



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Computación y Telecomunicaciones

***Análisis de Factibilidad de Implementar Redes Heterogéneas VANET
con Tecnologías DSRC o LTE en la zona urbana en la ciudad de
Guayaquil.***

Trabajo de Titulación que se presenta como requisito para el título de Ingeniero
en Telecomunicaciones

Autor: Mario Fernando Guillen Lara

Tutor: Washington Caraguay Ambuludi

Samborondón, Febrero 2020



APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del estudiante Mario Fernando Guillen Lara, que cursa estudios en el programa de TERCER nivel: Ingeniería en Telecomunicaciones, dictado en la Facultad de Ingeniería, Escuela de Computación y Telecomunicaciones de la UEES, en modalidad presencial.

CERTIFICO

Que he revisado el Trabajo de Titulación denominado: “**Análisis de Factibilidad de Implementar Redes Heterogéneas VANET con Tecnologías DSRC o LTE en la zona urbana en la ciudad de Guayaquil**”, presentado por el estudiante Mario Fernando Guillen Lara, como requisito previo para optar por el Grado Académico de Ingeniero en Telecomunicaciones CERTIFICO que el Trabajo de Titulación ha sido analizado y reúne todos los requisitos para ser presentado y sometido a los procesos de revisión estipulados por la Facultad.

Atte.

Washington Caraguay Ambuludi
0703427465

Análisis de Factibilidad de Implementar Redes Heterogéneas VANET con Tecnologías DSRC o LTE en la zona urbana en la ciudad de Guayaquil.

Feasibility Analysis of Implementing VANET Heterogeneous Networks with DSRC or LTE Technologies in the urban area in the city of Guayaquil.

Mario Fernando GUILLEN LARA ¹
Washington CARAGUAY AMBULUDI²

Resumen

Se realiza un estudio de factibilidad de implementar redes VANET (Vehicular Ad-Hoc Network) con tecnología DSRC (Dedicated Short-Range Communications) o LTE (Long Term Evolution) con el objeto de ver que tecnología tiene un mejor rendimiento para poder optimizar un problema importante de la sociedad que es el tráfico vehicular en una zona específica de la ciudad de Guayaquil. Con la ayuda de herramientas de simulación para tráfico, con ello se busca obtener paquetes de información, donde, se registre el comportamiento, la cantidad y la velocidad de cada vehículo en la cual se analiza el rendimiento de la red, con base a la tecnología de transmisión, la variabilidad del tráfico vehicular y la infraestructura a ser implementada. Obteniendo como resultado un mejor desempeño de la tecnología DSRC debido a que asegura mejor la transmisión de señales que la LTE en condiciones exógenas regulares. Se puede concluir que implementar una red VANET en la ciudad es factible e incluso se puede expandir los paquetes de transmisión para incluir información extra para diversos usos aplicables de manera más efectiva con tecnología DSRC.

Palabras clave:

Redes Vanet, Tecnología inalámbrica, LTE, transmisión de datos, DSRC.

Abstract

A feasibility study is carried out to implement VANET (Vehicular Ad-Hoc Network) networks with DSRC (Dedicated Short-Range Communications) or LTE (Long Term Evolution) technology in order to see which technology has a better performance to optimize a problem important society that is vehicular traffic in a specific area of the city of Guayaquil. With the help of traffic simulation tools, this seeks to obtain information packages, where the behavior, quantity and speed of each vehicle in which the performance of the network is analyzed, based on technology is recorded of transmission, the variability of vehicular traffic and the infrastructure to be implemented. Obtaining as a result a better performance of DSRC technology because it ensures better signal transmission than LTE in regular exogenous conditions. It can be concluded that implementing a VANET network in the city is feasible and even transmission packets can be expanded to include extra information for various applicable uses more effectively with DSRC technology.

Key words

Vanet networks, wireless technology, LTE, data transmission, DSRC.

¹ Estudiante en Facultad de Ingeniería, Universidad Espíritu Santo – Ecuador. E-mail mguillen@uees.edu.ec.

² Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Master en Automática y Robótica. E-mail wcaraguay@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la congestión vehicular, se encuentra como un problema importante para sociedad ya que provoca diversas eventos de tránsito como colisiones y accidentes causados por la impericia de los conductores (CEPAL,2018), por ello la importancia de desarrollar un sistema de optimización de tráfico, que permitan a los conductores contar con información actualizada, al segundo, sobre los flujos de tráfico, con el beneficio de tomar vías alternas y poder mitigar la problemática actual.

Para alcanzar lo anterior expuesto, se utiliza una simulación de infraestructura de redes de tráfico con la ayuda de sensores orientados a redes VANET (Vehicular Ad-Hoc Network), los cuales están instalados en postes de alumbrado eléctrico ubicados en puntos estratégicos de la ciudad que receptan las señales que emiten los dispositivos que se encuentran en los vehículos y que en un futuro alguna aplicación web o App pueda ser utilizada para consumir esta información así como también la autoridad de tránsito pueda analizar de mejor forma la reorganización del tránsito en la ciudad.

Varias instituciones privadas tales como los fabricantes de vehículos, empresas de desarrollo de software e instituciones públicas como las secretarías de gobiernos autónomos descentralizados, se enfocan en la resolución de esta problemática (Movilidad, 2018) en la que se desarrolla el concepto de comunicación vehicular, por ello, en este trabajo se propone el uso de redes VANET en conjunto con el uso de tecnologías inalámbricas, centrándose en la velocidad de transmisión de datos, para obtener la información en un repositorio centralizado, encriptado con seguridades SSL (Secure Sockets Layer o capa de conexión segura) a través de redes WiFi (Wireless Fidelity) o redes de datos celulares.

El uso de las redes VANET radica en asegurar la comunicación y el intercambio de información mediante la interface Vehículo a Vehículo (Vehicle to Vehicle, V2V) y Vehículo a Infraestructura (Vehicle to Infrastructure, V2I) (Sarasti, 2017), lo cual

permite la conectividad continua en la comunicación de corto alcance, con alta velocidad de transmisión, luego de que los vehículos que poseen el dispositivo de comunicación “registran” su paso por la avenida con el receptor instalado en el poste de la intersección a verificar, la información recibida por estos dispositivos es en forma de paquetes, luego automáticamente los registros pasan a un sistema, app o web service pueda replicar en tiempo real a los usuarios que se encuentran conectados.

El objetivo principal de este trabajo es realizar un análisis de factibilidad para el uso de tecnología inalámbrica para la resolución del problema de implementación de redes VANET ya sea con tecnología basado en WIFI (Wireless Fidelity) y DSRC (Dedicated Short-Range Communications) con la definición de un benchmarking en función de su confiabilidad, eficiencia, soporte, hardware y características técnicas de conexión, por ello, se enfocará este trabajo en el rendimiento de la red indistintamente de la tecnología inalámbrica usada bajo el estándar 802.11b y 802.11p.

El punto de partida del proyecto se basa en la simulación de implementación de red VANET basada en las características de las diversas zonas urbanas de la ciudad y así culminar con un análisis de confiabilidad de la tecnología LTE o DSRC, donde finalmente se culminará el documento plasmando diversas conclusiones del estudio.

GLOSARIO DE TERMINOS

Para una completa comprensión del artículo de investigación se agrega un glosario de siglas la cual se detalla a continuación:

- **VANET (Vehicular Ad-Hoc Network):** son un tipo especial de redes en las que los nodos que pertenecen a la red de comunicación son vehículos
- **DSRC (Dedicated Short-Range Communications):** Es principalmente un medio para el intercambio de mensajes de seguridad básicos y

- ofrece algunas aplicaciones de gestión de tráfico
- **LTE (Long Term Evolution):** es la tecnología utilizada en los teléfonos móviles o celulares de cuarta generación, los llamados Teléfonos 4G y 5G, para la bajada y subida de datos desde internet
 - **SSL (Secure Sockets Layer):** Es el acrónimo de Secure Sockets Layer, capa de sockets seguros. Protocolo para navegadores web y servidores que permite la autenticación, encriptación y desencriptación de datos enviados a través de Internet.
 - **RSU (Road Side Unit):** dispositivos receptores de señales o paquetes de datos que intercambiar información con vehículos o con puntos de acceso estacionarios ubicados alrededor de las avenidas, carreteras, etc.
 - **Frecuencia:** Es la velocidad a la que se repite una señal, la unidad de medida básica de la frecuencia es el hercios (Hz), en los dispositivos de una red VANET se analiza el periodo de la frecuencia.
 - **Potencia de transmisión:** El nivel de potencia que un equipo inalámbrico emite. Usualmente expresada en decibelios o miliwatts. Algunos valores típicos son: +15 dBm (~33mW), 100 mW (+20 dBm), 200 mW (23 dBm). Nótese que la potencia de transmisión siempre es un valor positivo en dBm (mayor a 1mW) mientras que la sensibilidad es un valor negativo en dBm (menor a 1 mW)
 - **Sensibilidad de receptores:** El nivel de potencia mínimo para mantener una conexión inalámbrica. Típicamente se expresa en dBm y relacionado a una tasa de transferencia de datos. Por ejemplo, si decimos que un equipo tiene una sensibilidad de -80dBm a 10 Mbps, significa que a menor valor de recepción no es posible establecer un enlace de 10 Mbps.
 - **Umbral de ruido:** se denomina ruido a toda señal no deseada que se mezcla con la señal útil que se quiere transmitir. Es el resultado de diversos tipos de perturbaciones que tiende a enmascarar la información cuando se presenta en la banda de frecuencias del espectro de la señal, es decir, dentro de su ancho de banda.
 - **Tasa de bits:** define el número de bits que se transmiten por unidad de tiempo a través de un sistema de transmisión digital o entre dos dispositivos digitales. Así pues, es la velocidad de transferencia de datos.
 - **Modulación:** Se denomina modulación a la incorporación de la información contenida en una señal, generalmente de baja frecuencia, sobre una señal de alta frecuencia.
 - **Escenario de Comunicación:** Es el lugar donde se realiza la transmisión de datos, y dependiendo de la geografía del lugar, edificios y demás se elige una tecnología.

MARCO TEÓRICO

Redes Heterogéneas

Las redes heterogéneas son el actual desafío en comunicaciones inalámbricas ya que permiten a los nodos de las redes comunicarse directamente entre ellos, usando transmisores inalámbricos sin la necesidad infraestructuras fijas ya que los vehículos sirven como nodos de la red (Chang, 2015).

Según Shao y Ayashh (2015), mencionan que las redes VANET, para la conexión de dispositivos, pueden incorporar diferentes tecnologías de acceso que contienen capacidades potencialmente altas para la transmisión de datos entre uno o mas dispositivos tal como podemos observar en la figura 1, además son aptas para aprovechar de manera eficaz dichas tecnologías ya que proporcionan una amplia variedad de cobertura en entornos geográficamente densos y por este motivo se están convirtiendo en un componente importante de los futuros sistemas de transporte inteligentes. Debido a

que su topología es altamente dinámica, es inevitablemente imposible causar la interrupción de la conexión de red y fallo en la transmisión de paquetes.

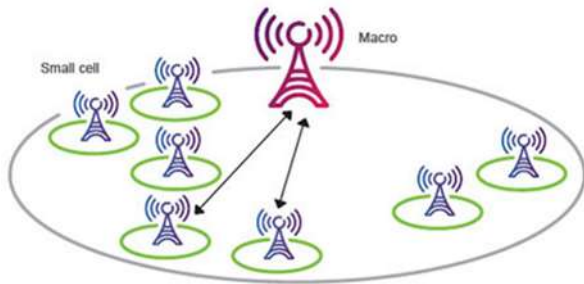


Figura 1.- Redes Heterogéneas
Fuente. Researchgate.net

Las redes heterogéneas vehiculares permiten la comunicación V2V y V2I, de la misma manera que las redes vehiculares tradicionales soportadas por una sola tecnología sea DSRC o LTE. V2V permite comunicaciones para corto y medio alcance entre los usuarios, ofreciendo costos de despliegue bajos y el apoyo a la entrega de mensajes de baja latencia. V2I permite conectar a los vehículos a la infraestructura para luego entre uno de varios servicios conectarse a Internet para conseguir la difusión de la información y entretenimiento a través de una estación base en la avenida o calle principal (Zhang, 2016).

Hoy en día existen numerosas tecnologías de acceso inalámbrico que principalmente son utilizadas para proporcionar una interfaz de radio requerido por los vehículos para una conexión adecuada, para el desarrollo de la presente investigación, se utilizara la tecnología DSRC debido a que es una tecnología de comunicación inalámbrica basada en 802.11p que permite una comunicación directa altamente segura y de alta velocidad entre los vehículos y la infraestructura circundante y la tecnología LTE que en función de conectividad segura una alta disponibilidad de comunicación inalámbrica utilizada para enlazar los nodos entre sí o los nodos con las RSU.

Tecnología WIFI

WiFi basada en el estándar 802.11b, es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite conectar a internet cualquier dispositivo electrónico, la comunicación inalámbrica, como tal, es aquella que

prescinde de cables o medios físicos visibles de propagación, y que, por el contrario, emplea ondas electromagnéticas para su transmisión, siendo que, no obstante, está limitada a un radio específico de cobertura (Zhang, 2016).

Dicha tecnología es principalmente utilizada para crear redes vehiculares debido a su bajo costo de implementación, facilidad de despliegue y compatibilidad con dispositivos inalámbricos, opera en la banda de frecuencia sin licencia 2.4 GHz y logra velocidades de datos de hasta 11 Mbps (Anwer, 2016).

Adicional a ello, la tecnología WIFI, es utilizada para crear un conjunto de servicios básicos de comunicación en tiempo real especialmente para comunicaciones orientadas a seguridad.

Tecnología DSRC

Las comunicaciones dedicadas de corto alcance (DSRC) es una tecnología para la comunicación inalámbrica, similar en algunos aspectos a WiFi, si bien el WiFi se utiliza principalmente para redes inalámbricas de área local, DSRC está diseñado para una comunicación inalámbrica de alta velocidad y alta seguridad entre los vehículos y la infraestructura definida en el área urbana (Echelle, 2014).

Entre los atributos de esta tecnología se encuentra la baja latencia, debido a que, los retrasos relacionados con la apertura y el cierre de una conexión son muy cortos, del orden de 20 micro segundos, así como también la interferencia limitada, debido a que la tecnología DSRC es muy robusta frente a la interferencia de radio, además, (Pascual, 2017) su corto alcance (1000 m) limita la posibilidad de interferencia de fuentes distantes, DSRC opera en la banda de los 5.9 GHz y ha sido desarrollado durante más de una década por una variedad de partes interesadas, incluidos fabricantes de automóviles, fabricantes de productos electrónicos, departamentos de carreteras estatales (Chang, 2015).

La mayor parte del trabajo en DSRC se ha centrado en la seguridad activa: evitar accidentes utilizando alertas del conductor basadas en sensores sofisticados y

comunicaciones del vehículo, debido a que DSRC puede proporcionar comunicación de alta velocidad incluso en presencia de obstrucciones e incluso puede manejar entornos que cambian rápidamente a velocidades de hasta 500 km / h. Está optimizado para "ver alrededor de las esquinas" (sin línea de visión) y operar en condiciones climáticas extremas, en función de lo antes expuesto se presenta la Tabla Nro. 1 donde se describe las principales características de las tecnologías antes mencionadas.

	<i>LTE</i>	<i>DSRC</i>
Frecuencia	2.4 – 2.497GHz	5.470 – 5.925 GHz
Cobertura	100 m	>200m
Capacidad	Baja	Media
Aplicaciones	Redes de datos	Redes vehiculares
Velocidad	22-24 Mbps	54 Mbps

Tabla 1.- Características de Tecnologías de Acceso Inalámbrico
Fuente. (DEVPOST, 2018)

Adicional a ello se define que la red VANET puede configurar en otro modo de transmisión con el uso de la conectividad de largo alcance por medio de un enlace de acceso inalámbrico en una infraestructura de red pre- existente, en la cual surgen las tecnologías inalámbricas heterogéneas, tales como los sistemas celulares 3G y 4G LTE con una amplia cobertura y capacidad (Sadek, 2015), arquitectura centralizada y alta penetración en el mercado. La próxima generación de estas tecnologías, a menudo referida como la quinta generación (5G) es esperada para que con su futura implementación brinde un mayor apoyo al tráfico vehicular (Chang, 2015).

Tecnología LTE

LTE también es conocida como acceso de radio terrestre universal evolucionado (E-UTRA) donde proporciona una alta tasa de datos con baja latencia. El ancho de banda de LTE va desde 1.4MHz hasta los 20 MHz y puede operaren modos FDD (Duplicación Por División De Frecuencia) y TDD (Duplicación Por División De Tiempo), posee una latencia reducida de 10 milisegundos entre el equipo de usuario y la estación base, en Ecuador se usa un ancho de banda de 20Mhz con una velocidad máxima teórica de bajada de 150

Mbps para el enlace descendente y una velocidad máxima teórica de subida de 50 Mbps para el enlace ascendente (Comis, 2015).

Una característica importante de LTE es la eficiencia espectral, pues utiliza una modulación en amplitud por cuadratura de 64 (QAM) la cual requiere utilizar 2 bits de nivel y un bit de polaridad, además del mecanismo de corrección de errores denominado Forward Error Correction (FEC) y hace uso de técnicas complementarias de radio como MiMo (sistema de múltiples entradas -múltiples salidas) que permite transmitir y recibir información por varias antenas, lo cual mejora la tasa de transmisión y permite que las velocidades a través de la red de acceso puedan crecer optimizando el uso de espectro (Hurtado, 2015).

El espectro radioeléctrico es el recurso que se utiliza para ofrecer servicios de telecomunicaciones inalámbricas, para precisar la ubicación de servicios en este recurso el mismo se divide en frecuencias utilizando como unidad de medida el hercio (Hz). En la tabla 2 se puede observar las frecuencias usadas por LTE en el país.

Operadora Celular	Frecuencia LTE
Movistar	1900 Mhz.
Claro	1700/2100 Mhz.
Cnt	1700/2100 Mhz.
Twenti	1900 Mhz.

Tabla 2.- Cuadro de Frecuencias LTE
Fuente.- (C.Hurtado, 2015)

Las redes de telecomunicaciones de la próxima generación (5G) poseen mejoras en la velocidad y está caracterizada por las siguientes especificaciones según (GEMALTO, 2019):

- Tasa de transferencia de datos de hasta 10Gbps de 10 a 100 veces mejor que las redes 4G y 4.5G
- Latencia de 1 milisegundo
- Una banda ancha 1000 veces más rápida por unidad de área

- Hasta 100 dispositivos más conectados por unidad de área (en comparación con las redes 4G LTE)
- Disponibilidad del 99.99%
- Cobertura del 100%
- Reducción del 90% en el consumo de energía de la red

Protocolos De Enrutamiento

La utilización de protocolos en redes VANET es un factor importante para gestionar la comunicación entre los vehículos y los RSUs, el objetivo de estos protocolos es alcanzar el tiempo de comunicación más corto y seguro para la transmisión de paquetes. Se clasifican en proactivos como: Enrutamiento de Vector de Distancia (Destination-Sequenced Distance-Vector Routing, DSDV), reactivos como Ad hoc Distancia Vector Bajo Demanda (Ad hoc on Demand Distance Vector, AODV) y Encaminamiento Dinámico de la Fuente (Dynamic Source Routing, DSR). AODV es el protocolo reactivo más eficiente y más utilizado en VANET ya que presenta en promedio una mayor transferencia de paquetes. Además se caracteriza por combinar técnicas de los protocolos DSR y DSDV, dando lugar a un algoritmo más utilizado y eficiente debido a que adquiere y mantiene rutas sólo bajo demanda brindando mayor estabilidad en la transmisión.

Aplicaciones Vehiculares

Las VANET definen diversas oportunidades para el desarrollo de aplicaciones que ayuden a mejorar las condiciones fundamentales del transporte y el manejo del tráfico vehicular mediante sistemas colaborativos basados en comunicaciones V2X.

Una VANET (Vehicular Ad-Hoc Network), es una red Ad-Hoc donde sus nodos son vehículos que para comunicarse, no dependen de una infraestructura preexistente, desplegándose de una forma espontánea en un ambiente inalámbrico. Estas redes son capaces de comunicar información entre diversos vehículos colindantes y el sistema de tráfico, estas redes están constituidas por vehículos equipados con dispositivos llamados OBUs (On board unit, unidades a bordo) y unidades o sensores estacionarias a

lo largo de una vía, que se denominan (RSUs, road-site units) que permiten una mayor cobertura y asistencia en lugares con poco tráfico automovilístico. Los nodos que participan en una red Ad-Hoc pueden hacerlo de 2 formas activa o pasiva. Al momento de que estos participan como enrutadores, el desgaste de energía que sufren los equipos al formar parte de la red inalámbrica aumenta, proporcionalmente a la cantidad de recursos que comparte el equipo al ser utilizado como enrutador, lo cual implica que ciertas veces los nodos dejen de participar activamente en la red produciéndose así fallas en su funcionamiento y pérdidas o retrasos de paquetes de información. (Torres, 2012)

Dentro de una VANET, cada vehículo tiene un rango de cobertura que va desde los 100 metros hasta los 300 metros en donde se mantiene una conectividad así como el intercambio de información entre vehículos. De esta forma se pueden crear redes de mediano y largo alcance y cuya aplicación puede ser aprovechada para crear redes urbanas que permitan solventar diversos problemas de seguridad y tráfico en las distintas rutas dentro de un perímetro urbano establecido.

Según la función, las aplicaciones vehiculares se clasifican en tres (3) categorías: seguridad vial, eficiencia vial y servicios comerciales y de información. (Ramírez, 2012)

➤ Aplicaciones en seguridad vial

Estas aplicaciones tienen como finalidad mitigar la probabilidad de eventos de tránsito y disminuir los siniestros de tráfico. Para llevar a cabo este proceso, el conductor es notificado mediante un mail, mensaje de texto, o multimedia según lo que el evento asociado en las carreteras, información sobre vehículos cercanos y manejo de incidentes. (Ramírez, 2012)

Prevención de colisiones (Collision Avoidance): En este tipo de aplicaciones se programa la RSU con el objetivo de detectar el riesgo de una probable colisión entre dos vehículos y advierte a los conductores mediante el medio establecido para el efecto. (Ramírez, 2012) Entre las aplicaciones se encuentran:

- Advertencia de colisiones en intersecciones.
- Advertencia pre colisión.
- Alarma de ubicación peligrosa

Notificación de señales de tránsito (RSN, Road Sign Notifications): La función de éste tipo de aplicaciones es advertir a los conductores sobre la señalización vial y brindar asistencia durante el recorrido. (Ramírez, 2012) Algunos ejemplos de aplicaciones RSN son:

- Advertencia de velocidad en curva.
- Advertencia de violación de señal de tránsito.

Simulación de Escenarios de Tráfico

Para definir los diversos escenarios en función de las variables que se establecen para esta investigación se debe de elegir un sistema capaz de simular escenarios para medir la capacidad de la red VANET ya sea con LTE o DSRC, por ello se desarrollan diversos software que nos permiten realizar este proceso.

Software de Simulación de Tráfico SUMO

Las simulaciones de tráfico facilitan la evaluación de los cambios de infraestructura, así como actualizaciones en la política de tránsito, revisiones técnicas del flujo de vehículos en una intersección determinada antes de implementarlos en la vía (Pascual, 2017).

SUMO es software de simulación de tráfico gratuita y de código abierto que está disponible desde 2001, esta herramienta permite definir modelos de sistemas de tráfico en la que incluye, los vehículos en la vía, el transporte público y los peatones. Adicional a ello, este software proporciona varias API (Aplicaciones adicionales) para controlar de forma remota la simulación (SUMO, 2019).

La plataforma de simulación SUMO ofrece las siguientes características:

- Simulación microscópica: los vehículos, los peatones y el transporte público se modelan explícitamente

- Interacción en línea: control de la simulación con TraCI
- Simulación de tráfico multimodal, por ejemplo, vehículos, transporte público y peatones
- Los horarios de los semáforos pueden ser importados o generados automáticamente por SUMO
- Sin limitaciones artificiales en el tamaño de la red y el número de vehículos simulados
- Formatos de importación soportados: OpenStreetMap, VISUM, VISSIM, NavTeq
- SUMO se implementa en C ++ y utiliza solo bibliotecas portátiles

Software De Simulación De Trafico MTE

MTE es una herramienta indispensable para los responsables y planificadores de las redes viarias en todo el mundo. Elija entre una amplia gama de informes y gráficos de tránsito o personalice los suyos ajustando los parámetros, El software incluye más de 30 esquemas de clasificación, ajustados a los estándares internacionales, o desarrollados a lo largo del tiempo en colaboración con responsables de redes viarias.

La versión más reciente de MTE introduce el esquema Carril de uso compartido. Gracias a que este esquema distingue a los peatones de los ciclistas en las ciclovías, ofrece una descripción de los modos activos de transporte e identifica los riesgos que implican las altas velocidades y las congestiones.

MTE realiza una administración continua de los sondeos en todas las redes. Esto permitirá a los responsables de las redes viarias entender la evolución del tránsito a lo largo del tiempo. Esta evaluación minuciosa desempeña un papel fundamental en el análisis económico, el manejo de la congestión, la estimación de la vida útil de las vías y la modelización del tránsito (MetroCount, 2015).

Debido a que SUMO tiene una interface más amigable, la parametrización no es compleja y puede usarse en una versión de prueba,

elegiremos el mencionado software para el análisis.

Casos de Éxito de Implementación de redes VANET

Debido a la variabilidad de protocolos, como en el equipamiento de hardware necesario para la implementación de estas redes se focaliza para fines determinados y no están implementadas en una red considerable (a gran escala), pero existen varias referencias sobre la utilidad de este tipo de redes como por ejemplo, el proyecto CVIS que fue realizado en 7 países de Europa (Inglaterra, Francia, Italia, España, Alemania, Rusia, Holanda) para analizar los diferentes ITS existentes, así como también el proyecto HeERO que ayudo a la unión europea a establecer que todos los vehículos deben de tener la capacidad de realizar llamadas de emergencia, en la Ciudad de Galicia se instaló en algunos puntos para recopilar información de tráfico y reorganizar el tránsito en la ciudad con el proyecto SISCOGA, en EEUU y en JAPON también se implementaron redes VANET para controlar la contaminación orientando la red para mejorar el medio ambiente y evitar los accidentes de tránsito instalando apps de aproximación de vehículos, en el que se consiguió definir una normativa ambiental para la emisión de gases en función del registro de vehículos en las ciudades (Pascual, 2017).

Estados Unidos ha sido uno de los pioneros en ITS (Intelligent Transportation Society of America), en donde se han puesto en marcha varios proyectos piloto que ya se han implementado, donde obtuvieron diversos avances relacionados con redes vehiculares.

En 1999, la Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission) asignó 75 MHz de ancho de banda en la frecuencia de 5,9 GHz para los servicios de ITS denominados DSRC (Dedicated Short-Range Communications); en el año 2002, la Sociedad Americana de Transporte Inteligente recomendó la adopción de un único estándar para la capa física y para la capa de acceso al medio (MAC, Medium Access Control) propio de las VANET (Sarasti, 2017).

En 2011, el Departamento de Transporte de los EE. UU. (US DOT) anunció planes para apoyar la introducción de la comunicación de vehículo a vehículo (V2V) entre los vehículos de servicio liviano en los EE. UU., Comúnmente conocidos como "vehículos conectados"; "Connected Vehicle" se enfoca en sistemas localizados V2V, Vehículo a Infraestructura (V2I) y Vehículo a Dispositivo (V2X) para soportar aplicaciones de seguridad, movilidad y medio ambiente usando Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance (DSRC) / Acceso inalámbrico para entornos vehiculares (ONDA). Se realizó un estudio piloto en UMTRI para examinar la viabilidad de la comunicación V2V en un entorno a gran escala del mundo real, muchos fabricantes de vehículos también prestan la debida atención a la investigación e implementación de "Connected Vehicle". La Asociación de Métricas de Evitación de Accidentes (CAMP) del Consorcio de Seguridad del Vehículo (VSCC) compuesta por BMW, Daimler Chrysler, Ford, GM, Kia, Nissan, Toyota y Volkswagen, en asociación con el USDOT, propuso más de 57 escenarios de aplicación sobre el Vehículo Conectado, como aplicaciones de seguridad, aplicaciones no seguras, aplicaciones de seguridad de alto beneficio potencial y otras aplicaciones (Sahai, 2018).

METODOLOGÍA

La metodología de la investigación planteada en este estudio tiene un enfoque cuantitativo-experimental, en consecuencia, la experimentación del problema tiene un enfoque transversal del proceso de comunicación de dispositivos en una red VANET, debido a ello, la medición de variables en función de la factibilidad del uso de tecnología LTE o DSRC con escenarios establecidos es vital para la elección del método de transmisión, y la experimentación de diversos casos se enmarcan en el objetivo de la investigación que busca responder este trabajo; es decir, la caracterización de escenarios que validen el número de usuarios que transitan en un determinado sector, la variación de la velocidad y, por último, la medición de la pérdida de paquetes son las

variables básicas en el estudio tal como se muestra el proceso en la figura 2:

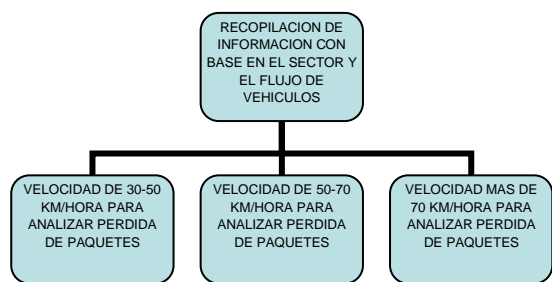


Figura 2.- Escenarios de Movilidad
Fuente.- Autor

Para la definición del número de usuarios que transitan se toma como rangos como límite inferior 61 vehículos y como límite superior 180 vehículos en un lapso de tiempo de 15 minutos, datos generados por la técnica de la observación, es decir, se realizó el levantamiento en intervalos del día para establecer rangos máximos y mínimos del número de unidades móviles que circulan por el sector elegido para la investigación.

Por el tipo de infraestructura que soporta las redes vehiculares, los repetidores, los receptores de señal, y el transmisor en los vehículos, se experimenta en la investigación, la pérdida de señal (no registro) en la transmisión, debido a estas características del equipamiento y firmware, en el escenario de existir tráfico vehicular, el RSU recepta la señal, registrando el dispositivo anulando el evento de reescribir el dato recolectado, adicional a ello, por estar en una red VANET, no existe posibilidad de colisión entre señales.

Para la definición de la velocidad de los vehículos se toma como referencia los límites de velocidad permitidos dentro de la zona urbana de la ciudad de Guayaquil que establecen un límite inferior de 10 Km/h y un límite superior de 60 Km/h, definidos en las ordenanzas de tránsito aprobadas por la Agencia de Tránsito Municipal (Transito, 2019).

El área de estudio elegida para realizar las simulaciones es el casco céntrico de la ciudad, que va delimitado desde la calle Clemente Ballén y Pedro Carbo, hasta la calle Loja como se puede observar en la figura 3.



Figura 3.- Área de Estudio de Simulación
Fuente.- Google Maps

Para la definición del sector se eligió el perímetro de las calles desde Clemente Ballén hasta Loja, y el malecón hasta la calle Pedro Carbo, debido a la bifurcación que existe entre la calle Loja y el túnel que da salida a las avenidas Pedro Menéndez Gilbert y Carlos Luis Plaza Dañin, lugares donde los existen cuellos de botella en horas pico.

Para esta simulación se determina el comportamiento de las redes móviles en entornos urbanos con conexiones V2I y V2V cada una con un radio de cobertura entre 50 y 150 metros aproximadamente (distancia de confirmación y longitud promedio de una cuadra urbana) con RSUs ubicados en las vías tal como se muestra en la figura 4

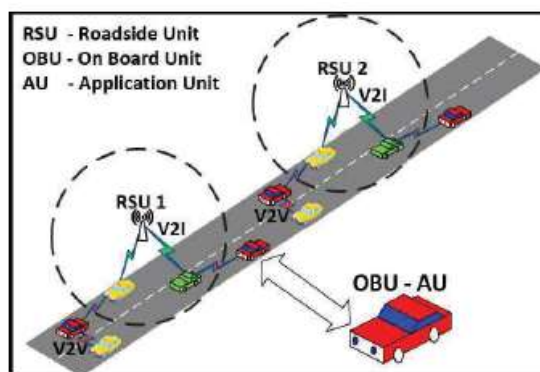


Figura 4.- Esquema de Implementación de Red
Fuente.- (Chang, 2015)

Adicional a lo establecido, se ha considerado diferentes escenarios en rangos de hora en los días laborables Martes y Viernes y en no laborable Domingo, en los cuales se ubican

hasta 200 nodos para la conexión entre vehículos de transporte privado y público, para esta simulación el software SUMO se parametriza el tipo de vehículo que se encuentra en el sector.

Alcance de la Investigación

Para el desarrollo de la investigación se toma como alcance un sector del centro de la ciudad de Guayaquil, adicional a ello, los RSU que se colocaran en el sector serán implantados en los postes de las intersecciones y en el malecón 2000.

Para los análisis de simulación de tráfico, se usara como software SUMO en su versión 4.1 debido a que es de gran utilidad en función de reportes y en la parametrización de las opciones para el tráfico, entiéndase por simulación en la colocación de diversos semáforos, señalética e intersecciones en diversos horarios.

La investigación se realizó con base en un trabajo realizado por O. Orozco Sarasti, G. Llano Ramírez. En el uso de aplicaciones para redes VANET en Colombia dado, los índices de gases de efecto invernadero que han crecido de manera alarmante debido al mayor uso de combustibles fósiles e hidrocarburos, por ende, este incremento ha contribuido negativamente al calentamiento global y propone analizar y enfrentar el problema por sectores económicos en cada región.

DESARROLLO

Variables Significativas

Para el desarrollo de la simulación se toma como información habilitante la base de datos resultante de la generación de la simulación, lo cual se realiza con un desarrollo o script en XML en el simulador, de concurrencia de vehículos en el sector definido para la experimentación, elaborada por el autor, con el objetivo de parametrizar el número de vehículos en el circuito vehicular diseñado en el software, por ello, se analizó que variables resultantes de la evaluación son más significancia en la ejecución del análisis, las cuales se muestran en la figura 5 :

VARIABLES
Velocidad de Vehículos

Número de Vehículos
Throughput
Número de RSUs
Tecnología
Antena
Protocolo de enrutamiento
Protocolo de Transporte
Frecuencia
Tasa de bits

Figura 5.- Variables
Elaborado por. Autor

Para este análisis, se establece una normalización a los datos de cada variable y en las que se obtenga las mayores desviaciones con respecto a la media, serán las elegidas para el estudio, como resultado del análisis estadístico, se obtuvo que las variables frecuencia, tasa de bits, protocolos de enrutamiento, transporte y antena no son significativas por los resultados de su desviación de casi 0 (cero); las variables velocidad de vehículos, número de vehículos, Throughput y tecnología son las variables significativas para el experimento.

Escenarios de Simulación

Para establecer los escenarios de simulación se establecen rangos de velocidad, debido a que el objetivo del estudio es el registro de la comunicación de los vehículos a los RSUs ubicados en lugares específicos del área de análisis, por ello los rangos de velocidad se establecen tal como se muestra en la figura 6:

RANGO-VELOCIDAD	DESCRIPCION
1	30 - 50 Km/H
2	51 km/H - 70 Km/H
3	> 71 Km/H

Figura 6.- Rangos de velocidad para simulación
Elaborado por. Autor

Para los tres rangos de simulación, se definió la recolección de datos bajo los siguientes lineamientos:

- Número de vehículos del estudio será de 160 unidades móviles.
- Muestra se recogerá en el horario más probable de tráfico.
- Los dispositivos transmisores de la señal tendrán las mismas

especificaciones para tener uniformidad en la comparación.

- El punto de referencia para la recolección de datos será el receptor de la calle Junín y Malecón.

El lugar establecido para el análisis es el centro de Guayaquil, en la cual se observó, el número de vehículos; tanto en horas de bajo flujo vehicular como en horas pico del día Viernes 30 de Septiembre del 2019 debido a las siguientes premisas:

- Se realiza la observación de un día, debido a que tiene alta tasa de tráfico, es un fin de mes y adicional un fin de trimestre en la que, el casco bancario en ese lugar, genera gestión de alta transaccionalidad, por ello se extrapola este comportamiento como de alta afluencia de vehículos.
- En el caso de requerirse un número mayor de días para la experimentación y escenarios, el equipo en donde se corran las simulaciones de tráfico debe ser un servidor que posea 10 procesadores en raid, para generar diversos escenarios incrementando el número de vehículos, el tiempo y los días.

Para el experimento se estableció el tiempo de simulación de 15 minutos en los siguientes rangos de tiempo:

- Entre las 08:40 am a 08:45 am
- Entre las 14:00 pm a 14:15 pm.
- Entre las 18:00 pm a 18:15 pm.

Esta información se obtuvo de la base de datos elaborada del resultado de la simulación la cual muestra la pérdida de paquetes como se observa en la figura 7:

CODIFICACION/REGISTRO				SALIDA DE DATOS			
THROUGHPUT	RANGO-VELOCIDAD	TECNOLOGIAS		VEHICULO	THROUGHPUT	RANGO-VELOCIDAD	TECNOLOGIAS
1	37470	2	1	1	37470	51 km/H - 70 Km/H	LTE
2	13558	3	2	2	13558	> 71 Km/H	DSRC
3	55701	2	2	3	55701	51 km/H - 70 Km/H	DSRC
4	81424	1	2	4	81424	30 - 50 Km/H	DSRC
5	80192	2	1	5	80192	51 km/H - 70 Km/H	LTE
6	86469	1	1	6	86469	30 - 50 Km/H	LTE
7	6232	3	1	7	6232	> 71 Km/H	LTE
8	39631	2	1	8	39631	51 km/H - 70 Km/H	LTE
9	78376	2	1	9	78376	51 km/H - 70 Km/H	LTE
10	16780	3	1	10	16780	> 71 Km/H	LTE
11	25828	1	2	11	25828	30 - 50 Km/H	DSRC
12	8865	3	2	12	8865	> 71 Km/H	DSRC
13	7752	3	1	13	7752	> 71 Km/H	LTE
14	18951	2	1	14	18951	51 km/H - 70 Km/H	LTE
15	23667	1	2	15	23667	30 - 50 Km/H	DSRC
16	6453	2	2	16	6453	51 km/H - 70 Km/H	DSRC
17	29229	1	1	17	29229	30 - 50 Km/H	LTE
18	34163	1	2	18	34163	30 - 50 Km/H	DSRC
19	52059	2	1	19	52059	51 km/H - 70 Km/H	LTE
20	35377	1	1	20	35377	30 - 50 Km/H	LTE
21	36606	1	2	21	36606	30 - 50 Km/H	DSRC
22	35226	2	1	22	35226	51 km/H - 70 Km/H	LTE
23	82376	2	1	23	82376	51 km/H - 70 Km/H	LTE
24	44611	2	1	24	44611	51 km/H - 70 Km/H	LTE

Figura 7.- Base de Datos Elaborado por. Autor

Se evaluó en los 60 primeros segundos en el software SUMO para definir una muestra de los paquetes transmitidos, debido a la magnitud de data simulada se necesita de la potencia de un servidor para realizar las simulaciones con todos los datos recogidos y establecer la cantidad de paquetes generados, perdidos y recibidos para calcular y comparar que tecnología brinda el mejor rendimiento de la red o throughput.

Para determinar la tecnología inalámbrica que se ajusta mejor al entorno vehicular y favorece al comportamiento de la red se hace la comparación con los escenarios antes descritos, para lo cual se implementan RSUs como puntos de acceso, ubicados de manera específica en lugares críticos tal como se muestra en la figura 8:

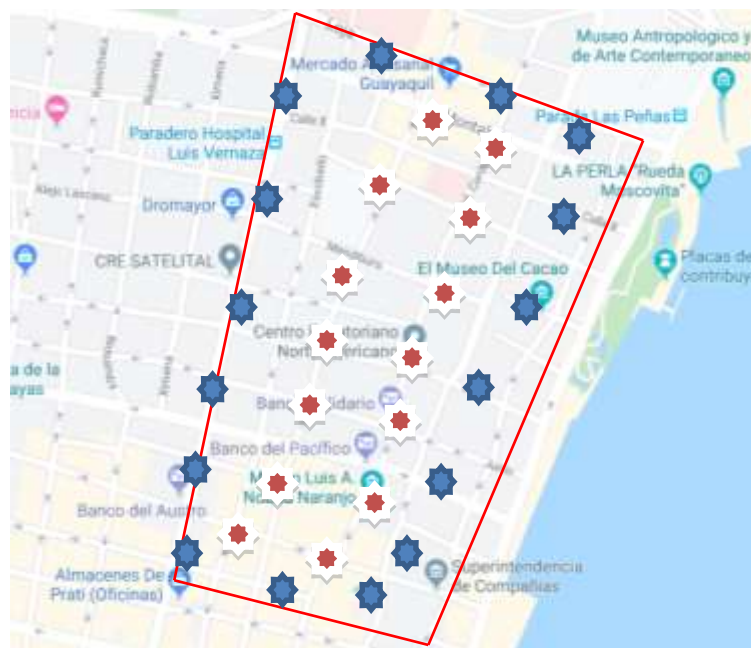


Figura 8.- Sectores de RSUs Elaborado por. Autor

Los parámetros técnicos establecidos para realizar la comparación son los siguientes:

- Frecuencia: 5.89 GHz
- Potencia de transmisión: 20 mW (13 dBm)
- Sensibilidad de receptores: - 89 dBm
- Umbral de ruido: -110 dBm
- Tasa de bits: *Según Tecnología
- Modulación: QPSK
- Escenario de Comunicación: V2I
- Estándar: IEEE 802.11p
- Tecnología: *LTE/DSRC
- Tiempo de Simulación: 900 seg.

La afluencia de vehículos no es una variable a medir o significativa debido a que la base del estudio en este caso, se lo orienta con base en la transmisión V2I ya que no se realizara la comunicación entre vehículos.

Así también se analiza el número de paquetes perdidos en función de rangos de bits por segundo dado que el RSU captura la señal del vehículo y lo registra, si bien es cierto, hay una diferencia de velocidad de transmisión dado el medio inalámbrico, no tiene injerencia en el escenario de flujo de vehículos sino en la velocidad de recepción y la concurrencia de señales en el RSU.

Los porcentajes de registro de vehículos en cada rango se determina de la relación (división), entre el número de vehículos en el rango respectivo para el total de vehículos de la muestra.

Se tomó para el análisis el rango de las 08:30 am – 08:45 am debido a diversos factores como a afluencia de vehículos a la zona comercial/bancaria, parqueos e inicio de la actividad laboral, el throughput se encuentra en el rango entre los 5000 bytes/seg hasta los 90000/bytes, por lo que se definió zonas en las que se puede definir niveles de perdida de datos especificados a continuación:

- De 5000 bytes/seg a 40.000 bytes/seg “Nivel Bajo de perdida”
- De 40001 bytes/seg a 77.000 bytes/seg “Nivel Aceptable de perdida”

- Mayor a 77.000 bytes/seg “Nivel Alto de perdida”

De los cuales se obtuvieron los siguientes resultados en las figuras 9, 10 y 11:

a).- Rango de 5000 – 40.000 bytes/seg

Rangos de throughput	Nro. De Vehiculos
5000-8999	10
9000-12999	6
13000-16999	7
17000-20999	6
21000-24999	6
25000-28999	8
29000-32999	7
33000-36999	11
37000-40999	7

Figura 9.- Rangos de Throughput “Bajo”
Elaborado por. Autor

El porcentaje de vehículos que se registraron en este rango es del 42.50 por ciento, esto quiere decir que los dispositivos recogen la señal de los vehículos en un porcentaje significativo ya que la muestra representa casi el 50 por ciento del objetivo de vehículos.

b).- Rango de 40.001 – 77.000 bytes/seg

Rangos de throughput	Nro. De Vehiculos
41000-44999	5
45000-48999	5
49000-52999	8
53000-56999	3
57000-60999	3
61000-64999	11
65000-68999	9
69000-72999	11
73000-76999	7

Figura 10.- Rangos de Throughput “Aceptable”
Elaborado por. Autor

El porcentaje de vehículos que se registraron en este rango es del 38.75 por ciento, esto quiere decir que los dispositivos recogen la señal de los vehículos en un porcentaje significativo si tomamos en consideración el rango de aceptación anterior ya que la muestra representa el 80 por ciento del objetivo de vehículos de la muestra.

c).- Rango mayor de 77.000 bytes/seg

Rangos de throughput	Nro. De Vehiculos
77000-80999	8
81000-84999	10
85000-88999	10
89000-92999	2

Figura 11.- Rangos de Throughput "Alto"
Elaborado por. Autor

El porcentaje de vehículos que se registraron en este rango es del 18.75 por ciento, esto quiere decir aquí hubo una perdida "Alta" de paquetes tal como se muestra en la figura 12, producto de diversas circunstancias como la concurrencia de señales, el medio de transmisión, etc. Estos datos son los que vamos a excluir del estudio de impacto debido a que producen ruido en la definición final de datos para la toma de decisión.

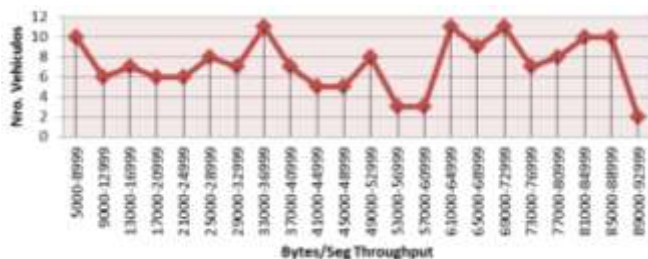


Figura 12.- Rangos de Throughput "Bajo-Aceptable-Alto"
Elaborado por. Autor

A partir de esta estadística, se procede a establecer el análisis de los escenarios planteados según la variable "Velocidad" debido a que geográficamente existen postes, edificios, árboles y depende de la velocidad y la tecnología, la comunicación de la señal hacia el RSU, los porcentajes de paquetes perdidos se calcula del rango porcentual del total de pérdida del rango para el máximo valor de throughput, determinada en la ordenada del grafico presentado en cada rango de velocidad, por ello y en función de los datos recolectados en la muestra el análisis nos lleva a lo siguiente:

Velocidad de 30 – 50 Km/h



Figura 13.- Paquetes perdidos LTE vs DSRC "Escenario 1"
Elaborado por. Autor

En la figura 13 se indica que la comunicación de vehículos con el medio de transmisión LTE, el porcentaje de perdida de paquetes es de un 3 por ciento del total de vehículos registrados en esta velocidad (29 unidades móviles) vs un 2 por ciento registrado en la tecnología DSRC, esto quiere decir que si bien es cierto la transmisión LTE por tener más cobertura puede comunicarse mejor pero en efectividad la tecnología DSRC cumple su objetivo de una mejor forma.

Velocidad de 50 – 70 Km/h



Figura 14.- Paquetes perdidos LTE vs DSRC "Escenario 2"
Elaborado por. Autor

En la figura 14 se indica que al aumentar la velocidad, la comunicación de vehículos con el medio de transmisión LTE, el porcentaje de perdida de paquetes se incrementa con respecto al escenario anterior a 4 por ciento del total de vehículos registrados en esta velocidad (71 unidades móviles) vs un 3 por ciento registrado en la tecnología DSRC, esto quiere decir que si bien es cierto la transmisión LTE por tener más cobertura puede comunicarse mejor pero en efectividad la tecnología DSRC cumple su objetivo de una mejor forma.

Velocidad mayor a 70 Km/h



Figura 15.- Paquetes perdidos LTE vs DSRC “Escenario 3”
Elaborado por. Autor

En la figura 15 se indica que al aumentar la velocidad un poco más, la comunicación de vehículos con el medio de transmisión LTE, el porcentaje de pérdida de paquetes disminuye con respecto al escenario anterior a 2 por ciento del total de vehículos registrados en esta velocidad (30 unidades móviles) vs un 3 por ciento registrado en la tecnología DSRC, esto quiere decir que en velocidades altas, transmisión LTE por tener más cobertura puede comunicarse mejor y efectivamente que la tecnología DSRC.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en el análisis de los escenarios planteados y en función de las variables utilizadas en el estudio los resultados fueron los siguientes:

- El rendimiento de LTE es menor que el de DSRC en los escenarios de rangos de velocidades denominada como “baja” y “media”, no se ha tomado en consideración en la simulación los efectos exógenos al experimento como la velocidad del viento, geografía del lugar, la saturación de la red LTE, por ello, la pérdida eventual de paquetes en ligeramente diferente a la analizada con la tecnología DSRC, exclusivamente en la transmisión de señales y paquetes texto.
- En el escenario de alta velocidad, la tecnología LTE al tener un amplio rango de cobertura y es ligeramente superior a la tecnología DSRC debido a la potencia de la frecuencia de la red móvil en condiciones favorables.

CONCLUSIONES

Se concluye en este estudio que existen diversas aplicaciones que se le puede dar a las redes VANET, por medio de la transmisión de datos de vehículos y RSUs.

Para el experimento solo se realizó la transmisión de señales, pero con la configuración correcta y el desarrollo de aplicaciones que accedan a los receptores se puede transmitir localizaciones, datos de vehículos, imágenes, como por ejemplo al registrar un dispositivo en la Agencia Nacional de Tránsito, se pueden añadir las características del vehículo, foto del conductor, imagen de la placa, etc.

Se puede realizar un mapa de la ruta de un vehículo a través de los RSUs instalados en la ciudad, y pronosticar el comportamiento del tráfico en determinadas fechas.

La tecnología de los dispositivos interconectados, no incide en la calidad de la recepción de las señales emitidas por los vehículos, debido a que el equipamiento tiene características de aseguramiento de señal y evita colisiones.

Bajo el análisis de resultados del experimento, y en función de la transmisión de datos que radica exclusivamente en la difusión de señales, los resultados indican que y la tecnología LTE tiene un largo rango de cobertura, pero posee un considerable porcentaje de pérdida de paquetes, mientras que DSRC asegura el registro del vehículo en el RSU, por ello, DSRC tiene un mejor rendimiento de comunicación que LTE.

Bibliografía

- A. Vinel, "3GPP LTE versus IEEE 802.11p/WAVE: which technology is able to support cooperative vehicular safety applications" IEEE Wireless Communications Letters, vol. 1, no. 2, pp. 125–128, 2012.
- B. Schoettle and M. Sivak, "A survey of public opinion about connected vehicles in the U.S., the U.K., and Australia," in Proceedings of the 3rd International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE '14), pp. 687–692, November 2014.
- Baena, G. M. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico D.F.: Grupo Editorial Patria.
- C. Campolo and A. Molinaro, "Multichannel communications in vehicular Ad Hoc networks: A survey," IEEE Communications Magazine, vol. 51, no. 5, pp. 158–169, 2013.
- Cáceres, R. Á. (2017). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. Chicago: Prentice-Hall.
- Chang, F. (2015). *A Fast Safety Message Transmission Mechanism for Heterogeneous Vehicular Networks*. Maryland: Portus.
- C. Wang and M. Deng, "Promoting TD-LTE technology to V2X applications to improve traffic safety and efficiency," Modern Science & Technology of Telecommunications, vol. 9, pp. 40–46, 2014
- Echelle, M. (2014). A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network. *Science and Computer*, 1-8.
- F. Zhou, X. Li, and J. Ma, "Parsimonious shooting heuristic for trajectory design of connected automated traffic part I: theoretical analysis with generalized time geography," Transportation Research Part B: Methodological, vol. 95, pp. 394–420, 2017.
- Google. (30 de 07 de 2019). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com.ec/maps/place/Guayaquil/@-2.1523809,-80.1202924,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x902d13cbe855805f:0x8015a492f4fa473!8m2!3d-2.1894128!4d-79.8890662?hl=es>
- G. Araniti, C. Campolo, M. Condoluci, A. Iera, and A. Molinaro, "LTE for vehicular networking: a survey," IEEE Communications Magazine, vol. 51, no. 5, pp. 148–157, 2013.
- H., L. E. (2017). *Ingeniería del Tránsito*. Santiago: Universidad de Chile. Escuela de Ingeniería.
- J. Lee, Y. Kim, Y. Kwak et al., "LTE-advanced in 3GPP Rel -13/14: An evolution toward 5G," IEEE Communications Magazine, vol. 54, no. 3, pp. 36–42, 2016
- K. C. Dey, A. Rayamajhi, M. Chowdhury, P. Bhavsar, and J. Martin, "Vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communication in a heterogeneous wireless network - Performance evaluation," Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 68, pp. 168–184, 2016.
- K. Trichias, J. L. Berg, G. J. Heijenk, J. Jongh, and R. Litjens, "Modeling and evaluation of LTE in intelligent transportation systems," in Proceedings of the Joint ERCIM eMobility and MobiSense Workshop, University of Bern, Santorini, Greece, 2012
- L. Miao, K. Djouani, B. J. Van Wyk, and Y. Hamam, "Performance evaluation of IEEE 802.11p MAC protocol in VANETs safety applications," In Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC '13), pp. 1663–1668, April 2013.

- M. Whaiduzzaman, M. Sookhak, A. Gani, and R. Buyya, "A survey on vehicular cloud computing," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 40, no. 1, pp. 325–344, 2014.
- MetroCount, (29 de 09 de 2015). MetroCount Traffic Executive. Software de simulación de tráfico MTE: <https://metrocount.com/es/mte-analisis-trafico-vial/>
- M.S.Anwer. (2016). *A Survey of VANET Technologies*. Scotland: Weird.
- Movilidad, S. d. (30 de 10 de 2018). DIAGNÓSTICO DE LA MOVILIDAD EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. Quito, Pichincha, Ecuador.
- NHTSA, "Proposed rule would mandate vehicle-to-vehicle (V2V) communication on light vehicles, allowing cars to "talk" to each other to avoid crashes," 2016
- Pascual, L. A. (19 de 11 de 2017). Implementación de Redes Vanet. Galicia, España, España.
- P. J. Jin, D. Fagnant, A. Hall, and C. M. Walton, *Policy Implications of Emerging Vehicle and Infrastructure Technology*, 2014.
- P. G. Gipps, "A behavioural car-following model for computer simulation," *Transportation Research B*, vol. 15, no. 2, pp. 105–111, 1981. View at Publisher · View at Google Scholar · View at Scopus
- Ramírez, G. L. (2012). Redes vehiculares Ad-hoc: aplicaciones basadas en simulación. *ICESI UNIVERSITY*, 7.
- Rocha, C. M. (2018). *Metodología de la investigación*. Mexico: Oxford University.
- R. L. Bertini, H. Wang, and K. Carstens, "Preparing oregon for connected vehicle deployment," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2615, pp. 1–10, 2017. View at Google Scholar
- S.Shao, M. A. (2015). *Delay Analysis of Hybrid WiFi-LiFi System*. Michigan: McGraw Hill.
- Sadek, N. (2015). *A robust Multi-Rat VANET/LTE*. North Caroline: McGraw.
- Sahai, a. (2018). *Security Issues & Threats in IoT Infrastructure*.
- Salud, O. m. (2018). Boletín de Accidentes de Tránsito en el Mundo. *Principales causas de muerte de personas en el mundo*, 46.
- Sánchez, J. A. (01 de 09 de 2017). Redes Vehiculares Aplicadas a la Movilidad Inteligente y Sostenibilidad Ambiental. Oviedo, Oviedo, España.
- Sarasti, O. O. (2017). *Aplicaciones para redes VANET Enfocadas en la Sostenibilidad Ambiental*. Barranquilla, Colombia: Research Gate.
- Schulz, P., Matthé, M., & Klessig, H. (2017). *Latency Critical IoT Applications in 5G: Perspective on the Design of Radio Interface and Network Architecture*.
- SUMO. (30 de 07 de 2019). *SUMO Sourceforge*. Obtenido de SUMO Sourceforge: <http://sumo.sourceforge.net/>
- Torres, D. G. (2012). Notificación de señales de tránsito (RSN, Road Sign. *Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas*.
- X. Xiang, W. Qin, and B. Xiang, "Research on a DSRC-based rear-end collision warning model," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, no. 3, pp. 1054–1065, 2014. View at Publisher · View at Google Scholar · View at Scopus.
- X. Qu and S. Wang, "Long-distance-commuter (LDC) lane: a new concept for freeway traffic management," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 30, no. 10, pp. 815–823, 2015. View at Publisher · View at Google Scholar · View at Scopus
- Y. Kuang, X. Qu, and S. Wang, "A tree-structured crash surrogate measure for freeways," *Accident Analysis & Prevention*, vol. 77, pp. 137–148, 2015. View at Publisher · View at Google Scholar

X. Qu, S. Wang, and J. Zhang, "On the fundamental diagram for freeway traffic: a novel calibration approach for single-regime models," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 73, pp. 91–102, 2015. [View at Publisher](#) · [View at Google Scholar](#)

X. Qu, Y. Yang, Z. Liu, S. Jin, and J. Weng, "Potential crash risks of expressway on-ramps and off-ramps: a case study in Beijing, China," *Safety Science*, vol. 70, pp. 58–62, 2014. [View at Publisher](#) · [View at Google Scholar](#)

Zhang, L. (2016). *Heterogeneous Vehicular Networks*. Maryland: Portus.

Zhang, Y. (2016). *Mobile-service based Max-Min Fairness Resource Scheduling for Heterogeneous Vehicular Networks*. Maryland: Portus.