

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y

COMPUTACIÓN

**“ANÁLISIS DE DESEMPEÑO EN COMUNICACIÓN VEHÍCULO A
VEHÍCULO (V2V) EN ESCENARIOS URBANOS BASADO EN
PROTOCOLO 802.11P.”**

EXAMEN COMPLEXIVO

Previa la Obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

WASHINGTON STALIN ORTEGA PAZOS

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2025

DEDICATORIA

A mi esposa e hijos y a mis
padres por su apoyo
incondicional, por ser mi
inspiración y fuerza en cada
paso que doy en esta vida.

Declaración Expresa

Yo Washington Stalin Ortega Pazos acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 14 de Febrero de 2025.



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON
STALIN ORTEGA
PAZOS**

Ing. Stalin Ortega Pazos

Evaluadores



Firmado electrónicamente por:
**FRANCISCO
VICENTE NOVILLO
PARALES**

Francisco Novillo, PhD

Evaluador



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON ADOLFO
MEDINA MOREIRA**

Washington Medina, PhD

Evaluador

INDICE GENERAL

Evaluadores.....	4
RESUMEN.....	7
ABREVIATURAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.2 JUSTIFICACIÓN/PROPUESTA	10
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.4 MARCO TEÓRICO	12
1.4.1 COMUNICACIÓN V2V.....	12
1.4.2 PROTOCOLO 802.11p.....	13
1.4.3 OMNETPP++	14
1.4.4 ECLIPSE SUMO (Simulation of Urban Mobility)	15
1.4.5 ARTERY - V2X SIMULATION FRAMEWORK FOR ETSI ITS-G5	18
2 DISEÑO	18
2.1 METODOLOGÍA	18
2.2 Instalación SUMO:	19
2.3 Instalación OMNET++	19
2.4 Diseño del entorno vehicular.....	20
3 ANALISIS DE RESULTADOS.....	22
3.1 Paquetes recibidos.....	22
3.2 Throughput.....	23
3.4 Latencia.....	28
Como se relaciona con la latencia?	31
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
4.1 CONCLUSIONES.....	33
4.2 RECOMENDACIONES.....	34

5	BIBLIOGRAFÍA	35
	Bibliografía	35
6	APÉNDICES	36

RESUMEN

El presente proyecto del componente práctico del examen complejo presenta un análisis del comportamiento de las métricas en una comunicación V2V en escenarios urbanos basado en protocolo 802.11P, este análisis se lo realiza mediante una simulación utilizando programas como OMNET++, SUMO y el framework VEINS, El análisis de comunicación Vehículo a Vehículo (V2V) es primordial para la implementación de redes vehiculares inteligentes. El protocolo **802.11p**, diseñado específicamente para la comunicación vehicular, permite la comunicación directa entre vehículos en entornos variables como son los escenarios urbanos, en el cual que se caracterizan por alta densidad de vehículos, interferencias, y condiciones de señal. En una comunicación V2V al tratarse de una transmisión en la que los datos serán primordiales en la toma de decisión para los vehículos autónomos, se considera de suma importancia el análisis del comportamiento de la latencia, la pérdida, colisión de paquetes, y el tamaño del canal de que necesitaría según el protocolo 802.11p. En particular se ha asignado el espectro de 5.9Ghz para comunicaciones de corto alcance con licencia (DSRC, Dedicated Short Range Communication) [1], en este espectro está definido el protocolo 802.11p [1].

Se estudiará el funcionamiento de OMNET++ un sistema extendible que nos permitirá hacer la simulación de la red vehicular, así también de SUMO un paquete que permite la simulación de tráfico vehicular, conjuntamente con el

framework VEINS, al final de simulación se obtendrá gráficas y los datos necesarios para analizar el protocolo 802.11p y comportamiento de las métricas.

ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
V2V	Vehículo a Vehículo
DSRC	Dedicated Short Range Communication
SUMO	Simulation of Urban Mobility
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
OFDM	Multiplexación por división de frecuencias ortogonales
SINR	Relación señal a interferencia y ruido
EDCA,	Enhanced Distributed Channel Access
BTP	Basic Transport Protocol

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1 Información características del canal inalámbrico V2X, IEEE 802.11p [5]</i>	13
<i>Ilustración 2 Ejemplo diseño en SUMO</i>	17
<i>Ilustración 3 Diseño de simulación vehicular</i>	20
<i>Ilustración 4 Prueba de Simulación en SUMO</i>	21
<i>Ilustración 5 Configuración parámetros del protocolo 802.11p</i>	21
<i>Ilustración 6 Ejecución de la simulación en OMNET++</i>	22
<i>Ilustración 7 Cantidad de paquetes recibidos por cada nodo, en 200s de simulación, Ptx=200mW.</i>	23
<i>Ilustración 8 Cantidad de paquetes recibidos por cada nodo, en 200s de simulación, Ptx=100mW.</i>	23
<i>Ilustración 9 Throughput(bps) de 74 nodos en 200s, con Ptx=200mW</i>	24
<i>Ilustración 10 Throughput(bps) de 74 nodos en 200s, con Ptx=100mW</i>	24
<i>Ilustración 11 Paquetes enviados en 200s de simulación, potencia de 200mW</i>	26
<i>Ilustración 12 Paquetes recibidos en 200s de simulación, potencia de 200mW</i>	26
<i>Ilustración 13 Tasa de paquetes perdidos, potencia de 200mW</i>	27
<i>Ilustración 14 Paquetes enviados en 200s de simulación, potencia de 100mW</i>	27
<i>Ilustración 15 Paquetes recibidos en 200s de simulación, potencia de 100mW</i>	28
<i>Ilustración 16 Tasa de paquetes perdidos, potencia de 100mW</i>	28
<i>Ilustración 17 interacción de transferencia source Nodo[8], latencia 208us</i>	29
<i>Ilustración 18 Interacción de transferencia source Nodo[3], latencia 208us</i>	29
<i>Ilustración 19 Visualización de transmisión con una potencia de 100mW</i>	30
<i>Ilustración 20 Transmisión a los 35s de simulación, latencia promedio de 480us</i>	31
<i>Ilustración 21 Carga del Canal</i>	32

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Comparación throughput con potencia a 100mW y 200mW</i>	25
--	----

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La comunicación vehículo a vehículo (V2V), se ha diseñado para la automatización del tráfico vehicular y también orientado a la mejora de la seguridad vial y. Por lo cual para su implementación se va a requerir una comunicación rápida y fiable.

En la seguridad vial se puedan dar escenarios como la velocidad de circulación de los vehículos, congestión vehicular para lo que la latencia en la transmisión de los datos entre vehículos debería ser la adecuada para la toma de decisiones en la administración de automóviles autónomos.

Debido a la alta disponibilidad de dispositivos inalámbricos es posible una alta interferencia electromagnética, así como también los diferentes obstáculos que se tengan en las vías se presentarían pérdida de paquetes lo que ocasionaría una deficiente comunicación en tiempo real en (V2V).

En un escenario muy congestionado la cantidad de información (throughout), podría saturar el canal por lo que es relevante conocer la performance del protocolo de comunicación (V2V) y así no llegar a la caída del canal.

1.2 JUSTIFICACIÓN/PROPUESTA

Para evitar estos inconvenientes es necesario estudiar el comportamiento de la comunicación (V2V) requiere de un intercambio de información y esta

información va a ser transmitida inalámbricamente es necesario analizar el comportamiento y evidenciar el impacto que tendría la interferencia de los datos, que cantidad de tasa de transferencia se va a necesitar para esta comunicación, como afectaría la latencia para en la toma de decisiones, por tanto se en este trabajo se propone realizar un análisis de las métricas para lo cual se realizará una simulación de comunicación vehículo a vehículo (V2V) en escenarios urbanos basado en protocolo 802.11p, utilizando herramientas como OMNET++ y SUMO para simular el tráfico denso y la movilidad realista.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar el desempeño en comunicación vehículo a vehículo (V2V) en escenarios urbanos basado en protocolo 802.11p.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar y conocer el funcionamiento de OMNET++, como programa para la simulación para redes vehiculares del simulador de movilidad vehicular SUMO.
- Implementar la simulación para vehículos, canales de comunicación y el entorno, utilizando herramientas como OMNET++ y SUMO en el que se tenga tráfico denso y la movilidad realista, para modelar el comportamiento de la red de comunicación entre vehículos utilizando el protocolo 802.11p.
- Analizar los datos que se obtengan en la transmisión y recepción de paquetes, SINR(relación señal a interferencia y ruido), tasa de error de paquetes, latencia y el throughput.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 COMUNICACIÓN V2V

El V2V es un estándar que lleva sus inicios desde finales de los años 90 [2]. La comunicación V2V permite la interacción directa de vehículo a vehículo mediante redes de comunicaciones en las que se podrá compartir información de forma inalámbrica en tiempo real de datos muy relevantes como la localización, su dirección, la velocidad del vehículo o si ha empezado a frenar para una toma de decisiones así mejorar la eficiencia y seguridad vial [3].

La idea de una comunicación V2V no es necesario de instalar en los vehículos una tecnología, más bien que esta se sirva de sus propios recursos y así aumentar y mejorar la seguridad de los ocupantes que se encuentran dentro del coche. La comunicación V2V tiene como premisa es que los vehículos colaboren entre sí, y compartan información entre los cercanos mediante una comunicación descentralizada (AD-HOC). Su posición, su velocidad y otros detalles se procesan y se analizan en una plataforma, de esta forma todos tienen información que puede servir para lanzar una alerta en caso de riesgo de accidente o recomendar otra ruta si la inicial se encuentra saturada de tráfico [2].

1.4.2 PROTOCOLO 802.11p

Para redes vehiculares el estándar IEEE 802.11p trabaja en la capa física y en la sub-capa MAC. Este estándar define multiplexación OFDM, además establece las velocidades de transmisión 3,4,5,6,9,12,18, 27 Mbps para canales de 10Mhz [4]. La comisión Federal de comunicaciones de los Estados Unidos (FCC, Federal Communications Commission) asignó 75Mhz de ancho de banda en la frecuencia 5,9 Ghz con 7 canales de 10Mhz cada uno [1].

Para una comunicación V2V las capas esenciales según el estándar 802.11p son las capas Física y MAC [5].

La ilustración 1 muestra las características asociadas al canal físico de IEEE 802.11p [5].

Indicative wireless data link characteristic	802.11p WAVE
Bit rate	3 – 27 Mb/s
Communication range	< 1000 m
Transmission power for mobile (maximum)	760 mW (US) 2 W (EU)
Channel bandwidth	10 MHz
Allocated spectrum	75 MHz (US) 30 MHz (EU)
Frequency bands	5,86 – 5,92 GHz

Ilustración 1 Información características del canal inalámbrico V2X, IEEE 802.11p [5]

La capa de control de acceso MAC tiene como objetivo establecer los mecanismos que permiten a múltiples estaciones en nuestro caso de múltiples vehículos compartir eficientemente el medio inalámbrico. En el

estándar IEEE 802.11p, se emplea el protocolo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) para las transmisiones V2X. Además, la capa MAC gestiona aspectos como la probabilidad de recepción de paquetes, el tiempo de acceso al canal, el control de congestión y la priorización de mensajes [5].

Operación multicanal: La operación multicanal es una de las características clave de la capa MAC, la cual permite priorizar los mensajes generados por aplicaciones de seguridad, que son sensibles a los retardos elevados. Para coordinar los distintos tipos de mensajes, el estándar IEEE 802.11p implementa un esquema mejorado de acceso al canal conocido como EDCA (Enhanced Distributed Channel Access). Este esquema define cuatro categorías de acceso, cada una asignada a un canal independiente y con una prioridad específica. En la arquitectura de comunicación V2X se establecen dos tipos de canal: canal de control y el canal de servicio [5].

1.4.3 OMNET++

OMNeT++ procesa varios tipos de simulaciones en redes como pueden ser, redes de colas, redes con medios guiados y no guiados, redes en chip. OMNET++ está basado en eventos modulares mediante programación orientada a objetos usando el lenguaje C++.

OMNeT++ se distribuye bajo la Licencia Pública Académica y dispone de un entorno de desarrollo integrado (IDE) basado en Eclipse, incluido

con un entorno gráfico para la ejecución de la simulación y diversas herramientas adicionales. La funcionalidad específica para dominios como modelado de rendimiento, redes ad-hoc inalámbricas, redes de sensores, protocolos de Internet, y redes fotónicas se proporciona a través de marcos de modelos desarrollados como proyectos independientes. Además, existen extensiones que permiten la simulación en tiempo real, la emulación de redes, la integración con bases de datos, la integración con SystemC y otras funcionalidades. [7].

OMNeT++ en la comunidad científica, estudiantil y científica ha ganado popularidad como una plataforma de simulación de red, aún sin ser en si un simulador de red [7].

La arquitectura de OMNeT++ se presenta de una manera modular, estos módulos programados en C++, estos se ensamblan en estructuras más complejas utilizando (NED) un lenguaje de programación de alto nivel. Esta arquitectura modular facilita la integración del núcleo de simulación y los modelos en otras aplicaciones [7].

1.4.4 ECLIPSE SUMO (Simulation of Urban Mobility)

Eclipse SUMO es un paquete de uso libre que permite la simulación de tráfico, iniciada en 2001 por empleados del Instituto de Sistemas de Transporte del Centro Aeroespacial Alemán (DLR). Mediante SUMO se

puede modelar sistemas de tráfico intermodales, en el que se introducen peatones, vehículos de carretera, transporte público, semaforización, carriles exclusivos para bicicletas (ilustración 2), también ofrece numerosas herramientas que permite automatizar tareas esenciales como son la importación de redes, el diseño, ejecución, evaluación de los datos del tráfico dentro de la simulación, el cálculo de rutas, la visualización. SUMO se puede mejorar con modelos personalizados y proporciona varias API para controlar la simulación de forma remota [8].

Características de SUMO

- Dispone de varias aplicaciones necesarias para el diseño de una simulación de tráfico (importación de redes y rutas, DUA, simulación).
- Simulación de movimiento de vehículos continuo en el espacio y discreto en el tiempo.
- Diferentes tipos de vehículos
- Avenidas de varios carriles permitiendo cambio de carril
- Semáforos para reglas de derecho de paso,
- Dispone GUI openGL rápida
- Permite administrar redes hasta con 10.000 bordes (calles)
- Velocidad de ejecución rápida (hasta 100.000 actualizaciones de vehículos/s en una máquina de 1 GHz)

- Interoperabilidad con otras aplicaciones en tiempo de ejecución
- Salidas basadas en toda la red, en el borde, en el vehículo y en el detector
- Apoya los viajes intermodales basados en personas
- Importa RoboCup, OpenDRIVE, VISUM, Vissim, Shapefiles, OSM, MATsim, y descripciones XML
- Al existir valores faltantes se determinan mediante heurística.
- Realiza enrutamiento
- Dispone de rutas microscópicas: cada vehículo logra tener ruta propia
- Para la asignación dinámica de usuarios se utiliza varios algoritmos.
- Se utilizan solo bibliotecas estándar de C++ y portables
- Existen paquetes para las principales distribuciones de Linux y Windows
- Alta interoperabilidad mediante el uso exclusivo de datos XML
- Código abierto (EPL 2.0)

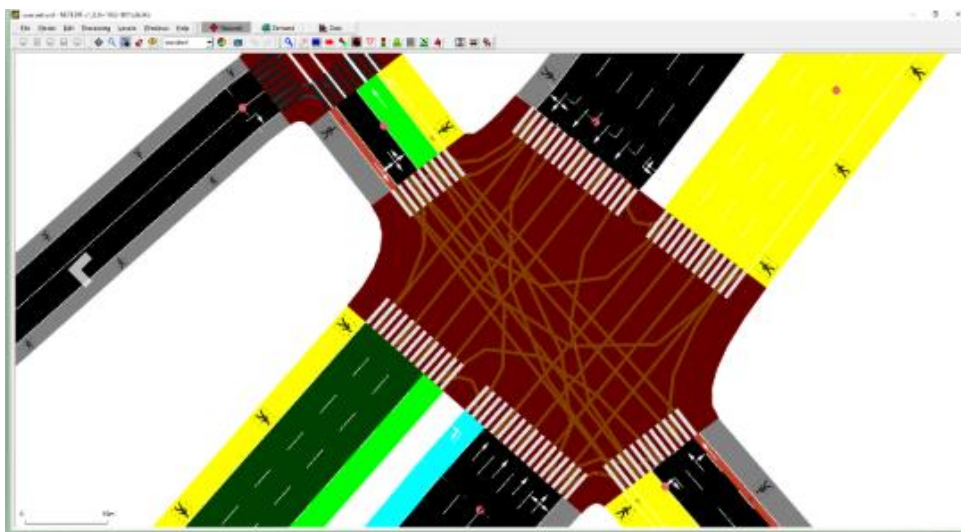


Ilustración 2 Ejemplo diseño en SUMO

1.4.5 ARTERY - V2X SIMULATION FRAMEWORK FOR ETSI ITS-G5

Artery permite realizar simulaciones V2X basadas en protocolos ETSI ITS-G5 como GeoNetworking y BTP(Basic Transport Protocol). A travez del middleware de Artery los vehículos individuales pueden equiparse con múltiples servicios ITS-G5.

Actualmente en Artery en las versiones actuales, ya no es necesario iniciar el script *sumo-launchd* de Veins. Artery iniciará una instancia SUMO por sí sola con los parámetros adecuados. Puede iniciar el escenario de ejemplo de Artery (ubicado en *scenarios/artery*) simplemente invocando el objetivo **run_example** desde el directorio raíz de Artery:

```
cmake --build build --target run_junction
```

2 DISEÑO

2.1 METODOLOGÍA

Con respecto al análisis de desempeño en comunicación vehículo a vehículo (v2v) en escenarios urbanos basado en protocolo 802.11p, se utilizaran conocimientos de la materia registrada de Redes de Datos y Accesos Inalámbricos.

El proyecto propuesto se lo realizó en una máquina virtual con el SO Ubuntu versión 22.04, dentro de este SO se procedió a la instalación de SUMO y

OMNET++ versión 5.6.2, se detalla los procesos de instalación de estos componentes.

2.2 Instalación SUMO:

Para la instalación en sistema operativo UBUNTU en el que se trabajó la simulación se utilizaron los siguientes comandos.

```
sudo add-apt-repository ppa:sumo/stable

sudo apt-get update

sudo apt-get install sumo sumo-tools sumo-doc
```

2.3 Instalación OMNET++

Antes de la instalación se necesita actualizar la base de datos de paquetes existentes, con el siguiente comando.

```
$ sudo apt-get update
```

Actualizar librerías python necesarias

```
$ sudo apt-get install build-essential clang lld gdb bison flex perl \
python3 python3-pip libpython3-dev qtbase5-dev qtchooser qt5-qmake \
qtbase5-dev-tools \
libqt5opengl5-dev libxml2-dev zlib1g-dev doxygen graphviz \
libwebkit2gtk-4.1-0 xdg-utils libdw-dev
$ python3 -m venv .venv && source .venv/bin/activate
$ python3 -m pip install -r python/requirements.txt
```

Descargar OMNET++ y proceder a descomprimir con el siguiente comando.

```
$ tar xvfz omnetpp-6.0.1-linux-x86_64.tgz
```

Omnet++ requiere que se establezcan ciertas variables de entorno y se lo realiza con los siguientes comandos

```
$ cd omnetpp-6.1
$ source setenv
```

2.4 Diseño del entorno vehicular

En nuestro caso se realizará el diseño con una carga vehicular de 75 unidades, todas las vías de doble sentido, un tiempo de simulación de 200s, una potencia de transmisión de 200mW y para el análisis se realizó una comparación mediante la reducción del 50% de la potencia antes descrita.

Mediante SUMO, se procede a abrir vía consola con el comando netedit para el diseño del entorno en que se simulará las vías y sentidos, cantidad de vehículos y su recorrido.

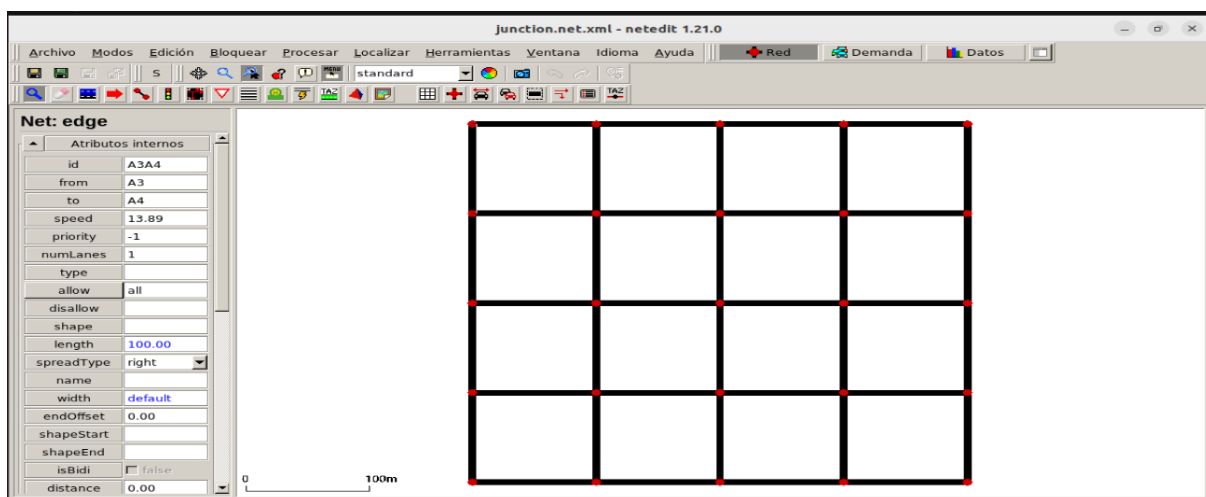


Ilustración 3 Diseño de simulación vehicular

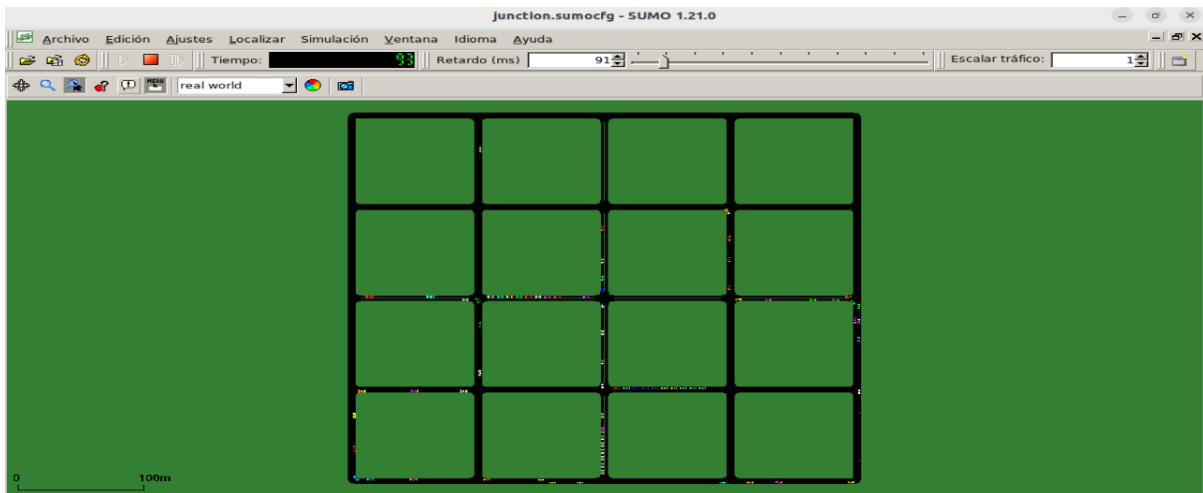


Ilustración 4 Prueba de Simulación en SUMO

Para la configuración de los parámetros de la red en OMNET++, se procede a configurar el archivo .INI en la carpeta que se creó para la simulación, es este archivo se va configurando lo correspondiente al protocolo a utilizar 802.11p como son: la frecuencia, potencia, número de canales.

```
### PARAMETROS 802.11P

*.node[*].wlan[*].typename = "VanetNic"
*.node[*].wlan[*].radio.channelNumber = 180
*.node[*].wlan[*].radio.carrierFrequency = 5.9 Ghz
*.node[*].wlan[*].transmitter.power = 200 mW
*.node[*].middleware.updateInterval = 0.1s
*.node[*].middleware.datetime = "2013-06-01 12:35:00"
*.node[*].middleware.services = xmldoc("services.xml")
```

Ilustración 5 Configuración parámetros del protocolo 802.11p

Adicional en el mismo archivo se va a activar el salvado de datos en variables tipo escalar y vector, estos datos nos permitirá visualizar de una manera gráfica las incidencias en la red.

Y al ejecutar la simulación completa nos muestra las interacciones que tiene cada uno de los vehículos con los vecinos.

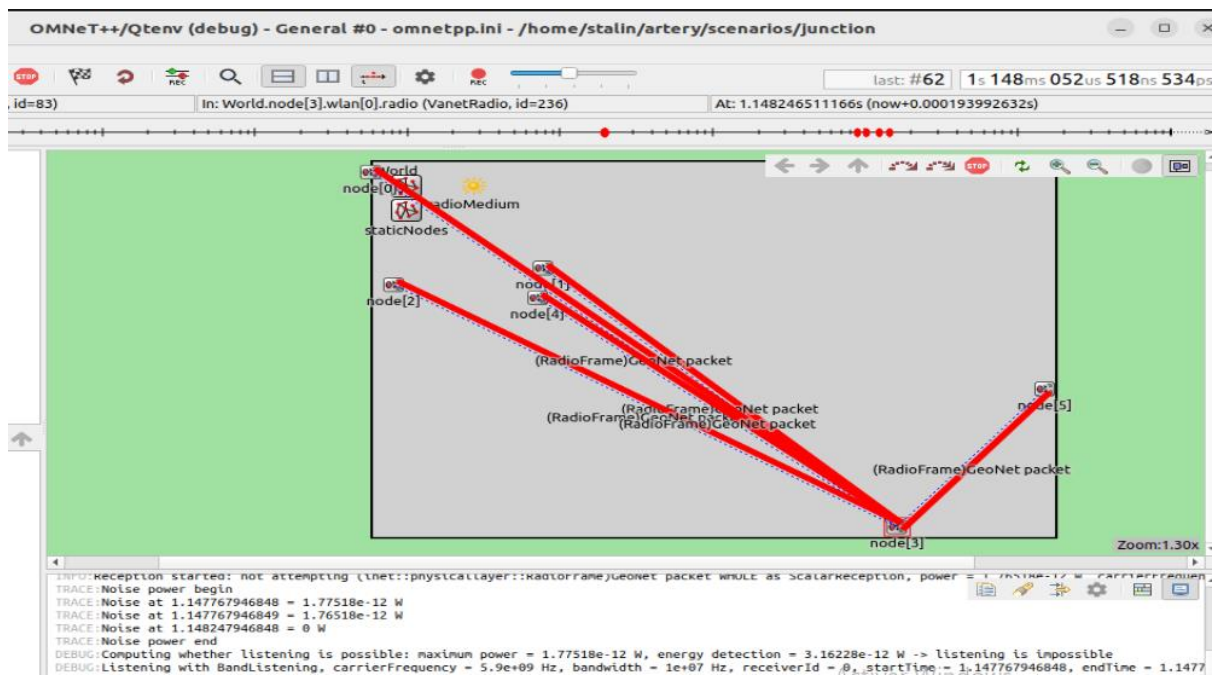


Ilustración 6 Ejecución de la simulación en OMNET++

3 ANALISIS DE RESULTADOS

Como se había comentado, en el archivo .INI se activa el salvado de las estadísticas que se producen en la simulación y mediante OMNET++ se puede ir observando gráficamente los datos obtenidos y realizar el análisis propuesto en este para esta simulación, se revisa los resultados obtenidos y de estos se calculó el throughput, paquetes perdidos y la latencia.

3.1 Paquetes recibidos

Los datos obtenidos en la simulación nos servirán para calcular el throughput.

La primera interacción se la realizó con una potencia de 200mW, de las cuales se presentan en la ilustración 6.

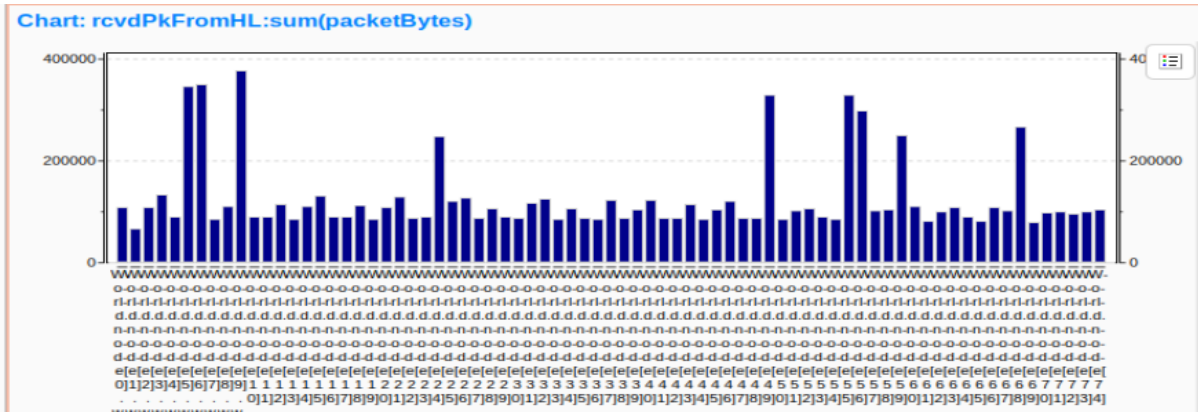


Ilustración 7 Cantidad de paquetes recibidos por cada nodo, en 200s de simulación, Ptx=200mW.

La segunda interacción se modifica la potencia al 50% a 100 mW ilustración 7, con eso hacer una comparativa de la métrica del throughput.

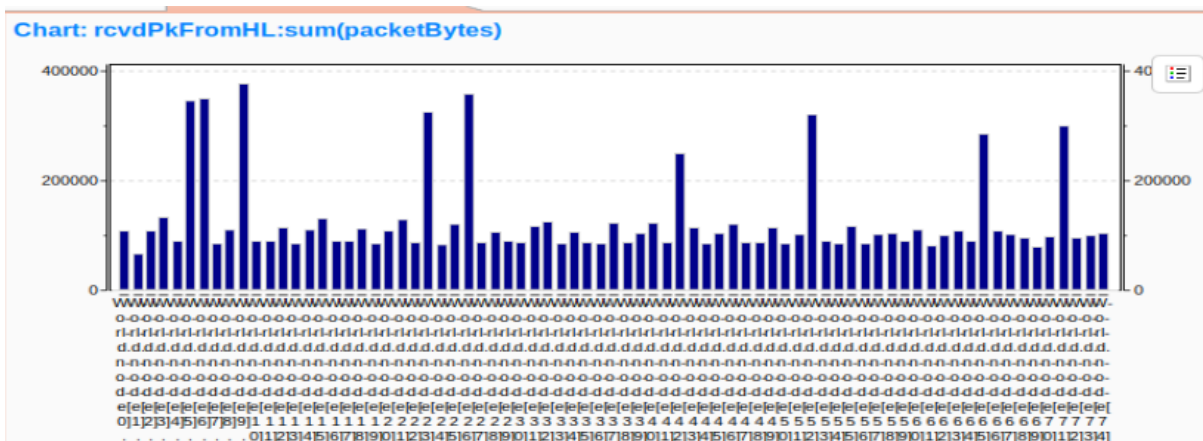


Ilustración 8 Cantidad de paquetes recibidos por cada nodo, en 200s de simulación, Ptx=100mW.

3.2 Throughput

Para representar este valor se procedió a calcular a partir de los datos obtenidos de las métricas en rcvdPkFromHL:sum(PacketBytes), mediante la siguiente formula.

$$\text{Throughput} = \frac{\sum \text{bytes recibidos} \times 8}{\text{intervalo de tiempo}}$$

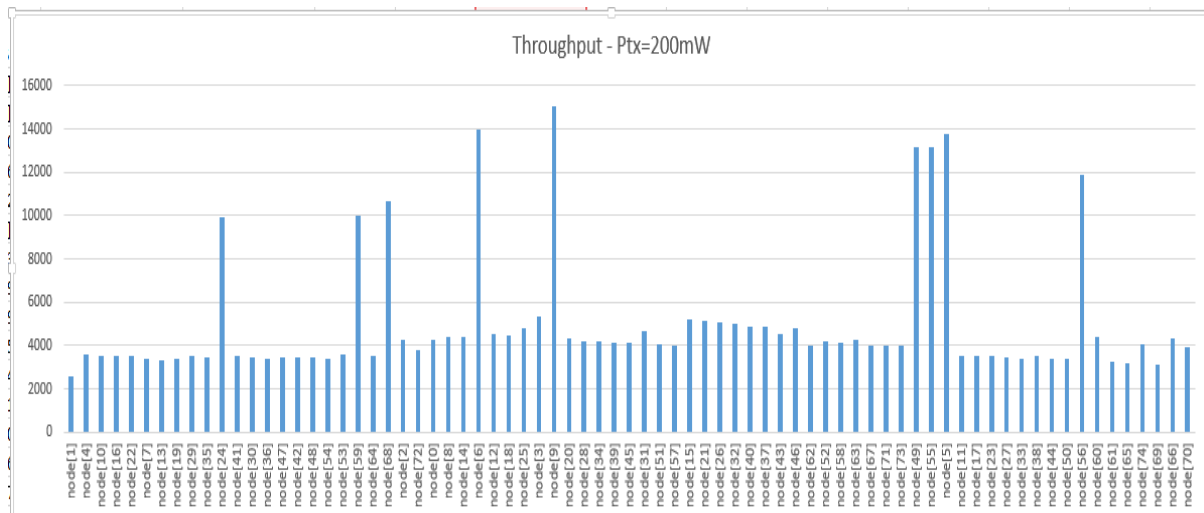


Ilustración 9 Throughput(bps) de 74 nodos en 200s, con Ptx=200mW

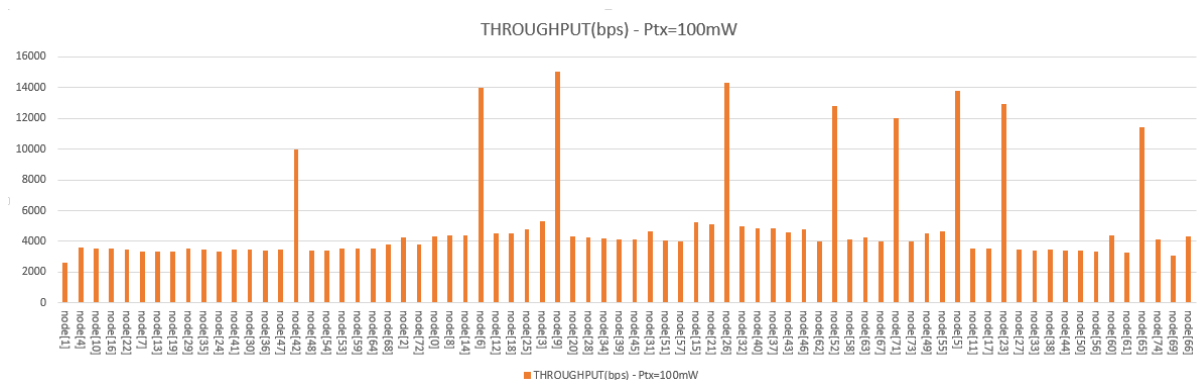


Ilustración 10 Throughput(bps) de 74 nodos en 200s, con Ptx=100mW

Se puede observar que no existe mucha diferencia en el cálculo del throughput al disminuir el 50% de la potencia de transmisión de 200mW a 100mW, para una mejor análisis se adjunta una porción de la tabla que se usó para cálculo de está métrica.

NODOS	PkRcvd Ptx=100mW	THROUGHPUT(bps) - Ptx=100mW	NODOS	PkRcvd Ptx=200mW	Througput - Ptx=200mW
node[1]	65206	2608	node[1]	65206	2608
node[4]	89566	3583	node[4]	89566	3583
node[10]	88182	3527	node[10]	88182	3527
node[16]	88182	3527	node[16]	88182	3527
node[22]	87536	3501	node[22]	87536	3501
node[7]	84246	3370	node[7]	84246	3370
node[13]	83677	3347	node[13]	83677	3347
node[19]	84169	3367	node[19]	84169	3367
node[29]	88182	3527	node[29]	88182	3527
node[35]	87044	3482	node[35]	87044	3482
node[24]	83277	3331	node[24]	248073	9923
node[41]	87536	3501	node[41]	87536	3501
node[30]	86122	3445	node[30]	86122	3445
node[36]	84584	3383	node[36]	84584	3383
node[47]	87044	3482	node[47]	87044	3482
node[42]	250232	10009	node[42]	86676	3467
node[48]	85661	3426	node[48]	85661	3426
node[54]	85215	3409	node[54]	85215	3409
node[53]	89074	3563	node[53]	89074	3563
node[59]	88182	3527	node[59]	249258	9970
node[64]	88182	3527	node[64]	88182	3527

Tabla 1 Comparación throughput con potencia a 100mW y 200mW

En vista que el protocolo 802.11p utilizará canales de 10 MHz, en lugar de los de 20 MHz utilizados en 802.11a, por tanto son posibles tasas de transmisión de 3, 4.5, 6, 8, 12, 18, 24 y 27 Mbps, podemos validar que en la simulación realizada el throughput no presenta inconvenientes ya que está por debajo de lo permitido en el protocolo.

3.3 Paquetes Perdidos

Este parámetro es de suma importancia en este tipo de comunicación V2V, ya que se comparte información vital como la ubicación, incidencias como aceleración o frenado del vehículo, la pérdida de estos paquetes en gran cantidad puede conllevar a accidentes.

De igual manera se realizó dos simulaciones con las potencias de transmisión ya antes mencionadas de 200mW y 100mW.

Para representar la tasa de paquetes perdidos se usó la siguiente formula.

$$\text{Packet Loss Rate} = 1 - \frac{\text{paquetes recibidos}}{\text{paquetes enviados}}$$

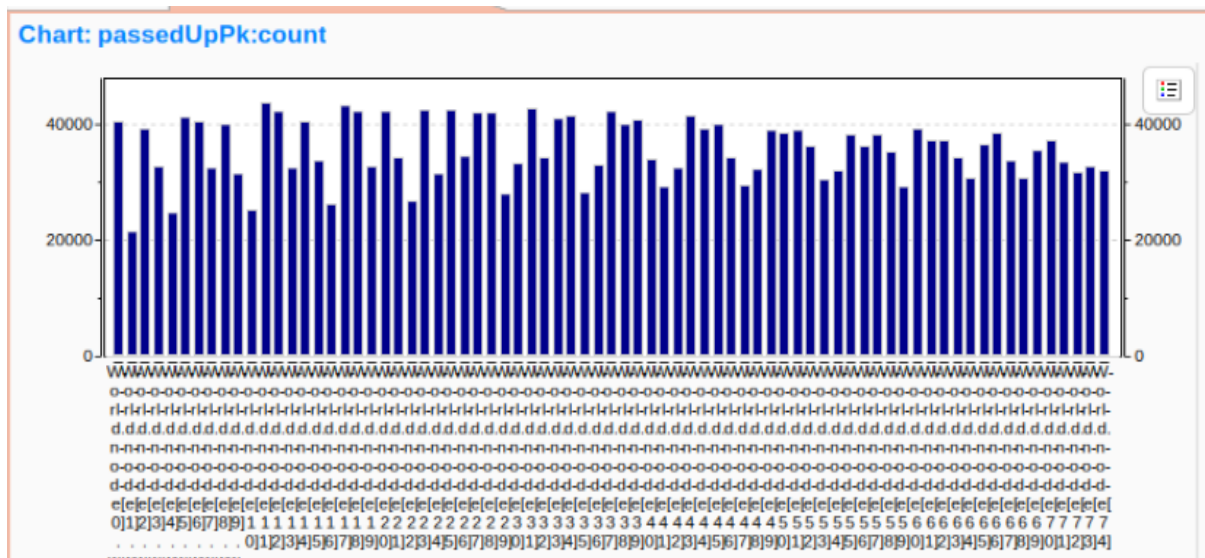


Ilustración 11 Paquetes enviados en 200s de simulación, potencia de 200mW

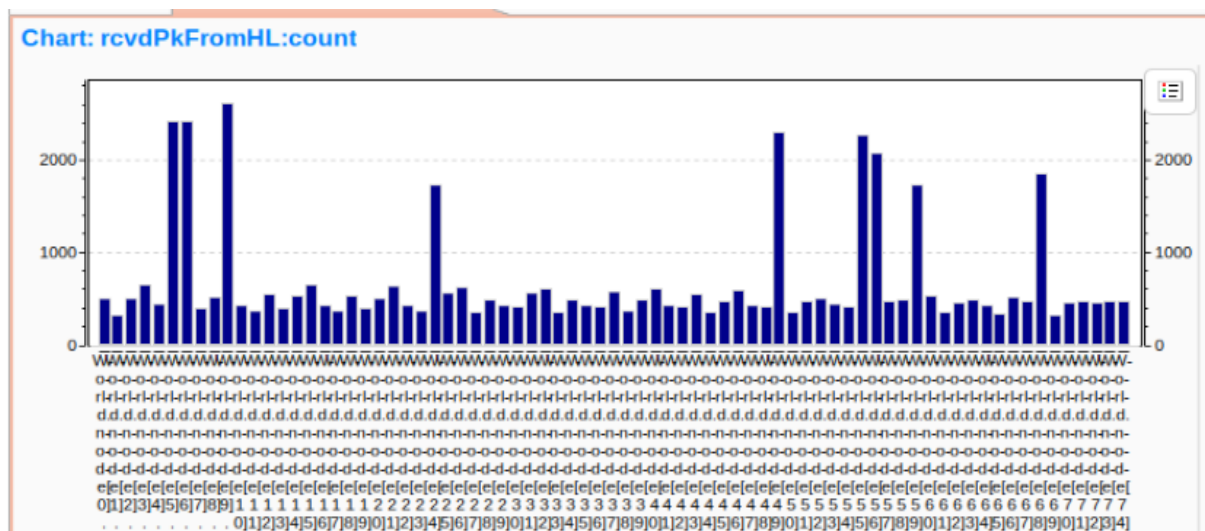


Ilustración 12 Paquetes recibidos en 200s de simulación, potencia de 200mW

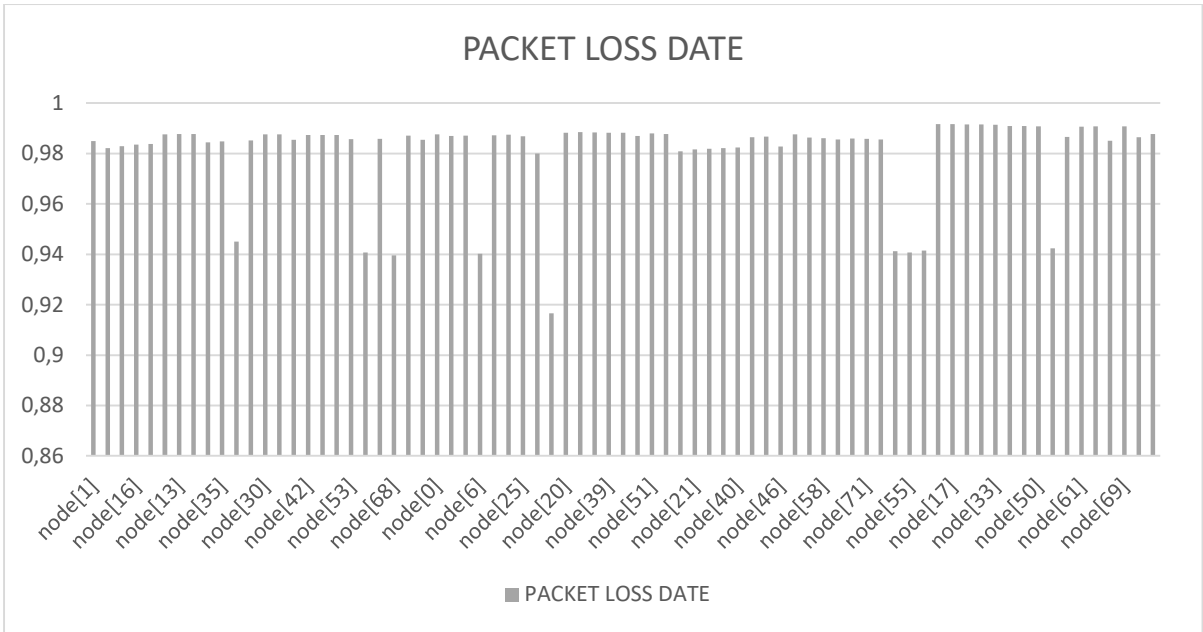


Ilustración 13 Tasa de paquetes perdidos, potencia de 200mW

Se puede interpretar que el promedio del porcentaje es del 9.9% de pérdida de paquetes, aunque hay que tomar en cuenta que como la comunicación es broadcast, posiblemente todos los paquetes que envía un vehículo no llega a los demás, ya sea porque están fuera de rango de cobertura o no han iniciado su interacción en la simulación.

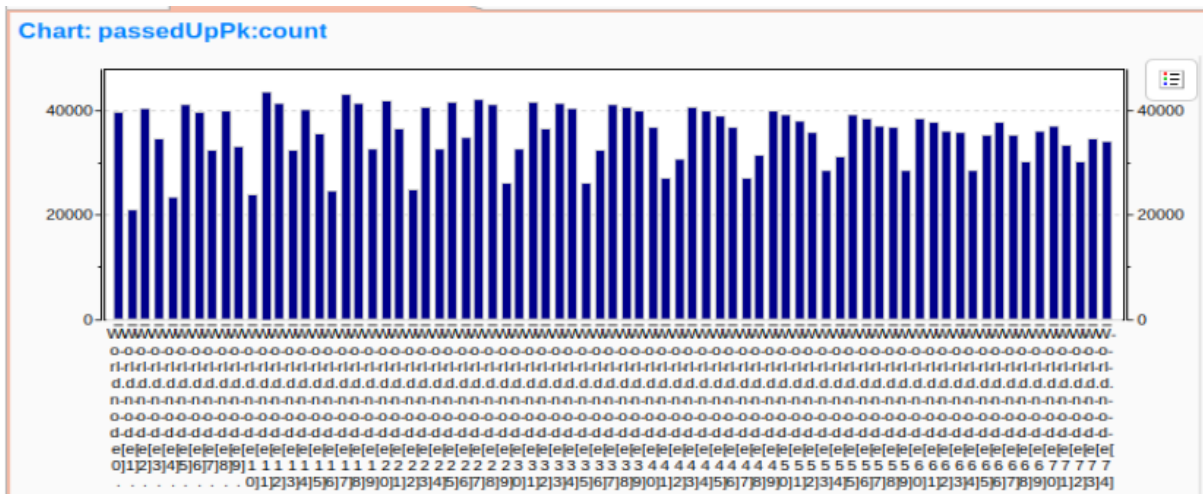


Ilustración 14 Paquetes enviados en 200s de simulación, potencia de 100mW

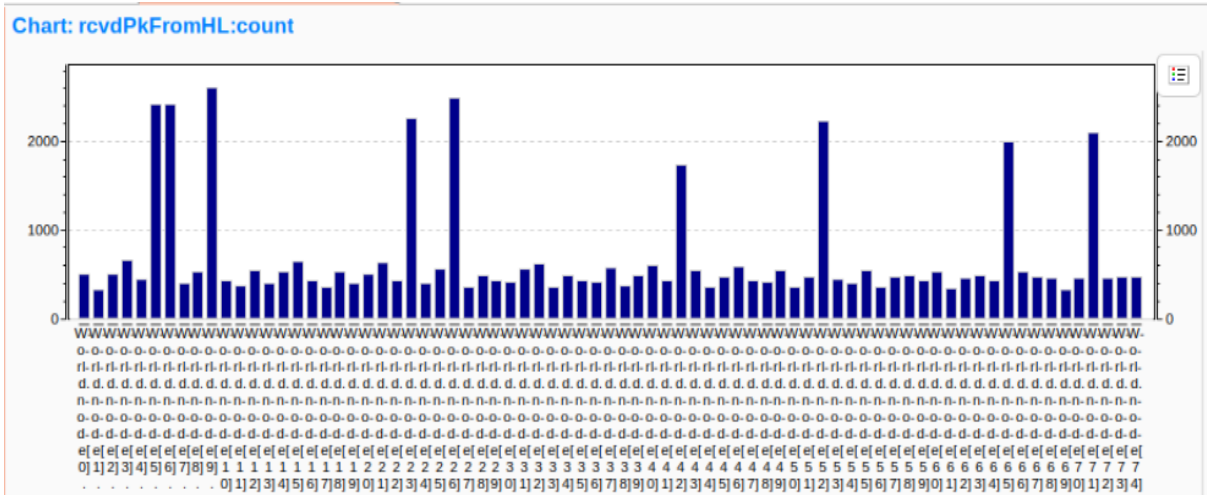


Ilustración 15 Paquetes recibidos en 200s de simulación, potencia de 100mW

Calculo de paquetes perdidos con la potencia de 100mW, en la que puede evidenciar el porcentaje de la tasa de paquetes perdidos es de aproximadamente 9.99% en la mayoría de los nodos, lo que la disminución de la potencia no refleja una disminución en la tasa que se midió.

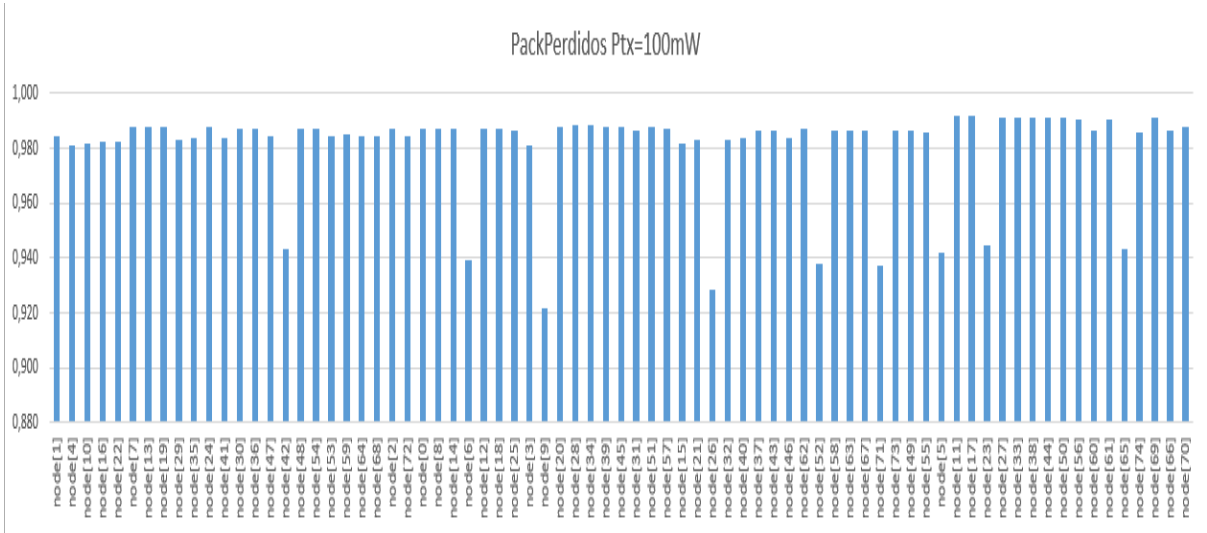


Ilustración 16 Tasa de paquetes perdidos, potencia de 100mW

3.4 Latencia

La latencia también es un valor de suma importancia en el correcto funcionamiento de la comunicación V2V, porque al existir un retardo demasiado alto incurría en la demora de toma de decisiones de los vehículos autónomos.

Este valor no se logró obtener directamente de los resultados que se guardan en la simulación por lo que se presenta gráficamente como se iban dando las interacciones en OMNET++. En la ejecución de la simulación se pudo observar que el tiempo promedio que se toma de ir de source a destination es de 208us, esto con la potencia de transmisión de 200mW.

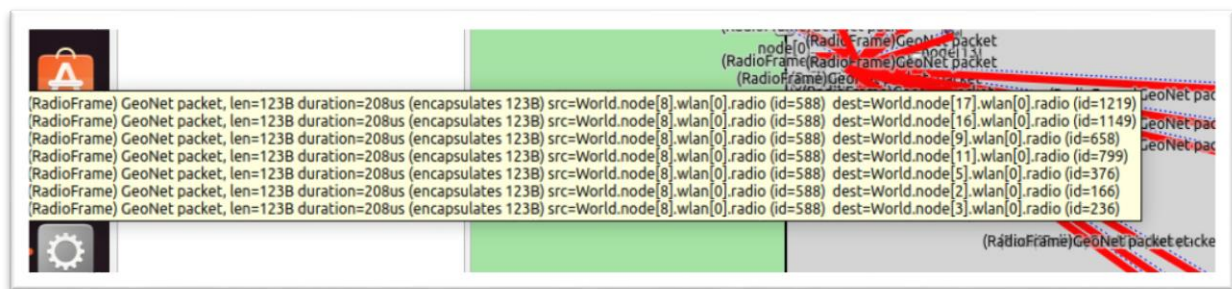


Ilustración 17 interacción de transferencia source Nodo[8], latencia 208us

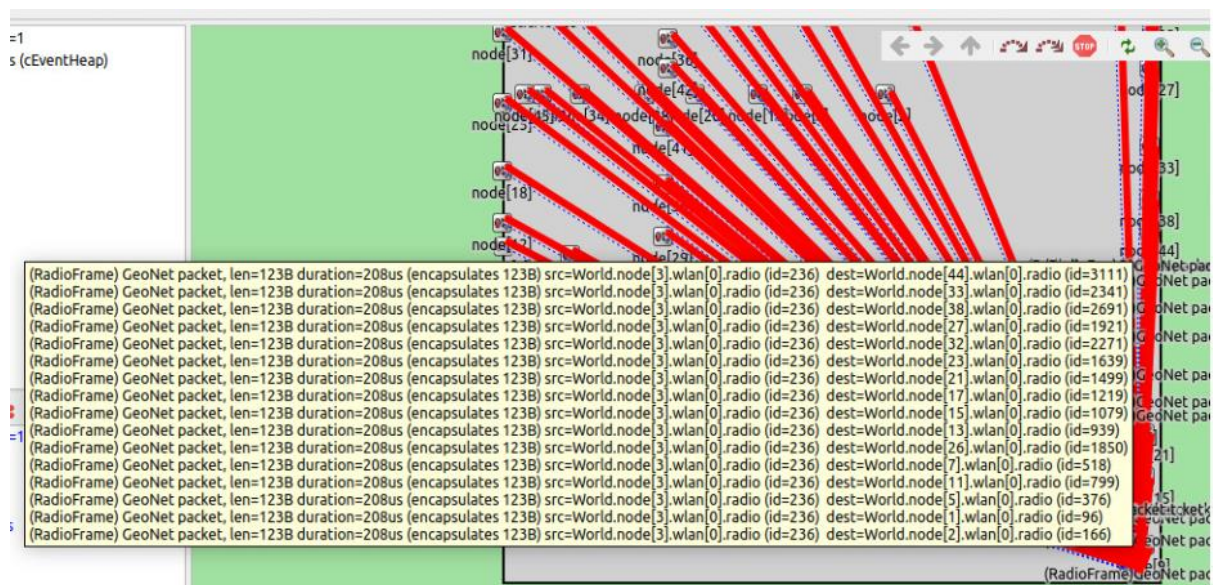


Ilustración 18 Interacción de transferencia source Nodo[3], latencia 208us

Se realiza la misma visualización de la latencia con la disminución de la potencia a 100mW, en la que se observa que si hay un incremento en el tiempo transferencia de la información.

Se nota que en las primeras interacciones el tiempo promedio de la latencia es de 480us.

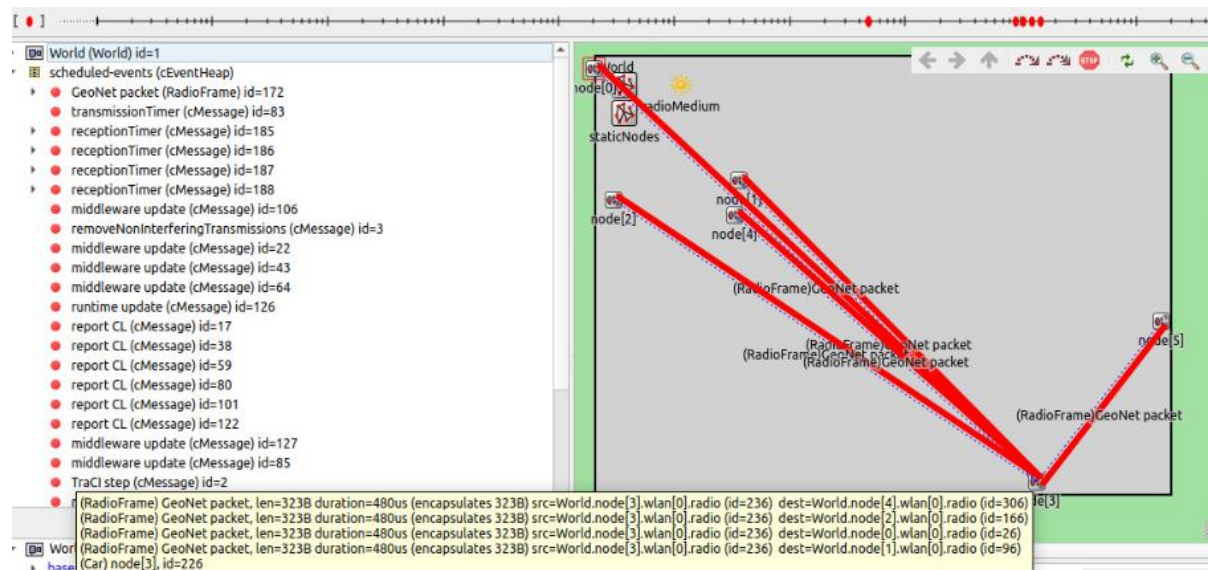


Ilustración 19 Visualización de transmisión con una potencia de 100mW

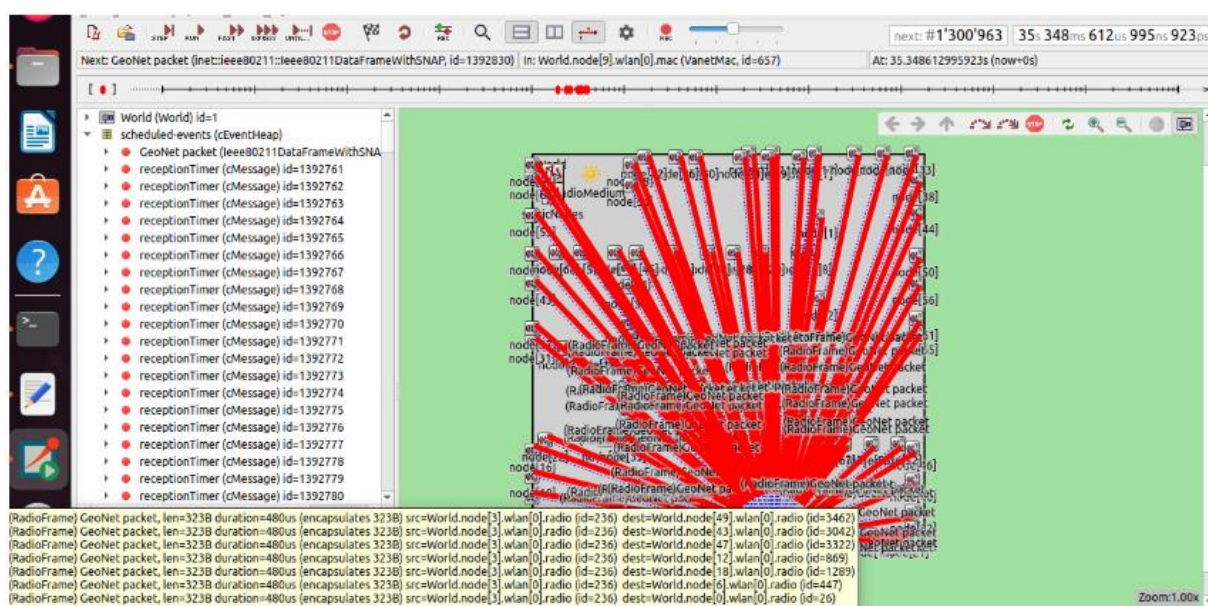


Ilustración 20 Transmisión a los 35s de simulación, latencia promedio de 480us

Con los resultados observados se puede estimar que a menor potencia el tiempo que toma en llegar el paquete del origen a sus destinos es mayor, por lo que podría concluir que lo ideal es tener la potencia más alta para evitar tiempos muy altos al transmitir los datos necesarios.

Channel Load – Carga del Canal

La ilustración 21, representa la carga del canal (Channel Load) promediada en el tiempo, mide cuánto tráfico se está manejando en el medio compartido de comunicación.

En el eje Y los valores que van desde 0.00 hasta aproximadamente 0.045, los diferentes nodos tienen distintos valores de carga de canal, con algunos alcanzando valores cercanos a 0.075, lo que sugiere una alta ocupación del canal en esos casos.

Como se relaciona con la latencia?

Aunque esta gráfica no muestra la latencia directamente, la carga del canal sí puede influir en la latencia. Si un canal está muy cargado, las transmisiones pueden experimentar retrasos debido a colisiones y tiempos de espera antes de poder enviar paquetes.

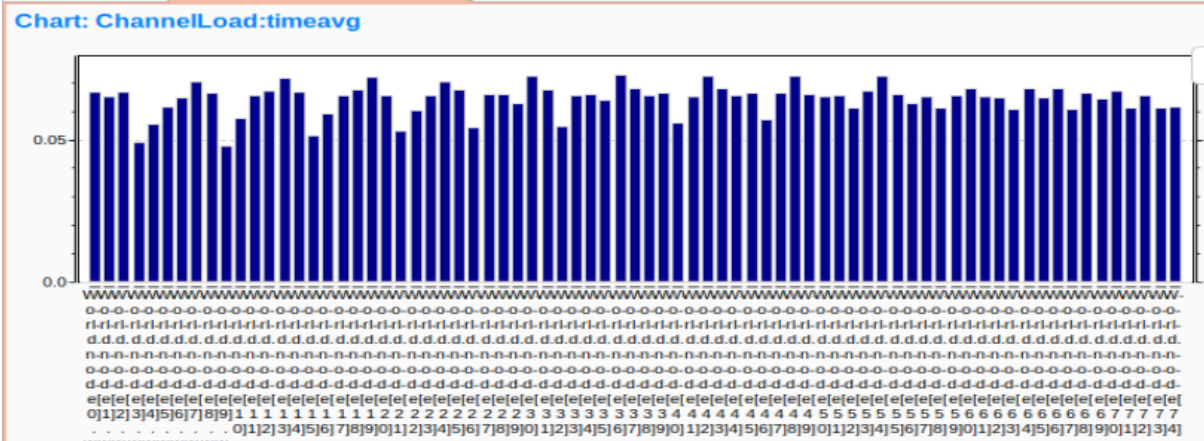


Ilustración 21 Carga del Canal

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El hacer uso de las plataformas y programas que se necesitaron para el análisis de las métricas en una comunicación V2V, ha sido un gran reto ya que nos ha permitido inmiscuirnos en tecnologías que están más en auge como es la comunicación de los vehículos autónomos.
- Al hacer uso de la plataforma SUMO, se evidenció las diferentes ventajas que se tiene al momento del diseño de la red vehicular, ya que nos permite diseñar vías con varios carriles y sentidos contrarios, diseñar las rutas por la que los vehículos circularan, simular el uso de semáforos lo que se refleja la autonomía que tiene este sistema para que los vehículos aparenten una red vehicular real. Y muchas otras opciones que no se tomaron en cuenta en este trabajo como peatones, carriles de bicicletas, accidentes, etc.
- OMNET++ nos permitió visualizar la interacción entre los vehículos y el uso del canal, gráficamente se valida el origen y destino de los paquetes, tamaño y tiempo de transmisión. OMNeT++ con Veins y Artery es una excelente plataforma para evaluar el rendimiento de 802.11p en redes vehiculares. Sin embargo, debido a la evolución de las comunicaciones V2X hacia C-V2X (LTE-V, 5G-V2X), es recomendable comparar 802.11p con tecnologías más recientes para validar su desempeño en escenarios futuros.

- Al realizar el análisis de las métricas se pudo evidenciar que el throughput en el protocolo 802.11p no es muy alto por lo que no se llegaría a la saturación de la red. Los paquetes perdidos no es una medición exacta ya que al ser una comunicación broadcast los paquetes enviados no van a llegar a todos los 75 vehículos que se tuvo en la simulación realizada, ya que algunos de los nodos(vehículos) pueden estar fuera del área de cobertura o también no estar aún presentes en el tiempo de simulación. La latencia si presentó un gran cambio al menorar la potencia de transmisión de 200mW a 100mW, se podría concluir que el cambio es inversamente proporcional, la latencia aumentó al doble con la potencia de 100mW, por lo que se requiere de una buena potencia para asegurar una latencia adecuada para la transmisión de la información y así se podría evitar también la tardanza en toma de decisiones de los vehículos.

4.2 RECOMENDACIONES

- Para la implementación de esta simulación se hizo uso de Linux específicamente Ubuntu en la versión 22.04 que no presentó inconvenientes al instalar los programas como SUMO, OMNET++ y ARTERY.

- Para trabajos futuros se podría hacer uso de otras configuraciones en sumo, como peatones, accidentes vehiculares, más carriles un mismo sentido, carriles de bicicletas, etc, con eso posiblemente la información que necesiten transmitir los vehículos sea mayor y se vería un incremento en el througput y la latencia.
- Se podría también investigar un poco más sobre hacer uso de rutas no definidas y poder visualizar el comportamiento autónomo de los vehículos.

5 BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía

- [1] R. López-Romero Guijarro, «<http://hdl.handle.net/10609/92186>,» 06 01 2019. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10609/92186>. [Último acceso: 22 01 2025].
- [2] P. G. Bejarano, «SlidePlayer,» 2015. [En línea]. Available: <https://blogthinkbig.com/que-es-la-comunicacion-v2v-y-cual-es-su-futuro/>. [Último acceso: 27 01 2025].
- [3] R. Martínez Martínez, «Diseño y evaluación de protocolos de comunicación multicanal con IEEE 802.11P para vehículo autónomo conectado,» Universitas Miguel Hernandez, 2021.
- [4] J. L. Sigüenza Ramos, «<https://bibdigital.epn.edu.ec/>,» 09 08 2017. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17414>. [Último acceso: 27 01 2025].
- [5] A. L. G. & M. R. Orozco, «Universidad Icesi,» 2012. [En línea]. Available: <https://repository.icesi.edu.co/server/api/core/bitstreams/5f9b8cf2-8a3b-7785-e053-2cc003c84dc5/content>. [Último acceso: 28 01 2025].
- [6] D. F. B. L. C. Daniel D. Stancil, «<https://onlinelibrary.wiley.com/>,» 16 04 2010. [En línea]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470661314.ch3>. [Último acceso: 28 01 2025].

- [7] <https://omnetpp.org/intro/>, «OMNETPP.ORG,» [En línea]. Available: <https://omnetpp.org/intro/>. [Último acceso: 07 01 2025].
- [8] <https://eclipse.dev/sumo/about/>, «<https://eclipse.dev/sumo/about/>,» [En línea]. Available: <https://eclipse.dev/sumo/about/>.

6 APÉNDICES