



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis del modelado de redes de sensores inalámbricos mediante la
validación de la plataforma de simulación OMNeT**

AUTOR:

Ing. Muñoz Choez, Víctor Hugo

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

20 de octubre del 2018



**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 **Muñoz Choez, Víctor Hugo** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, 20 de octubre del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Muñoz Choez, Víctor Hugo**

DECLARÓ QUE:

La tesis “**Análisis del modelado de redes de sensores inalámbricos mediante la validación de la plataforma de simulación OMNeT**”, 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 responsabilizó del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 20 de octubre del 2018

EL AUTOR

Ing. Muñoz Choez, Víctor Hugo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Muñoz Choez, Víctor Hugo**

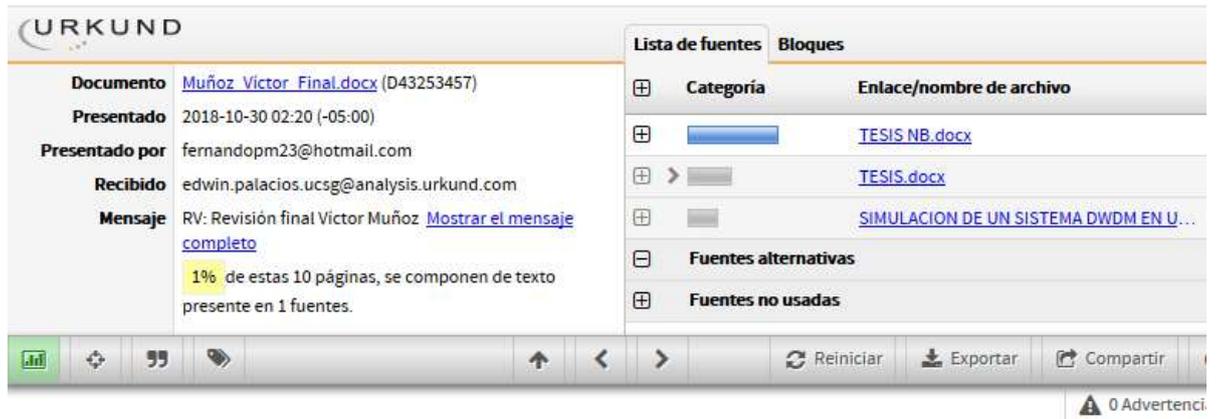
Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución de la Tesis de Maestría titulada: **“Análisis del modelado de redes de sensores inalámbricos mediante la validación de la plataforma de simulación OMNeT”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 20 de octubre del 2018

EL AUTOR

Ing. Muñoz Choez, Víctor Hugo

REPORTE DE URKUND



The screenshot shows the URKUND web interface. On the left, a document summary is displayed with the following details:

- Documento:** [Muñoz Víctor Final.docx](#) (D43253457)
- Presentado:** 2018-10-30 02:20 (-05:00)
- Presentado por:** fernandopm23@hotmail.com
- Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.urkund.com
- Mensaje:** RV: Revisión final Víctor Muñoz [Mostrar el mensaje completo](#)

A yellow highlight in the message indicates: "1% de estas 10 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes."

On the right, the "Lista de fuentes" (List of sources) tab is active, showing a table with the following content:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	TESIS NB.docx
	TESIS.docx
	SIMULACION DE UN SISTEMA DWDM EN U...
Fuentes alternativas	
Fuentes no usadas	

At the bottom of the interface, there is a navigation bar with icons for home, search, and other functions, along with buttons for "Reiniciar", "Exportar", and "Compartir". A small notification in the bottom right corner reads "0 Advertenci".

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

TEMA: Análisis del modelado de redes de sensores
inalámbricos mediante la validación de la plataforma
de simulación OMNeT

AUTOR: Ing. Muñoz Choez, Víctor Hugo

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

TUTOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a Dios por las bendiciones que me ha otorgado en mi vida; a mi primogénito que está por nacer, a mi esposa, a mis padres quienes han puesto toda su confianza para lograr un objetivo más en mi vida.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por bendecirme, por guiarme en cada paso que doy y otorgarme la fuerza necesaria para cumplir mis metas propuestas. Por poner en mí camino a las personas que han sido un pilar fundamental en los logros realizados y que me han llevado a este punto en mi vida.

A mi esposa cuyo apoyo incondicional en mis estudios ha hecho que esto sea posible, con sus palabras de aliento y motivación me han permitido culminar el camino embarcado.

A mi madre por ser la promotora y voz de aliento para cumplir mis metas, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me ha inculcado.

Un agradecimiento especial al Msc. Manuel Romero y Msc. Edwin Palacios, por la colaboración, apoyo y consejos que me han brindado.



**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. ZAMORA CEDEÑO, NESTOR ARMANDO
REVISOR

f. _____

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

ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas	XII
Resumen.....	XIII
Abstract	XIV
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.	2
1.1. <i>Introducción.</i>	2
1.2. <i>Antecedentes.</i>	3
1.3. <i>Definición del problema</i>	4
1.4. <i>Objetivos</i>	4
1.4.1. Objetivo General:.....	4
1.4.2. Objetivos específicos:	4
1.5. <i>Hipótesis.....</i>	4
1.6. <i>Metodología de investigación.....</i>	5
Capítulo 2:	6
Fundamentos Teóricos de Redes de Sensores Inalámbricos	6
2.1. <i>Visión general de WSN.</i>	6
2.2. <i>¿Qué es una red de sensores?.....</i>	6
2.3. <i>Principales características de un WSN.</i>	8
2.4. <i>A partir de sensores inteligentes a transductores.....</i>	9
2.5. <i>Consideraciones energéticas en WSNs.....</i>	12
2.6. <i>Protocolos de control de acceso medio (MAC).....</i>	14
2.7. <i>Protocolos de enrutamiento.....</i>	16
2.8. <i>El estándar IEEE 1451.....</i>	18
2.8.1. Transductor inteligente IEEE 1451.....	20
2.8.2. Procesador de aplicaciones con capacidad de la red - NCAP.	22
2.8.3. Módulo de interfaz del transductor - TIM.	24
2.9. <i>Ventajas del estándar IEEE 1451.....</i>	25
Capítulo 3: Simulación y Resultados Obtenidos.	27
3.1. <i>Entorno de simulación.....</i>	27
3.2. <i>Simuladores OMNeT ++ y Castalia</i>	27
3.2.1. Simulador OMNeT++.....	27

3.2.2. Simulador de Castalia.....	30
3.3. <i>Diseño del modelado de simulación.....</i>	<i>31</i>
3.4. <i>Análisis de resultados obtenidos.....</i>	<i>36</i>
Conclusiones	41
Recomendaciones	43
Bibliografía	44

Índice de Figuras

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Topología de una red de sensores y actuadores.....	8
Figura 2. 2: El principio de funcionamiento del fotodetector.	11
Figura 2. 3: Esquemática funcional de un transductor inteligente.	12
Figura 2. 4: Representación de los componentes en el estándar IEEE 1451.	19
Figura 2. 5: Principio de funcionamiento de un aislador.	20
Figura 2. 6: Esquemático de la posible organización de redes IEEE 1451..	21

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Entorno de la plataforma de simulación OMNeT.	28
Figura 3. 2: Descripción general de las unidades de sensor utilizado.	32
Figura 3. 3: Esquemático de las posiciones de nodo coordinador y nodos sensores.	35
Figura 3. 4: Simulación de Omnet ++ utilizando un simulador gráfico.	35
Figura 3. 5: Gráfica de la intensidad promedio del rendimiento.....	36
Figura 3. 6: Diseño de simulación del mecanismo en el que se examina el efecto de ruido en moduladores de electroabsorción.	37
Figura 3. 7: Gráfico de la intensidad promedio de paquetes empaquetados para cada carga.	38
Figura 3. 8: Gráfico de la intensidad promedio de paquetes empaquetados para cada escenario	39

Índice de Tablas

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Ejemplos de sensores que se implementan en una WSN.	10
--	----

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Descripción general de simuladores de redes de comunicación.	27
Tabla 3. 2: Parámetros de la simulación y de Hardware.....	32
Tabla 3. 3: Parámetros de la capa de enlace de datos 802.15.4.....	33
Tabla 3. 4: Parámetros del receptor.....	33
Tabla 3. 5: Parámetros del transmisor.	33
Tabla 3. 6: Resumen de parámetros de acciones de sensores.	34
Tabla 3. 7: Resumen de los datos recibidos para la intensidad de rendimiento.	37
Tabla 3. 8: Resumen comparativo de los resultados obtenidos de la intensidad promedio de rendimiento.	38
Tabla 3. 9: Resumen de la intensidad promedio de paquetes rechazados bajo carga.....	39
Tabla 3. 10: Resumen comparativo de los resultados obtenidos de la intensidad promedio de rendimiento.	40

Resumen

El trabajo de titulación “Análisis del modelado de redes de sensores inalámbricos mediante la validación de la plataforma de simulación OMNeT” se basó en la penetración cada vez mayor de la tecnología inalámbrica que está llegando a niveles impensables hace unas décadas, con un desarrollo que sorprende no tanto en términos de rendimiento, sino excepcional, pero debido a la gran variedad de aplicaciones que las tecnologías inalámbricas modernas pueden simplificar o incluso haciéndolo posible, probablemente teniendo solo la imaginación humana como una limitación. La parte inicial del trabajo se describió tanto los antecedentes como definición y justificación del problema a investigar. En la parte teórica se describen las redes de sensores inalámbricos y el protocolo IEEE 1451. El diseño del modelo de red de sensores inalámbricos fue implementado en el simulador OMNeT++, cuya plataforma es robusta en comparación con otros simuladores. Los resultados obtenidos fueron determinantes para lograr cumplir con los objetivos específicos.

Palabras claves: REDES, ESTANDARES, SENSORES, ACTUADORES, SMART, MODELADO

Abstract

The masters degree work “Modeling Analysis of wireless sensors using the simulation platform Omnet” was based in the growing advances of network technology which has reached to unthinkable levels in the past decades, with a development that amazes not only in terms of performance, but due to the great variety of applications that modern wireless technologies can simplify or even making things possible, probably only having the human imagination as a limit. The initial part of this work will describe the background like definiteness and justification of the problem to investigate. In the theorem part the wireless sensor networks and IEEE1451 protocol are described. The design of the wireless network model was implemented in the simulator ONeT++, whose platform is robust in comparison to other simulators. The results obtained where determined to achieve the specific objectives.

Keywords: NETWORKS, STANDARTS, SENSORS, ACTUATORS, SMART, MODELING

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

Las redes de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Network, WSN*) se pueden describir como una clase de infraestructura de tecnología de la información donde los cálculos están integrados en el mundo físico de la vida real. Las redes de sensores inalámbricos consisten en una gran cantidad de dispositivos distribuidos espacialmente conocidos como sensores inteligentes, que se caracterizan por capacidades de computación y detección.

Las redes de sensores inalámbricos se utilizan para monitorear el estado de estructuras, influencias ambientales, tráfico, fabricación y automatización de plantas industriales, entre otras aplicaciones telemáticas. Consisten en dispositivos integrados distribuidos apropiadamente y habilitados de forma inalámbrica en los cuales se puede usar una variedad de sensores electrónicos. Cada nodo en una red de sensores inalámbricos está equipado con uno o más sensores y con un microcontrolador, un transceptor inalámbrico y una fuente de energía.

El microcontrolador funciona con sensores electrónicos y como un transceptor, por lo que se forma un sistema eficiente para transmitir pequeñas cantidades de datos importantes con un consumo mínimo de energía. Cuando se implementa en el campo, el microcontrolador inicia automáticamente la comunicación con cada nodo en el rango establecido en el diseño de una WSN, creando así una red Ad-hoc enmallada para transmitir información hacia y desde el nodo de la puerta de enlace.

Esto elimina la necesidad de un cableado complejo y costoso entre los sistemas, y también proporciona flexibilidad de algoritmos de redes de malla para transportar información de nodo a nodo. Esto permite que los nodos se desplieguen en casi cualquier ubicación y ofrezcan flexibilidad para monitorear un gran número de estructuras, lo que aumenta considerablemente la posibilidad de usar soluciones de monitoreo de salud estructural apropiadas.

Por ejemplo, una red de sensores inalámbricos puede ser desarrollada para abordar las limitaciones de las técnicas de monitoreo de salud estructural existentes, que se basan en inspecciones visuales periódicas o en costosos sistemas de adquisición de datos por cable. Con la plataforma de red de sensores inalámbricos, los usuarios pueden monitorear fácilmente el estado de las estructuras o el entorno utilizando nodos de medición confiables que funcionan con baterías que satisfacen las clasificaciones industriales y los requisitos de análisis e inspección locales.

1.2. Antecedentes.

Durante la búsqueda de información de temas relacionados con las redes de sensores inalámbricos, se encontraron trabajos de titulación de maestría que han desarrollado implementaciones en WSN. También, se encontraron artículos científicos donde enfocan a las WSNs como escenarios de simulación:

- a. McLoughlin, O'Connell, Elgenaidi, Coleman, & Newe, (2016) realizaron el artículo denominado "Revisión y evaluación de las herramientas de simulación WSN en un entorno basado en la nube". Este documento presenta un sistema basado en la nube que hace que varias plataformas de simulación estén disponibles para múltiples usuarios que deseen probar los protocolos de enrutamiento de WSN o las restricciones de hardware de las distintas plataformas de WSN.
- b. Rajaram, Kougianos, Mohanty, & Sundaravadivel, (2016) realizaron el artículo denominado "Un marco de simulación de red de sensores inalámbricos para el monitoreo de la salud estructural en ciudades inteligentes". En esta investigación, se desarrolla un marco de simulación WSN para que pueda integrarse con un prototipo de hardware para monitorear la salud estructural de puentes, monumentos y rascacielos. El marco de simulación se desarrolla en MATLAB/Simulink. La integridad de los datos del marco de simulación se analiza mediante la verificación de redundancia cíclica (CRC) y la calculadora de tasa de error de transmisión.

- c. Xian, Shi, & Huang, (2008) realizaron el artículo denominado “Comparación de OMNeT++ y otro simulador para la simulación WSN”. En este artículo presentan la simulación de WSN-OMNeT++. A través de la comparación con algunos simuladores conocidos, OMNeT++ tiene mejor rendimiento que NS2 y Opnet Modeler. Realizaron comparaciones de rendimiento (en términos del tiempo de ejecución y uso de memoria) en la simulación de WSN en OMNeT++ y NS2. El estudio de simulación indica que la WSN en OMNeT++ es mucho más escalable que NS2. Finalmente, mostraron que OMNeT++ es mejor que otro simulador en la simulación WSN a gran escala.

1.3. Definición del problema

Necesidad de diseñar el modelado de redes de sensores inalámbricos (WSN) y su análisis mediante la validación de la plataforma de simulación OMNeT.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Realizar el análisis del modelado de redes de sensores inalámbricos mediante la validación de la plataforma de simulación OMNeT.

1.4.2. Objetivos específicos:

- ✓ Describir el estado del arte de las redes de sensores inalámbricos y del estándar IEEE 1451.
- ✓ Diseñar el modelo de red de sensores inalámbricos utilizando el simulador OMNeT.
- ✓ Evaluar los resultados obtenidos de la red de sensores inalámbricos sobre el simulador OMNeT.

1.5. Hipótesis

Mediante el diseño del modelo de red de sensores inalámbricos demostrará mediante validación que la plataforma de simulación OMNeT++ es la mejor opción al momento de analizar los resultados obtenidos a gran escala.

1.6. Metodología de investigación.

Un método de investigación es un plan sistemático para realizar investigaciones. Por ejemplo, los sociólogos recurren a una variedad de métodos de investigación tanto cualitativos como cuantitativos, que incluyen experimentos, investigación de encuestas, observación participante y datos secundarios. Los métodos cuantitativos pretenden clasificar características, contarlas y crear modelos estadísticos para probar hipótesis y explicar observaciones. Los métodos cualitativos apuntan a una descripción completa y detallada de las observaciones, incluido el contexto de los eventos y circunstancias.

Para la parte experimental, un experimento es un método de investigación para investigar la causa y el efecto en condiciones altamente controladas. Al realizar un experimento, los investigadores probarán una hipótesis. Una hipótesis es una declaración de cómo dos o más variables están relacionadas.

Capítulo 2:

Fundamentos Teóricos de Redes de Sensores Inalámbricos

2.1. Visión general de WSN.

En los últimos años, las tecnologías de redes inalámbricas han desempeñado un papel clave en el desarrollo de una amplia gama de aplicaciones con la necesidad de hacer que la información se comparta fácilmente. De hecho, las tecnologías cableadas permiten crear redes con una topología específica y, por lo tanto, requieren un trabajo considerable para su instalación. Por el contrario, las tecnologías inalámbricas permiten crear redes de bajo costo, gracias al modesto trabajo de instalación requerido, lo que garantiza una buena escalabilidad del sistema y una fácil reconfiguración. (Sharma, 2015)

Estas excelentes características han facilitado el desarrollo de diversas aplicaciones que, gracias al uso de dispositivos capaces de interactuar con el entorno circundante y controlados casi directamente por el usuario externo, pasan de la automatización de los sistemas industriales y domésticos al monitoreo ambiental hasta sistemas de seguridad y aplicaciones médicas. En este capítulo analizaremos los dispositivos que conforman estas redes inalámbricas, destacando los elementos fundamentales que han hecho de esta tecnología una realidad con amplio espacio para futuros desarrollos. (Al-Qurabat, 2015)

2.2. ¿Qué es una red de sensores?

Una red de sensores inalámbricos (*Wireless Sensor Network, WSN*) consiste en una red formada por dispositivos, normalmente de complejidad y tamaño reducidos, llamados nodos sensores que pueden recopilar información del entorno circundante y comunicarlos a través de diversos medios de comunicación hacia nodos computacionales que puede usarlo localmente o, alternativamente, transmitirlos mediante el uso de una puerta de enlace a otras redes (generalmente internet). (Verdone, 2008)

Los elementos básicos de una WSN son, por lo tanto, los sensores, los nodos computacionales y las puertas de enlace. Normalmente, los nodos computacionales y las puertas de enlace son dispositivos más complejos que los nodos sensores debido a la gran cantidad de funcionalidades que deben proporcionar. Por lo tanto, el sensor es el dispositivo más simple de la red, y generalmente el número de sensores es considerablemente mayor que el número de dispositivos restantes en la red; Por lo tanto, es de fundamental importancia mantener su tamaño y, sobre todo, el menor costo posible.

Un factor crítico adicional para un sensor es el consumo de energía, ya que estos dispositivos a menudo funcionan con baterías debido a la facilidad de instalación involucrada en esta elección. Por lo tanto, para permitir que la red funcione durante un tiempo razonable, llamada vida útil (lifetime) de la red, los nodos sensores deben poder explotar adecuadamente la energía suministrada por las baterías durante un período suficiente, que en muchas aplicaciones es del orden de años.

Por lo tanto, el consumo de energía también es un factor importante en el diseño de estos dispositivos, que puede lograrse mediante el uso de técnicas de eficiencia energética tanto en la fase de transmisión como en la fase de procesamiento de la información, como la cooperación entre los nodos en la entrega de información al nodo de cálculo.

Esta cooperación dependerá de la densidad de los sensores y los nodos computacionales presentes en un área determinada que define la conectividad y la accesibilidad de los nodos de la red, así como la cobertura del espacio supervisado (probabilidad de que un evento que ocurra sea detectado por al menos un sensor).

La figura 2.1 muestra un ejemplo de una WSN, en el mismo se puede observar las conexiones entre los distintos nodos de la red y, en particular, entre los nodos sensores o actuadores y los nodos de cálculo (sumideros o sink), que pueden ser directos (de un solo salto o single-hop) o separados de

otros nodos sensores que llevan la carga de la retransmisión de paquetes al siguiente sumidero (salto múltiple o multi-hop).

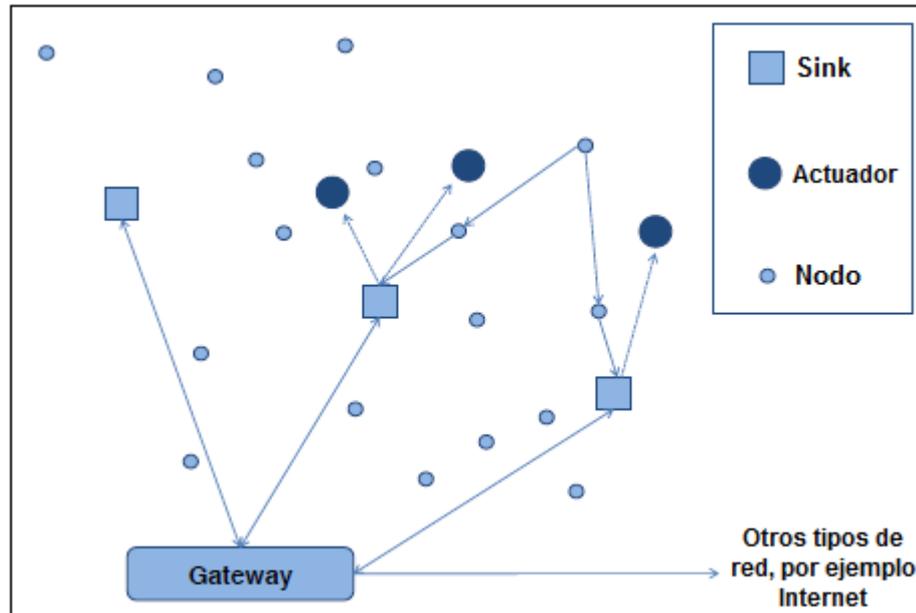


Figura 2. 1: Topología de una red de sensores y actuadores.
Fuente: (Matin & Islam, 2012)

2.3. Principales características de un WSN.

Las redes de sensores difieren de otros tipos de redes por objetivos, requisitos y capacidades; por lo tanto, es bueno centrarse en el contexto en el que se encuentre para comprender mejor las razones de muchas opciones técnicas y lógicas. De las consideraciones anteriores, se pueden deducir cuáles son las características deseables en una red de sensores:

- ✓ Escalabilidad en comparación con la cantidad de nodos en la red.
- ✓ Autoorganización.
- ✓ Reconfiguración automática.
- ✓ Eficiencia energética.
- ✓ Mantenimiento reducido.
- ✓ Grado aceptable de comunicación entre los nodos.
- ✓ Baja complejidad.
- ✓ Bajo costo.

Está claro que estos requisitos son necesarios para que estas redes sean fácilmente instalables y utilizables, incluso por un usuario sin experiencia, que requiera la menor cantidad de mantenimiento posible. De hecho, en el contexto en el que funcionan u operan, no se requieren tecnologías avanzadas, ya que utilizan sistemas que son simples en sí mismos pero que se vuelven complejos cuando aumenta el número de nodos en la red, que a veces llegan a cientos; es por esta razón que el principal obstáculo que plantean estas redes no son tanto tecnológicos sino de practicidad práctica de uso y factibilidad en entornos hostiles para su realización que, por lo tanto, implica también el costo económico relacionado con la instalación y el mantenimiento.

2.4. A partir de sensores inteligentes a transductores.

Después de identificar el punto débil de estas redes, o nodos sensores, se analizan en detalle sus características y sus limitaciones, tratando de hacer algunas consideraciones sobre posibles opciones técnicas adoptables. Partiendo del concepto clásico de transductor para llegar a los llamados transductores inteligentes, para resaltar las innovaciones que han contribuido a un cambio decisivo en el desarrollo de redes de sensores. Un transductor se define como un dispositivo que convierte energía de una forma a otra. Dependiendo de la forma de inicio y la obtenida, se pueden distinguir dos tipos de transductores, que son:

- ✓ En el caso de que el transductor genere una señal eléctrica en respuesta a una señal física, química o biológica, se lo denomina sensor.
- ✓ Por el contrario, un dispositivo capaz de convertir una señal eléctrica en un dispositivo físico se define como un actuador.

Por lo tanto, un sensor tiene la tarea de medir una cantidad que puede ser una temperatura, una presión o un peso, etc., y es capaz de generar un impulso eléctrico de voltaje o corriente proporcional a la cantidad medida mientras un actuador realiza un trabajo inverso, transformando una señal eléctrica que recibe como entrada y convirtiéndola en otra cantidad física que

puede ser el flujo de un fluido o la velocidad de un motor (Higuera & Polo, 2010).

La tabla 2.1 muestra ejemplos de sensores que se pueden implementar en una WSN.

Tabla 2. 1: Ejemplos de sensores que se implementan en una WSN.

Propiedad física	Sensor	Salida
Temperatura	Termocuplas	Voltaje
	Silicio	Voltaje/Corriente
	Detector de temperatura de resistencia (RTD)	Resistencia
	Termistor	Resistencia
Fuerza/Presión	Medidor de presión	Resistencia
	Piezoeléctrico	Voltaje
Aceleración	Acelerómetro	Capacitancia
Fluido o caudal	Transductor	Voltaje
	Transmisor	Voltaje/Corriente
Posición	Transformadores diferenciales lineales variables (LVDT)	Voltaje AC
Intensidad de luz	Fotodiodo	Corriente

Elaborado por: Autor.

Sin embargo, a menudo, la señal generada necesita varias operaciones de acondicionamiento para poder adquirir un significado desde el punto de vista de la ingeniería. Por este motivo, el transductor físico real está asociado con una unidad de computación capaz de realizar operaciones en la señal mediante amplificadores, filtros, convertidores A/D, etc. Para que puedan ser utilizados por el usuario que lo solicite.

Finalmente, la creciente necesidad de flexibilidad requerida por las redes de sensores ha requerido el uso de comunicaciones inalámbricas que hacen

necesario usar un módulo de comunicación especial que administra las comunicaciones entre el transductor y la unidad de cálculo de una manera simple y efectiva. Por lo tanto, un transductor inteligente es el resultado de combinar un sensor o actuador con un procesador, capaz de procesar la señal adquirida, y una interfaz de comunicación en un solo dispositivo.

En consecuencia, se obtiene la estructura mostrada en la figura 2.2, en la que se puede observar los diversos bloques enumerados: un microprocesador que gestiona todas las tareas actuales; uno o más sensores que recogen un conjunto de mediciones del entorno circundante; se integra una memoria en el dispositivo para grabar los datos relacionados con sus especificaciones técnicas, los datos recopilados por el sensor o los necesarios para que el microprocesador administre sus funciones de cálculo.

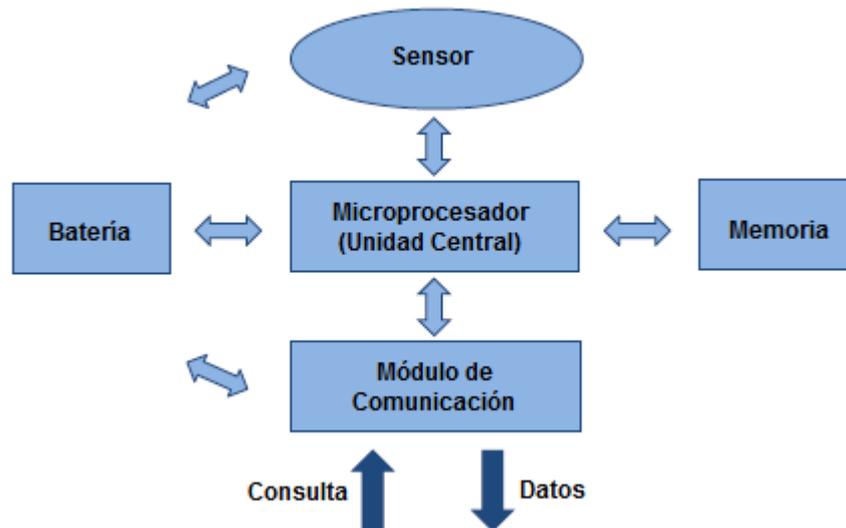


Figura 2. 2: Esquemático de unidades que constituyen un transductor inteligente.
Elaborado por: Autor.

Un transmisor de radio también es responsable de administrar las comunicaciones con el resto de la red. Todos estos dispositivos son alimentados por una batería. En cambio, si se representa el sistema desde un punto de vista funcional, se obtiene el esquemático mostrado por la figura 2.3.

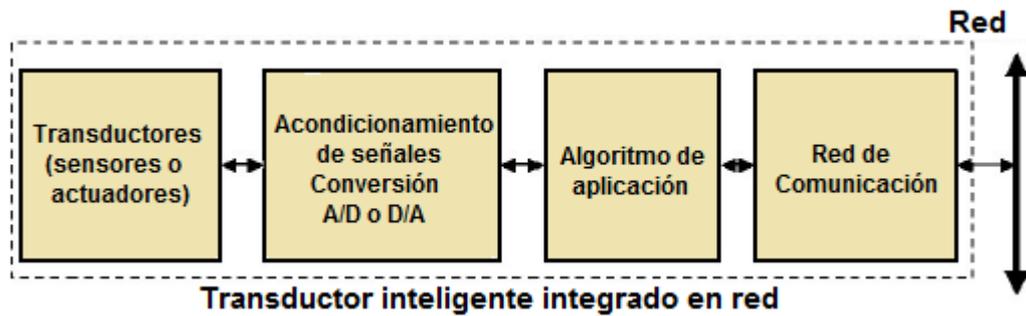


Figura 2. 3: Esquematización funcional de un transductor inteligente.
Elaborado por: Autor.

Primero, el sensor detecta la magnitud a observar y genera una salida analógica que se manipula y convierte en una señal digital. La señal digital obtenida puede ser procesada por una unidad de cálculo específica presente en el microprocesador y enviada a través de una interfaz de comunicación a un sistema remoto a través de cualquier tipo de red. En el caso de un actuador, se aplica el procedimiento inverso: una unidad de operación remota transmite a través de la interfaz de comunicación de los comandos al actuador.

2.5. Consideraciones energéticas en WSNs.

Como ya se mencionó anteriormente, el factor fundamental para hacer que las aplicaciones que usan una WSN sea fácilmente manejable y, por lo tanto, permita su desarrollo es la eficiencia energética, vinculada a la necesidad de extender la vida útil de la red el mayor tiempo posible. En general, los nodos de cómputo y las puertas de enlace están conectados a la red eléctrica, por lo tanto, las consideraciones sobre eficiencia energética están limitadas solo a los nodos sensores.

Entonces, considerando un sensor, ¿cuál es la actividad más responsable del consumo de energía? Como se mostró anteriormente, un nodo sensor está compuesto básicamente por una batería, un microprocesador, el transductor real y un transceptor. En el balance de energía del sistema, es posible ignorar la contribución del sensor con respecto al consumo del módulo transceptor y el microprocesador, que necesitan un diseño cuidadoso para lograr el compromiso correcto entre el rendimiento del sistema y el consumo de energía.

Teniendo en cuenta las actividades realizadas por el microprocesador, el desarrollo de algoritmos para el procesamiento de datos podría reducir considerablemente la cantidad de datos a transmitir, eliminando cualquier información innecesaria, con la consiguiente reducción de las transmisiones a realizar. Por otro lado, algunas operaciones pueden ser innecesariamente largas o pocas prácticas debido a las restricciones impuestas por el propio procesador y la memoria disponible.

Por lo tanto, es importante determinar cuidadosamente la distribución de las operaciones de cálculo en la información entre el nodo sensor y el nodo de cálculo. Al centrarnos en las actividades de comunicación del sensor, podríamos pensar intuitivamente que la actividad que es más responsable del consumo de energía es la fase de transmisión en lugar de la fase de recepción.

Esto puede ser cierto considerando los mismos tiempos de observación, pero debe tenerse en cuenta que, si bien los períodos de transmisión están bien determinados y son conocidos a priori del transductor, lo mismo no es cierto para los períodos de recepción, ya que el transductor podría que permanezca durante largos períodos de espera de una señal de las unidades de cálculo en caso de que no haya programación de tiempo de transmisión. Por esta razón, la fase de recepción podría ser mucho más costosa que la fase de transmisión.

Una primera solución en la fase de transmisión puede ser utilizar un algoritmo de enrutamiento de múltiples saltos, es decir, confiar el paquete de información a ser transmitido a otros nodos sensores, dejándoles la tarea de entregarlo al nodo de cálculo o confiarlo a Otros nodos de la red. De hecho, una reducción a la mitad de la distancia de comunicación reduce el consumo de energía hasta un $\frac{1}{4}$ del total. Por lo tanto, el paquete de datos se enruta a través de la red con una serie de pequeñas transmisiones de energía de bajo costo.

En cualquier caso, es necesario tener en cuenta que el período de transmisión solo es necesario cuando está presente una cierta cantidad de datos a transmitir. Cuanto menor sea la cantidad de datos a transmitir, menor será el tiempo de transmisión, con el consiguiente aumento de la vida útil del sensor. Esta consideración nos sugiere evitar en la elección de los protocolos de comunicación aquellos que agregan redundancias considerables a la información antes de su transmisión. (Verdone, 2008)

2.6. Protocolos de control de acceso medio (MAC)

En general, la eficiencia energética de una red se puede alcanzar en varios niveles de la pila de protocolos, pero en relación con la WSN es la capa de enlace de datos, y en particular sus protocolos de comunicación, para desempeñar un papel decisivo en la determinación de la cantidad de energía absorbida por la red. La subcapa MAC es la parte inferior de la capa de enlace de datos y opera a la cabeza de la capa física, gestionando las transmisiones y recepciones de radio en un medio físico de comunicación compartido por múltiples entidades, proporcionando un flujo constante de datos a las capas superiores.

Los requisitos que deben cumplirse en el diseño de un protocolo MAC de una WSN difieren considerablemente de los de un protocolo MAC tradicional para redes de computadoras, ya que mientras que para este último el objetivo principal es maximizar el rendimiento (Throughput), mientras que los protocolos de comunicación de WSN pretenden cumplir con los siguientes requisitos adicionales:

- ahorro de energía.
- adaptabilidad
- escalabilidad
- equidad
- latencia

Sin embargo, como se señaló anteriormente, esto no es suficiente para garantizar un ahorro significativo de energía, ya que en la recepción el sensor puede consumir incluso más energía que en la transmisión. Los fenómenos

que deben minimizarse en el diseño de los protocolos de comunicación son en cambio:

- escucha (overhearing): sucede cuando en un canal de unidifusión compartido por varios nodos, un paquete es recibido no solo por el destinatario sino también por otros nodos que en ese momento estaban recibiendo, con el consiguiente desperdicio de energía;
- escucha ociosa: un nodo permanece durante mucho tiempo en modo de recepción sin ninguna transmisión destinada a él;
- colisiones: pueden suceder que dos nodos transmitan a la misma frecuencia dos paquetes de datos, que, muy probablemente, serán indescifrables debido a la interferencia producida por la superposición de las dos transmisiones;
- redundancia excesiva: los paquetes de datos transmitidos por los nodos sensores a menudo son de pequeño tamaño, por lo que un protocolo de comunicación que agregue una redundancia excesiva a la información constituiría un consumo de energía inaceptable para el sistema.

A partir de las consideraciones realizadas hasta ahora, se pueden analizar algunos protocolos de comunicación tradicionales para resaltar los posibles méritos y defectos de su implementación en una WSN.

El protocolo ALOHA es sin duda uno de los más fáciles de implementar, ya que los nodos de la red funcionan sin coordinación, transmitiendo datos en momentos aleatorios confiando en que los otros nodos de la red no están transmitiendo, mientras escuchan el canal durante el resto del tiempo. Obviamente, aunque este protocolo es excelente desde el punto de vista de la simplicidad de operación, se vuelve altamente ineficiente a medida que aumenta el número de nodos conectados a la red debido al rápido aumento en las colisiones que ocurren entre paquetes, además del hecho de que cada nodo está constantemente en la recepción cuando no se transmite.

Lo mismo ocurre con los protocolos de comunicación que utilizan mecanismos de detección de canal: aquellos en los que el módulo de

comunicación permanece escuchando el canal para determinar si hay otras transmisiones en curso desde otros dispositivos que transmiten el paquete cuando está libre de otras comunicaciones. Por lo tanto, un protocolo como el acceso múltiple de detección de portadora (*Carrier Sensing Multiple Access, CSMA*) es potencialmente ineficiente en energía.

Los protocolos programados utilizan un enfoque totalmente diferente en el que se asigna a cada nodo en un intervalo de tiempo determinado, por ejemplo, el acceso múltiple por división de tiempo (*Time Division Multiple Access, TDMA*), en un intervalo de frecuencia, por ejemplo, el acceso múltiple por división de frecuencia (*Frequency Division Multiple Access, FDMA*) o por código, por ejemplo, el acceso múltiple por división de código (*Code Division Multiple Access, CDMA*), que reduce efectivamente las colisiones de paquetes y los retrasos en el acceso al canal, pero aumenta la complejidad del sistema debido a la gestión de los espacios asignados a los distintos nodos, que se pueden arreglar o cambiar dinámicamente, a través de una red de señalización específica.

En conclusión, el uso de los protocolos de comunicación clásicos no satisface completamente los requisitos de las redes de sensores, por lo que existe la necesidad de definir protocolos Ad-hoc basados en el uso conjunto de las técnicas mencionadas anteriormente, pero también teniendo en cuenta las limitaciones de los sensores que se ven afectados para optimizar el sistema en general.

2.7. Protocolos de enrutamiento

Ya se ha discutido anteriormente cómo la administración maneja de forma cuidadosa los protocolos de enrutamiento dentro de la red que puede ser un excelente movimiento para lograr la eficiencia energética que se desea. Por lo tanto, se debe considerar las características peculiares de estas redes que a menudo hacen ineficientes los protocolos que normalmente se utilizan para otros tipos de redes como el teléfono y actúan en consecuencia, siempre enfocándose en el objetivo principal que es el ahorro de energía.

La primera característica que se conoce mediante la observación de la topología de las redes examinadas es la centralidad del nodo computacional con respecto a los nodos sensores, lo que implica un flujo de datos exclusivamente entre un nodo sensor y el nodo de cálculo y, por lo tanto, hace uso de Identificadores de nodo para el enrutamiento de paquetes de información.

En consecuencia, el tráfico de datos también será altamente asimétrico, ya que los nodos computacionales reciben paquetes de todos los nodos sensores conectados a él; sin embargo, el tráfico de datos dirigido a los nodos sensores puede ser mucho más importante que el flujo de datos dirigido hacia el nodo computacional: por ejemplo, en un sistema de medición ambiental puede ser aceptable que se pierda algún paquete relacionado con una medida, ya que hay muchos otros que seguir mientras que puede no ser la pérdida de un comando de control enviado a los nodos del sensor.

Por otro lado, al observar las limitaciones físicas impuestas en los nodos periféricos de la red, el almacenamiento de información numerosa sobre las rutas y los nodos restantes de la red puede no ser una ruta viable, así como implementar sofisticados cálculos de ruta. En este sentido, es necesaria una táctica de procesamiento distribuido, ya que solo está disponible la información de los nodos en las inmediaciones.

Desde entonces, la elección de la ruta deberá seguir un criterio de ahorro de energía y, por lo tanto, estar constituida como se mencionó anteriormente en muchas transmisiones pequeñas de baja energía en lugar de una sola transmisión de desperdicio o, en cualquier caso, por un balance acumulativo de la energía utilizada para la entrega de paquetes. Los algoritmos que utilizan la ruta más corta no siempre serán adecuados para nuestras necesidades; por otro lado, el uso de conexiones no confiables podría causar una transmisión incorrecta de la información y, por lo tanto, requeriría una retransmisión con el consiguiente gasto innecesario de energía, al igual que la elección continua de un nodo en particular para enrutar el flujo de datos de manera eficiente para reducir drásticamente sus recursos de energía con la

posibilidad de prohibir una parte de la red cuando el nodo en cuestión debería salir.

Finalmente, una buena política energética también consiste en reducir la información transmitida a lo esencial: el envío de datos agregados como sumas o promedios de varias medidas puede ayudar a reducir el tamaño y la cantidad de paquetes que se transmitirán, ya que la administración de la redundancia actual puede no serlo y siempre factible debido a la alta densidad de nodos y la interferencia relativa que se crea, también debido al entorno a menudo hostil o al cambio en las condiciones de operación, y finalmente la posibilidad de la pérdida de algunos nodos que podrían desactivarse debido a la falta de energía, Las conexiones a menudo son poco confiables e incompatibles con una robustez aceptable que uno podría pedir al sistema.

Sin embargo, el hecho es que debido a la gran variedad de aplicaciones que encuentran este tipo de tecnología, los factores que deben tomarse en consideración y las soluciones técnicas relativas pueden variar de un caso a otro y deben estudiarse en consecuencia.

2.8. El estándar IEEE 1451.

El creciente desarrollo de las redes de sensores a lo largo de los años ha mostrado varias limitaciones para su uso generalizado, por lo que en los últimos años el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) ha redactado una serie de documentos con el objetivo de crear un Interfaz estándar que posibilite la interoperabilidad de dispositivos producidos por diferentes empresas.

Por lo tanto, la familia de estándares IEEE 1451 nace de la necesidad de definir un conjunto de interfaces de comunicación que sean comunes, independientes del tipo de red en que operan e independientes de los fabricantes de dispositivos, para la conexión de transductores inteligentes, microprocesadores y de cálculo en una red capaz de autoorganizarse, lo que hace que su gestión sea transparente para el usuario externo. Los principales objetivos de tal trabajo son: (Saponara, Petri, Fanucci, & Terreni, 2009)

- Posibilidad de instalar, eliminar o actualizar los dispositivos de red en modo plug&play, es decir, sin un procedimiento preciso de instalación o configuración requerido por el usuario externo.
- Definición de una hoja de datos electrónicos estándar que contiene información indispensable para interactuar con el transductor de manera correcta, incluso más allá de la simple gestión de la recopilación de datos.
- Posibilidad de utilizar diversos medios físicos de comunicación, tanto cableados como inalámbricos, a través de los numerosos estándares de comunicación IEEE.
- Facilidad de control, configuración y calibración de dispositivos a través de la adopción de un modelo común en la gestión de datos.
- Promover la integración de transductores vinculados a tecnologías obsoletas en redes de transductores inteligentes.
- Hacer que la producción de tales dispositivos sea más barata, reduciendo la complejidad de implementar múltiples sistemas de comunicación entre los distintos dispositivos.

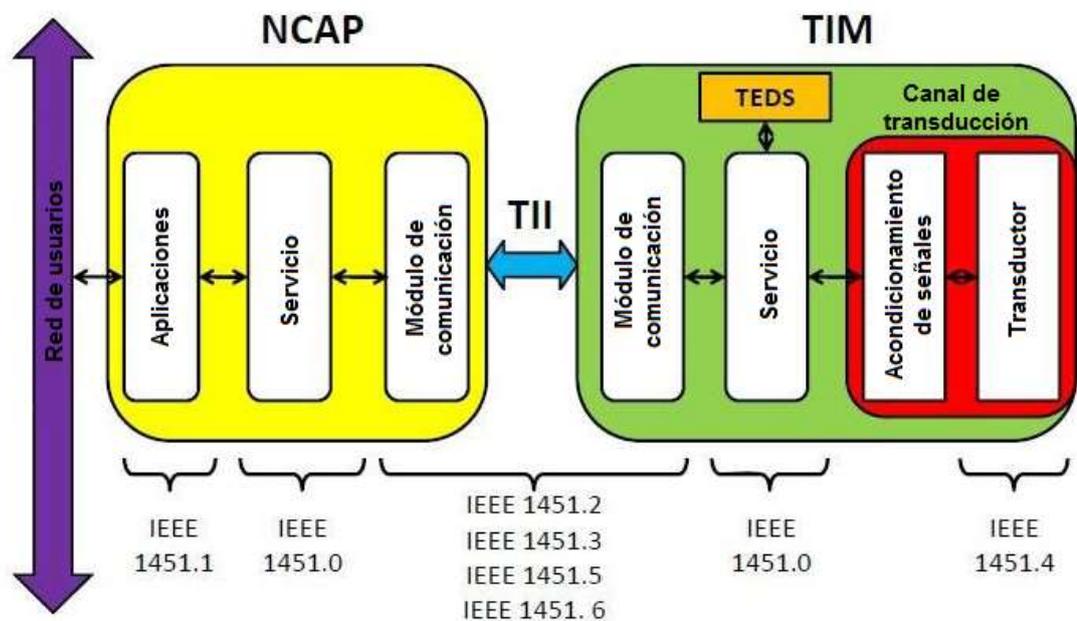


Figura 2. 4: Representación de los componentes en el estándar IEEE 1451.
Fuente: (Saponara et al., 2009)

Por lo tanto, no impone restricciones al acondicionamiento de la señal, a los diagramas de proceso de la aplicación, a las conversiones

analógicas/digitales, a los microprocesadores, a los protocolos o medios de comunicación, lo que permite el uso de tablas de datos especiales con un formato estándar adquirido automáticamente por el host remoto que interactúa con el sensor para hacer posible una correcta adquisición de los datos medidos. En la figura 2.4 se muestra el diagrama de la representación de los componentes en el estándar IEEE 1451.

2.8.1. Transductor inteligente IEEE 1451.

La necesidad de definir un modelo común para transductores inteligentes o Smart surge de la necesidad de promover la integración y la comunicación entre numerosos dispositivos, incluso los producidos por diferentes compañías. El transductor inteligente definido por el estándar IEEE 1451 difiere de un transductor inteligente normal que tiene características adicionales a las suficientes para su correcto funcionamiento, tal como se muestra en la figura 2.5.

Estas características están diseñadas para facilitar la integración del dispositivo en la red a través de capacidades tales como auto identificación, auto descripción, autodiagnóstico, auto calibración, determinación de posición y tiempo, funciones de procesamiento de datos, uso de diferentes protocolos de comunicación, etcétera.

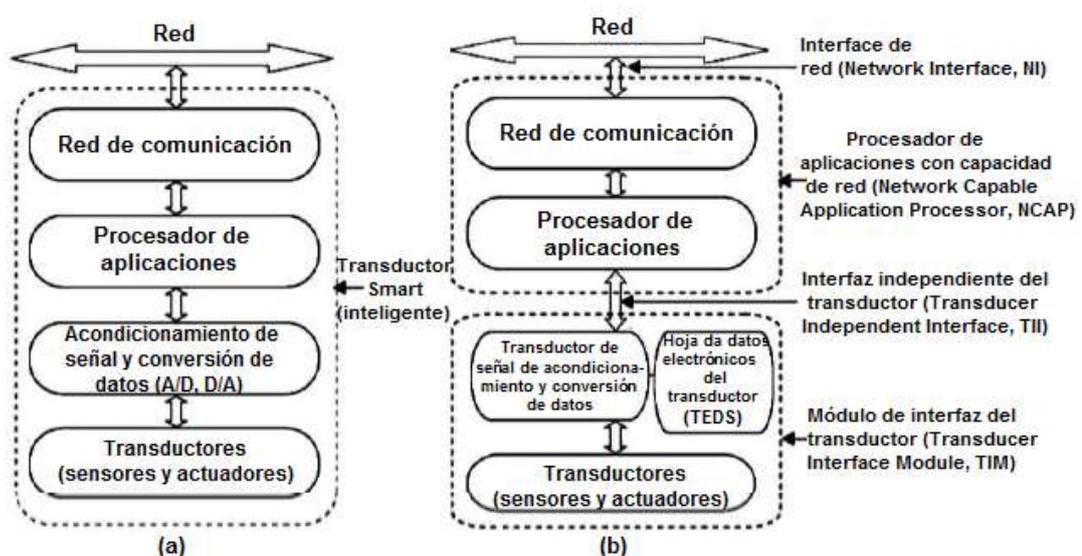


Figura 2. 5: Principio de funcionamiento de un aislador.

Fuente: (Saponara et al., 2009)

El estándar también define una arquitectura de transductor bien definida que es ligeramente diferente de la arquitectura normal de un transductor clásico. Inmediatamente se observa una subdivisión en dos elementos principales: una unidad de procesamiento de aplicaciones con capacidad de red (*Network Capable Application Processor, NCAP*) y un módulo que contiene uno o más transductores y bloques para la conversión y el procesamiento de datos (*Transducer Interface Module, TIM*).

La transmisión de la información entre los dos bloques está garantizada por una interfaz independiente del transductor independiente (TII) que se puede implementar a través de varios protocolos de comunicación cableados e inalámbricos. Finalmente, la interacción entre NCAP y TIM se ve favorecida por el uso de una estructura de datos estándar específica con la que TIM puede proporcionar una descripción completa de su estructura al NCAP.

En la figura 2.6 se muestra dos posibles aplicaciones del IEEE 1451 en un sistema distribuido de medición y control.

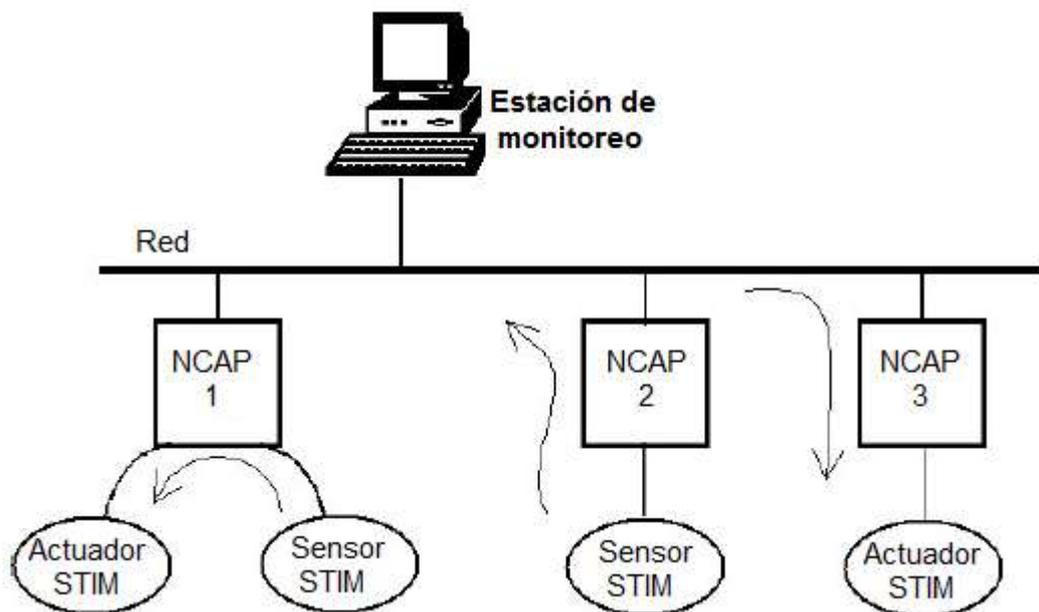


Figura 2. 6: Esquemático de la posible organización de redes IEEE 1451.
Fuente: (Xuezhen, Jiming, & Jianhang, 2017)

En la primera situación, se tiene un sensor y un actuador conectados al mismo NCAP 1, que opera una acción de control local, como, por ejemplo, configurar un termostato en respuesta a la medición realizada por un

termómetro. Al mismo tiempo, puede enviar datos medidos y describir la situación actual a una estación de monitoreo remoto.

En la segunda situación, el sensor y el actuador están conectados a NCAP separados (NCAP 2 y NCAP 3) que también pueden estar físicamente distantes y comunicarse a través de la red, como en el caso de una alarma remota activada por un sensor de robo. En general, se pueden distinguir tres aplicaciones principales en las que el uso del estándar IEEE 1451 que resulta ser un elemento fundamental para el funcionamiento óptimo del sistema (Song & Lee, 2008):

- Monitoreo y control remoto: en un sistema de monitoreo que consta de uno o más sensores, el NCAP puede, a través de una conexión a una red externa como Internet, enviar los datos recopilados por los diferentes sensores de la red a cualquier estación de monitoreo conectada a la misma red. Del mismo modo, un NCAP conectado a una serie de actuadores puede recibir comandos de un host remoto que permite el uso de los actuadores a través de la red.
- Monitoreo y control distribuido: esta es la situación en la que los TIM se componen de transductores y actuadores; por lo tanto, pueden operar las funciones de control y medición local e independientemente, siguiendo las instrucciones proporcionadas al NCAP a través de la red.
- Monitoreo y control colaborativos: hay varios NCAP, cada uno conectado a uno o más TIM con sensores y actuadores, que interactuando entre sí pueden realizar operaciones de control separadas a través de una colaboración mutua o una sincronización lógica o temporal.

2.8.2. Procesador de aplicaciones con capacidad de la red - NCAP.

Un NCAP es un dispositivo ubicado dentro de la red entre el TIM y la red externa que administra de manera eficiente el tráfico de datos hacia y desde los TIM conectados a él y para poner a disposición de un usuario externo los datos adquiridos a través de la red externa. Como lo sugiere el propio

acrónimo, un NCAP consiste en una interfaz de red capaz de conectarse a una red externa, como Internet a través de una gateway (pasarela), y un procesador de aplicaciones capaz de llevar a cabo todas las actividades delegadas al dispositivo.

Una vez que se adquiere el TEDS del TIM, el NCAP determina la velocidad de bits máxima admitida por el módulo de comunicación del TIM en las transmisiones, cuántos canales contiene el TIM y el formato de datos de cada transductor. También sabe lo que mide cada transductor y qué función de calibración se usa para las mediciones.

Un NCAP puede iniciar una medición o realizar una acción enviando una señal de activación específica al TIM, que responde a través de una señal de confirmación una vez que el proceso ha finalizado. También puede ser interrumpido por el TIM en caso de errores tales como problemas de hardware, errores de calibración o anomalías resaltadas por las pruebas de control realizadas por el TIM.

El acceso a un NCAP desde la red del usuario se puede hacer mediante el uso de un protocolo de comunicación HTTP, utilizado en el intercambio de información en Internet y basado en una conexión TCP. Al ser un protocolo cliente/servidor, el NCAP tendrá que alojar el servidor HTTP, que permanecerá constantemente escuchando mientras espera las comunicaciones de los clientes HTTP remotos, que utiliza el usuario para acceder al NCAP.

El NCAP proporcionará datos al usuario remoto en uno de los siguientes formatos:

- XML;
- HTML (página web);
- Texto;

Por lo tanto, un NCAP puede realizar una función de control de los nodos de la red, también comunicarse con los otros NCAP presentes en la red, y una

función de interfaz con el usuario externo a través de los protocolos cliente/servidor. (dos Santos Filho, da Silva, & da Silva, 2012)

2.8.3. Módulo de interfaz del transductor - TIM.

El TIM es un dispositivo que se encarga de la administración del transductor, la recopilación de datos y su transmisión a los nodos de cómputo. Por lo tanto, son los nodos terminales de la red y necesitan un host remoto para su administración. Un solo TIM contiene en su interior cuatro bloques principales: una interfaz de comunicación que administra la transferencia de datos desde el transductor al NCAP y viceversa, un microprocesador capaz de realizar operaciones de acondicionamiento de señal adquiridas por uno o más transductores que representan el tercer bloque principal, y finalmente un área de memoria tiene la tarea de preservar las hojas de datos electrónicas que permitirán que el dispositivo se conecte correctamente con los otros nodos de la red.

La parte del TIM que comprende el transductor físico y toda la electrónica necesaria para el acondicionamiento de la señal (amplificadores/atenuadores, filtros, convertidores ADC/DAC, etc.) a menudo se define como un canal de transducción. Por lo tanto, un TIM puede tener múltiples canales de transducción, que están clasificados por el estándar IEEE 1451.0 en:

- sensores
- sensores de eventos
- actuadores

En presencia de varios transductores se pueden distinguir dos conjuntos de canales de transducción:

- Grupo de control: consiste en un canal de transducción principal y uno o más canales secundarios que tienen la tarea de adquirir información adicional sobre el funcionamiento del canal principal.
- Grupo de vectores: no existe una relación jerárquica entre los canales de transducción.

La estructura de datos de un canal de transducción consiste en un conjunto de datos que contiene las muestras recolectadas por el sensor o, en el caso de un actuador, los datos que se suministrarán desde el NCAP. El conjunto de datos se define mediante tres parámetros contenidos en los TEDS, que son el número máximo de muestras que se pueden memorizar mediante el conjunto de datos (repetición máxima de datos), la unidad de medida del muestreo (unidad de serie) y el ancho del intervalo de muestreo que es necesariamente temporal (incremento de series).

Otro aspecto que caracteriza a un canal de transducción es el modo de muestreo.

2.9. Ventajas del estándar IEEE 1451.

Gracias al uso de la hoja de datos proporcionada por la norma, es posible extraer directamente de la información del transductor, como el nombre del fabricante, el tipo de sensor, el número de serie, los datos de calibración y otros formatos estandarizados para TEDS. Los principales beneficios de esta información son:

- Auto identificación del sensor o actuador: el transductor que posee el TEDS puede identificarse y describirse al host externo o a la red enviando la información presente en el TEDS.
- Transductor puede proporcionar una auto-documentación a largo plazo: de hecho, el TEDS puede actualizarse y memorizar información como la posición del sensor, los datos de calibración, los registros de reparación realizados y los datos generales relacionados con su mantenimiento.
- Reducción del error humano: la transferencia automática de datos del TEDS al sistema o la red evita la inserción automática de datos que podrían generar errores.
- Simplificada instalación, actualización y mantenimiento de los sensores: los costos de administración durante todo el ciclo de vida del

sensor se reducen porque cualquier persona puede administrar estas operaciones como altamente transparentes para el usuario.

Capítulo 3: Simulación y Resultados Obtenidos.

3.1. Entorno de simulación

Actualmente hay diferentes simuladores que permiten la simulación de entornos de red. Las principales cosas a las que se presta atención a estos simuladores son las licencias, la interfaz de usuario y la eficiencia. Una vista general de los entornos presentados se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1: Descripción general de simuladores de redes de comunicación.

Simulador	Tipo	Sistema Operativo	Eficiencia	Requisitos de Hardware
Omnet++	Gratuito	Windows, Linux, Mac OS	Se requiere recompilación parcial	512 MB RAM, 400 MB HDD
QualNet	Comercial	Windows, Linux, Mac OS	Alta	4 GB RAM 5 GB HDD
NS2	Gratuito	Mac OS X, Windows	Se requiere una recompilación completa	256 MB RAM 5 GB HDD
Openet	Comercial	Windows	Alta	256 MB RAM 200 MB HDD

Elaborado por: Autor

3.2. Simuladores OMNeT ++ y Castalia

Las simulaciones en este documento se realizan en el simulador OMNeT ++, por esta razón, este simulador se ha desarrollado aún más en esta parte del trabajo. Además, en esta parte, se procesó el simulador de Castalia, ya que las simulaciones de referencia se implementaron con la ayuda de este entorno.

3.2.1. Simulador OMNeT++.

OMNeT++ es un simulador modular orientado a objetos de eventos discretos. Tiene una arquitectura genérica y se puede utilizar para resolver varios tipos de problemas:

- a. Modelado de redes inalámbricas e inalámbricas de computadoras.
- b. Modelado de protocolos
- c. Modelado de sistemas multiprocesador y sistemas hardware distribuidos.

- d. Validación de la arquitectura de hardware
- e. Evaluación del desempeño de sistemas de software complejos.
- f. En general, modelado de cualquier sistema que pueda representarse mediante simulación de eventos discretos.

OmneT++ es un entorno de desarrollo integrado basado en la plataforma Eclipse tal como se muestra en la figura 3.1. Además de la funcionalidad estándar proporcionada por Eclipse, OMNeT++ agrega una nueva funcionalidad que permite la configuración y creación de modelos de simulación con la ayuda de lenguajes NED, editores gráficos de red y archivos .ini utilizado para la configuración del modelado. También es posible analizar los resultados de las simulaciones a partir de los datos recopilados.

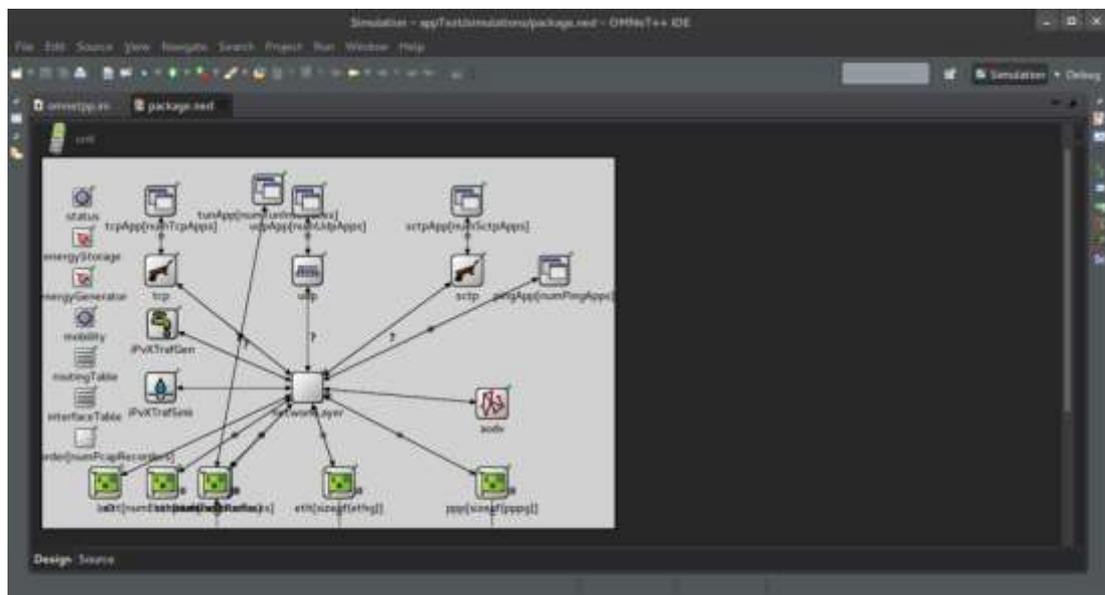


Figura 3. 1: Entorno de la plataforma de simulación OMNeT.
Elaborado por: Autor

El modelo OMNeT++ consiste en módulos que se comunican con intercambio, es decir, reenviando mensajes. Hay dos tipos de módulos: módulos básicos (módulos simples) y módulos compuestos. C ++ se utiliza para crear módulos básicos. Los módulos básicos se pueden agrupar en módulos compuestos. Se debe enfatizar que tal jerarquía es ilimitada. Un modelo completo que representa una red es, de hecho, un gran módulo compuesto.

El lenguaje NED se utiliza para describir la estructura y el modelo de simulación. NED permite la declaración de módulos básicos y la conexión de varios módulos básicos en compuesto. El lenguaje NED en sí está organizado jerárquicamente, lo que permite que un modelo grande se descomponga en más pequeño, lo que facilita la implementación del modelo. Consiste en un módulo que permite la reutilización de código y admite interfaces y herencia.

Todos los módulos pueden tener parámetros que se asignan mediante archivos NED o mediante el archivo `omnetpp.ini` que representa el archivo de configuración de cada modelo y simulación. Los parámetros determinan el comportamiento de cada módulo y se utilizan para la parametrización de la topología. Los parámetros pueden ser textuales, numerosos valores. Además, los parámetros pueden extraerse de archivos xml externos.

Los mensajes intercambiados entre módulos se envían a través de conexiones que se forman entre ellos o directamente a otros módulos. Las conexiones, que representan enlaces físicos reales, pueden ser parametrizadas. Además, los parámetros como la velocidad en baudios, la BER y el retardo debido a la transferencia se pueden asignar a las conexiones.

Los mensajes intercambiados entre módulos pueden contener estructuras de datos complejas que se agregarían a los atributos estándar que componen la información, como el tiempo de transmisión del mensaje. Al simular el mensaje, de hecho, representan tramas o paquetes de una red de computadoras. Los módulos básicos utilizan principalmente pasarelas para enviar mensajes, aunque es posible enviar los mismos mensajes directamente al módulo de destino. Las puertas son las interfaces de entrada y salida del módulo. Los mensajes se envían a través de las salidas y se reciben a través de las entradas de dicha compuerta. Las compuertas de los dos submódulos de un módulo compatible se pueden conectar directamente.

OMNeT++ soporta simulación paralela y distribuida. Los modelos en sí no tienen ninguna implementación especial para realizar la simulación en un modo de operación paralelo. Las simulaciones se pueden realizar de dos

maneras: a través de una interfaz gráfica que es útil para demostrar y resolver problemas que pueden ocurrir en una simulación o mediante una línea de comandos que sea adecuada para la ejecución de Bach.

3.2.2. Simulador de Castalia.

Castalia es un simulador robusto basado en la plataforma de simulación OMNeT++. Está permite la simulación de varios tipos de redes y es especialmente bueno para la simulación de redes de área corporal (*Body Area Network, BAN*). OMNeT++ se utiliza como base, por lo que el foco de este simulador no es el núcleo y la forma de mensajería, sino los modelos y el diseño general de los modelos utilizados. Este simulador, como OMNeT++, no solo está diseñado para una plataforma de sensores específica, sino que también se utiliza para crear un modelo que se usaría para validar implementaciones reales.

Castalia contiene un modelo de canal de transmisión avanzado que define las pérdidas en la ruta de transmisión, así como las variaciones en las intensidades de la señal que se producen durante la transmisión. La movilidad del sensor también se ha implementado. El modelo utilizado para el canal de radio se basa en mediciones realistas.

El éxito de la recepción de la señal depende de varios factores: **(a)** la probabilidad de aceptación se basa en los valores de relación señal ruido más interferencia (*Signal to Noise plus Interference Ratio, SNIR*), **(b)** la relación de intensidad de la señal al ruido (*Signal to Noise Ratio, SNR*), **(c)** los valores de la tasa de error de bits (*Bit Error Rate, BER*), y **(d)** el tamaño del paquete que se enviará.

Además, se permiten diferentes valores de la intensidad de la señal emitida por el transmisor. Además de todo esto, se ha implementado la simulación del proceso físico, lo que contribuye a mejorar el realismo de la simulación. La estructura de todos los modelos utilizados es, como con el simulador OMNeT++ implementado utilizando el lenguaje NED. Esto significa

que es posible modificar los parámetros que tienen o crear los módulos existentes, creando nuevos módulos basados en sus propias necesidades.

Además, la estructura jerárquica y el uso de modelos básicos y compuestos se toman del simulador OMNeT++. Dado que la base de Castalia es el simulador OMNeT++, el rendimiento que realiza es al mismo nivel, pero a diferencia del simulador OMNeT++, Castalia solo es compatible con la plataforma Linux.

3.3. Diseño del modelado de simulación.

El escenario utilizado en la simulación se basa según el trabajo de Divya & Chinnaiyan, (2017). El escenario desarrollado en el presente trabajo se implementó con la ayuda del simulador de Castalia. El objetivo de esta simulación es implementar escenarios utilizando otro simulador y comparar los resultados obtenidos. Para la implementación de la simulación, se utilizan el simulador OmneT ++ e Inet framework v3.0.0. que contiene todos los módulos de simulación necesarios.

La simulación se realiza en una topología de malla que consta de un nodo coordinador y dos unidades de sensores, tal como se muestra en la figura 3.2. Todas las unidades de sensores enviarán datos al nodo coordinador (se utiliza la aplicación ping). El tamaño del paquete que genera la aplicación es de 56 bytes. Todos los demás parámetros básicos de simulación se muestran en la tabla 3.2.

En la capa de enlace de datos, se utiliza la implementación de Inet del estándar IEEE 802.15.4. Esta implementación IEEE 802.15.4 no tiene una transmisión de baliza implementada, por lo que no es posible utilizar los intervalos de tiempo garantizados. Los parámetros del estándar IEEE 802.15.4 en la capa de enlace de datos se muestran en la tabla 3.3. La banda de frecuencia utilizada en la simulación es de 780 MHz, mientras que se selecciona la modulación por desplazamiento de fase de orden M (*M-ary Phase Shift Keying, MPSK*). La modulación por desplazamiento de fase en cuadratura compensada (*Offset Quadrature Phase Shift Keying, OQPSK*) –

espectro extendido de secuencia directa (*Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS*) y la banda de frecuencia de 2.4 GHz no se implementan en el modelo de simulación, aunque Inet contiene este tipo de modulación. La razón por la que esta modulación no se implementa en el modelado son por problemas en el proceso de simulación que llevan a una ruptura prematura de la simulación.

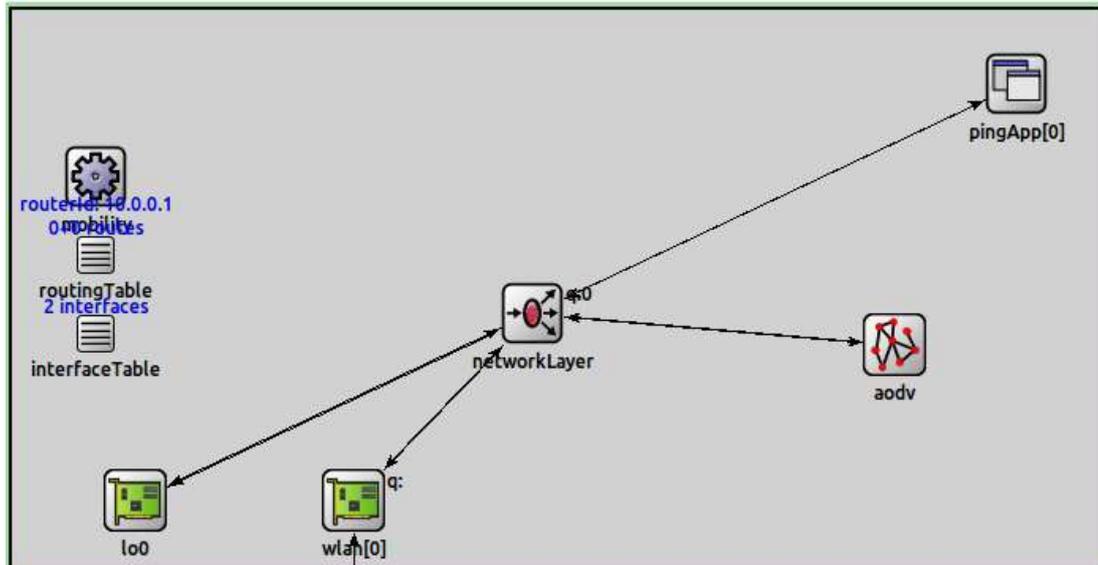


Figura 3. 2: Descripción general de las unidades de sensor utilizado.
Elaborado por: Autor

Tabla 3. 2: Parámetros de la simulación y de Hardware.

Sistema Operativo	Ubuntu
Hardware	Procesador Intel i7 8th generación – RAM 8 GB
Simulador	OMNeT++
Entramado (Framework)	Inet
Duración de simulación	120 s
Número de repeticiones	50
Aplicación	PingApp
Capa de enlace de datos	IEEE 802.15.4 MAC de banda estrecha
Capa física	Ancho de banda de frecuencia 780 MHz, modulación 16-PSK
Canal de radio	IEEE 802.15.4 Medio de radio escalar de banda estrecha

Elaborado por: Autor

Cada simulación dura 120 s y se repite 50 veces. La aplicación genera siete tipos diferentes de cargas: envía 5, 10, 20, 40, 60, 80 y 100 paquetes

por segundo. Finalmente, en el presente diseño de simulación se utiliza el protocolo de enrutamiento Ad-hoc bajo demanda por vector distancia (*Ad-hoc On-demand Distance Vector, AODV*).

Tabla 3. 3: Parámetros de la capa de enlace de datos 802.15.4.

MTU	118 bytes
Tamaño del encabezado	72 bits
Tipo de discrepancia	Exponencial
Número máximo de retransmisiones	3
Número máximo de desviaciones CSMA	4
Mínimo exponente de desviaciones	3
Máximo exponente de desviaciones	3

Elaborado por: Autor

Para la transmisión de radio, o para el modelo de canal, se utilizó un modelo de programa que se relaciona de manera adecuada con la implementación de la capa física de la tarjeta inalámbrica utilizada. Los parámetros del transmisor y del receptor se muestran en las tablas 3.4 y 3.5, respectivamente.

Tabla 3. 4: Parámetros del receptor.

Detección de energía	-90 dBm
Sensibilidad	-100 dBm
Umbral SNIR	-8 dB
Modulación	16MPSK
Interferencia de potencia mínima	-120 dBm

Elaborado por: Autor

Tabla 3. 5: Parámetros del transmisor.

Potencia	0.5 mW
Velocidad de transmisión	250 kbps
Tamaño del encabezado	48 bits
Modulación	16MPSK

Elaborado por: Autor

Se simulan tres diseños diferentes de los nodos sensores. En la primera, todas las unidades de sensores, incluidos los coordinadores, están dispuestas en secuencia, mientras que en la segunda hay entre dos unidades de sensores. El tercer escenario incluye movilidad. En esta disposición, la unidad de sensor 1 está ubicada a una distancia de 10 metros del nodo coordinador y se mueve a una velocidad de 0.2 m/s según el nodo coordinador.

Las posiciones del nodo coordinador y todos los nodos sensores se muestran en la tabla 3.6 y en la figura 3.3, mientras que la simulación sobre la interfaz gráfica se muestra en la figura 3.4. Los parámetros que se van a monitorear en la presente simulación son:

- 1) porcentaje de paquetes perdidos.
- 2) tasa de éxito del paquete: se define como la relación entre el número total de paquetes recibidos y el número total de paquetes de difusión
- 3) tasa de pérdida de paquetes: se define como la relación entre el número total de paquetes perdidos y el número total de paquetes de difusión
- 4) Carga: en este caso, la carga representa una intensidad diferente de envío de paquetes. Las intensidades son 5 paquetes/s, 10 paquetes/s, 20 paquetes/s, 40 paquetes/s, 60 paquetes/s, 80 paquetes/s y 100 paquetes/s.

Tabla 3. 6: Resumen de parámetros de acciones de sensores.

Escenario	Posición del nodo coordinador (m)	Posición del sensor0 (m)	Posición del sensor1 (m)	Movilidad
1.a	(1, 1)	(3, 1)	(6, 1)	Estacionario
1.b	(1, 1)	(5, 1)	(11, 1)	Estacionario
2.a	(3, 1)	(1, 1)	(8, 1)	Estacionario
2.b	(5, 1)	(1, 1)	(15, 1)	Estacionario
3	(1, 1)	(2, 1)	(10, 2)	Sensor 1 viaja al coordinador a una velocidad de 0.2 m/s

Elaborado por: Autor

En esta configuración de modelo, el consumo de energía no se puede corregir porque la implementación de la tarjeta inalámbrica 802.15.4 y la

implementación del módulo de batería para monitorear el consumo de energía no están conectadas de la mejor manera dentro del paquete Inet, lo que lleva a un final prematuro de la simulación.

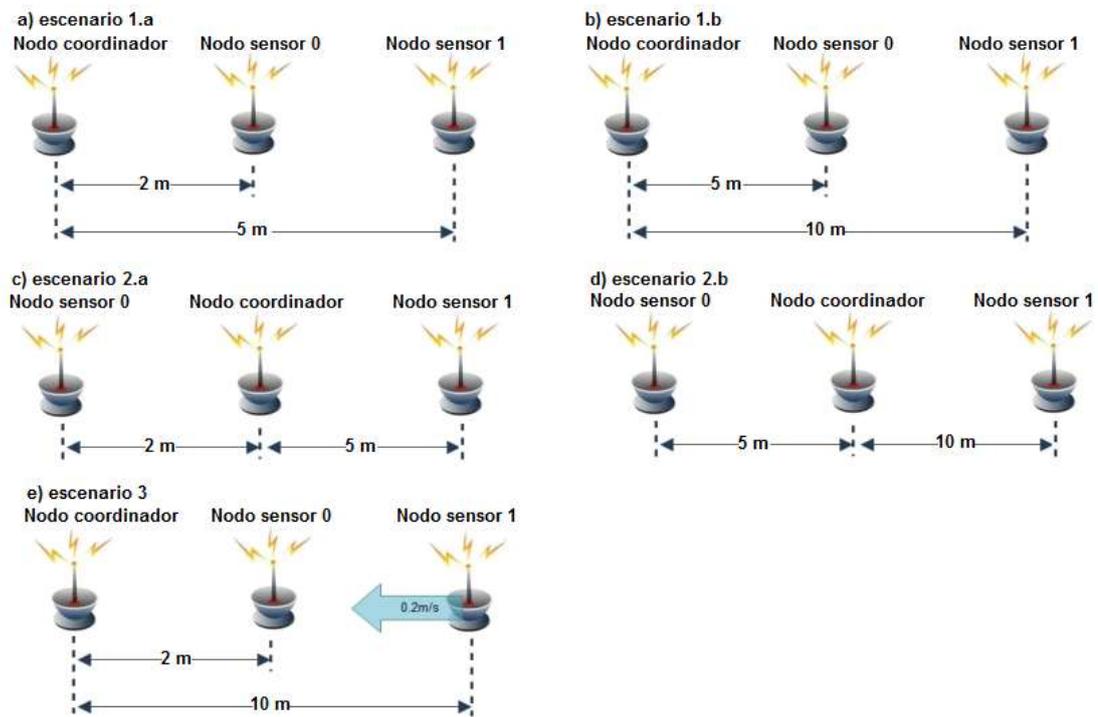


Figura 3. 3: Esquemático de las posiciones de nodo coordinador y nodos sensores. Elaborado por: Autor

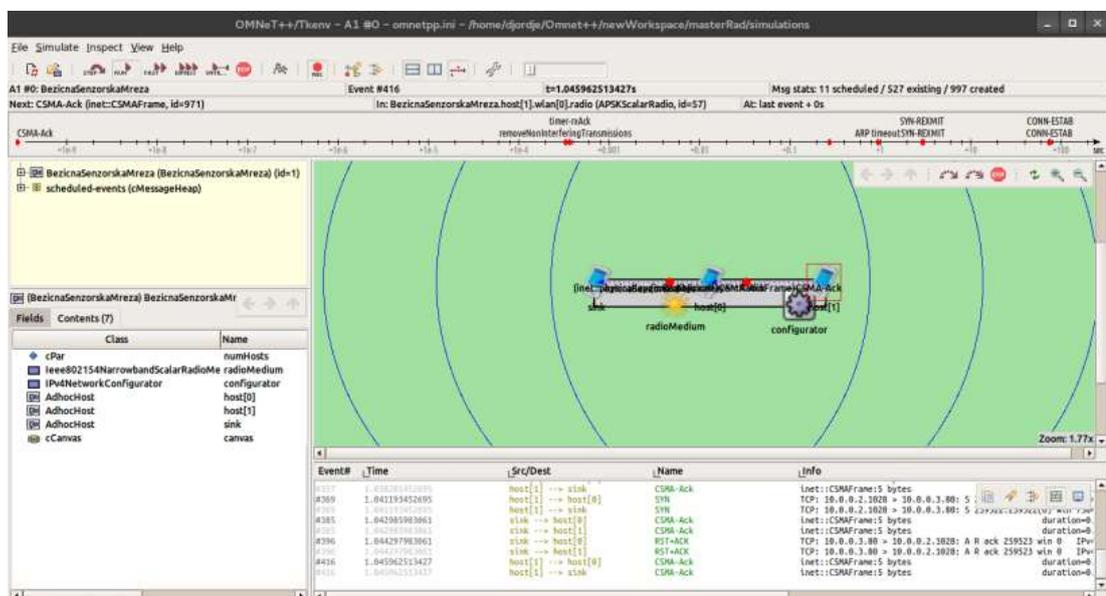


Figura 3. 4: Simulación de Omnet ++ utilizando un simulador gráfico. Elaborado por: Autor

3.4. Análisis de resultados obtenidos.

A continuación, se analizan el rendimiento de la intensidad y la intensidad de los paquetes perdidos.

a. Intensidad del rendimiento.

En las figuras 3.5 y 3.6, y en las tablas 3.7 y 3.8, se presentan los resultados de la simulación relacionada con la intensidad del rendimiento. La intensidad media del rendimiento global de simulación es del 75,52%. La figura 3.5 muestra la intensidad promedio del rendimiento por carga, mientras que la figura 3.6 muestra la intensidad del rendimiento para cada escenario.

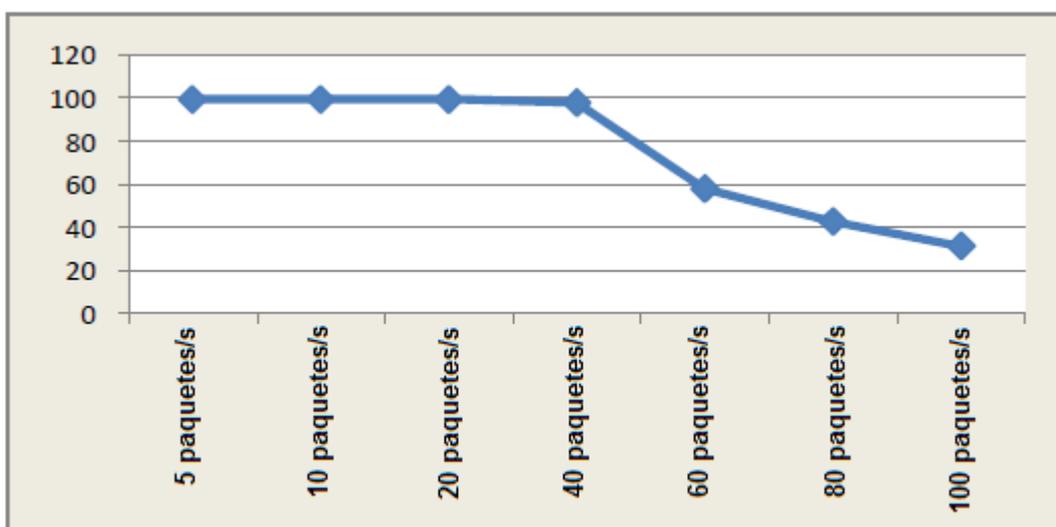


Figura 3. 5: Gráfica de la intensidad promedio del rendimiento.

Elaborado por: Autor

Los resultados mostraron que la mejor intensidad de rendimiento fue de 5 paquetes/s y no hubo mucha diferencia en los resultados entre 5, 10, 20, 40 paquetes/s. Una caída drástica en la intensidad del rendimiento se produce después de una carga de 40 paquetes/s. Esta caída es causada por la carga. El análisis mostró que el nodo coordinador en los casos de carga alta hace una pausa relativamente larga antes de enviar una respuesta a la solicitud recibida. Además, hay una alta ocupación de los canales por uno u otro sensor de transmisión de datos.

Si se observa la intensidad del rendimiento de los escenarios individuales, se puede ver que las diferentes posiciones del sensor y la movilidad (que ocurre en el escenario 3) para la misma carga no afectan los

resultados. En este caso, esto se debe a que la distancia del sensor al nodo coordinador es mínima. Ambos sensores están dentro del rango de coordinador para cada demarcación. La conclusión es que tanto el nodo que envía el paquete comunicándose directamente con el nodo coordinador, lo que significa que se forma la topología estrella.

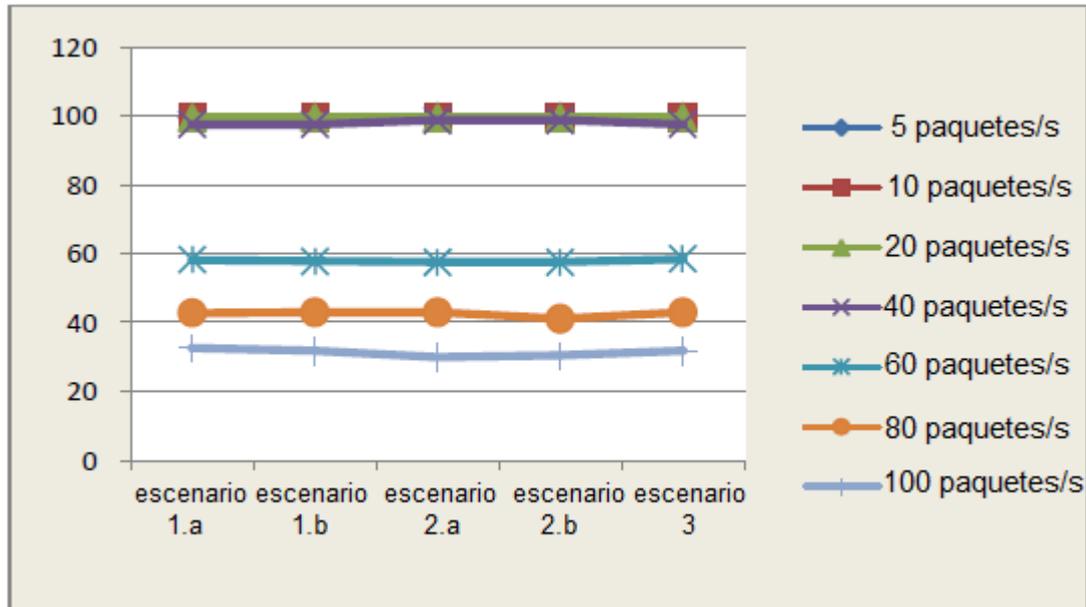


Figura 3. 6: Diseño de simulación del mecanismo en el que se examina el efecto de ruido en moduladores de electroabsorción.

Elaborado por: Autor

Tabla 3. 7: Resumen de los datos recibidos para la intensidad de rendimiento.

Carga de paquetes	Intensidad de rendimiento
5 paquetes/s	99,62%
10 paquetes/s	99,60%
20 paquetes/s	99,57%
40 paquetes/s	98,90%
60 paquetes/s	57,92%
80 paquetes/s	42,62%
100 paquetes/s	31,19%

Elaborado por: Autor

Los resultados obtenidos difieren en comparación con los presentados por Divya & Chinnaiyan, (2017). En este caso, la diferencia entre los

resultados obtenidos en el presente trabajo de examen complejo y la referencia Testbed 1.32% para el sensor 0 y 6.17% para el sensor 1. La diferencia entre el Testbed de referencia y los resultados de simulación de referencia para el sensor 0 es 2.51% y -1.88% para el sensor 1.

Tabla 3. 8: Resumen comparativo de los resultados obtenidos de la intensidad promedio de rendimiento.

Resultado de Testbed referencial	Sensor 0	98,32%
	Sensor 1	93,44%
Resultados de la simulación referencial	Sensor 0	95,81%
	Sensor 1	95,32%
Resultados obtenidos	Sensor 0	99,64%
	Sensor 1	99,61%

Elaborado por: Autor

b. Intensidad de paquetes perdidos.

La intensidad promedio de los paquetes rechazados para todo el escenario es 18.54%. Las figuras 3.7 y 3.8, y las tablas 3.9 y 3.10 muestran la intensidad de los paquetes rechazados. La figura 3.7 muestra la intensidad de las ráfagas empaquetadas según la carga, mientras que la figura 3.8 muestra la intensidad de los paquetes rechazados para cada escenario.

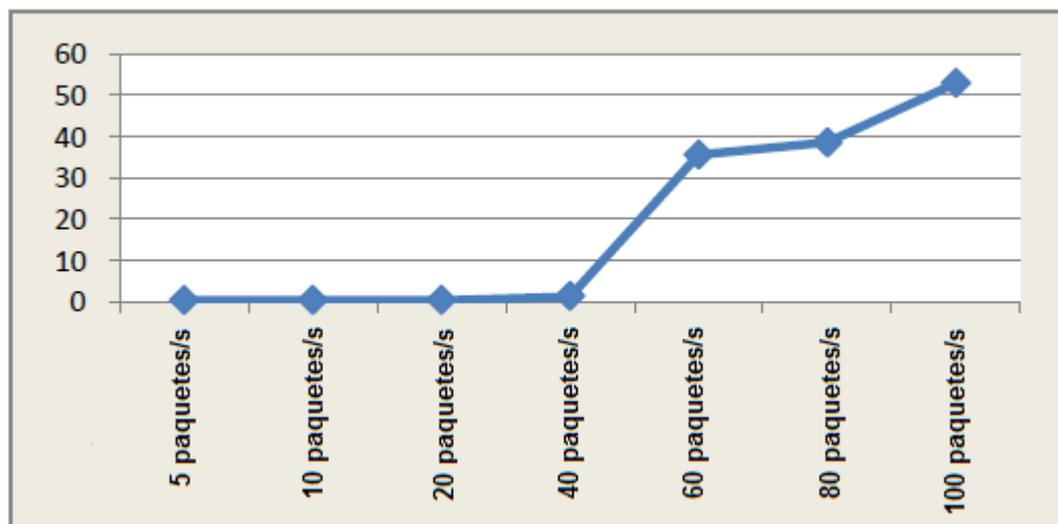


Figura 3. 7: Gráfico de la intensidad promedio de paquetes empaquetados para cada carga.

Elaborado por: Autor

De nuevo, al igual que con la intensidad del rendimiento y la intensidad del paquete empaquetado, está aumentando rápidamente después de una carga de 40 paquetes/s. Esto también está condicionado por la carga. Además, en este caso, diferentes posiciones y movimientos no afectan los resultados. Para los diferentes escenarios y la misma carga, la intensidad de los respaldos de paquetes es aproximadamente la misma que se muestra en la figura 3.7.

Tabla 3. 9: Resumen de la intensidad promedio de paquetes rechazados bajo carga.

Carga de paquetes	Intensidad de paquetes rechazados
5 paquetes/s	0,37%
10 paquetes/s	0,39%
20 paquetes/s	0,42%
40 paquetes/s	1,36%
60 paquetes/s	35,60%
80 paquetes/s	38,60%
100 paquetes/s	53,01%

Elaborado por: Autor

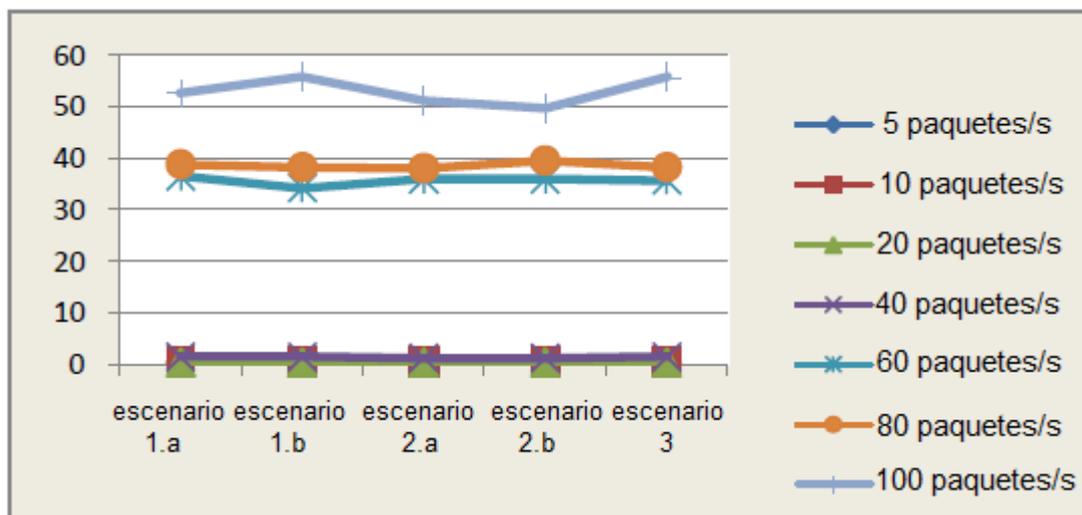


Figura 3. 8: Gráfico de la intensidad promedio de paquetes empaquetados para cada escenario

. Elaborado por: Autor

Y en este caso, los resultados obtenidos difieren de los de referencia. La diferencia en los resultados obtenidos con respecto a los resultados refinados de Testbed con el sensor 0 es de -0.42%, y con el sensor 1 esta diferencia asciende a -0.87%. La diferencia entre la simulación de referencia y los resultados de Testbed es de 3.07% para el sensor 0 y de 3.11% para el sensor 1.

Tabla 3. 10: Resumen comparativo de los resultados obtenidos de la intensidad promedio de rendimiento.

Resultado de Testbed referencial	Sensor 0	0,85%
	Sensor 1	1,25%
Resultados de la simulación referencial	Sensor 0	3,92%
	Sensor 1	4,36%
Resultados obtenidos	Sensor 0	0,43%
	Sensor 1	0,38%

Elaborado por: Autor

Conclusiones

El simulador OMNeT++ es un entorno amigable y robusto. La instalación en sí no es un problema, independientemente del sistema operativo que se utilice. La simulación, cuando un modelo está configurado correctamente, se ejecuta sin problemas y sin inconvenientes. Se recomienda utilizar procesadores de varios núcleos, lo que simplifica significativamente la simulación.

La presentación de los resultados no está completamente automatizada y se requieren cálculos adicionales o el uso de alguna otra herramienta para producir los resultados necesarios. El marco Inet utilizado contiene una gran cantidad de módulos, por lo que es posible crear una gran cantidad de modelos diferentes para la simulación. Pero, todavía está en la fase de desarrollo, y ha habido errores y situaciones en las que los módulos "no cooperan" entre sí. En este caso, un ejemplo es la modulación O-QPSK que no está completamente implementada debido a problemas, mientras que el otro es un módulo de batería que no está conectado a la tarjeta de red en la que se implementa el estándar 802.15.4.

Los resultados obtenidos en la simulación difieren de los resultados de referencia. Los resultados obtenidos por el simulador OMNeT++ son un poco mejores que los resultados obtenidos de la simulación de referencia y solo ligeramente mejores que los resultados de referencia obtenidos por el experimento Testbed (banco de pruebas). Si se compara las diferencias entre los resultados de Testbed y los resultados obtenidos por las simulaciones, se puede ver que a la intensidad del rendimiento, Castalia ha logrado mejores puntuaciones, mientras que en el caso de los paquetes rechazados, el caso se invierte.

Nuevamente, ninguno de los simuladores del modelo de simulación no repitió los resultados obtenidos por el experimento Testbed, pero se supone que el ajuste adicional de los parámetros acercaría los resultados aún más al caso real. La conclusión es que, al igual que el simulador de Castalia, el

simulador OMNeT++ es suficientemente confiable y se puede aplicar en el modelado y la validación de redes de sensores. Con el desarrollo adicional de simuladores y paquetes utilizados para la simulación, los resultados serán aún más precisos y más cercanos al caso real.

Recomendaciones

1. En el futuro de aprovechar estas tecnologías en campos críticos como la salud, la seguridad o la energía que pasará sin duda por el éxito de estas investigaciones.
2. Realizar investigaciones económicas que tengan como objetivo combinar técnicas avanzadas de transmisión y facilidad de implementación.

Bibliografia

Al-Qurabat, A. K. M. (2015). An Overview of Wireless Sensor Networks. <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.26186.67523>

Divya, R., & Chinnaiyan, R. (2017). Reliability evaluation of wireless sensor networks (REWSN — Reliability Evaluation of wireless sensor network). En *2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 847–852). Madurai: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCONS.2017.8250583>

Dos Santos Filho, T. A., da Silva, A. C. R., & da Silva, A. C. R. (2012). NCAP embedded using structured programming. En *2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings* (pp. 2594–2597). Graz, Austria: IEEE. <https://doi.org/10.1109/I2MTC.2012.6229353>

Higuera, J., & Polo, J. (2010). Understanding the IEEE 1451 standard in 6loWPAN sensor networks. En *2010 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)* (pp. 189–193). Limerick, Ireland: IEEE. <https://doi.org/10.1109/SAS.2010.5439427>

Matin, M. A., & Islam, M. M. (2012). Overview of Wireless Sensor Network. En M. Matin (Ed.), *Wireless Sensor Networks - Technology and Protocols*. InTech. Recuperado de <http://www.intechopen.com/books/wireless-sensor-networks-technology-and-protocols/overview-of-wireless-sensor-network>

- McLoughlin, D., O'Connell, E., Elgenaidi, W., Coleman, J., & Newe, T. (2016). Review and evaluation of WSN simulation tools in a cloud based environment. En *2016 10th International Conference on Sensing Technology (ICST)* (pp. 1–6). Nanjing, China: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSensT.2016.7796270>
- Rajaram, M. L., Kougianos, E., Mohanty, S. P., & Sundaravadivel, P. (2016). A wireless sensor network simulation framework for structural health monitoring in smart cities. En *2016 IEEE 6th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin)* (pp. 78–82). Berlin, Germany: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCE-Berlin.2016.7684722>
- Saponara, S., Petri, E., Fanucci, L., & Terreni, P. (2009). Smart transducer interface in embedded systems for networked sensors based on the emerging IEEE 1451 Standard: H2 Detection Case Study - IEEE Conference Publication. Recuperado de <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/5186393>
- Sharma, D. (2015). An overview of Wireless Sensor Networks. *International Journal of Enhanced Research in Management & Computer Applications*, 4(4), 47–51.
- Song, E., & Lee, K. (2008). Understanding IEEE 1451-Networked smart transducer interface standard - What is a smart transducer? *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 11(2), 11–17. <https://doi.org/10.1109/MIM.2008.4483728>

Verdone, R. (2008). *Wireless sensor and actuator networks: technologies, analysis and design*. Amsterdam: Elsevier/Academic Press.
Recuperado de <http://site.ebrary.com/id/10216686>

Xian, X., Shi, W., & Huang, H. (2008). Comparison of OMNET++ and other simulator for WSN simulation. En *2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications* (pp. 1439–1443). Singapore: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2008.4582757>

Xuezhen, C., Jiming, L., & Jianhang, L. (2017). Design of STIM by sensor network system based on TMS320F28335. En *2017 Chinese Automation Congress (CAC)* (pp. 4277–4280). Jinan: IEEE. <https://doi.org/10.1109/CAC.2017.8243531>



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, **Muñoz Choez, Víctor Hugo** con C.C: 091719990-3 autor del trabajo de titulación: Análisis del modelado de redes de sensores inalámbricos mediante la validación de la plataforma de simulación OMNeT, 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, 24 de septiembre del 2018

f. _____

Nombre: **Muñoz Choez, Víctor Hugo**

C.C: 091719990-3

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis del modelado de redes de sensores inalámbricos mediante la validación de la plataforma de simulación OMNeT.		
AUTOR(ES)	Ing. Muñoz Choez, Víctor Hugo		
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		
TITULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de Octubre del 2018	No. DE PÁGINAS:	58
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de comunicaciones, Sistemas de Transmisión Ópticos		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Redes, Estándares, Sensores, Actuadores, Smart, Modelado.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El trabajo de titulación “Análisis del modelado de redes de sensores inalámbricos mediante la validación de la plataforma de simulación OMNeT” se basó en la penetración cada vez mayor de la tecnología inalámbrica que está llegando a niveles impensables hace unas décadas, con un desarrollo que sorprende no tanto en términos de rendimiento, sino excepcional, pero debido a la gran variedad de aplicaciones que las tecnologías inalámbricas modernas pueden simplificar o incluso haciéndolo posible, probablemente teniendo solo la imaginación humana como una limitación. La parte inicial del trabajo se describió tanto los antecedentes como definición y justificación del problema a investigar. En la parte teórica se describen las redes de sensores inalámbricos y el protocolo IEEE 1451. El diseño del modelo de red de sensores inalámbricos fue implementado en el simulador OMNeT++, cuya plataforma es robusta en comparación con otros simuladores. Los resultados obtenidos fueron determinantes para lograr cumplir con los objetivos específicos.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0997878665	E-mail: victor.muñoz85@gmail.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):			