
Fuentes alternativas			
+		https://core.ac.uk/download/pdf/30042564	<input type="checkbox"/>

At the bottom of the interface, there are navigation icons and buttons: "Reiniciar", "Exportar", and "Compartir". A notification in the bottom right corner says "0 Advertencia".

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN
TELECOMUNICACIONES

TEMA: Evaluación comparativa de los protocolos de enrutamiento AODV y DSR mediante escenarios de simulación en una WSN

AUTOR: Borja Suco, Jorge

Eduardo

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

29 de septiembre del 2020

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Dedicatoria

A mi esposa Mariuxi y a mis Hijos Jorge y Jeaninne continuos
inspiradores de mi Vida.

Borja Suco, Jorge Eduardo

Agradecimientos

Principalmente a Dios por darle salud a mi familia y amigos, siendo este un año tan difícil él siempre nos protege.

A mi Padre Carlos y a mi Madre Gladis, por su amor, trabajo y sacrificio en todo momento desde mi niñez, ellos han puesto su esfuerzo para llegar a este momento tan importante para mi carrera profesional.

A mis hermanos, familiares y amigos que de una u otra forma han puesto su granito de arena, acompañándome en todo momento.

A todos los Docentes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y a las personas que me apoyaron y han hecho que este documento se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Borja Suco, Jorge Eduardo

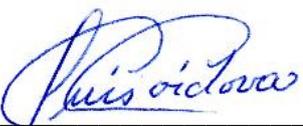


**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
TUTOR

f. 

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
REVISOR

f. 

M. Sc. QUEZADA CALLE, EDGAR
REVISOR

f. 

M. Sc. ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas	XIII
Resumen	XIV
Abstract	XV
Keywords:.....	XV
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.	16
1.1. Introducción.....	16
1.2. Antecedentes.	17
1.3. Definición del problema	18
1.4. Justificación del problema a investigar.	18
1.5. Objetivos	18
1.6. Hipótesis.....	18
1.7. Metodología de investigación.	19
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.	20
2.1. Introducción a la red de sensores inalámbricos (WSN).....	20
2.2. Componentes de una red de sensores inalámbricos (WSN).....	22
2.2.1. Nodo sensor y sus unidades funcionales.....	23
2.2.2. Estación base (Sink).....	25
2.3. Operación de las redes de sensores inalámbricos (WSN).	26
2.3.1. Nodo a nodo	27
2.3.2. Nodos a estación base.	27
2.3.3. Estación base a nodos.	28
2.4. Clasificación de sensores.	28
2.4.1. Sensores activos	28
2.4.2. Sensores direccionales pasivos.....	29
2.4.3. Sensores de haz estrecho (pasivo)	29
2.5. Clasificación de aplicaciones de redes de sensores inalámbricos (WSN).....	29
2.5.1. Detección y notificación de eventos.....	30

2.5.2.	Recopilación de datos e informes periódicos	30
2.5.3.	Consulta iniciada por el sumidero	31
2.5.4.	Aplicación basada en seguimiento	31
2.6.	Clasificación de protocolos de enrutamiento en las redes de sensores inalámbricos (WSN).	32
2.6.1.	Clasificación básica de selección de ruta de protocolos de enrutamiento.....	33
2.6.2.	Protocolos de enrutamiento basados en arquitectura	34
2.6.3.	Clasificación del protocolo de enrutamiento basado en operaciones.	35
Capítulo 3:	Diseño del entorno de simulación y análisis de resultados.	38
3.1.	Entorno de simulación de red – OPNET Modeler.	38
3.2.	Estructura básica dentro de OPNET Modeler.	39
3.3.	Diseño de los escenarios de una WSN en OPNET Modeler.	41
3.4.	Parámetros de simulación de la red de sensores inalámbricos.....	42
3.5.	Análisis de resultados obtenidos de la simulación de la red de sensores inalámbricos.....	43
3.5.1.	Análisis de resultados de retardo de extremo a extremo.	44
3.5.2.	Análisis de resultados del rendimiento de la red.	50
3.6.	Discusión de los resultados obtenidos.	54
Conclusiones	56
Recomendaciones	57
Bibliografía	58

Índice de Figuras

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Esquema general de adquisición y distribución de datos en redes de sensores inalámbricos.	21
Figura 2. 2: Esquemático de los componentes de una red de sensores inalámbricos.	22
Figura 2. 3: Esquemático de la estructura de una red de sensores inalámbricos.	22
Figura 2. 4: Diagrama de bloques del nodo del sensor inalámbrico submarino.	25
Figura 2. 5: Operación del sink para recopilación de múltiples clases de información en una WSN.	26
Figura 2. 6: Modos de difusión (a) estación base a nodos, (b) nodos a estación base, (c) nodo a nodo.	27
Figura 2. 7: Configuración de los nodos sensores a estación base (BS).	27
Figura 2. 8: Aplicación de una WSN mediante sensores sísmicos.	28
Figura 2. 9: Aplicación de una WSN mediante sensores direccionales pasivos.	29
Figura 2. 10: Clasificación de los protocolos de enrutamiento en WSN's.	32

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Diagrama de flujo de trabajo en el entorno de simulación OPNET Modeler	39
Figura 3. 2: Ejemplo de la aplicación de modelo de nodo.	40
Figura 3. 3: Ejemplo de la aplicación de modelo de procesos.	41
Figura 3. 4: Diseño de la red de sensores inalámbricos (WSN).	42
Figura 3. 5: Resultados obtenidos del retardo end-to-end con protocolos DSR y AODV para una red de 10 nodos.	45
Figura 3. 6: Resultados obtenidos del retardo end-to-end con protocolos DSR y AODV para una red de 20 nodos.	47

Figura 3. 7: Resultados obtenidos del retardo end-to-end con protocolos DSR y AODV para una red de 35 nodos.	48
Figura 3. 8: Comparativa de los retardos para los 3 escenarios de simulación usando protocolos DSR y AODV.	49
Figura 3. 9: Resultados obtenidos del rendimiento de los DSR y AODV para una red de 10 nodos.	50
Figura 3. 10: Resultados obtenidos del rendimiento de los DSR y AODV para una red de 20 nodos.	51
Figura 3. 11: Resultados obtenidos del rendimiento de los DSR y AODV para una red de 35 nodos.	52
Figura 3. 12: Comparativa del rendimiento para los 3 escenarios de simulación usando protocolos DSR y AODV.	53

Índice de Tablas

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Entidades de la RSI con sus parámetros de simulación.	43
Tabla 3. 2: Cuadro comparativo de las métricas en los protocolos DSR y AODV.	55

Resumen

En el presente trabajo de examen complejo se desarrolla el modelo de una red de sensores inalámbricos (WSN) mediante tres escenarios de simulación que permite realizar la evaluación comparativa del protocolo de enrutamiento vectorial a distancia bajo demanda Ad-hoc (AODV) y del enrutamiento de origen dinámico (DSR) utilizando la plataforma Opnet Modeler. Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son una tecnología emergente que posee demasiado potencial para desempeñar un papel importante en muchas aplicaciones. Para el diseño de los tres escenarios de simulación se tuvo que elegir el entorno de simulación Opnet Modeler, ya que es un software robusto, con librerías de dispositivos muy utilizados para emular sistemas de comunicaciones alámbricos e inalámbricos, técnicas de modulación, entre otras. Después se analizan los resultados obtenidos para cada escenario (10, 20 y 35 nodos sensor) utilizando AODV y DSR, así como evaluar los datos obtenidos de manera comparativa para la red WSN propuesta.

Palabras claves: REDES, SENSORES, ENRUTAMIENTO, PROTOCOLOS, SIMULACIÓN, AD-HOC.

Abstract

In this complex examination work, the model of a wireless sensor network (WSN) is developed through three simulation scenarios that allows the comparative evaluation of the Ad-hoc on-demand remote vector routing protocol (AODV) and the routing of dynamic origin (DSR) using the Opnet Modeler platform. Wireless Sensor Networks (WSN) are an emerging technology that has too much potential to play a significant role in many applications. For the design of the three simulation scenarios, the Opnet Modeler simulation environment had to be chosen, since it is a robust software, with libraries of devices widely used to emulate wired and wireless communication systems, modulation techniques, among others. Afterwards, the results obtained for each scenario (10, 20 and 35 sensor nodes) are analyzed using AODV and DSR, as well as evaluating the data obtained comparatively for the proposed WSN network.

Keywords: NETWORKS, SENSORS, ROUTING, PROTOCOLS, SIMULATION, AD-HOC

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

Para Peckens et al., (2018) las redes de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Networks, WSN*) se han utilizado en muchas otras aplicaciones de ciudades inteligentes, que pueden contribuir a la literatura al comprender los desafíos y las capacidades asociadas con esta tecnología. La calidad del aire es un problema común en entornos urbanos y numerosos investigadores se han centrado en el uso de las WSN's para monitorear esta variable (Khedo et al., 2010); sin embargo, Moltchanov et al., (2015) manifiesta que se ha demostrado que el rendimiento del transductor es un problema común.

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) han ganado popularidad en la comunidad de investigación porque proporcionan una infraestructura prometedora para numerosas aplicaciones de control y monitoreo. Estas redes simples y de bajo costo permiten que los procesos de monitoreo se lleven a cabo de forma remota, en tiempo real y con una mínima intervención humana. (Pule et al., 2017)

Las redes de sensores inalámbricas (WSN) se utilizan para obtener y recopilar información en los combates, proporcionando los datos esenciales para su procesamiento. Y las redes de sensores inalámbricos (WSN) se han aplicado ampliamente y se han convertido en una parte importante de la capa de detección en la actualidad. Hay algunas ventajas en los sensores inalámbricos, incluido un volumen pequeño, un precio bajo y una alta sensibilidad. (Pang et al., 2020)

Para Issac et al., (2020) un conjunto de dispositivos inteligentes inalámbricos que colaboran en una red constituye una red de sensores inalámbricos (WSN's). Los dispositivos finales inteligentes en una WSN se conocen ampliamente como nodos. Un nodo se define generalmente como un sistema microelectromecánico inalámbrico, con recursos limitados, que comprende los componentes de sensor, procesador, almacenamiento y radio.

Según Pilloni et al., (2014) los nodos ejecutan las múltiples misiones de una aplicación de WSN. Anteriormente, los nodos tenían capacidades limitadas de detección, procesamiento y almacenamiento, lo que los hacía menos versátiles. Por lo tanto, los nodos heredados se limitaron a un conjunto de aplicaciones simples como la automatización (hogar, construcción, industria), monitoreo (ambiental, hábitat, incendios forestales) y aplicaciones de seguimiento.

1.2. Antecedentes.

El presente trabajo se basa en modelos de redes de sensores inalámbricos (WSN's) mediante el empleo de protocolos de enrutamiento. Durante la búsqueda de información, se encontraron trabajos donde evalúan protocolos de enrutamiento, por ejemplo, Ueda et al., (2018) realiza un análisis comparativo de protocolos de enrutamiento para redes de sensores inalámbricos bajo condiciones de batería y recolección de energía. En este artículo, asumen propiedades de un modelo energético (*Energy Harvesting, EH*) y lo comparan con las características del protocolo de enrutamiento: vector distancia bajo demanda Ad-hoc (*Ad-hoc on Demand Distance Vector, AODV*), de origen dinámico (*Dynamic Source Routing, DSR*) y de zona (*Zone Routing Protocol, ZRP*) de redes Ad-hoc móviles (*Mobile Ad-hoc NETWORKS, MANET*) con respecto a WSN y las características de los protocolos de enrutamiento MANETs con EH-WSN en las mismas condiciones.

Yessad et al., (2014) propone protocolos de enrutamiento en redes de sensores inalámbricos y cuyo objetivo fue evaluar, analizar y comparar tres protocolos de enrutamiento (EAR, FEAR y BEER) que equilibran el consumo energético, mediante un modelo matemático y simulaciones. Los resultados obtenidos muestran que FEAR permite un uso eficiente de la energía y mejora la vida útil de la red de sensores más que EAR. Mientras, que BEER supera los dos protocolos y equilibra el consumo de energía entre los nodos de sensores, es decir, mucho mejor que FEAR y EAR.

Mientras, que en el repositorio digital de posgrado en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG) se encuentra el trabajo realizado

por (Pérez Baque, 2019) en el cual realiza la evaluación del rendimiento de dos protocolos de enrutamiento en WSN's.

1.3. Definición del problema

Necesidad de realizar la implementación de una red de sensores inalámbricos que permita la evaluación comparativa de los protocolos de enrutamiento vector distancia bajo demanda Ad-hoc (AODV) y de origen dinámico (DSR) mediante el entorno de simulación Opnet Modeler.

1.4. Justificación del problema a investigar.

Analizar los resultados obtenidos para los protocolos de enrutamiento seleccionados con la ayuda de diferentes parámetros y escenarios de simulación bajo el entorno Opnet Modeler.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General:

Realizar la evaluación comparativa de los protocolos de enrutamiento AODV y DSR mediante escenarios de simulación en una WSN utilizando el entorno Opnet Modeler.

1.5.2. Objetivos específicos:

- ✓ Describir los fundamentos teóricos de las redes de sensores inalámbricos, protocolos de enrutamiento y del entorno de simulación.
- ✓ Implementar la red de sensores inalámbricos utilizando los protocolos de enrutamiento AODV y DSR sobre el entorno de simulación Opnet Modeler.
- ✓ Comparar los resultados obtenidos de los escenarios de simulación de los protocolos AODV y DSR en una WSN.

1.6. Hipótesis

A través del presente estudio, selección y evaluación de los protocolos de enrutamiento AODV y DSR para la red de sensores inalámbricos permitirá comparar el desempeño de estos protocolos de enrutamiento para la aplicación de monitoreo en condiciones críticas.

1.7. Metodología de investigación.

El presente trabajo emplea un enfoque cuantitativo y cuyo diseño de investigación es descriptivo, explicativo y exploratorio. El método de investigación utilizado es el empírico analítico. Aunque, se utiliza en parte una propia metodología mediante el uso de un entorno de simulación. El enfoque cuantitativo es porque se manejan datos que se obtienen de las simulaciones ejecutadas en el entorno Opnet Modeler. También, se encarga de describir el estado del arte de las comunicaciones inalámbricas, y explica brevemente la funcionalidad del software de simulación, y explora trabajos relacionados con los protocolos de enrutamiento empleados en redes de sensores inalámbricos.

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.

En este capítulo se muestran los fundamentos teóricos relacionados al estado del arte de las redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Networks, WSN's).

2.1. Introducción a la red de sensores inalámbricos (WSN).

La red de sensores inalámbricos (WSN) es la colección de nodos homogéneos y autoorganizados llamados nodos de sensores. Estos nodos tienen la capacidad de detectar, procesar y comunicar datos entre sí de forma inalámbrica mediante un canal de radiofrecuencia. La tarea básica de las redes de sensores es detectar los eventos, recopilar datos y enviarlos al destino solicitado. Muchas de las características de estas redes las hacen diferentes de los sistemas distribuidos tradicionales cableados e inalámbricos. Las redes cableadas o inalámbricas tradicionales tienen suficientes recursos como energía ilimitada, memoria, topologías de red fija, suficiente rango de comunicación y capacidades computacionales. Estas características hacen que las redes tradicionales puedan satisfacer las demandas de comunicación. (K.-J. Kim & Hong, 2013)

Por otro lado, las WSN's son sistemas distribuidos con recursos limitados con baja energía, bajo ancho de banda y corto alcance de comunicación. Las características básicas que hacen que las WSN's sean diferentes de las redes tradicionales son;

- a. capacidades de autoorganización,
- b. comunicación de corto alcance,
- c. enrutamiento de múltiples saltos,
- d. despliegue denso,
- e. limitación de energía y memoria, y
- f. también topología que cambia con frecuencia debido a desvanecimientos y fallas.

La naturaleza de los recursos limitados y la estructura de red impredecible (los nodos sensores están dispersos densamente en un entorno)

plantea numerosos desafíos de diseño y comunicación para las WSN's. Los desafíos en la jerarquía de: detectar las cantidades relevantes, monitorear y recolectar los datos, evaluar y evaluar la información, formular pantallas de usuario significativas y realizar la toma de decisiones y las funciones de alarma son enormes.

Generalmente, la operación de la red de sensores inalámbricos implica la adquisición de datos y el reporte de datos, por lo tanto, se debe tener una red de adquisición de datos y una red de distribución de datos y un centro de gestión responsable de su monitoreo y control, tal como se muestra en la figura 2.1. (Tolentino & Park, 2010)

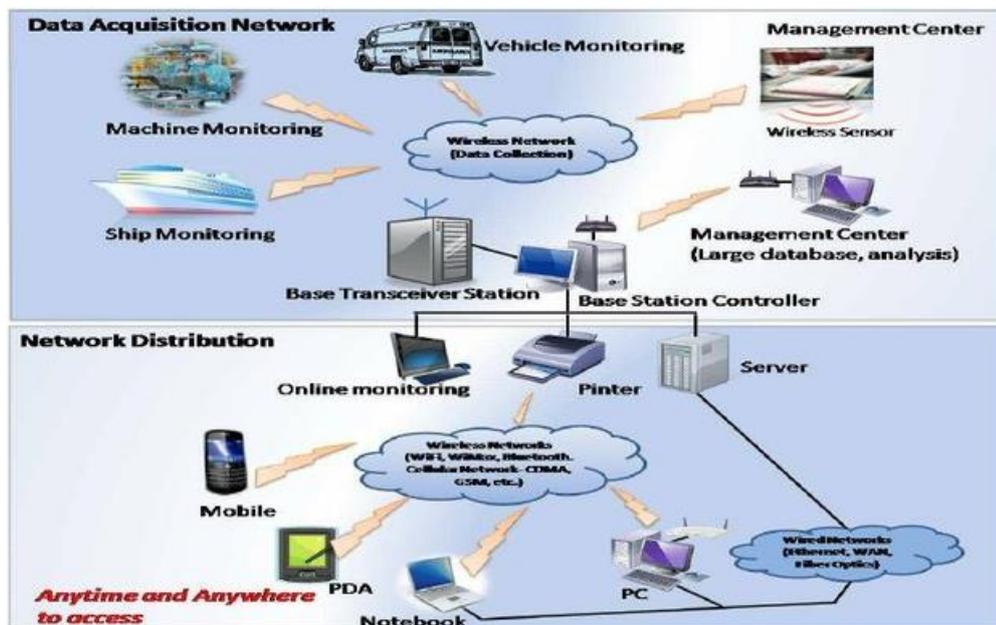


Figura 2. 1: Esquema general de adquisición y distribución de datos en redes de sensores inalámbricos.

Fuente: (Tolentino & Park, 2010)

Lo fundamental para cualquier aplicación de una red de sensores inalámbricos (WSN) se basa en la integración de tecnologías modernas como sensores, CPUs y radio que realizan detección, procesamiento y comunicación entre ellos. Por lo tanto, requiere una mejor comprensión de las tecnologías de red modernas, así como de las unidades de hardware de las WSN's para tener una WSN eficaz. A pesar de todos estos desafíos, la importancia de WSN no puede pasarse por alto debido a su diverso dominio de aplicación.

2.2. Componentes de una red de sensores inalámbricos (WSN).

Los componentes principales de un WSN general son los nodos de sensor, el receptor (estación base) y los eventos que se monitorean. En la figura 2.2 se muestran los componentes elementales de una WSN, en las que un nodo sensor se compone de cuatro componentes básicos, como la unidad de detección, la unidad de procesamiento, la unidad de transceptor y una unidad de potencia. (Macwan, 2018; M. A. Matin & Islam, 2012)

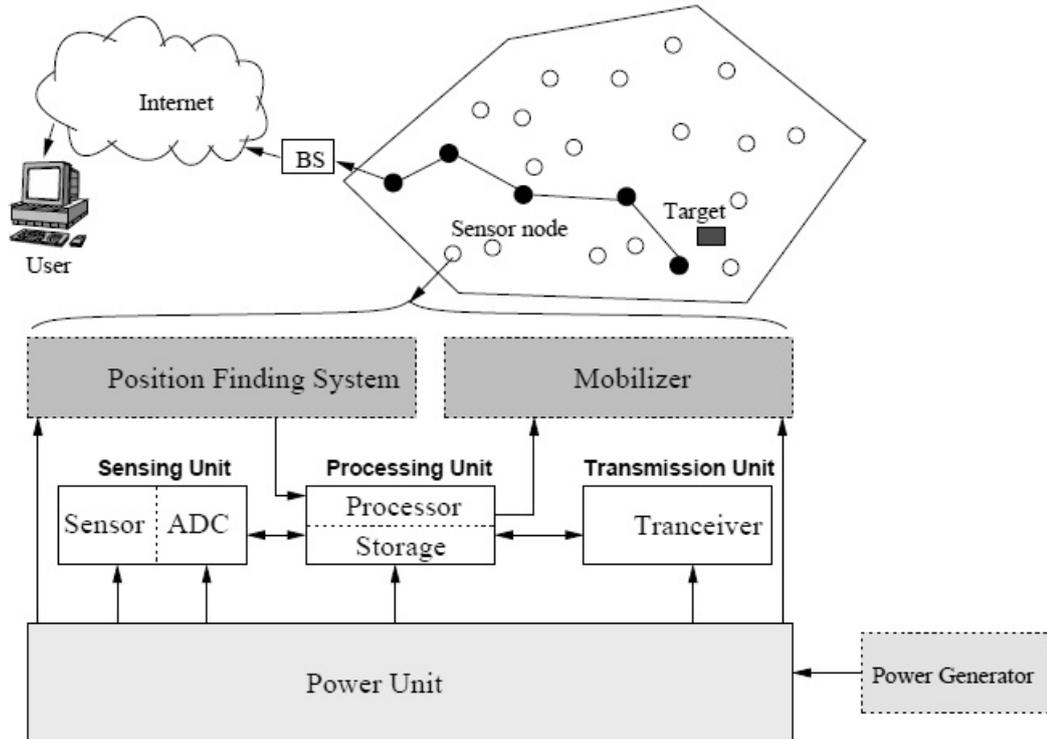


Figura 2. 2: Esquemático de los componentes de una red de sensores inalámbricos.
Fuente: (M. A. Matin & Islam, 2012)

Aunque, los componentes de una WSN dependen del tipo de aplicación que se desea implementar o simular. Por ejemplo, Pang et al., (2020) emplea un sistema casi idéntico (véase la figura 2.3) al de la figura 2.2 en la que se aprecia un módulo de posicionamiento global (GPS).

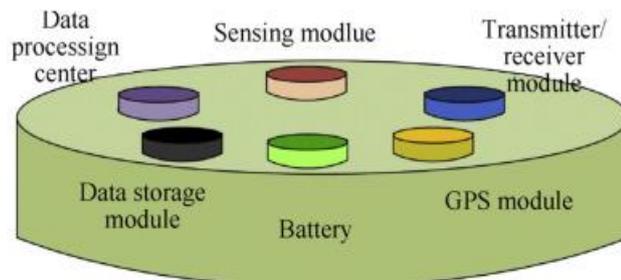


Figura 2. 3: Esquemático de la estructura de una red de sensores inalámbricos.
Fuente: (Pang et al., 2020)

A continuación, las siguientes subsecciones describen cada uno de los componentes de una WSN.

2.2.1. Nodo sensor y sus unidades funcionales

En las WSN's cada nodo sensor tiene la capacidad de detectar, procesar y comunicar datos al destino requerido. Las entidades básicas en los nodos sensores son la unidad de detección, la unidad de potencia, la unidad de procesamiento y la unidad de comunicación y la unidad de memoria para realizar estas operaciones, tal como se pueden observar en las figuras 2.2 y 2.3. Cada una de las entidades ya descritas se describen a continuación:

1. Unidad de detección o sensor.

Los sensores juegan un papel importante en las redes de sensores al crear una conexión entre el mundo físico y el computacional. El sensor es un dispositivo de hardware que se utiliza para medir el cambio en la condición física de un área de interés y producir una respuesta a ese cambio. Los sensores detectan el entorno, recopilan datos y los convierten en datos fundamentales (corriente o voltaje, entre otras.) antes de enviarlos para su posterior procesamiento. Por ejemplo, en la figura 2.4 se muestra la difusión de las unidades de detección (sensing) que se encargan de enviar información al servidor (server) de manera autónoma.

Su función principal, es que convierte los datos analógicos (datos detectados de un entorno) en datos digitales y luego los envía al microcontrolador para su posterior procesamiento de datos. Hay diferentes categorías de sensores que están disponibles y se pueden utilizar según la naturaleza de la operación prevista. Un nodo de sensor inalámbrico típico es un nodo microelectrónico con una fuente de alimentación de menos de 500 mAh y 1.2 V. El tamaño de los sensores y su consumo de energía son los factores clave a considerar en la selección de los sensores.

2. Unidad de memoria

Esta unidad de nodo sensor se utiliza para almacenar tanto los datos como el código del programa. Para almacenar paquetes de datos de (otros)

nodos vecinos, normalmente se utiliza memoria de solo lectura (*Read-Only Memory, ROM*). Y para almacenar el código del programa, se utiliza la memoria flash o la memoria de sólo lectura programable y borrable eléctricamente (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, EEPRM*). En la figura 2.4 se muestra la unidad de memoria incorporada en el sensor inalámbricos submarino.

3. Unidad de potencia

Para el cálculo y la transmisión de datos, las unidades correspondientes en el nodo sensor necesitan potencia (energía). Un nodo consiste en una unidad de energía responsable de entregar energía a todas sus unidades. El consumo de energía básico en el nodo se debe al cálculo y la transmisión, donde la transmisión es la actividad más cara en el nodo del sensor en términos de consumo de energía. En su mayoría, los nodos de sensores funcionan con baterías, pero también pueden extraer energía del medio ambiente a través de celdas solares. En la figura 2.4 se muestra el empleo de una batería para un nodo sensor.

4. Unidad de procesamiento

El nodo sensor tiene un microcontrolador que consta de una unidad de procesamiento, memoria, convertidores analógicos a digitales (*Analog-to-Digital Converters, ADC*) temporizadores e interfaces de transmisión y recepción asíncrona universal (*Universal Asynchronous Receive and Transmit, UART*) para realizar las tareas de procesamiento. Esta unidad es responsable de la adquisición de datos, el procesamiento de la información entrante y saliente, la implementación y el ajuste de la información de enrutamiento considerando las condiciones de rendimiento de la transmisión. En la figura 2.4 se muestra la CPU integrada en el nodo sensor.

5. Unidad de comunicación

Los nodos sensores utilizan radiofrecuencias o comunicación óptica para lograr la interconexión. Esta tarea es gestionada por unidades de radio en nodos sensores que utilizan espectro electromagnético para transmitir la información a sus destinos. Por lo general, cada nodo sensor transfiere los

datos a otro nodo o sumideros directamente o mediante enrutamiento de múltiples saltos.

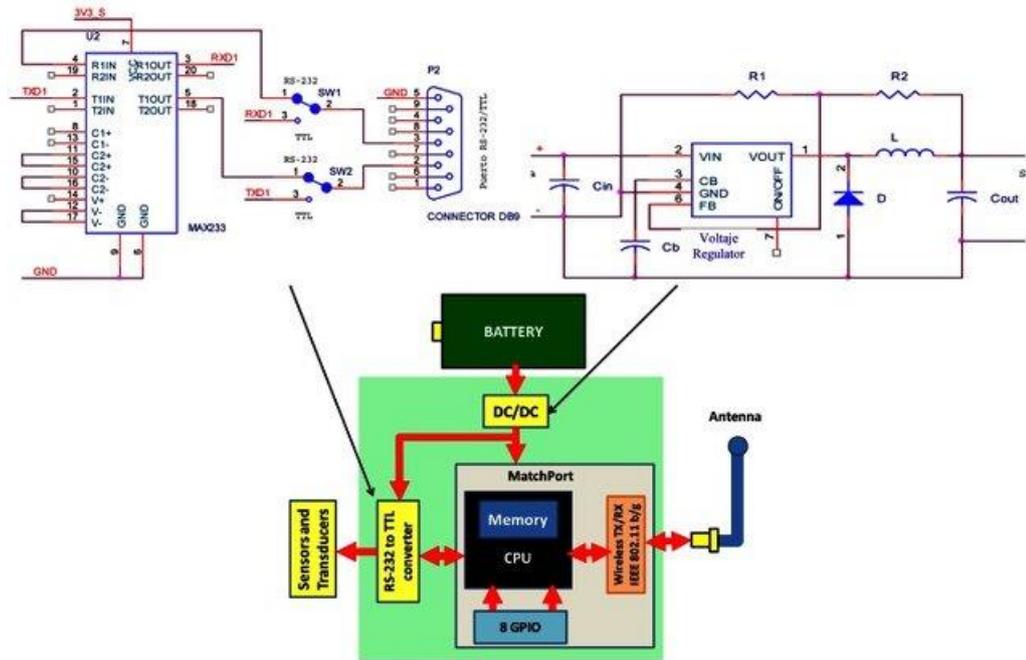


Figura 2. 4: Diagrama de bloques del nodo del sensor inalámbrico submarino.

Fuente: (Lloret et al., 2012)

2.2.2. Estación base (Sink).

El Sink o también llamado sumidero (alguna cabeza de grupo de tiempo) es una interfaz entre el mundo externo (centro de gestión) y el mundo computacional (red de sensores), tal como se muestra en la figura 2.5. Normalmente es un nodo ingenioso que tiene capacidades computacionales y suministro de energía ilimitados. Puede haber una o varias estaciones base en una red.

En la práctica, el uso de varias estaciones base reduce el retardo de la red y funciona mejor con una recopilación de datos sólida. La estación base en una red también puede ser estacionaria o dinámica. Las estaciones base dinámicas pueden influir en gran medida en los protocolos de enrutamiento debido a su posición cambiante, que no será clara para todos los nodos de una red. Además de la movilidad de las estaciones base, existen otras características de las estaciones base como la cobertura, la presencia y el número de nodos que plantean desafíos de enrutamiento para los protocolos de enrutamiento que se explican más adelante (en la sección 2.6).

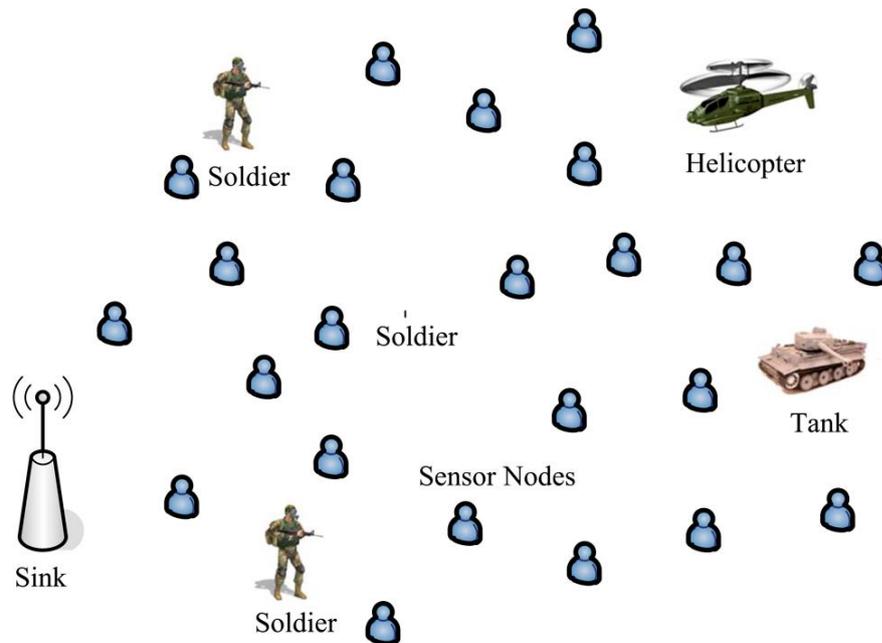


Figura 2. 5: Operación del sink para recopilación de múltiples clases de información en una WSN.

Fuente: (Qiu et al., 2009)

2.3. Operación de las redes de sensores inalámbricos (WSN).

Generalmente, el funcionamiento de una red de sensores inalámbricos (WSN) implica la comunicación entre el nodo sensor y la estación base, tal como se observa en la figura 2.5. El nodo sensor detecta el entorno, realiza algunos cálculos (si es necesario) y reportar la información recopilada a la estación base. Si la estación base está conectada con algún actuador el cual dispara la alarma por intervención humana en caso de un evento de interés.

Aunque los nodos sensores son dispositivos idénticos, sus características varían con las estructuras de la red. El despliegue del sensor, la cobertura, la potencia de transmisión, el cálculo, la generación de reportes, el direccionamiento y el patrón de comunicación afectan en gran medida la operación del protocolo de enrutamiento tanto en los nodos como en las estaciones base discutidas más adelante del presente capítulo. El protocolo de enrutamiento utilizado para la comunicación de redes de sensores inalámbricos (WSN) admite unidifusión (uno a uno), multidifusión (uno a muchos) y multidifusión inversa (muchos a uno), tal como se muestra en la figura 2.6. Estos modos de difusión son descritos brevemente en las secciones 2.3.1 a 2.3.3.

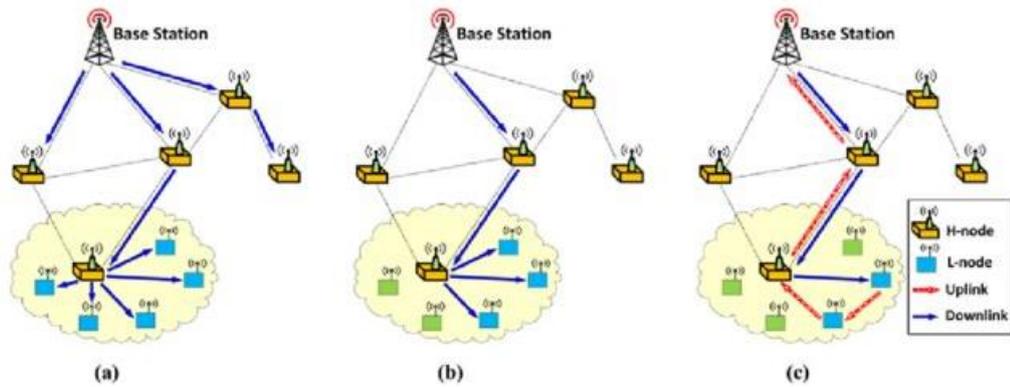


Figura 2. 6: Modos de difusión (a) estación base a nodos, (b) nodos a estación base, (c) nodo a nodo.

Fuente: (D. Kim et al., 2016)

2.3.1. Nodo a nodo

En una comunicación de saltos múltiples, los nodos intermedios deben pasar los datos para llegar al destino (véase figura 2.6 c). Las comunicaciones de nodo a nodo se utilizan para pasar datos de un nodo a otro hasta el destino. Aunque, generalmente, este tipo de comunicación no se requiere en la comunicación WSN.

2.3.2. Nodos a estación base.

Cuando el nodo de sensores desea enviar respuestas a la estación base, se utiliza este patrón de comunicación. Esta es una comunicación inversa de múltiples rutas, lo que significa que más de un nodo puede comunicarse con la estación base directa o indirectamente. Este patrón de comunicación también puede ser unidifusión si hay varias estaciones base o si hay un nodo especial (líder de grupo), que es responsable de recopilar la información detectada y transmitirla a la estación base, tal como se muestra en la figura 2.6.

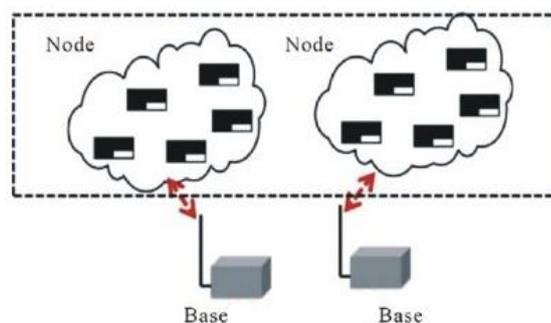


Figura 2. 7: Configuración de los nodos sensores a estación base (BS).

Fuente: (Zhang et al., 2012)

2.3.3. Estación base a nodos.

Este tipo de comunicación es necesario cuando la estación base desea solicitar datos de los nodos. Normalmente, el modo de comunicación es anycast (uno a muchos), lo que significa que cualquier nodo sensor que tenga la fecha solicitada puede responder a la estación base. Este patrón de comunicación también puede ser multidifusión o unidifusión si la identificación de los nodos es única por sus ID o ubicaciones, etc.

2.4. Clasificación de sensores.

El sensor se puede clasificar en función de diferentes aspectos, incluidos los aspectos tecnológicos, los medios de detección, sus señales de salida y los materiales del sensor y el campo de aplicación. Aunque se necesita una clasificación diferente cuando se mira en el lado de su aplicación, se puede clasificar en las siguientes categorías.

2.4.1. Sensores activos

Los sensores activos estimulan el entorno para realizar las mediciones. Por ejemplo, sensores sísmicos (véase la red de sensores en la figura 2.8), escáneres láser, sensores infrarrojos, sonares, etc.

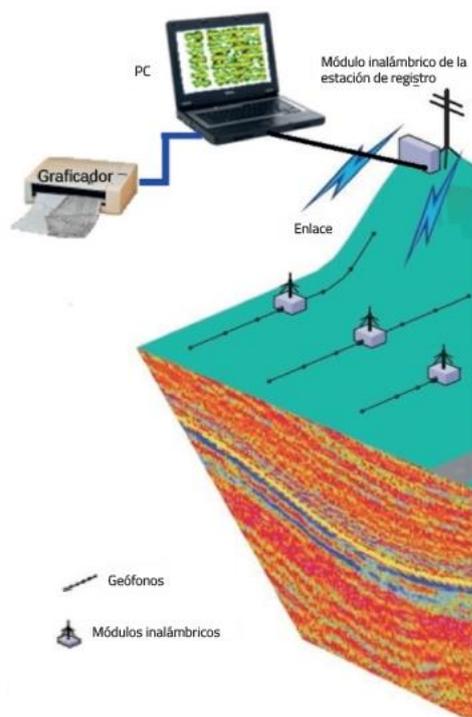


Figura 2. 8: Aplicación de una WSN mediante sensores sísmicos.
Fuente: (Paz Penagos et al., 2017)

2.4.2. Sensores direccionales pasivos

Estos sensores pueden monitorear el medio ambiente sin perturbar el medio ambiente. Ejemplos de estos sensores son termómetros, sensores de humedad, sensores de luz y sensores de presión, etc.



Figura 2. 9: Aplicación de una WSN mediante sensores direccionales pasivos.
Fuente: (Cambra et al., 2017)

2.4.3. Sensores de haz estrecho (pasivo)

Este es el tipo de sensores pasivos que requiere una dirección clara para medir el entorno (medio), p. cámaras y sensores ultrasónicos.

2.5. Clasificación de aplicaciones de redes de sensores inalámbricos (WSN).

Las redes de sensores inalámbricos se pueden implementar para varios tipos de aplicaciones en función de sus requisitos de entrega de datos, el tipo de aplicación y los objetivos de la aplicación. Las demandas de las aplicaciones varían según la naturaleza de la aplicación. Algunas aplicaciones están más interesadas solo en la recopilación de datos, mas no en la entrega sólida, mientras que en algún lugar no se pueden tolerar demoras. Existen diferentes clases de aplicaciones con diferentes demandas de transmisión.

Estas clases de aplicaciones con diferentes requisitos de entrega hacen que el diseño de software y hardware de las redes de sensores inalámbricos (WSN's) sea más desafiante. Por lo tanto, se requiere clasificar la aplicación de WSN en clases para comprender su naturaleza y requisitos. Generalmente, las aplicaciones de WSN's se pueden clasificar en las siguientes cuatro clases:

1. Detección y notificación de eventos
2. Recopilación de datos e informes periódicos
3. Consulta iniciada por el sumidero (Sink)
4. Aplicación basada en seguimiento

2.5.1. Detección y notificación de eventos

Esta clase de aplicación WSN consta de nodos sensores que se utilizan con poca frecuencia. Estos nodos sensores están inactivos la mayor parte del tiempo y cobran vida (activos) cuando ocurre un evento determinado. Cuando se detecta el evento, el nodo individual envía un informe de evento al sumidero que puede contener alguna información sobre la naturaleza del evento y la ubicación. La aplicación de la naturaleza es sensible en términos de confiabilidad y demora. Tan pronto como se detecta un evento, WSN informa que se hunde en poco tiempo. Un desafío importante en este tipo de red a nivel de aplicación es minimizar la notificación falsa del evento. Además, el enrutamiento del evento al receptor es un problema de diseño desde el punto de vista de la red. Ejemplos de tales aplicaciones son:

- Detección de intrusos en vigilancia militar
- Control de calidad en la línea de productos / comportamiento anómalo
- Detección de incendios forestales / inundaciones
- Detección de actividad sísmica
- Detección del medio marino

2.5.2. Recopilación de datos e informes periódicos

El comportamiento funcional de los nodos sensores en estas aplicaciones es continuo. En estas aplicaciones, el monitoreo continuo de alguna actividad se registra y se envía al sumidero (Sink) individualmente

como una comunicación punto a punto. Pero en el caso de una red grande, el sumidero está más interesado en el cálculo distribuido de los datos recopilados que en la lectura de nodos individuales para evitar el volumen de tráfico en el sumidero.

A veces, estos sensores se pueden conectar con actuadores. Es posible que el sumidero necesite almacenar la información geográfica de los nodos sensores en el área de interés. El control de la humedad en una casa de cristal es un ejemplo de tales aplicaciones. El requisito fundamental de estas aplicaciones es la utilización eficiente de la energía. Los ejemplos son:

- Monitoreo de humedad, temperatura y luz, etc.
- Monitoreo de condiciones ambientales
- Entornos inteligentes de hogar / oficina
- Aplicaciones de salud

2.5.3. Consulta iniciada por el sumidero

Las aplicaciones de esta clase también tienen la característica adicional de consultas de sumidero además de la supervisión. En este caso, el receptor puede enviar una consulta a un grupo de nodos sensores para su lectura en lugar del informe periódico del nodo individual. Esto permite que el sumidero recopile información sobre diferentes ubicaciones y ayude a la invalidez de las medidas para tomar una decisión (activar un actuador o dar una alarma). Ejemplos de estas aplicaciones son:

- Control ambiental en edificios
- Monitoreo de la condición del suelo
- Detección de ataques biológicos
- Monitoreo del clima
- Alarma de incendio

2.5.4. Aplicación basada en seguimiento

Esta clase de aplicaciones WSN consta de algunas de las características de las tres clases anteriores. Las aplicaciones de seguimiento involucran tanto la detección como la información de ubicación. Cuando un nodo sensor detecta un objetivo en cualquier ubicación, debe notificar al sumidero de

inmediato dónde la precisión es la principal preocupación. Ahora, el sumidero puede requerir iniciar consultas al conjunto específico de nodos de sensores para obtener la información de ubicación del objetivo. También ayuda a verificar las mediciones de ese nodo individual sobre la detección del objetivo. La decisión de activar un actuador o dar una alarma por intervención humana se basa en las lecturas recibidas por este conjunto de nodos sensores. Ejemplos de estas aplicaciones son:

- Seguimiento en munición inteligente
- Seguimiento de médicos y pacientes en un hospital
- Seguimiento del habitante en un edificio
- Seguimiento de animales en el bosque
- Seguimiento y control de las personas en el parque y edificio.

2.6. Clasificación de protocolos de enrutamiento en las redes de sensores inalámbricos (WSN).

Se diseñan diferentes protocolos de enrutamiento para satisfacer las deficiencias de la naturaleza de restricción de recurso de las WSN. El WSN implementado se puede diferenciar según la estructura de la red o las operaciones previstas. Por lo tanto, los protocolos de enrutamiento para WSN deben categorizarse de acuerdo con la naturaleza de la operación de WSN y su arquitectura de red. Los protocolos de enrutamiento de WSN se pueden subdividir en dos amplias categorías, protocolos de enrutamiento basados en arquitectura de red y protocolos de enrutamiento basados en operaciones.

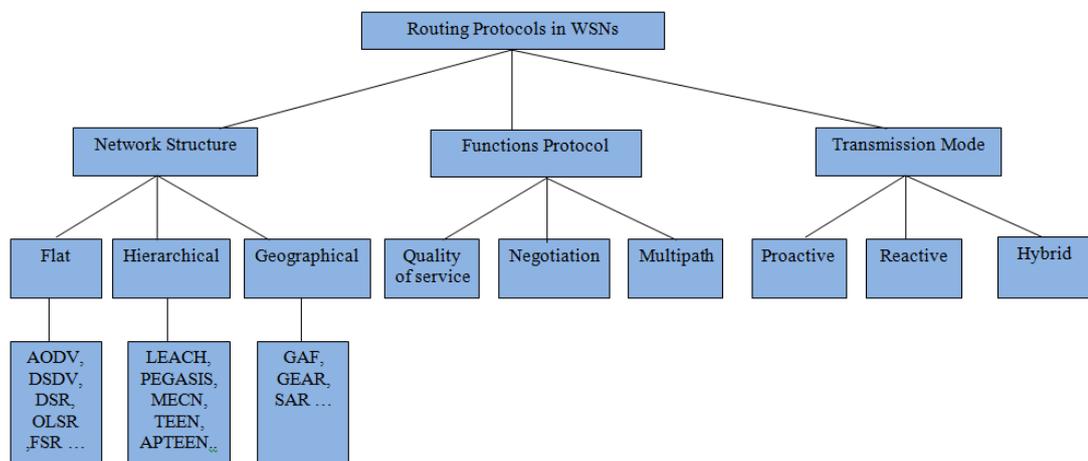


Figura 2. 10: Clasificación de los protocolos de enrutamiento en WSN's.

Fuente: (Hassan et al., 2017)

2.6.1. Clasificación básica de selección de ruta de protocolos de enrutamiento

Los protocolos de enrutamiento WSN se pueden clasificar adicionalmente según el método utilizado para adquirir y mantener la información, y también según el cálculo de la ruta de la información adquirida. Esta clasificación del protocolo se basa en cómo el nodo de origen encuentra una ruta hacia un nodo de destino.

i) Protocolos proactivos

Los protocolos de enrutamiento proactivo también se conocen como protocolos controlados por tablas que mantienen tablas de enrutamiento coherentes y precisas de todos los nodos de la red mediante la difusión periódica de información de enrutamiento. En esta categoría de enrutamiento, todas las rutas se calculan antes que sus necesidades [papel]. La mayoría de estos protocolos de enrutamiento se pueden utilizar tanto en redes estructuradas planas como jerárquicas. La ventaja del enrutamiento proactivo plano es su capacidad para calcular una ruta óptima que requiere una sobrecarga para este cálculo, lo que no es aceptable en muchos entornos. Si bien para satisfacer las demandas de enrutamiento de redes ad hoc más grandes, el enrutamiento proactivo jerárquico es la mejor solución.

ii) Protocolos reactivos

Las estrategias de enrutamiento reactivo no mantienen la información global de todos los nodos de una red, sino que el establecimiento de la ruta entre origen y destino se basa en su búsqueda dinámica según la demanda. Para descubrir la ruta desde el origen al destino, se utiliza una consulta de descubrimiento de ruta y la ruta inversa para las respuestas a la consulta. Por lo tanto, en las estrategias de enrutamiento reactivo, la selección de la ruta se realiza a pedido mediante consultas de ruta antes del establecimiento de la ruta. Estas estrategias son diferentes de dos maneras: restableciendo y recalculando la ruta en caso de ocurrencia de fallas y reduciendo la sobrecarga de comunicación causada por inundaciones en las redes.

iii) Protocolos híbridos

Esta estrategia se aplica a grandes redes. Las estrategias de enrutamiento híbrido contienen estrategias de enrutamiento tanto proactivas como reactivas. Utiliza una técnica de agrupación que hace que la red sea

estable y escalable. La nube de red se divide en muchos clústeres y estos clústeres se mantienen dinámicamente si se agrega un nodo o sale de un clúster en particular. Esta estrategia utiliza una técnica proactiva cuando se necesita enrutamiento dentro de los clústeres y una técnica reactiva cuando se necesita enrutamiento a través de los clústeres. El enrutamiento híbrido presenta una sobrecarga de red que requiere el mantenimiento de clústeres.

2.6.2. Protocolos de enrutamiento basados en arquitectura

Los protocolos se dividen de acuerdo con la estructura de la red (véase la figura 2.8, que es muy importante para la operación requerida. Los protocolos incluidos en esta categoría se dividen a su vez en tres subcategorías según sus funcionalidades. Estos protocolos son:

i) Enrutamiento basados en planos.

Cuando se requiere una gran cantidad de nodos sensores, se necesita un enrutamiento plano donde cada nodo desempeña el mismo papel. Dado que el número de nodos de sensores es muy grande, no es posible asignar un Id particular a cada nodo. Esto conduce a un enfoque de enrutamiento centrado en datos en el que la estación base envía una consulta a un grupo de nodos particulares en una región y espera una respuesta. Ejemplos de protocolos de enrutamiento basados en planos son:

- Enrutamiento vectorial a distancia bajo demanda Ad-hoc (AODV)
- Enrutamiento de origen dinámico (DSR)
- Enrutamiento consciente de la energía (EAR)
- Enrutamiento consciente de la energía (EAR)
- Difusión dirigida (DD)
- Enrutamiento de asignación secuencial (SAR)
- Algoritmo de reenvío de costo mínimo (MCFA)
- Protocolos de sensores para información vía negociación (SPIN)
- Reenvío de consultas activo en la red de sensores (ADQUIRIR)

ii) Enrutamiento basado en jerarquías

Cuando se necesita escalabilidad de la red y una comunicación eficiente, el enrutamiento jerárquico es la mejor opción. También se denomina enrutamiento basado en clústeres. El enrutamiento jerárquico es un método

de eficiencia energética en el que los nodos de alta energía se seleccionan al azar para procesar y enviar datos, mientras que los nodos de baja energía se utilizan para detectar y enviar información a los cabezales del clúster. Esta propiedad del enrutamiento jerárquico contribuye en gran medida a la escalabilidad, vida útil y energía mínima de la red. Algunos ejemplos de protocolos de enrutamiento jerárquicos son:

- Enrutamiento activo jerárquico de energía (HPAR)
- Protocolo de red de sensores de eficiencia energética sensibles al umbral (TEEN)
- Recopilación de energía eficiente en sistemas de información de sensores
- Red de comunicación de energía mínima (MECN)

iii) Enrutamiento basado en la ubicación

En este tipo de arquitectura de red, los nodos sensores se encuentran dispersos aleatoriamente en un área de interés y se conocen principalmente por la posición geográfica donde se implementan. Se ubican principalmente a través de GPS. La distancia entre los nodos se estima mediante la intensidad de la señal recibida de esos nodos y las coordenadas se calculan intercambiando información entre los nodos vecinos. Las redes de enrutamiento basadas en la ubicación son:

- Enrutamiento de asignación secuencial (SAR)
- Sistema de posicionamiento ad-hoc (APS)
- Fidelidad adaptativa geográfica (GAP)
- Codicioso enrutamiento de otra cara adaptativa (GOAFR)
- Enrutamiento geográfico y consciente de la energía (GEAR)
- Enrutamiento de distancia geográfica (GEDIR)

2.6.3. Clasificación del protocolo de enrutamiento basado en operaciones.

Las aplicaciones de WSN se clasifican según sus funcionalidades. Por lo tanto, los protocolos de enrutamiento se clasifican según sus operaciones para cumplir con estas funcionalidades. La razón de ser de su clasificación es

lograr un rendimiento óptimo y ahorrar los escasos recursos de la red. Los protocolos clasificados para sus operaciones son:

i) Protocolos de enrutamiento de múltiples rutas

Como su nombre lo indica, los protocolos incluidos en esta clase proporcionan una selección de múltiples rutas para que un mensaje llegue a su destino, lo que reduce el retraso y aumenta el rendimiento de la red. La confiabilidad de la red se logra debido a una mayor sobrecarga. Dado que las rutas de la red se mantienen activas mediante el envío de mensajes periódicos y, por lo tanto, consumen más energía. Los protocolos de enrutamiento de múltiples rutas son:

- Multitrayecto y Multi SPEED (MMSPEED)
- Protocolos de sensores para información vía negociación (SPIN)

ii) Protocolos de enrutamiento basados en consultas

Esta clase de protocolos funciona para enviar y recibir consultas de datos. El nodo de destino envía una consulta de interés desde un nodo a través de la red y el nodo con este interés coincide con la consulta y la envía de vuelta al nodo que inició la consulta. La consulta normalmente utiliza lenguajes de alto nivel. Los protocolos de enrutamiento basados en consultas son:

- Protocolos de sensores para información vía negociación (SPIN)
- Difusión dirigida (DD)
- COUGAR

iii) Protocolos de enrutamiento basados en negociación

Esta clase de protocolos utiliza descriptores de datos de alto nivel para eliminar la transmisión de datos redundantes mediante la negociación. Estos protocolos toman decisiones inteligentes ya sea para la comunicación u otras acciones basadas en hechos tales como la cantidad de recursos disponibles. Los protocolos de enrutamiento basados en negociación son:

- Protocolos de sensores para información vía negociación (SPAN)
- Enrutamiento de asignación secuencial (SAR)
- Difusión dirigida (DD)

iv) Protocolos de enrutamiento basados en QoS

En este tipo de enrutamiento, la red debe tener un enfoque equilibrado de la calidad del servicio de las aplicaciones. En este caso, la aplicación puede retrasar la sensibilidad por lo que para lograr esta métrica QoS de la red hay que buscar también su consumo de energía que es otra métrica a la hora de comunicarse con la estación base. Entonces, para lograr QoS, también se debe considerar la función de costo para la QoS deseada. Un ejemplo de este enrutamiento es:

- Enrutamiento de asignación secuencial (SAR)
- VELOCIDAD
- Multitrayecto y Multivelocidad (MMSPEED)

v) Protocolo de enrutamiento de procesamiento de datos coherente

El enrutamiento de procesamiento de datos coherente se utiliza cuando se requiere un enrutamiento con eficiencia energética. En este esquema de enrutamiento, los nodos realizan un procesamiento mínimo (típicamente, sellado de tiempo, supresión, etc.) en los datos sin procesar localmente antes de enviarlos para su posterior procesamiento a otros nodos. Luego se envía a otros nodos llamados agregadores para su procesamiento posterior conocido como agregación.

El procesamiento de datos en el procesamiento no coherente implica tres fases. En la primera fase de detección del objetivo, tiene lugar la recopilación de datos y el preprocesamiento de sus datos. Luego, para la función cooperativa, el nodo debe entrar en la fase 2 donde muestra su intención a los nodos vecinos. Aquí todos los nodos vecinos deben conocer la topología de la red local. Finalmente, en el paso 3 se selecciona un nodo central para un procesamiento de información más refinado. Por lo tanto, el nodo central debe tener suficientes recursos energéticos y capacidades de cálculo.

Capítulo 3: Diseño del entorno de simulación y análisis de resultados.

Este capítulo presenta los fundamentos del software OPNET Modeler, la implementación que se ha realizado y análisis de resultados.

3.1. Entorno de simulación de red – OPNET Modeler.

Para realizar investigaciones en el campo de las redes, el entorno de simulación de redes es una herramienta muy útil e importante. Como investigadores o diseñadores de protocolos, se tiene que diseñar y probar el sistema en un software de simulación antes de utilizarlo en una red real. Existen algunos entornos de simulación de redes que se utilizan ampliamente en la investigación de sistemas de comunicaciones, tales como OMNET ++ (Objective Modular Network Testbed in C ++), NS-3 (Network Simulator versión 3) y QualNet. Aunque el entorno de simulación escogido para este trabajo de titulación es OPNET Modeler.

OPNET Modeler es generalmente utilizado por investigadores, diseñadores de protocolos en desarrollo, etc. El software OPNET fue financiado en 1986 por Alain Cohen. OPNET significa Optimización de herramientas de ingeniería de red. OPNET Modeler acelera el proceso de diseño de diferentes redes de comunicaciones, aplicaciones, dispositivos y protocolos. Las redes simuladas pueden analizarse para diferentes diseños de impacto tecnológico en el comportamiento de extremo a extremo (end-to-end).

El entorno de simulación OPNET permite el diseño de diferentes redes y tecnologías en un entorno de desarrollo que incluye TCP, MPLS, IPV6 y varios más. Este entorno de simulación tiene las características clave que incluyen el motor de simulación de eventos discretos, el entorno de modelado jerárquico, el modelado orientado a objetos, el análisis y la depuración integrados, basados en GUI, y otros.

En resumen, el entorno de simulación OPNET Modeler proporciona un entorno de desarrollo integral que es poderoso, por ejemplo, simulación,

análisis de datos, diseño de modelos, etc., también puede admitir muchas tecnologías, incluida la red de área local (LAN), la red móvil, la red de sensores, la red inalámbrica, etc.

3.2. Estructura básica dentro de OPNET Modeler.

La estructura básica del entorno de simulación OPNET Modeler se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3.1. Este es el flujo de trabajo de OPNET Modeler que normalmente, investigadores utilizan estos pasos para construir un modelo de red, crear el tráfico, elegir estadísticas y luego ejecutar simulaciones. Estos 4 pasos de la figura 3.1 consisten en crear entornos de red que incluyen el tráfico y los dispositivos de red, y luego elegir las estadísticas que se desean estudiar. El siguiente paso es ejecutar los escenarios de simulación creados previamente. Finalmente, se puede ver y analizar los resultados obtenidos de los escenarios de simulaciones creados. Para completar estos 4 pasos, OPNET Modeler proporciona una variedad de tipos de editor para ayudar a los usuarios, como se muestra a continuación.

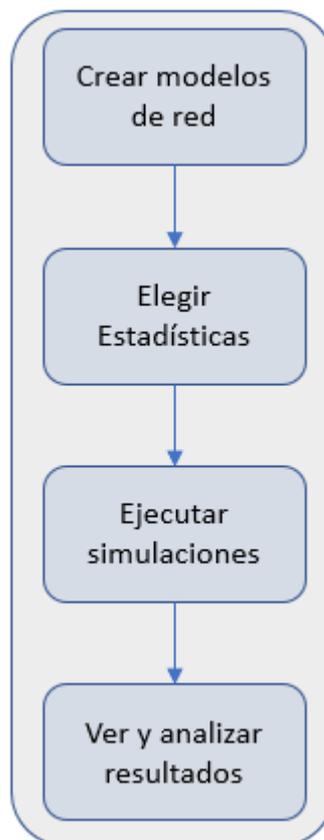


Figura 3. 1: Diagrama de flujo de trabajo en el entorno de simulación OPNET Modeler

Elaborado por: Autor.

- a. **El editor de proyectos (Project Editor):** esta es un área principal de la simulación OPNET Modeler. Se utiliza esta área para crear topología de red, generar tráfico dentro de la red y ver los resultados a través de este editor. Además, esta área todavía cubre la elección de estadísticas y la ejecución de simulaciones.
- b. **El editor de nodo (Node Editor):** el usuario puede definir el comportamiento de cada objeto de red a través del "Node Editor". En el editor de nodos de cada modelo, el comportamiento se define utilizando diferentes módulos, por ejemplo, almacenamiento de datos, creación de datos, etc. Un objeto de red en OPNET Modeler normalmente se construye a partir de varios módulos que definen ese objeto. El usuario puede agregar sus módulos al objeto de red a través del editor de nodos.
- c. **Un modelo de red en el editor de proyectos:** OPNET Modeler permite al usuario diseñar y crear cualquier elemento de red que desee. Por ejemplo, el usuario puede crear nodos, modelos de enlaces, modelos de procesos y crear formatos de paquetes. Además, el usuario puede crear filtros y parámetros que quiera analizar.
- d. **Modelo de nodo:** en la figura 3.2 se muestra el modelo de nodo.

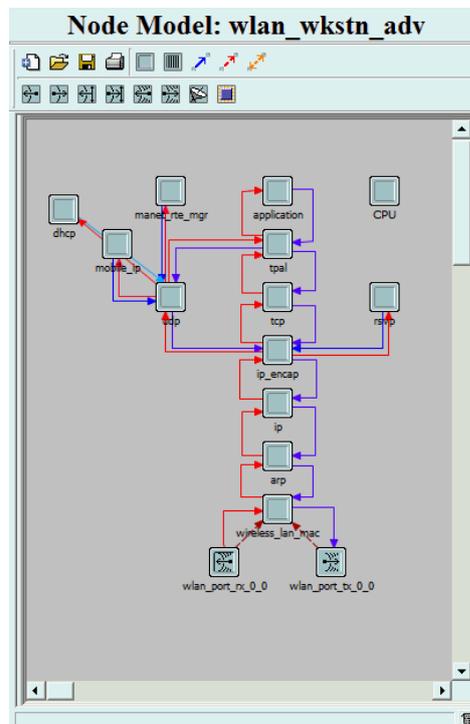


Figura 3. 2: Ejemplo de la aplicación de modelo de nodo.
Elaborado por: Autor.

- e. **El editor de modelos de procesos:** OPNET Modeler permite al usuario diseñar y crear sus modelos de proceso a través del "Editor de procesos". El usuario puede comenzar desde crear un modelo de nodo en Node Editor y luego puede construir un modelo de proceso (véase la figura 3.3), que controla la funcionalidad de ese modo de nodo.

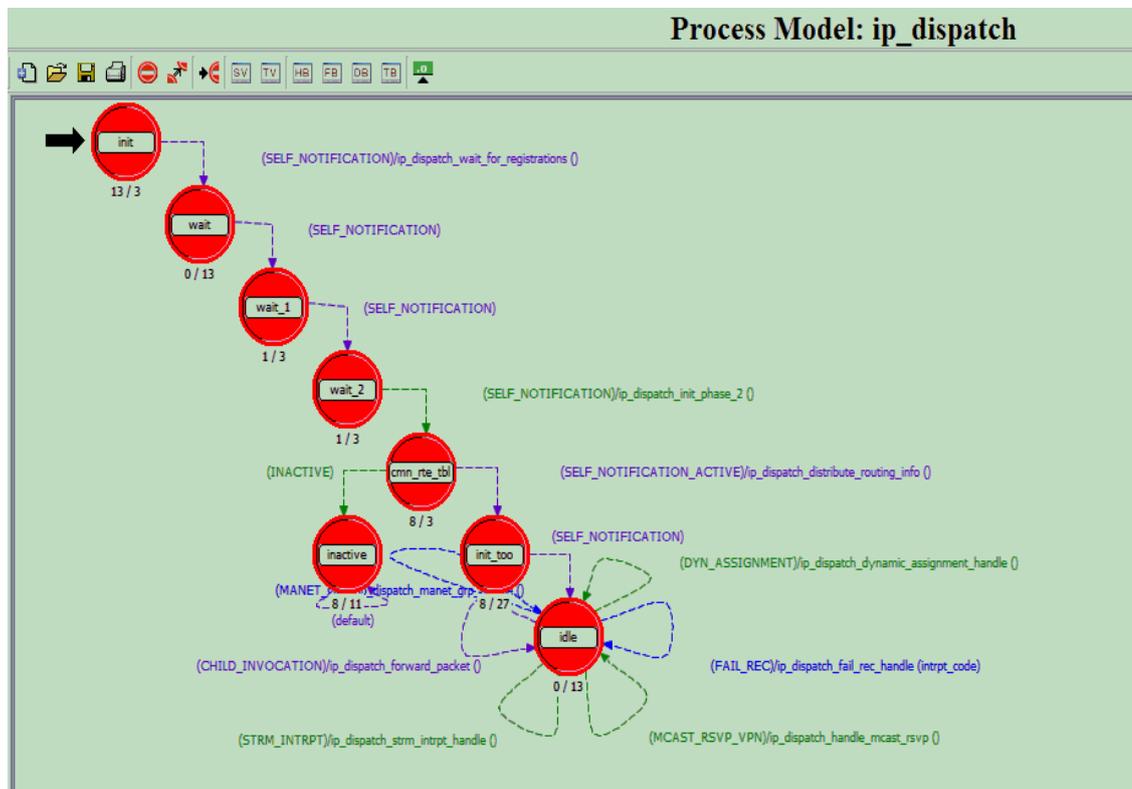


Figura 3. 3: Ejemplo de la aplicación de modelo de procesos.
Elaborado por: Autor.

3.3. Diseño de los escenarios de una WSN en OPNET Modeler.

Para realizar esta simulación la red a diseñarse es una red de área local inalámbrica (WLAN) que consta de entidades de red básicas como nodos sensores (móvil) y estación base, que básicamente se comportaría como una Red de Sensores Inalámbricos (Wireless Sensor Network, WSN). Para configurar la aplicación y para la movilidad de los nodos se incluyen los objetos de configuración del perfil, configuración de la aplicación y configuración de la movilidad como se muestra en la figura 3.4 según cada escenario de simulación.

En el primer escenario, hay nodos sensores y se analizan los parámetros de retardo de extremo a extremo y rendimiento para los protocolos de

enrutamiento AODV y DSR. En el segundo escenario se aumenta el número de nodos a 20 y nuevamente se analiza el comportamiento de los protocolos con las mismas métricas de desempeño. Finalmente, en el tercer escenario de simulación hay 35 nodos sensores y los dos protocolos que son evaluados para determinar cuál funciona mejor en las circunstancias requeridas.



Figura 3. 4: Diseño de la red de sensores inalámbricos (WSN).
Elaborado por: Autor.

En todos los escenarios las redes están modeladas en un área de 500X500 con alta carga de red. El tiempo de simulación se establece en 1800 s. La estación base (Base Station, BS) de la entidad en la red se comunica con los nodos en la red y el mundo exterior. Los nodos se comunican entre sí según la demanda en función del tipo de aplicación. El tipo de aplicación que se ejecutará en la estación base y los nodos es el protocolo de transferencia de archivos (*File Transfer Protocol, FTP*).

3.4. Parámetros de simulación de la red de sensores inalámbricos.

En esta sección se presentan los parámetros de simulación de la red de sensores inalámbricos diseñada en la figura 3. En la tabla 3.1 se muestran las entidades de la WSN con los parámetros de simulación y los dos protocolos de enrutamiento DSR y AODV.

Tabla 3. 1: Entidades de la RSI con sus parámetros de simulación.

PARÁMETROS	DATOS
Protocolos de enrutamiento	DSR AODV
Tiempo de simulación	1800 s
Área de simulación	500 x 500
Nodos en los 3 escenarios	10
	20
	35
Tipo de tráfico	FTP
Tipos de desempeño de la WSN	Rendimiento y retardo
Tipo de nodo	Móvil
Movilidad	10 m/s
Tamaño de los paquetes	512 byte

Elaborado por: Autor.

3.5. Análisis de resultados obtenidos de la simulación de la red de sensores inalámbricos.

Los resultados de los escenarios de simulación se analizan y discuten en esta sección. Los resultados se analizan y discuten en diferentes escenarios contando con redes de sensores inalámbricos de 10, 20 y 35 nodos móviles para aplicaciones de monitorización. Estas diferentes redes que tienen nodos móviles representan aplicaciones de monitoreo en la WSN.

En el primer escenario, una red con 10 nodos de sensor, se compara la evaluación del rendimiento de los protocolos de enrutamiento AODV y DSR con el parámetro de rendimiento de retardo de extremo a extremo. Después de realizar esta simulación, los dos protocolos se analizan en diferentes escenarios aumentando el número de nodos de 10 a 20 y luego a 35, lo que hace que la red sea más compleja y luego la comparación de los dos protocolos con la ayuda del mismo parámetro de rendimiento de extremo. Se analiza el retardo hasta el final. El mismo procedimiento se repite para el rendimiento de otros parámetros. Los tres escenarios están destinados al

seguimiento de condiciones críticas. Los nodos participantes en los tres escenarios se consideraron móviles y los nodos de envío que se comunican para hundirse a intervalos regulares.

En el primer escenario, la cantidad de nodos de sensores implementados fue 10 con un tamaño de entorno de 500x500. Para todos los escenarios, la aplicación utilizada fue FTP con un tamaño de paquete de 512 bytes con una velocidad de paquete de cuatro paquetes/seg. El escenario se simula durante 1800 s (30 minutos). En el segundo escenario, la red se escala aumentando el número de nodos a 20 y se analiza nuevamente el rendimiento de los protocolos. En el escenario final, la red se vuelve más compleja al escalar la red con nodos sensores hasta 35. En estos escenarios se analiza el parámetro de retardo de extremo a extremo de los dos protocolos DSR y AODV para la red diseñada.

3.5.1. Análisis de resultados de retardo de extremo a extremo.

El término retardo de extremo a extremo se refiere al tiempo que tarda un paquete en transmitirse a través de una red desde el nodo de origen al nodo de destino, que incluye todos los retrasos posibles causados durante la latencia de descubrimiento de ruta, retrasos de retransmisión en el MAC, tiempos de propagación y transferencia. El protocolo que muestra un mayor retardo de extremo a extremo significa que el rendimiento del protocolo no es bueno debido a la congestión de la red.

Las características de retardo de extremo a extremo de los dos protocolos se muestran en las figuras 3.5 a 3.7 y en la figura 3.8, se muestra la gráfica comparativa de los 3 escenarios diseñados para 10, 20 y 35 nodos sensores. En el protocolo de enrutamiento AODV, una ruta se establece solo cuando lo requiere el nodo de origen para la transmisión de paquetes de datos. Para identificar la ruta más reciente, emplea números de secuencia de destino. Una diferencia importante entre los protocolos de enrutamiento DSR y AODV surge del hecho de que en AODV, el nodo fuente y los nodos intermedios almacenan la información del siguiente salto correspondiente a cada flujo para la transmisión de paquetes de datos; sin embargo, DSR utiliza

el encaminamiento de origen en el que un paquete de datos lleva la ruta completa que se debe atravesar.

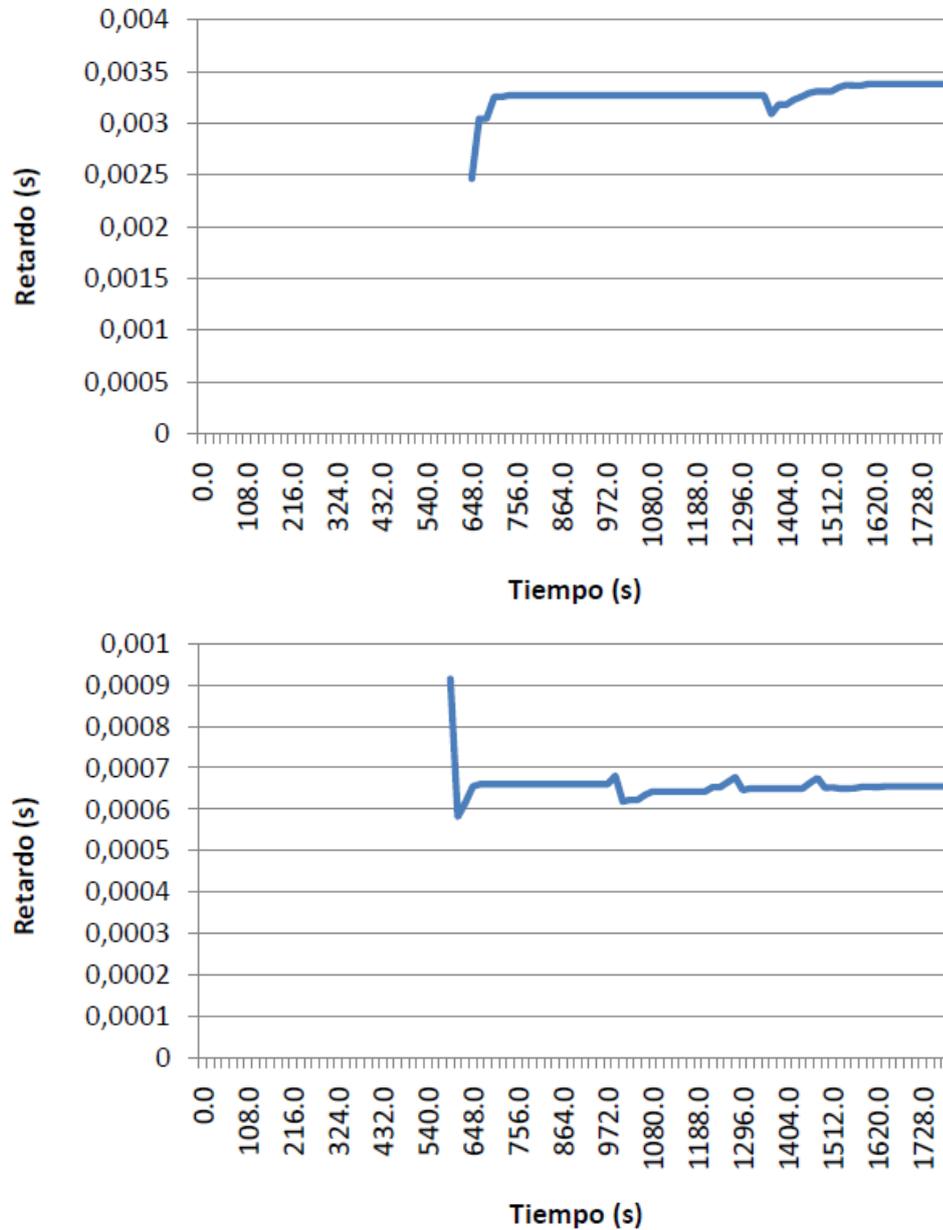


Figura 3. 5: Resultados obtenidos del retardo end-to-end con protocolos DSR y AODV para una red de 10 nodos.

Elaborado por: Autor.

Por ejemplo, en el caso del nodo de origen inunda el paquete de solicitud de ruta en un protocolo de enrutamiento bajo demanda cuando una ruta no está disponible para el destino deseado, pero en otros protocolos de enrutamiento bajo demanda y AODV, una diferencia importante es que utiliza un número de secuencia de destino (DestSeqNum) para determinar una ruta actualizada al destino. Por lo tanto, en el protocolo de enrutamiento AODV, la

ruta se establece a pedido y los números de secuencia de destino se utilizan para encontrar la última ruta al destino y la demora de configuración de la conexión es menor, tal como se muestran en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7.

Como AODV y DSR son protocolos de enrutamiento reactivos que al inicio toman algún tiempo para establecer la ruta desde el origen al destino, el retardo comienza en diferentes momentos en los tres escenarios, una vez que se establece la ruta. En una red pequeña de 10 nodos de sensores (véase la figura 3.5), el retardo de extremo a extremo en AODV es menor y variable que el protocolo DSR, lo que muestra un retardo de extremo a extremo constante y más alto. Al principio, el retardo en el protocolo AODV desciende un cierto nivel, después del cual aumenta durante algún tiempo y luego permanece entre dos niveles con los puntos de menor importancia en el medio.

Cuando la red se escala aumentando el número de nodos a 20 (véase la figura 3.6) y luego a 35 (véase la figura 3.7), el rendimiento del protocolo AODV mejora y muestra un retardo de extremo a extremo bajo mientras que aumenta el retardo en el protocolo DSR. El protocolo DSR sufre una degradación significativa en su retardo de un extremo a otro. La razón de la degradación en el retardo de extremo a extremo del protocolo DSR en un gran número de nodos se atribuye a su proceso de descubrimiento de ruta.

Cuando el protocolo AODV responde al primer paquete de solicitud de ruta (Route Request, RREQ) que llegó y descarta otras RREQs que llegan más tarde de otras fuentes, lo que favorece automáticamente la ruta menos congestionada en lugar de la ruta más corta. Mientras que el protocolo DSR responde a todos los RREQs que llegaron, será difícil para el protocolo seleccionar la ruta menos congestionada, lo que da como resultado un retardo creciente de los paquetes. En el protocolo AODV, la iniciación salto a salto ayuda a reducir el retardo de un extremo a otro.

La respuesta de retardo de extremo a extremo del protocolo DSR es más consistente y muy grande que el protocolo AODV con el crecimiento de la red. El protocolo de enrutamiento DSR utiliza rutas en caché y, con mayor

frecuencia, el envío de tráfico a rutas obsoletas provoca retransmisiones y provoca retardos excesivos. En redes con fuentes de alto tráfico, el mayor número de rutas almacenadas en caché empeora el retardo. El protocolo DSR intenta minimizar el efecto de rutas obsoletas mediante el uso de múltiples rutas.

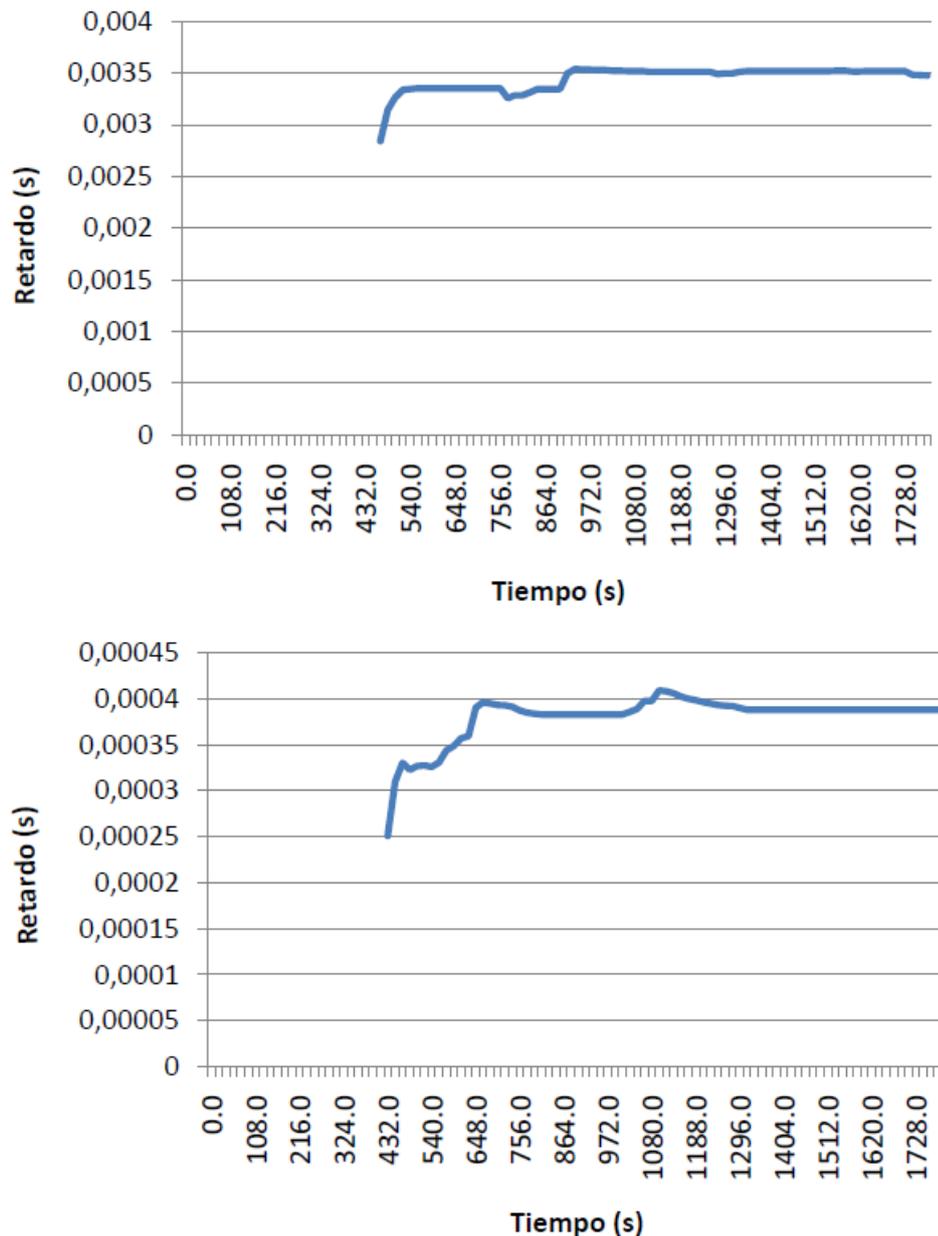


Figura 3. 6: Resultados obtenidos del retardo end-to-end con protocolos DSR y AODV para una red de 20 nodos.
Elaborado por: Autor.

Como en el caso de una red pequeña de 10 nodos (ver figura 3.5), la demora en el protocolo DSR comienza en 2.5 ms (0.0025 s) y luego aumenta hasta 3.2 ms (0.0032 s) y permanece constante durante 10 minutos. Después

de 10 minutos, muestra un pequeño pico y varía con un pequeño aumento durante el resto del tiempo. Mientras que, con el aumento de la densidad de los nodos a 20 (véase la figura 3.6), el retardo en el protocolo DSR aumenta y comienza en 2.8 ms (0.0028 s), que después de aumentar a 3.5 ms (0.0035 s) permanece constante durante unos minutos y luego se produce un pico menor después del cual permanece constante durante el resto del tiempo.

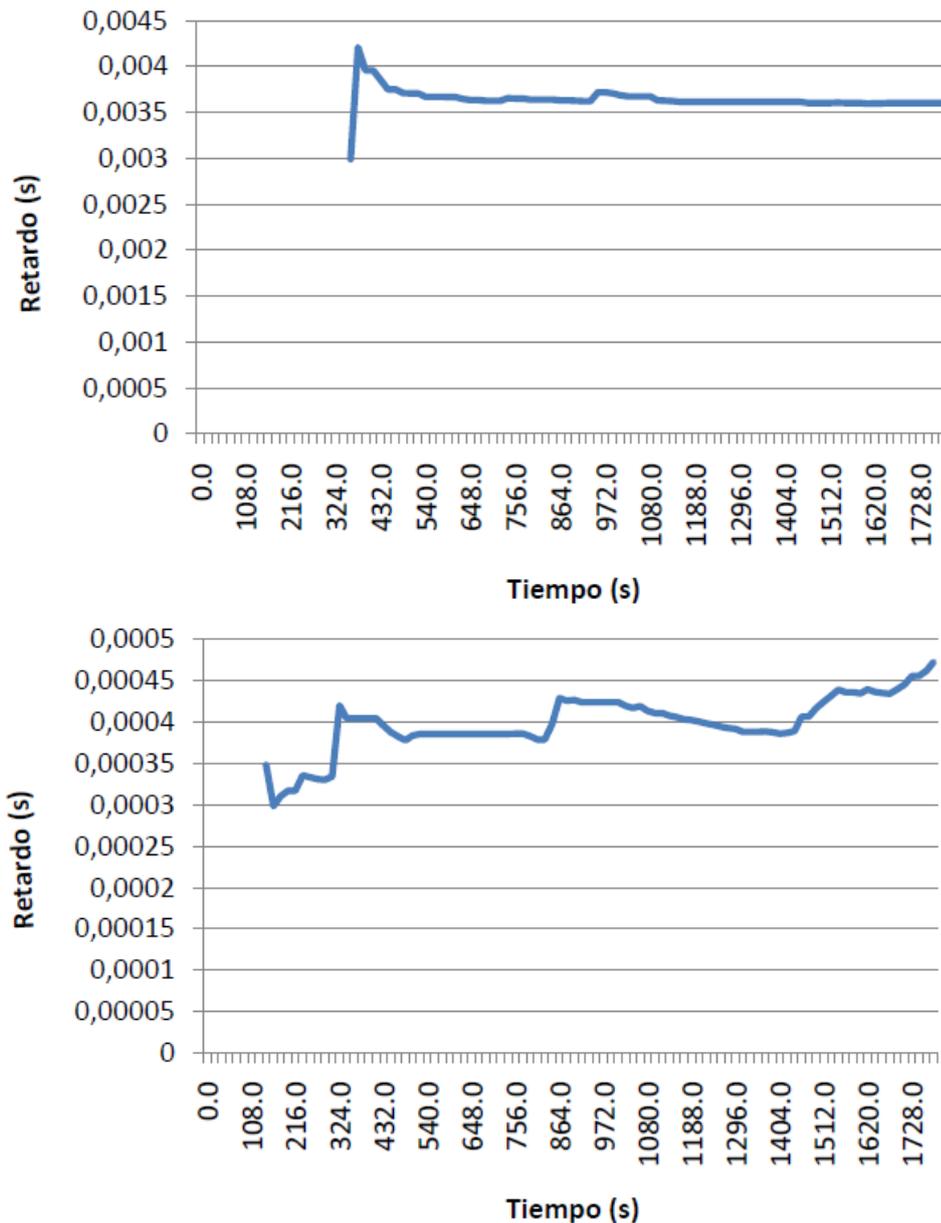


Figura 3. 7: Resultados obtenidos del retardo end-to-end con protocolos DSR y AODV para una red de 35 nodos.

Elaborado por: Autor.

El patrón de retardo para 20 nodos (ver figura 3.6) en DSR es similar al patrón de retardo para 10 nodos. Cuando la red se vuelve más compleja al

aumentar los nodos a 35 (ver figura 3.7), se produce un salto en el retraso de 3 ms (0,0030 s) a 4.2 ms (0,0042 s) al principio, lo que muestra una naturaleza consistente después de una disminución cercana a los 3.6 ms (0,0036 s) con un pequeño pico en el medio. Sin embargo, en el caso de AODV, los tres escenarios muestran una naturaleza variable y una mejora en el retardo con el aumento de la densidad de nodos, tal como se muestra en la figura 3.8. En el caso de redes que tienen los nodos 20 y 35, el retardo en algunas etapas compite entre sí, pero el retardo en el caso de 35 nodos sigue siendo ligeramente superior al retardo en la red de 20 nodos.

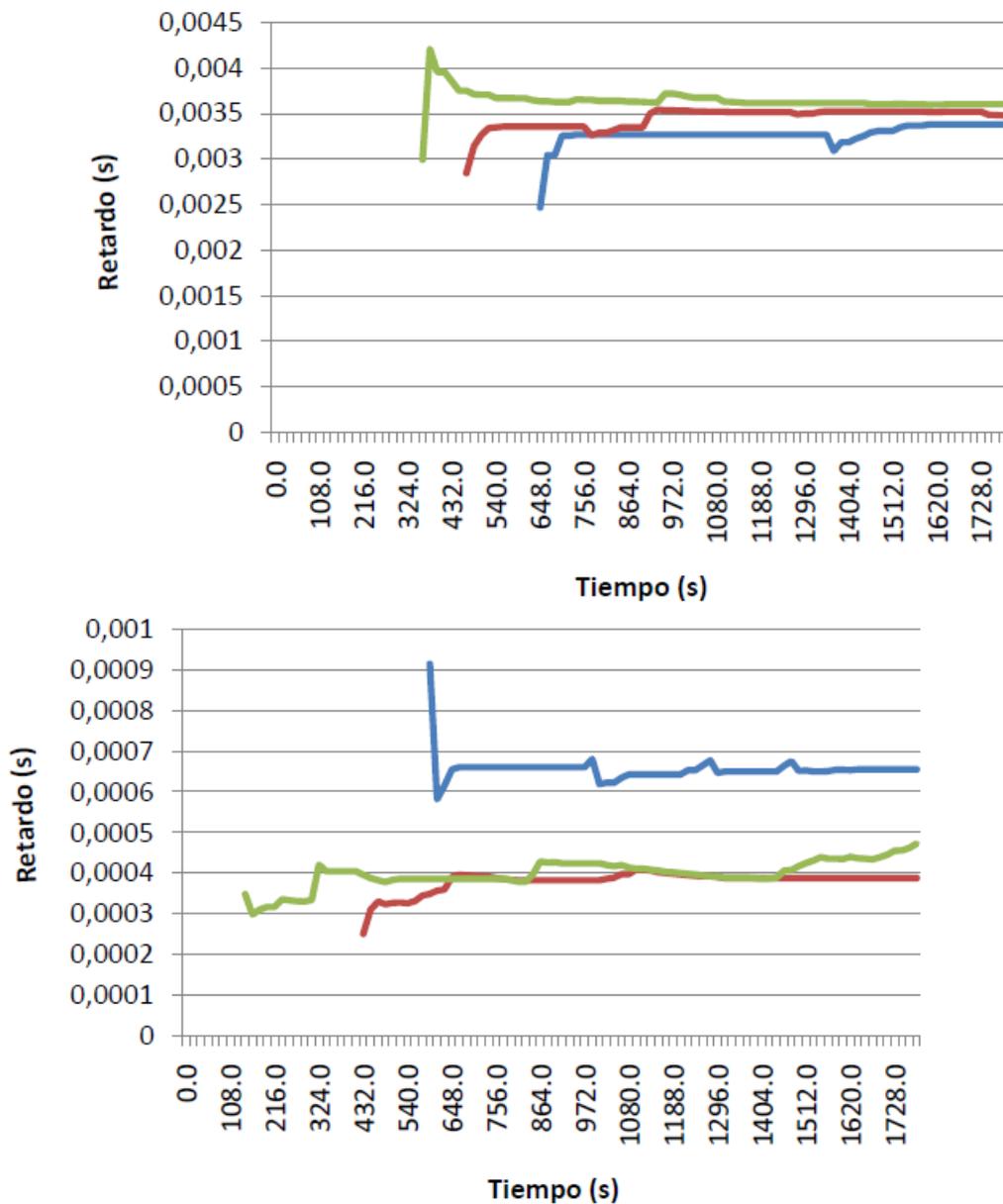


Figura 3. 8: Comparativa de los retardos para los 3 escenarios de simulación usando protocolos DSR y AODV.

Elaborado por: Autor.

3.5.2. Análisis de resultados del rendimiento de la red.

El rendimiento de una red de datos es la relación entre la cantidad total de datos que un receptor recibe de un remitente y el tiempo que tarda el receptor en obtener el último paquete. Un retardo bajo en la red se traduce en un mayor rendimiento. La demora es uno de los factores que afectan el rendimiento, otros factores son la sobrecarga de enrutamiento, el área y el ancho de banda, que no es el alcance de nuestra tesis. El rendimiento proporciona la fracción de la capacidad del canal utilizado para la transmisión útil y es uno de los parámetros dimensionales de la red que se analizan para cada escenario de 10, 20 y 35 nodos sensores.

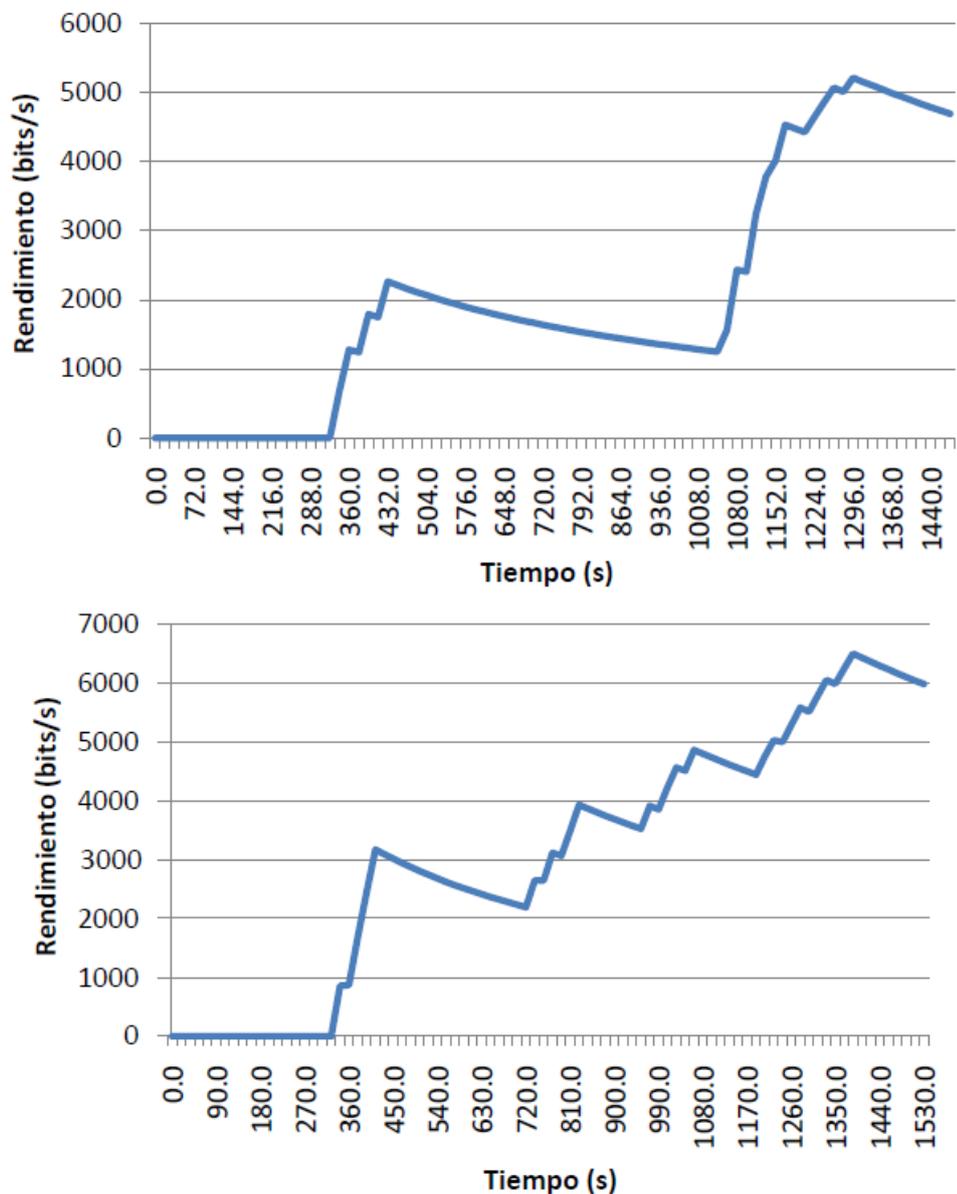


Figura 3. 9: Resultados obtenidos del rendimiento de los DSR y AODV para una red de 10 nodos.

Elaborado por: Autor.

El desempeño de los protocolos de enrutamientos del parámetro de rendimiento se muestra en las figuras 3.9 a 3.11, y en la figura 3.12 se muestra la comparativa del rendimiento de 10, 20 y 35 sensores para los protocolos DSR y AODV, respectivamente. De las figuras mencionadas se observa que el protocolo AODV supera con creces al protocolo DSR en los 3 escenarios considerados. En una red pequeña (10 nodos sensor), el protocolo AODV funciona ligeramente mejor que el protocolo DSR (véase la figura 3.9). Con el aumento del número de fuentes de tráfico, los problemas de congestión, terminales ocultos y degradación de la red se hacen más efectivos.

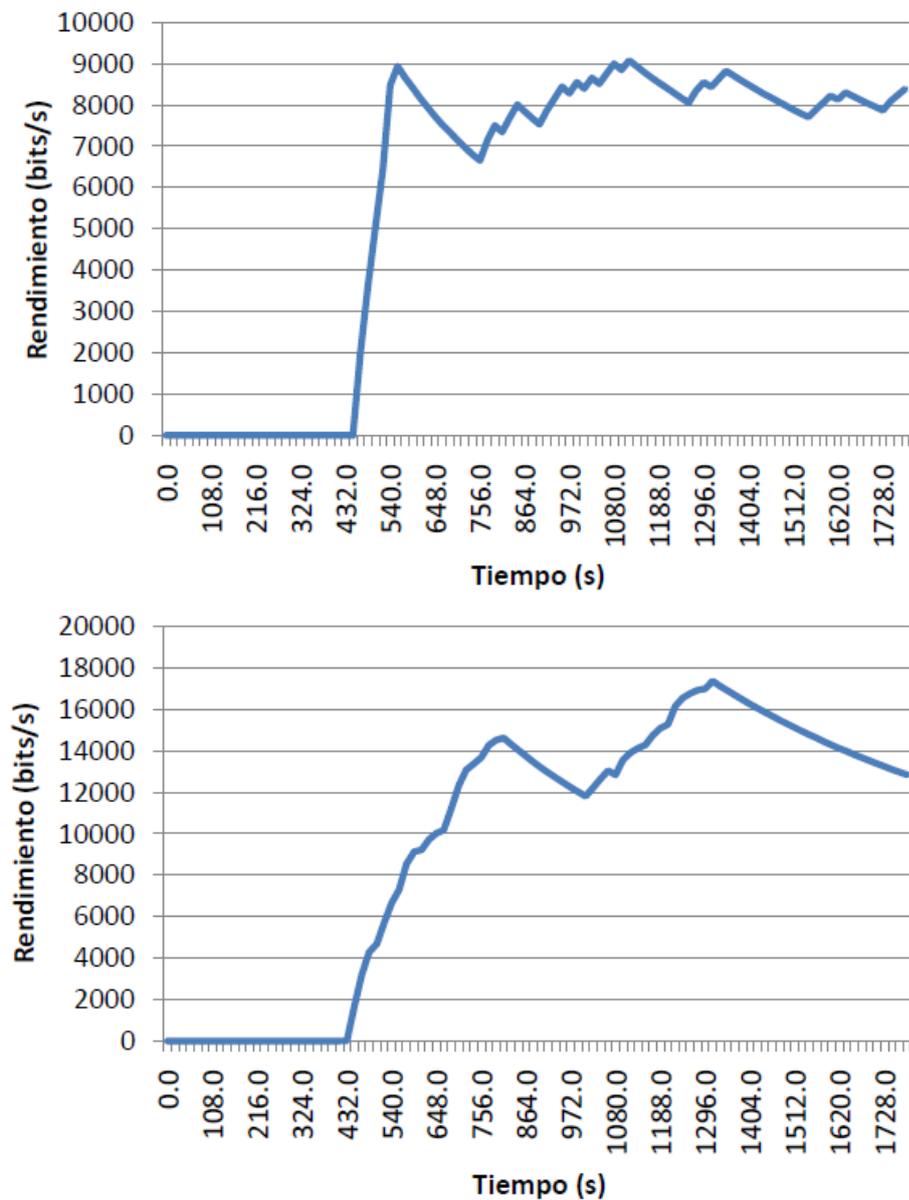


Figura 3. 10: Resultados obtenidos del rendimiento de los DSR y AODV para una red de 20 nodos.

Elaborado por: Autor.

Los protocolos comienzan a reaccionar de manera diferente debido a estos problemas a las condiciones variables y el retardo se convierte en un factor importante para determinar el rendimiento de la red (véanse las figuras 3.10 y 3.11). De las cifras obtenidas se observa que el rendimiento del protocolo AODV mejora y es mucho mejor que el protocolo DSR a medida que crece la red, tal como se muestra en la figura 3.10. De las observaciones se concluye que AODV tiene un mejor rendimiento y un mayor rendimiento en redes con un número relativamente mayor de fuentes de tráfico y mayor movilidad.

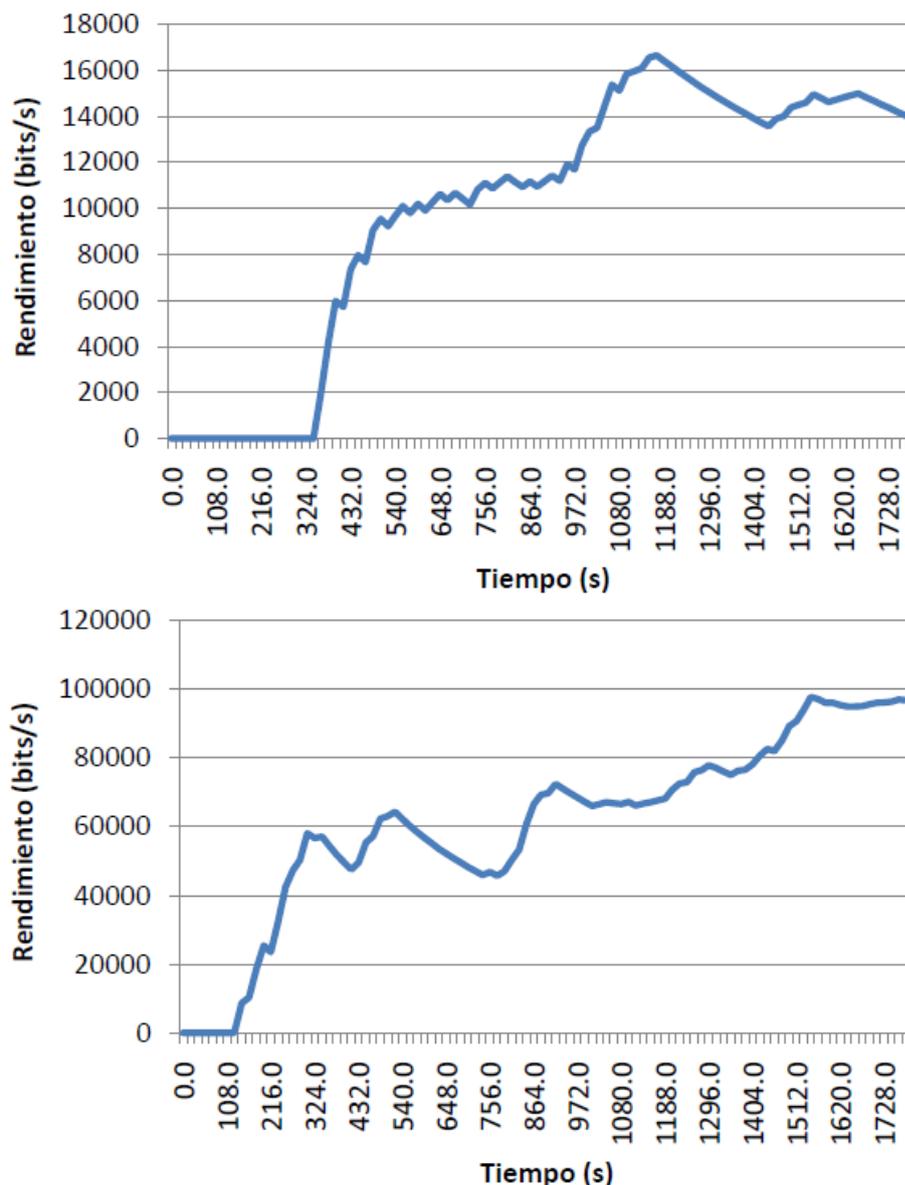


Figura 3. 11: Resultados obtenidos del rendimiento de los DSR y AODV para una red de 35 nodos.

Elaborado por: Autor.

Para una red pequeña de 10 nodos de sensor (véase la figura 3.9), como el retardo en el protocolo AODV es menor, su tasa de rendimiento alcanza hasta el pico de 6.50 kbps con el paso del tiempo, mientras que el protocolo DSR da una tasa de rendimiento que está por encima de 5 kbps con una disminución en rendimiento en el medio.

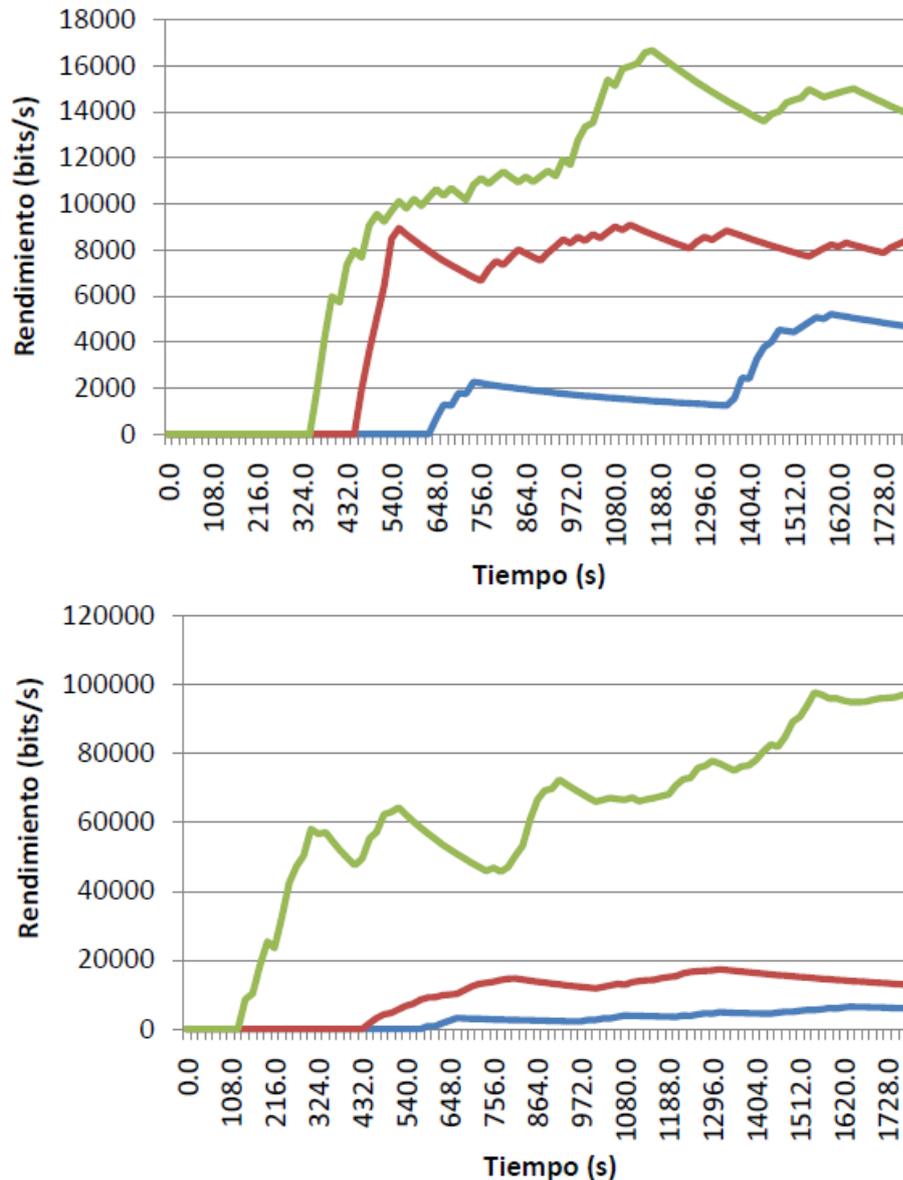


Figura 3. 12: Comparativa del rendimiento para los 3 escenarios de simulación usando protocolos DSR y AODV.

Elaborado por: Autor.

A medida que el retardo en el protocolo AODV mejora (se vuelve menor) con el aumento en la red, el rendimiento también debe incrementarse y se puede ver una clara diferencia en la tasa de rendimiento de DSR y AODV, tal como se muestra en la figura 3.11 cuando la red se escala a 35 nodos

sensores y el rendimiento en AODV es de 98 kbps, mientras que el pico de rendimiento en DSR está justo por encima de los 16 kbps y luego disminuye.

El rendimiento en todos los escenarios, el protocolo AODV mejora más que el protocolo DSR con el paso del tiempo. El retardo en los 3 escenarios del protocolo AODV mejora con el aumento de la densidad de nodos. En el caso de 10 nodos de sensor, el retardo al comienzo de la figura 3.5 muestra una gran diferencia al caer de 0.0009 s hasta 0.0006 s, por lo que también hay un aumento en el rendimiento, tal como se muestra en la figura 3.12, pero el retardo muestra una naturaleza variable (aumento y disminución) entre 0.0006 s y 0.0007 s debido a lo cual el rendimiento también muestra una naturaleza variable.

3.6. Discusión de los resultados obtenidos.

Los resultados simulados se analizan y discuten en este capítulo. Se han discutido y simulado las diferentes métricas de las redes de sensores inalámbricos en diferentes topologías y complejidades. Las principales métricas que se consideran en este capítulo son el rendimiento y el retraso de un extremo a otro. Se han tomado y simulado escenarios de red de nodos móviles con escalabilidad durante un cierto período de tiempo. Para fines de simulación, se ha establecido ciertos parámetros y se muestran los resultados simulados. Los dos protocolos de enrutamiento diferentes AODV y DSR se implementaron en cada escenario con el fin de evaluar su desempeño para la red diseñada en presencia de escalabilidad. Los resultados basados en gráficos y valores tabulados de cada protocolo de acuerdo con las observaciones del escenario se muestran en la tabla 3.1.

Nuestras observaciones sobre la base de los resultados tabulados de cada protocolo para diferentes métricas en ambos escenarios son las siguientes: En los tres escenarios de redes pequeñas, grandes y muy grandes, AODV da un retraso considerablemente menor en comparación con DSR. AODV supera al DSR con una diferencia destacada en el retardo. En términos de retraso, el tamaño de la red tiene un impacto tanto en el rendimiento de AODV como de DSR. La tasa de rendimiento de AODV en

redes pequeñas y grandes supera con un pequeño margen la tasa de rendimiento de DSR, pero en el caso de redes grandes, la diferencia es notable y AODV funciona mucho mejor que DSR.

Tabla 3. 2: Cuadro comparativo de las métricas en los protocolos DSR y AODV.

Protocolo	Métrica	10 nodos	20 nodos	35 nodos
DSR	Retardo (ms)	3.3	3.5	4.2
	Rendimiento (kbps)	5	9	16.2
AODV	Retardo (ms)	0.9	0.4	0.47
	Rendimiento (kbps)	6.5	17.5	98

Elaborado por: Autor.

Conclusiones

- En este trabajo se realizó la evaluación de los dos protocolos de enrutamiento para sus respuestas a la escalabilidad de la red con respecto a su retardo de extremo a extremo y rendimiento de paquetes como sus métricas de rendimiento en casos de aplicaciones de monitoreo de condiciones críticas. En términos de confiabilidad y uso eficiente de los recursos de la red para redes de nodos de sensores móviles, las métricas de desempeño seleccionadas fueron sometidas para identificar la efectividad e idoneidad de los protocolos. Esto se debe a que en cualquier red la demanda de confiabilidad y efectividad del protocolo es vital.
- En cada escenario, todos los nodos se utilizaron como nodos de origen para enviar datos a una estación base común. Sobre la base de los resultados de este estudio, se analizó y demostró que AODV es un protocolo más confiable en términos de retardo y rendimiento que DSR. AODV es muy superior a DSR en términos de retardo en los tres escenarios. El tamaño de la red no tiene un efecto considerable en el rendimiento de AODV con respecto al retardo, pero sí afecta al DSR.
- Con respecto al rendimiento, AODV supera a DSR en los tres escenarios de redes de nodos móviles. El tamaño de la red no tiene un efecto considerable en el rendimiento de DSR, pero en el caso de AODV tiene un efecto considerable. En las redes de nodos móviles, AODV es una buena opción en los tres escenarios de red pequeña, grande y muy grande para un retraso mínimo y un mayor rendimiento.

Recomendaciones

A continuación, se presentan dos recomendaciones para trabajos futuros que se pueden desarrollar a partir del presente trabajo de examen complejo:

- Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo ambiental y el desarrollo de un enrutamiento basado en clústeres jerárquicos energéticamente eficientes
- Evaluación de algoritmos de ciclo híbrido de servicio para redes inalámbricas de sensores industriales utilizando Machine Learning

Bibliografía

- Cambra, C., Sendra, S., Jimenez, J. M., & Lloret, J. (2017). Red de Sensores Inalámbricos de Bajo Consumo Energético en Agricultura Hidropónica. *Proceedings XIII Jornadas de Ingeniería Telemática - JITEL2017*, 55–62. <https://doi.org/10.4995/JITEL2017.2017.6631>
- Hassan, O., Salah-Ddine, K., Lahoucine, E. M., & Jalal, L. (2017). Energy consumption in wireless sensor network: Simulation and comparative study of flat and hierarchical routing protocols. *International Journal on Computer Science and Information Systems*, 12(1), 109–125.
- Issac, T., Silas, S., & Blessing Rajsingh, E. (2020). Investigative prototyping a tissue P system for solving distributed task assignment problem in heterogeneous wireless sensor network. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, S1319157820303967. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.06.008>
- Khedo, K. K., Perseedoss, R., & Mungur, A. (2010). A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 2(2), 31–45. <https://doi.org/10.5121/ijwmn.2010.2203>
- Kim, D., Kim, D., & An, S. (2016). Communication Pattern Based Key Establishment Scheme in Heterogeneous Wireless Sensor Networks. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 10(3). <https://doi.org/10.3837/tiis.2016.03.017>
- Kim, K.-J., & Hong, S.-P. (2013). Privacy Care Architecture in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 9(5), 369502. <https://doi.org/10.1155/2013/369502>

- Lloret, J., Sendra, S., Ardid, M., & Rodrigues, J. J. P. C. (2012). Underwater Wireless Sensor Communications in the 2.4 GHz ISM Frequency Band. *Sensors*, *12*(4), 4237–4264. <https://doi.org/10.3390/s120404237>
- Macwan, S. (2018). *Cross-layer design in sensor networks: Issues and possible solutions*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35095.01445>
- Matin, M. A., & Islam, M. M. (2012). Overview of Wireless Sensor Network. En M. Matin (Ed.), *Wireless Sensor Networks—Technology and Protocols*. InTech. <https://doi.org/10.5772/49376>
- Moltchanov, S., Levy, I., Etzion, Y., Lerner, U., Broday, D. M., & Fishbain, B. (2015). On the feasibility of measuring urban air pollution by wireless distributed sensor networks. *Science of The Total Environment*, *502*, 537–547. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.059>
- Pang, C., Xu, G., Shan, G., & Zhang, Y. (2020). A new energy efficient management approach for wireless sensor networks in target tracking. *Defence Technology*, S2214914720303524. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.05.022>
- Paz Penagos, H., Uyuban, J. A., Narvaez, A. M., & Ferro, R. (2017). Development and testing of a radio telemetry system for seismic acquisition. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, *27*(1), 111–130. <https://doi.org/10.18359/rcin.1780>
- Peckens, C., Porter, C., & Rink, T. (2018). Wireless Sensor Networks for Long-Term Monitoring of Urban Noise. *Sensors*, *18*(9), 3161. <https://doi.org/10.3390/s18093161>
- Pérez Baque, F. X. (2019). *Evaluación del rendimiento de técnicas de enrutamiento en redes de sensores inalámbricos*. [Trabajo de Titulación de Maestría, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13359>

- Pilloni, V., Navaratnam, P., Vural, S., Atzori, L., & Tafazolli, R. (2014). TAN: A Distributed Algorithm for Dynamic Task Assignment in WSNs. *IEEE Sensors Journal*, 14(4), 1266–1279. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2294540>
- Pule, M., Yahya, A., & Chuma, J. (2017). Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality. *Journal of Applied Research and Technology*, 15(6), 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.jart.2017.07.004>
- Qiu, X., Liu, H., Li, D., Yick, J., Ghosal, D., & Mukherjee, B. (2009). Efficient Aggregation of Multiple Classes of Information in Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 9(10), 8083–8108. <https://doi.org/10.3390/s91008083>
- Tolentino, R. S., & Park, S. (2010). A Study on U-Healthcare System for Patient Information Management over Ubiquitous Medical Sensor Networks. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 18.
- Ueda, T., Idoue, A., & Utsunomiya, E. (2018). Comparison of Routing Protocols for Wireless Sensor Networks under Battery-Powered and Energy Harvesting Conditions. *2018 24th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, 433–438. <https://doi.org/10.1109/APCC.2018.8633534>
- Yessad, S., Bouallouche-Medjkoun, L., & Issani, D. A. (2014). Comparison of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks. *Proceedings of the 8th International Workshop on Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems*, 135–142.
- Zhang, Y., Luo, L., Huo, J., & Zhu, W. (2012). An Eco-Hydrology Wireless Sensor Demonstration Network in High-Altitude and Alpine Environment in the Heihe River Basin of China. *Wireless Sensor*

Network, 04(05), 138–146. <https://doi.org/10.4236/wsn.2012.45020>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Borja Suco, Jorge Eduardo** C.C: # 091662963-7 autor del trabajo de Componente práctico del examen complejo: Evaluación comparativa de los protocolos de enrutamiento AODV y DSR mediante escenarios de simulación en una WSN, previo a la obtención del título de **Magister 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, 8 de diciembre del 2020

f. 

Nombre: **Borja Suco, Jorge Eduardo**

C.C: 091662963-7

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Evaluación comparativa de los protocolos de enrutamiento AODV y DSR mediante escenarios de simulación en una WSN		
AUTOR(ES)	Borja Suco, Jorge Eduardo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; MSc. Zamora Cedeño, Néstor / MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	8 de diciembre del 2020	No. DE PÁGINAS:	61
ÁREAS TEMÁTICAS:	Teoría de las Comunicaciones, Comunicaciones Inalámbricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Redes, Sensores, Enrutamiento, Protocolos, Simulación, Ad-hoc		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>En el presente trabajo de examen complejo se desarrolla el modelo de una red de sensores inalámbricos (WSN) mediante tres escenarios de simulación que permite realizar la evaluación comparativa del protocolo de enrutamiento vectorial a distancia bajo demanda Ad-hoc (AODV) y del enrutamiento de origen dinámico (DSR) utilizando la plataforma Opnet Modeler. Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son una tecnología emergente que posee demasiado potencial para desempeñar un papel importante en muchas aplicaciones. Para el diseño de los tres escenarios de simulación se tuvo que elegir el entorno de simulación Opnet Modeler, ya que es un software robusto, con librerías de dispositivos muy utilizados para emular sistemas de comunicaciones alámbricos e inalámbricos, técnicas de modulación, entre otras. Después se analizan los resultados obtenidos para cada escenario (10, 20 y 35 nodos sensor) utilizando AODV y DSR, así como evaluar los datos obtenidos de manera comparativa para la red WSN propuesta.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0997198048	E-mail: gerencia@jbsolutions-ec.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: mromeropaz@yahoo.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			